

1.1 ANTECEDENTES

La sidra natural de manzana es el producto de la fermentación, proceso en el cual los azúcares (fructosa, glucosa y sacarosa) son transformados por las levaduras del género *Saccharomyces* en etanol y anhídrido carbónico anaeróbicamente (Adams, 2000).

La sidra natural es una bebida alcohólica de baja graduación entre (4% y 5%) °GL elaborada con el jugo fermentado de la manzana (Muller, 2005).

Se trata de una bebida muy consumida en el mundo, entre los países de mayor consumo podemos indicar en Europa Alemania, Francia, España, Italia Escocia e Inglaterra. En América, se encuentra en zonas de distintos países, probablemente debido a la influencia de la inmigración española del siglo pasado, principalmente en Argentina, Estados Unidos y México (Muller, 2005).

La sidra natural de manzana es una bebida ideal para acompañar tanto platos de carne como pescado “el consumo de sidra debe ser moderado para disfrutar de sus beneficios para la salud”. Además de darle un toque especial a las preparaciones culinarias en general, provoca en el organismo un efecto depurativo y diurético (Martínez, 2006).

La sidra se destaca por su riqueza en determinadas sustancias antioxidantes, de la misma forma que lo hace el vino. Podemos decir que se trata de una bebida alcohólica mucho más recomendada y beneficiosa, ya que su aporte en alcohol es mucho menor. Es una bebida ideal para protegernos frente a enfermedades cardiovasculares y enfermedades digestivas. De hecho, destaca por su contenido en pectina, ayudando en la prevención del infarto de miocardio y la arteriosclerosis (Martínez, 2006).

En Bolivia no existen empresas que produzcan sidra natural de manzana ni otro tipo de sidra. En Tarija al ser un departamento con potencial fruticultura produce una variedad de manzanas por su clima templado, dando de esta manera una opción de optimización de este producto agrícola a los productores de esta fruta con bastantes cualidades. La mayoría de sidras de manzana que se comercializa en nuestro

departamento es de industria Argentina algunas de las marcas comercializadas son: Tunuyan, Princesa, Gran sidra Real, entre otras marcas.

En la tabla 1.1 se puede observar la producción de las diferentes variedades de manzana producidas en el departamento de Tarija.

Tabla 1.1
Producción de manzana en el departamento de Tarija

Años	Superficie Hectárea	Rendimiento (Kg/Hectárea)	Producción (Tonelada métrica)
2000	164	1016	215
2001	196	1037	219
2002	201	1115	221
2003	232	1202	224
2004	251	1117	223
2005	214	1126	225
2006	256	1513	238
2007	275	1312	226
2008	283	1029	218
2009	195	1011	214
2010	178	987	215

Fuente: INE, 2010

1.2 JUSTIFICACIÓN

- El principal motivo por el que se desarrolló el presente trabajo, es que la producción de manzana en el departamento de Tarija (valle central); aunque abasteciendo al mercado local queda un excedente (estadísticamente no se tienen datos sobre pérdidas ni excedentes) con respecto a la demanda de los requerimientos del mercado local. Esto ha motivado el desarrollo de la presente investigación para darle un uso adecuado a esta materia prima.
- La manzana en sí tiene muchas alternativas de industrialización; pero usualmente es utilizada en Tarija a nivel artesanal en mermeladas, vinagre y jaleas. Sin embargo, no existen industrias en Tarija que utilicen a la manzana como materia prima para la elaboración de algún producto industrializado. Por lo tanto, se incurre en la importación de la misma a otros departamentos del país.

- La elaboración de sidra a partir de la manzana es una propuesta que puede estar disponible para que un productor de manzana pueda como un proyecto piloto generar un mejor ingreso al darle un valor agregado a su producción primaria.
- La sidra de manzana es una bebida fermentada el cual es preferida por los consumidores en cada acontecimiento social y en fiestas de fin de año; por este motivo tiene una alta demanda y al no existir una producción local, se importa del país de Argentina. Esta bebida que ofrece cualidades especiales para su consumo.

1.3 OBJETIVOS

Los objetivos planteados para el presente proyecto son:

1.3.1 OBJETIVO GENERAL

Elaborar a nivel experimental sidra natural de manzana variedad Anna a través de un proceso fermentativo con la finalidad de obtener un producto de calidad.

1.3.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Determinar las propiedades fisicoquímicas de la materia prima con el fin de establecer su composición.
- Determinar el tiempo de fermentación del mosto mediante la cinética de fermentación.
- Evaluar el grado alcohólico del mosto final de la fermentación con la finalidad de garantizar una buena fermentación del mosto y obtener una sidra de mayores cualidades organolépticas.
- Evaluar la calidad sensorial de la sidra natural de manzana mediante pruebas organolépticas: aroma, aspecto (limpidez) y color.
- Realizar el análisis estadístico de los factores de calidad organoléptica de la sidra para la determinación de la significancia de los mismos dentro del proceso de elaboración de sidra natural.
- Determinar los balances de materia y energía para poder identificar las corrientes de entrada y salida.

1.4 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

Debido a que el departamento produce una variedad de manzanas, y no se lo da un valor agregado a su producción primaria, por lo que este trabajo de investigación se presenta como una alternativa de industrialización para darle un uso adecuado a esta materia prima.

En el departamento de Tarija, no existe alguna industria que elabore un producto fermentado de manzana; y al no existir una producción local de sidra, se incurre en la importación del país de Argentina. De esta bebida que tiene un alta demanda por los consumidores en cada acontecimiento social y en fiestas de fin de año.

1.5 FORMULACIÓN DEL PROBLEMA

¿Cuál es el proceso fermentativo de la manzana a nivel experimental para elaborar sidra natural de calidad?

1.6 FORMULACIÓN DE HIPÓTESIS

La temperatura y la concentración de sacarosa en el jugo inciden en el tiempo de concentración alcohólica en la etapa de fermentación de la sidra natural de manzana.

2.1 ORIGEN DE LA MANZANA

La manzana (*pyrus malus*), es el fruto del manzano de pulpa carnosa con sabor acidulado o algo azucarado. El fruto varía de acuerdo a la variedad, puede presentar características organolépticas diferentes, su pulpa puede ser firme o delicada y bastante lábil (Charley, 1997).

Se desconoce el origen exacto del manzano. Aunque se cree que se originó en el suroeste de Asia, pertenece a la familia de las rosáceas, donde una mezcla de especies nativas *Malus* pudo dar un fruto de tamaño y calidad atractivos para el hombre. Los primeros pasos en la proliferación de este frutal pudieron iniciarse en el este de Europa con la tecnología utilizada por los griegos y romanos (Ramírez, 1993).

En América del Sur fueron los inmigrantes italianos los que han introducido el cultivo de manzanos en la República Argentina y en el Brasil en 1958. En Coimbatore fue introducido en enero del año 1982 como yemas de injertos y fue estabilizado en su adaptación mediante los injertos (PRODIZAVAT, 1995).

Los mayores productores de manzana son: Estados Unidos, China, Turquía, Francia, Italia, e Irán, los productores de Latinoamérica más importantes son Chile y Argentina, ambos con más de un millón de toneladas cada uno, producidos en el valle central (Chile) y alto valle de Río Negro (Argentina), zonas donde el clima y las características del suelo favorecen el cultivo (Francis, 1997).

2.2 TAXONOMÍA DE LA PLANTA DE MANZANA

Clasificación taxonómica de la planta de manzana se describe a continuación.

2.2.1 DESCRIPCIÓN DE LA PLANTA DE MANZANA

En la figura 2.1 el árbol de manzano alcanza como máximo 10 m. de altura y tiene una copa en forma de globo. El tronco es derecho, alcanzando normalmente de 2 a 2,5 m. de altura, la corteza es lisa, de color ceniciento verdoso sobre los ramos y escamosa y gris parda sobre las partes viejas del árbol. Tiene una vida aproximada de unos 60-80 años. Las ramas se insertan en ángulo abierto sobre el tallo, de color verde oscuro, a veces tendiendo a negrozco o violáceo y los brotes jóvenes terminan en una espina (Ramírez, 1993).

En cuanto a la variedad Anna fue obtenida por cruzamiento mediante injertos entre la variedad Golden Delicious y Dassa Red. Planta semi-enana, pero de vigorosas ramas abiertas, las hojas de tamaño mediano y dentadas (PRODIZAVAT, 1995).

La brotación y floración se produce desde fines de septiembre hasta la segunda semana de octubre, dependiendo de las temperaturas de la zona de cultivo “zonas calientes brotan antes que en zonas frías” (PRODIZAVAT, 1995).

Cosecha: Es una variedad de maduración intermedia fluctuando entre mediados de enero y febrero. En zonas con temperaturas bajas o regulares, la cosecha puede ocurrir hasta mediados de marzo (PRODIZAVAT, 1995).

Figura 2.1
Manzano variedad anna



Fuente: PRODIZAVAT, 1995

2.2.2 RAIZ

La raíz del manzano es típica, con ramificaciones extendidas, en conjunto, formando la cabellera, posee cofia y pelos absorbentes, alcanzan una longitud vertical de 1,50 a 2,00 m y una longitud horizontal de 3,00 a 6,00 m (Ramírez, 1993).

2.2.3 TALLO

El tallo es un órgano que se desarrolla a partir de un embrión de la semilla; al principio es herbáceo y efectúa cierta acción de fotosintética, función que posteriormente pierde al hacerse leñoso y constituirse en el tronco (Ramírez, 1993).

2.2.4 HOJAS

Las hojas del manzano terminan en una punta corta, aserrada y con dientes obtusos, son de un color verde oscuro por el haz, velloso y blanquecino por el envés de doble longitud que el pecíolo, con 4-8 nervios alternados (Ramírez, 1993).

2.2.5 FLORES

Las flores son grandes, se abren unos días antes que las hojas. Son hermafroditas de color rosa pálido y a veces blanco dependiendo de la variedad y en número de 3 a 6 unidas. La floración tiene lugar a finales de invierno e inicios de primavera, generalmente entre julio y agosto, aunque son especialmente sensibles a las heladas tardías de invierno (Ramírez, 1993).

2.2.6 FRUTO Y SEMILLA

El fruto, la manzana, crece en pomo; por el interior tiene una pulpa carnosa y muy jugosa, comestible, posee numerosa semillas de color pardo brillante. Según la variedad pueden variar de color desde el rojo brillante hasta el verde y la pulpa puede variar de blanca a rosa (Ramírez, 1993).

En la figura 2.2, en cuanto a la manzana variedad Anna tiene un tamaño mediano, de forma cónica cilíndrica la epidermis de color rojo; de pulpa crema consistente, acidez media, crocante y con buen contenido de azúcar. Su producción es estable de 20 a 30 Kg por árbol (PRODIZAVAT, 1995).

Figura 2.2
Fruto manzana variedad Anna

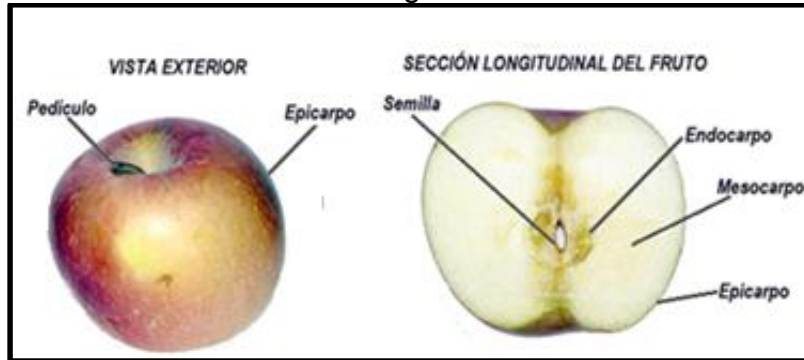


Fuente: PRODIZAVAT, 1995

2.3 ESTRUCTURA MORFOLÓGICA DE LA MANZANA

En la figura 2.3, se distinguen cinco partes diferenciadas de la manzana:

Figura 2.3
Estructura morfológica de la manzana



Fuente: Ramírez, 1997

2.3.1 EPICARPIO

También se le conoce como cáscara. Se trata de la capa superior externa de la manzana. Esta capa está compuesta por tejido vegetal, lo cual cubre y protege toda la superficie de la manzana. Esta piel se recubre con una sustancia de nombre pruina (cera), la cual le ofrece el brillo que caracteriza a la manzana. La pruina tiene adherida las levaduras y bacterias que vienen del manzanal, estas son las que hacen posible el proceso de fermentación de la fruta junto a las cepas, estas últimas son las que transforman el mosto de la manzana en sidra. Esta capa de la piel posee diversos componentes herbáceos que es lo que provee el sabor astringente a la manzana, como son los aldehídos haxanales (Ramírez, 1993).

2.3.2 MESOCARPIO

También se le conoce como carne. La cual corresponde a la parte más carnosa de esta fruta. Se trata de la parte de la manzana que es apta para el consumo humano, compuesta por celdas conformadas por sustancias pépticas, proteicas y por sustancias hemicelulosas. Estas células poseen el mosto de la fruta, a la vez contiene todos los azúcares, ácidos, sustancias nitrogenadas, aminoácidos, fibra, almidón, calcio, pectina, fósforo, magnesio, hierro, zinc, etc. (Ramírez, 1993).

2.3.3 ENDOCARPIO

Es la parte central de la manzana que posee las pepitas. Esta parte posee pectinas que funciona como fibra soluble. El pericarpio recubre las semillas, este no es comestible, pero suele utilizarse para ciertos remedios caseros (Ramírez, 1993).

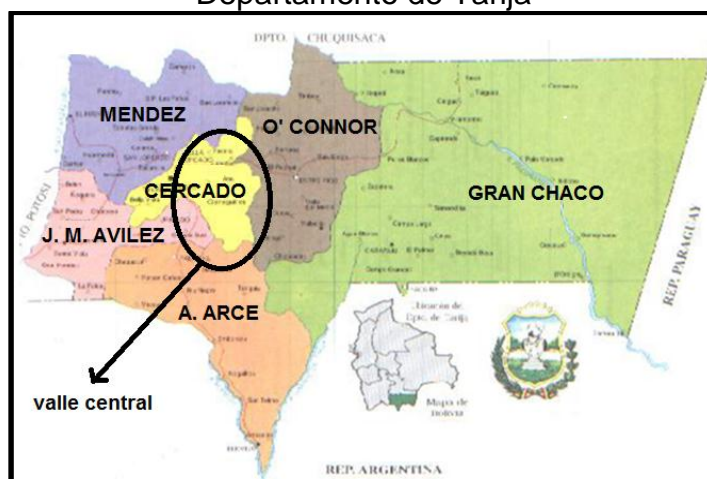
2.3.4 SEMILLAS

Las semillas de la manzana, se encuentran recubiertas por el pericarpio, capa interna y endurecida de la manzana. Estas semillas no deben consumirse, ya que son de carácter tóxico, resultando ser fatal su consumo, ya que los ácidos cuando se combinan con los jugos gástricos llegan a generar cianuro (Ramírez, 1993).

2.4 CULTIVO A NIVEL REGIONAL

El departamento de Tarija está situado al extremo sur de la república de Bolivia, políticamente y administrativamente se divide en seis provincias (figura 2.4): Méndez, Cercado, Avilés, Arce, O' Connor y Gran Chaco (PRODIZAVAT, 2004).

Figura 2.4
Departamento de Tarija



Fuente: PRODIZAVAT, 1995

El sector agropecuario en el departamento de Tarija, es el más importante por su aporte en la formación del producto interno bruto (PIB) y por la mano de obra que absorbe por lo tanto, la base del desarrollo económico departamental radica en las actividades agrícolas. Es necesario indicar que entre los cultivos de mayor rentabilidad por hectárea están los frutales de pepita y carozo, de ahí la importancia para desarrollar estos cultivos (PRODIZAVAT, 2004).

En el periodo de existencia del programa frutícola se han realizado grandes esfuerzos para capacitar a grupos de agricultores en el manejo del cultivo de diferentes variedades de manzana (tabla 2.1), se han tenido resultados positivos particularmente en las comunidades (PRODIZAVAT, 1995).

Tabla 2.1
Variedad de manzanas producidas en diferentes comunidades

Comunidades	Especie	Variedades
Tucumillas, Tomatas grande	manzana	Royal Gala, Belgolden, Mutsu
Corana, Santa Bárbara	manzana	Royal Gala, Belgolden, Mutsu, Winter Banana, Anna, Dorsett Golden
Canasmoro, Calama	manzana	Royal Gala, Belgolden, Winter Banana
Trancas, Carachimayo	manzana	Gala, Royal Gala, Belgolden
Las Barrancas	manzana	Anna, Dorsett Golden Gala, Belgolden
Lajas, San Lorenzo	manzana	Anna, Dorsett Golden Gala, Belgolden
Sella Méndez, Chaupicancha Sella Quebradas	manzana	Royal Gala, Belgolden, Mutsu, Winter Banana, Anna, Dorsett Golden
La Victoria, Coimata, Erquis Norte y sud	manzana	Royal Gala, Belgolden, Mutsu, Winter Banana, Anna, Dorsett Golden
San Mateo, Monte Cercado, San Luis	manzana	Anna, Dorsett Golden

Fuente: PRODIZAVAT, 1995

2.5 EXIGENCIAS CLIMÁTICAS DE LA PLANTA DE MANZANA

Describimos a continuación las exigencias climáticas que presenta el cultivo de la manzana.

2.5.1 CLIMA

El manzano es de climas templados pero requieren un amplio grado de frío (Ramírez, 1993).

2.5.2 TEMPERATURA

El manzano no necesita tanta cantidad de calor para la maduración. Sufre menos con el exceso de frío que con el calor prefiere los climas húmedos a los secos. Las flores son sensibles a las heladas tardías de primavera, la utilización de riego anti-heladas u otros sistemas de protección son habitualmente en aquellas zonas con elevado riesgo. El manzano soporta temperaturas inferiores a los -10°C , sin que por ello se afecte su corteza, aunque al descender por debajo de los -15°C pueden perderse algunas yemas florales (Ramírez, 1993).

2.6 COMPOSICIÓN FÍSICOQUÍMICA DE LA MANZANA VARIEDAD ANNA

En la tabla 2.2, se muestra la composición físicoquímica de la manzana variedad Anna, por cada 100 g de manzana.

Tabla 2.2
Composición fisicoquímica de la manzana variedad Anna

Componentes	Unidades	Valor
Agua	%	82,62
Energía	Kcal	46
Carbohidratos	g	12
Proteínas	g	0,30
Lípidos	g	0,35
Sodio	mg	5,70
Potasio	mg	95
Calcio	mg	6
Fosforo	mg	8,90
Hierro	mg	40
Retinol	mg	5
Ácido ascórbico	mg	10
Riboflavina	mg	0,02
Tiamina	µg	0,04
Ácido fólico	µg	5
Fibra vegetal	g	2

Fuente: Tabla de composición de alimentos bolivianos, 2004

2.7 COMPONENTES Y PROPIEDADES NUTRITIVAS DE LA MANZANA

Desde el punto de vista nutritivo la manzana es una de las frutas más completas y enriquecedoras en la dieta. Un 85% de su composición es agua, por lo que resulta muy refrescante e hidratante. Los azúcares, la mayor parte fructosa y en menor proporción, glucosa y sacarosa de rápida asimilación en el organismo. Es fuente discreta de vitamina E o tocoferol y aporta una escasa cantidad de vitamina C. Es rica en fibra, mejora el tránsito intestinal y entre su contenido mineral sobresale el potasio. La vitamina E posee acción antioxidante, interviene en la estabilidad de las células sanguíneas como los glóbulos rojos y en la fertilidad. El potasio es un mineral necesario para la transmisión y generación del impulso nervioso y para la actividad muscular normal, interviene en el equilibrio de agua dentro y fuera de la célula. Las extraordinarias propiedades dietéticas que se le atribuyen a esta fruta se deben en gran medida a los elementos fitoquímicos que contiene, entre ellos flavonoides y quercitina, con propiedades antioxidantes (Charley, 1997).

2.8 SIDRA

La sidra. (Del lat. *sicĕra*, y este del hebr. *šĕkāt*, bebida embriagadora).

Bebida alcohólica, de color ambarino, que se obtiene por la fermentación del jugo de las manzanas. La sidra es una bebida alcohólica, generalmente de baja graduación 5% y 7% °GL (Asturias, 1994).

2.9 TIPOS DE SIDRA

Los tipos de sidra que se producen se detallan a continuación.

2.9.1 SIDRA DULCE

Es la que sale directamente de exprimir la manzana. Se realiza inmediatamente después de recolectarla. En este momento la sidra por no tener alcohol puede ser incluso consumida por los niños (Asturias, 1994).

2.9.2 SIDRA DE HIELO:

Es artesanal y hecha en pequeñas cantidades. Se obtiene de la fermentación del zumo de manzana congelada naturalmente, por lo que tiene una mayor concentración de azúcares y más grados en el resultado final (Asturias, 1994).

2.9.3 SIDRA ACHAMPANADA O GASIFICADA:

Las sidras achampanadas o espumosas se fermentan en la botella a partir de una bebida base elaborada según el procedimiento tradicional. Su aspecto visual es transparente, cristalino y brillante. En la fase olfativa denota un olor fino, agradable Característico a la fruta. (Asturias, 1994).

2.9.4 SIDRA DE NUEVA EXPRESIÓN

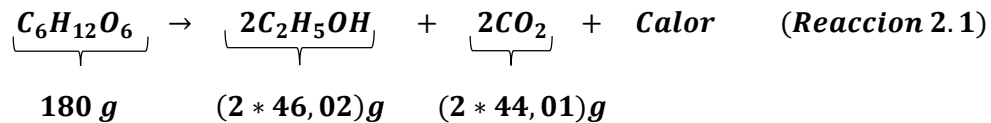
Es un producto de reciente creación, tiene una graduación de alcohol de (6-8) °GL. Su elaboración está sometida a un proceso de filtrado que elimina impurezas y sedimentos, sidra ideal para acompañar con aperitivos, pescados y carnes. De color amarillo dorado (Asturias, 1994).

2.10 FERMENTACIÓN ALCOHÓLICA

Para la elaboración de sidra natural de manzana, el líquido que es transformado a alcohol etílico es el jugo de la manzana utilizada, ya que en él se encuentran los azúcares que son convertidos a alcohol (Rivera, 2011).

La fructosa, también denominada azúcar de las frutas. Monosacárido cuya fórmula química es $C_6H_{12}O_6$, es el azúcar principal que es convertida en alcohol por la levadura. Convierten cada molécula de glucosa en dos moléculas de alcohol etílico CH_3CH_2OH y dos moléculas de anhídrido carbónico CO_2 (Rivera, 2011).

En la reacción 2.1, se muestra la reacción que presenta la transformación del azúcar en alcohol:



La fermentación alcohólica las levaduras, convierten el azúcar en etanol anaeróbicamente (Rivera, 2011).

Durante los primeros días de la fermentación alcohólica tiene lugar la fermentación tumultuosa en la que la actividad de las levaduras es máxima, en esta etapa existe el descenso de densidad más brusco y un máximo desprendimiento de CO_2 . Después el nivel de nutrientes del medio desciende, queda poco azúcar por consumir y el alcohol empieza a ser tóxico para las levaduras, en este momento la actividad fermentativa se hace más lento y se disminuye la producción de CO_2 (Rivera, 2011).

2.11 CINÉTICA DE LA FERMENTACIÓN

En la ecuación 2.2, de reacción esta fase corresponde a la de mayor reproducción celular y su duración depende de la concentración inicial del sustrato limitante (en la mayoría de los casos, glucosa), de la temperatura y de características genéticas del organismo que determinan por ejemplo su habilidad para adaptarse a los nutrientes disponibles (Rivera, 2011).

Una vez el sustrato empieza a escasear, el microorganismo empieza a disminuir su velocidad de crecimiento y se propaga menos en el medio, hasta alcanzar la fase estacionaria en la que el número de células del microorganismo no incrementa ni disminuye, pues la tasa de reproducción se equilibra con la tasa de muerte, por tanto la velocidad de crecimiento de la población es cero (Rivera, 2011).

$$Y = \alpha e^{(-\beta e^{-kt})} \quad \text{Ecuacion 2.1}$$

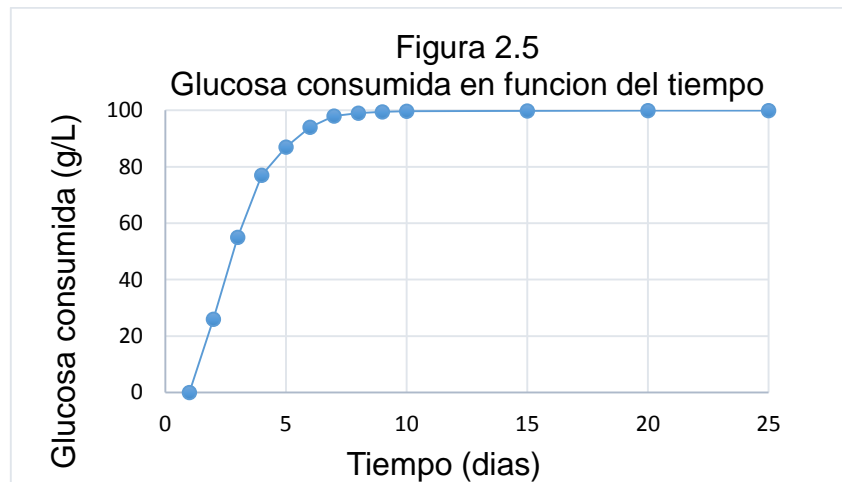
Siendo los valores constantes:

$\alpha = 97,7$
 $\beta = -6,18$
 $k = -0,81$
 $t = \text{dias}$

Reemplazando

$$Y = 97,7e^{(-6,18e^{-0,81t})}$$

En la figura 2.5, se representa el descenso de glucosa y fructosa frente al tiempo. Se observa el consumo de fructosa se inicia posteriormente al de glucosa, siendo este un fenómeno general en el metabolismo de las levaduras (Quinteros, 1993).



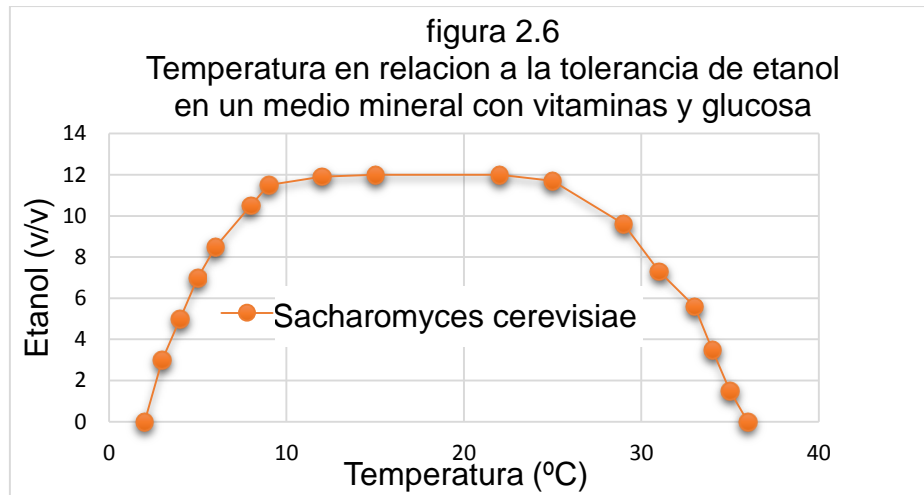
Fuente: Franco, 1998

2.12 FACTORES A CONTROLAR EN LA ELABORACIÓN DE FERMENTADO DE SIDRA NATURAL DE MANZANA

Los factores a controlar durante la fermentación del jugo de la manzana se detallan a continuación:

2.12.1 TEMPERATURA

En la figura 2.6, se representan la temperatura es un factor preponderante para la vida y desarrollo de las levaduras puesto que para desarrollarse en buenas condiciones, estas requieren una temperatura en sidras inferior a los 20°C. A medida que la temperatura aumenta la actividad fermentativa de las levaduras se incrementa. Si la temperatura es superior a los 20°C las bacterias acéticas y lácticas se hallan en su medio más apropiado y proliferan por encima de las levaduras selectas. Por el contrario, temperaturas muy bajas inhiben su actividad de fermentación (Castillo, 2009).



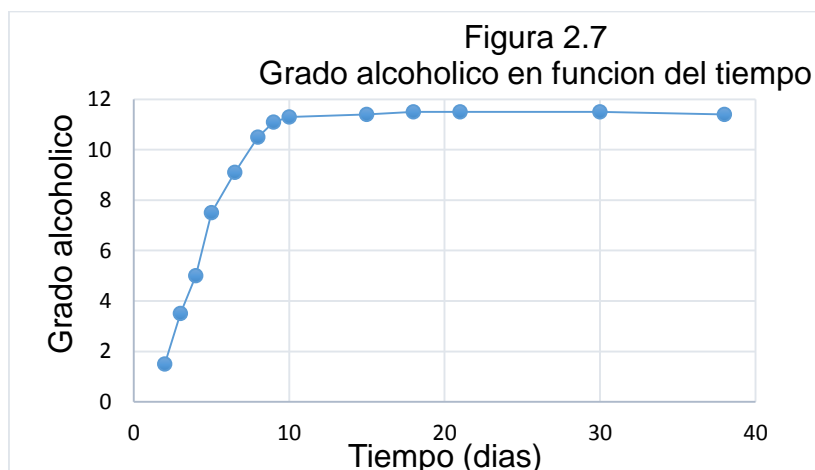
Fuente: Franco, 1998

2.12.2 OXÍGENO (AIRE)

En exceso provoca oxidaciones y pérdida de calidad. Una cierta cantidad de oxígeno que se aplica mediante los remontajes en el segundo día de la fermentación alcohólica puede mejorar las condiciones de trabajo de las levaduras que necesitan oxígeno para multiplicarse, en ausencia completa de aire su reproducción se detiene (Castillo, 2009).

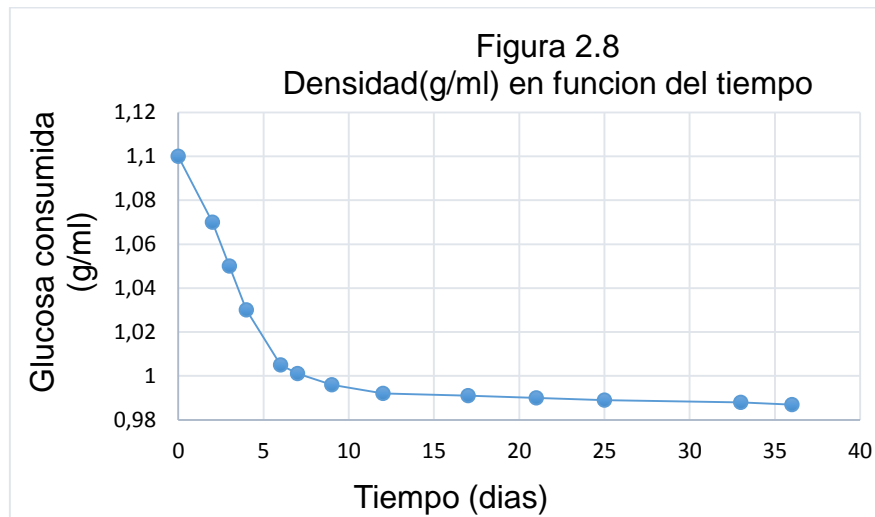
2.12.3 GRADO ALCOHÓLICO

En la figura 2.7, se representan el grado alcohólico frente al tiempo, el alcohol es producto de desecho de la levadura, puede llegar a ser tóxico cuando se tiene valores altos. La fermentación completa de los mostos conteniendo más de los 13° y menos de 18° de alcohol en potencia, será siempre muy larga, pues por encima de 13° el alcohol empieza a dejar sentir su acción tóxica sobre la levadura (Castillo, 2009).



Fuente: García, 1993

En la figura 2.8, se constituyen la densidad frente al tiempo como variables alternativas para el seguimiento de la fermentación.



Fuente: García, 1993

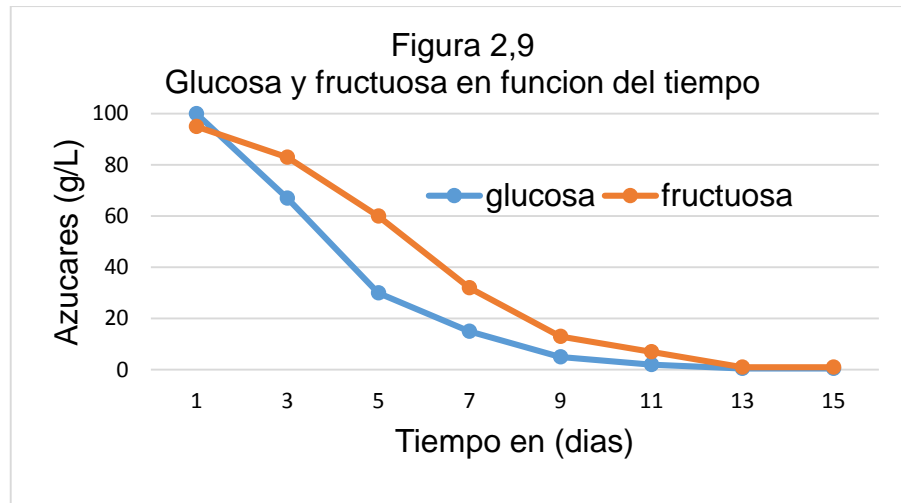
2.12.4 ACIDEZ DEL MEDIO

A menor pH el equilibrio del sulfuroso en los vinos se desplaza hacia una mayor proporción de anhídrido sulfuroso libre. A pH alto se favorece la inestabilidad microbiana. Las levaduras no necesitan de la acidez para multiplicarse, incluso hacen fermentar mejor los azúcares en un medio neutro o poco ácido. Las bacterias trabajan mejor con un pH (4,00) que un pH (3,00), en este sentido se pueden practicar correcciones de acidez a través de acidificación que restringe el desarrollo de bacterias alterantes (Castillo, 2009).

2.12.5 NUTRIENTES

En la figura 2.9, se representa el descenso de glucosa y fructosa frente al tiempo. Para que las levaduras se reproduzcan es necesario que consuman ciertos nutrientes del mosto donde se desarrollan. Sus necesidades de azúcar, de minerales, son fácilmente satisfechas, pero no así de sustancias nitrogenadas fácilmente asimilables para lo cual se puede agregar al mosto nitrógeno en forma de sales de amonio (Castillo, 2009).

Se observa el consumo de fructosa se inicia posteriormente al de glucosa, siendo este un fenómeno general en el metabolismo de las levaduras (Quinteros, 1993).



Fuente: Quinteros, 1993

2.13 DESCRIPCIÓN DE LOS INSUMOS PARA LA ELABORACIÓN DE SIDRA DE MANZANA

La descripción de los insumos utilizados para la elaboración de sidra, se describen a continuación:

2.13.1 LEVADURA (*SACHAROMYCES CEREVISIAE*)

Las levaduras son hongos unicelulares que utilizan los azúcares del mosto de manzana como nutriente para realizar sus funciones vitales. Es la responsable de la transformación de los azúcares (fructosa, glucosa y sacarosa, principalmente) en etanol, pero aún necesita de ciertas condiciones ambientales (Messina, 2006).

- **Temperatura:** puede resistir temperaturas muy bajas. Sólo permanece estable, dormida. El calor excesivo, sin embargo, las mata. A 18°C de temperatura esta levadura trabaja óptimamente (Messina, 2006).
- **Oxígeno:** Las levaduras necesitan oxígeno para poder vivir y multiplicarse pero puede trabajar en medios anaeróbicos. Una aireación al comienzo de la fermentación asegura una buena cantidad de levaduras (Messina, 2006).
- **Alcohol:** *Saccharomyces cerevisiae* puede trabajar bien en medios alcohólicos como lo son los mostos transformándose en sidra, aunque no resiste extremos. Más allá de los 14°GL, su trabajo se hace muy lento (Messina, 2006).

2.13.2 METABISULFITO DE POTASIO (E - 224)

Es una sal de origen inorgánico que contiene azufre y es capaz al disociarse en medio ácido de producir dióxido de azufre (Messina, 2006).

Una correcta utilización del SO₂ permite obtener sidras menos oxidados, dotados de un mejor color y aroma, y una menor acidez volátil, debido sus efectos como:

- Antioxidante: posee propiedades reductoras, acaparando oxígeno e impidiendo la aparición de notas oxidativas.
- Antimicrobiano: Ejerce una actividad inhibidora sobre levaduras, bacterias lácticas y bacterias acéticas.

En algunos casos se produce una mejora gustativa ya; que reacciona con el acetaldehído eliminando la presencia del aroma característico de éste. En dosis muy elevadas puede aparecer un olor defectuoso del propio gas, de ácido sulfhídrico o derivados (Messina, 2006).

2.13.3 ÁCIDO ASCÓRBICO (E - 300)

El ácido ascórbico o vitamina C, componente natural del mosto y de muchas frutas, es un poderoso antioxidante. Desaparece durante la fermentación, ya que es consumido por levaduras, bacterias y en aireaciones sucesivas; por tanto la sidra no contiene esta vitamina (Essentiels, 2006).

Se utiliza sobre el mosto de manzana para proteger los aromas sensibles a la Oxidación, o antes del embotellado. El ácido ascórbico preserva el aroma y frescor de las sidras. Permite retrasar la quiebra oxidásica (Essentiels, 2006).

- Es utilizado como antioxidante sobre el mosto de la manzana, el ácido ascórbico preserva los tioles volátiles.
- En la sidra, el ácido ascórbico fija el oxígeno disuelto, evitando la oxidación de sus componentes. Evita el pardeamiento de la sidra, y el envejecimiento precoz.

El pH óptimo para el desarrollo de las bacterias está entre 4,2 y 4,5. Por lo tanto en la sidra de manzana es el que más se aproxime a 3,5. Las bacterias a pH más bajo consumen ácido málico y a pH más alto consumen azúcar (Essentiels, 2006).

2.13.4 BENTONITA

La bentonita sirve para clarificar sidras y vinos. Las sidras contienen proteínas susceptibles de precipitar con el calentamiento, o a largo plazo producen enturbiamientos y precipitaciones (Vínicas, 2002).

La capacidad de absorción de polifenoloxidasas y la eliminación de la fracción coloidal de la materia colorante en las sidras (Vínicas, 2002).

Dichas proteínas poseen una carga positiva al pH de la sidra. La bentonita de carga electronegativa, las fija por un fenómeno de atracción electrostática, que permite eliminarlas. Formando una suspensión coloidal negativa, que neutraliza la carga positiva de las proteínas, floculando ambos coloides, seguida de sedimentación (Vínicas, 2002).

- No necesita otro floculante, por lo que se emplea en los vinos blancos y sidras. Se recomienda el empleo en combinación con otros clarificantes (Vínicas, 2002).

2.14 NORMA PARA LA ELABORACIÓN DE SIDRA DE MANZANA

En la tabla 2.3, se encuentra detalladas las características que deben tener la sidra de manzana sin gas según el código alimentario Argentino, se usó como referencia el mismo ya que no existen normativas para sidras en Bolivia ver (Anexo E.2)

“Sidra Base es la bebida que resulta exclusivamente de la fermentación alcohólica normal del jugo recién obtenido de manzanas sanas y limpias, de uso industrial, con o sin la adición de hasta un 10% de jugo de peras obtenido en idénticas condiciones que el jugo de manzana y fermentado en forma conjunta o separada. Su graduación alcohólica mínima será de 6,5% en Vol. $\pm 0,3$ a 20°C (CODEX, 2002).

Tabla 2.3
Características de la sidra de manzana sin gas según CODEX

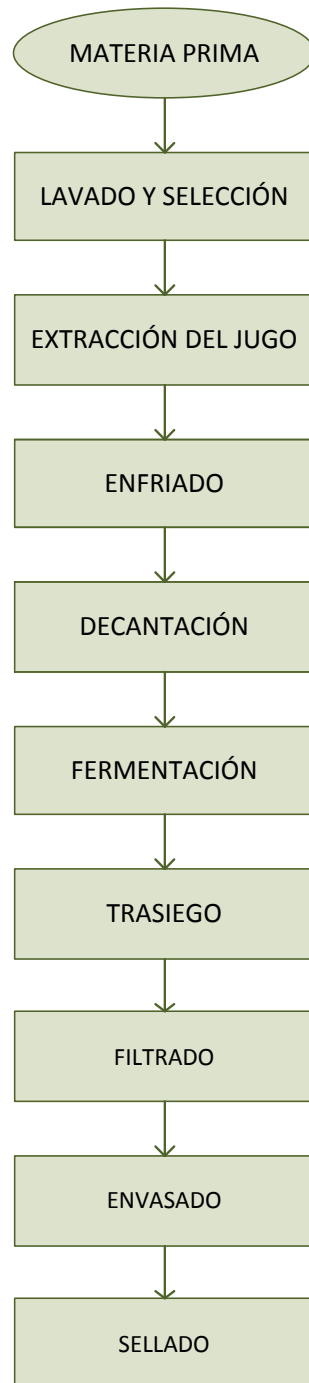
Componentes	Unidades
alcohol	< 6,5% en Vol. $\pm 0,3$ a 20°C.
anhídrido sulfuroso	200 mg/l
Acidez total (AT)	150 a 300 mg/L

Fuente: CODEX Código Alimentario Argentino, 2002

2.15 DIAGRAMA BASE PARA DE ELABORACIÓN DE SIDRA NATURAL DE MANZANA

En la figura 2.10 se muestra el diagrama base para la elaboración de sidra de manzana.

Figura 2.10
Proceso para la elaboración de sidra de manzana



Fuente: Rivera, 2011

2.16 DESCRIPCIÓN DEL PROCESO BASE DE PRODUCCIÓN DE SIDRA NATURAL DE MANZANA

A continuación se describe el proceso base para la elaboración de sidra de manzana.

2.16.1 MATERIA PRIMA

Se selecciona las manzanas en buen estado de maduras de las manzanas demasiado maduras ya que estas pueden afectar negativamente a la producción de una sidra natural segura y organolépticamente adecuada (Rivera, 2011).

2.16.2 LAVADO SELECCIÓN

El lavado se efectúa con agua potable con el objetivo de eliminar restos de tierra o suciedad que pueda tener la fruta. Y se selecciona en base a que no haya materia prima dañada (Rivera, 2011).

2.16.3 EXTRACCIÓN

Se hace pasando la fruta por un despulpador o bien licuándola para facilitar la extracción. En la extracción de la pulpa se pueden agregar pequeñas cantidades de agua para facilitar su molido (Rivera, 2011).

2.16.4 ENFRIADO

Se suele realizar un proceso de enfriado, donde se reduce la temperatura del mosto (hasta 5°C, aproximadamente) con el objetivo de clarificar el mosto. Este proceso permite que las partículas sólidas suspendidas en el líquido se agrupen y por su propio peso, sedimenten en el fondo del depósito. Esta etapa suele durar entre 12 y 24 horas (Rivera, 2011).

2.16.5 FERMENTACIÓN

Una vez que el mosto se encuentra en el recipiente, en primer lugar, sufrirá una fermentación alcohólica, donde las levaduras convierten el azúcar en alcohol en condiciones anaerobias (sin oxígeno). La sidra alcanza un grado alcohólico cercano al 6% a 6,5%. La fermentación alcohólica tiene una duración aproximada de 2 semanas. En el momento que la fermentación alcohólica ha finalizado, suele decirse que la sidra

está seca, ya que la cantidad de azúcares que tenía el mosto ha disminuido significativamente (Rivera, 2011).

La fermentación maloláctica es el proceso que sigue a la fermentación alcohólica, aunque existe un punto en el que los dos tipos de fermentación se ocultan. Dicha fermentación la llevan a cabo las bacterias lácteas, que son las que convierten al ácido málico que contiene la sidra en ácido láctico. La fermentación maloláctica provoca un descenso importante de la acidez de la sidra. La duración total de la fermentación suele ser variable (Rivera, 2011).

2.16.6 TRASIEGO

Son prácticas habituales en la elaboración de sidra natural. Los trasiegos persiguen el objetivo de minimizar la cantidad de borras que pueda contener la sidra. Consiste en trasladar la sidra que se encuentra en un depósito a otro depósito, sin trasladar las heces. Suele ser conveniente llevar a cabo el trasiego a baja temperatura, ya que de esta manera la pérdida de carbónico es menor (Rivera, 2011).

2.16.7 FILTRADO

El filtrado se hace con la ayuda de filtros o coladores, para eliminar residuos de levadura y pulpa residuales (Rivera, 2011).

2.16.8 ENVASADO

Por lo general, se hace en botellas de vidrio. Los envases deben esterilizarse sumergiéndolos en agua caliente (95 °C) durante 10 minutos (Rivera, 2011).

2.16.9 SELLADO

El sellado puede hacerse manual o mecánicamente. Es frecuente que el tapón de la botella sea de corcho (Rivera, 2011).

3.1 INTRODUCCIÓN

La parte experimental del proceso de elaboración de la sidra natural de manzana se realizó en el Laboratorio del Centro de Análisis, Investigación y Desarrollo “CEANID”; dependiente de la Facultad Ciencias y Tecnología de la Universidad autónoma “Juan Misael Saracho”.

3.2 DESCRIPCIÓN DE LOS EQUIPOS, MATERIALES, MATERIA PRIMA E INSUMOS

En el presente trabajo de investigación se utilizaron diferentes equipos como ser:

3.2.1 BALANZA ANALÍTICA DIGITAL

En la figura 3.1, se muestra una balanza analítica digital que se utilizó para realizar los controles de peso, materia prima, insumos y reactivos. La cual se encuentra en el CEANID y sus especificaciones técnicas se detallan a continuación:

Industria:	Switzerland
Precisión:	0,001
Marca:	METTLER TOLEDO
Capacidad máxima:	20000 g
Capacidad mínima:	0,0002 g
Precisión:	0,0001 g
Potencia:	5 w

Figura 3.1
Balanza analítica digital



Fuente: CEANID, 2017

3.2.2 REFRACTÓMETRO ABBE

En la figura 3.2, se muestra un refractómetro ABBE programable digital, con el cual se pudo medir la cantidad de sólidos solubles del jugo de manzana y en el proceso de fermentación de la sidra y sus especificaciones técnicas se detallan a continuación:

Industria:	Japón
Rango:	0 ~ 95 %
Marca:	OPTIC IVYMEN
Unidad de medida:	°Brix
Fuente:	220 V
Modelo:	WYA-S

Figura 3.2
Refractómetro ABBE



Fuente: CEANID, 2017

3.2.3 BOMBA DE VACÍO

En la figura 3.3, se muestra una bomba de vacío que fue imprescindible para filtrar, eliminar partículas suspendidas y coloidales de la sidra y sus especificaciones técnicas se detallan a continuación:

Industria:	Argentina
Potencia:	1,5 Hp
Marca:	CÓRDOBA
Modelo:	ARNR-245
Fuente:	220 V
Velocidad:	300 rpm

Figura 3.3
Bomba de vacío



Fuente: CEANID, 2017

3.2.4 EXTRACTORA DE JUGO

En la figura 3.4, se muestra una extractora de jugo, se utilizó para extraer el jugo de manzana para la elaboración de sidra y sus especificaciones técnicas se detallan a continuación:

Industria:	Taiwán
Potencia:	350 watt
Marca:	PHILIPS
Fuente:	220 v
Modelo:	VX-BG.256

Figura 3.4
Extractora de jugo



Fuente: Elaboración propia

3.2.5 pH-METRO

En la figura 3.5, se muestra un pH-metro de electrodo, que se utilizó este instrumento para controlar la acidez (pH) en las diferentes etapas del proceso y sus especificaciones técnicas se detallan a continuación:

Industria: Alemania
pH-metro: Electrodo
Marca: METTLER TOLEDO
Modelo: SEVEN EASY-23
Fuente: 220 v
Rango: +/- 0,5 pH

Figura 3.5
pH-metro



Fuente: CEANID, 2017

3.3 DESCRIPCIÓN DE LOS MATERIALES DE LABORATORIO

Los materiales de laboratorio utilizados en la parte experimental en la elaboración de sidra natural de manzana, se detallan en la tabla 3.1:

Tabla 3.1
Descripción del material de laboratorio

Materiales	Cantidad	Capacidad	Calidad
Recipiente (fuentes)	2	2,50 litros	Plástico
Areómetro	1	0 – 100 GL	Vidrio
Botellas y corchos	4	500 ml	Vidrio y tapones de corcho
Cuchillos	2	mediano	Acero inoxidable
Jarra graduada	1	1 litro	Plástico
Termómetro	1	0 - 100 °C	Vidrio
Vasos precipitados	3	100 mL	Vidrio

Fuente: Elaboración propia

3.4 DESCRIPCIÓN DE LA MATERIA PRIMA (MANZANA)

La materia prima fue manzana roja de la variedad Anna (figura 3.6), proveniente de la comunidad de La Victoria del departamento de Tarija, adquirida en el mercado local El Campesino.

Figura 3.6
Manzana variedad Anna



Fuente: Elaboración propia

3.4.1 REACTIVOS E INSUMOS

Los insumos utilizados en el proceso de elaboración de sidra natural de manzana variedad Anna, se muestran en la tabla 3.2.

Tabla 3.2.
Insumos y reactivo utilizados en la elaboración de sidra natural de manzana

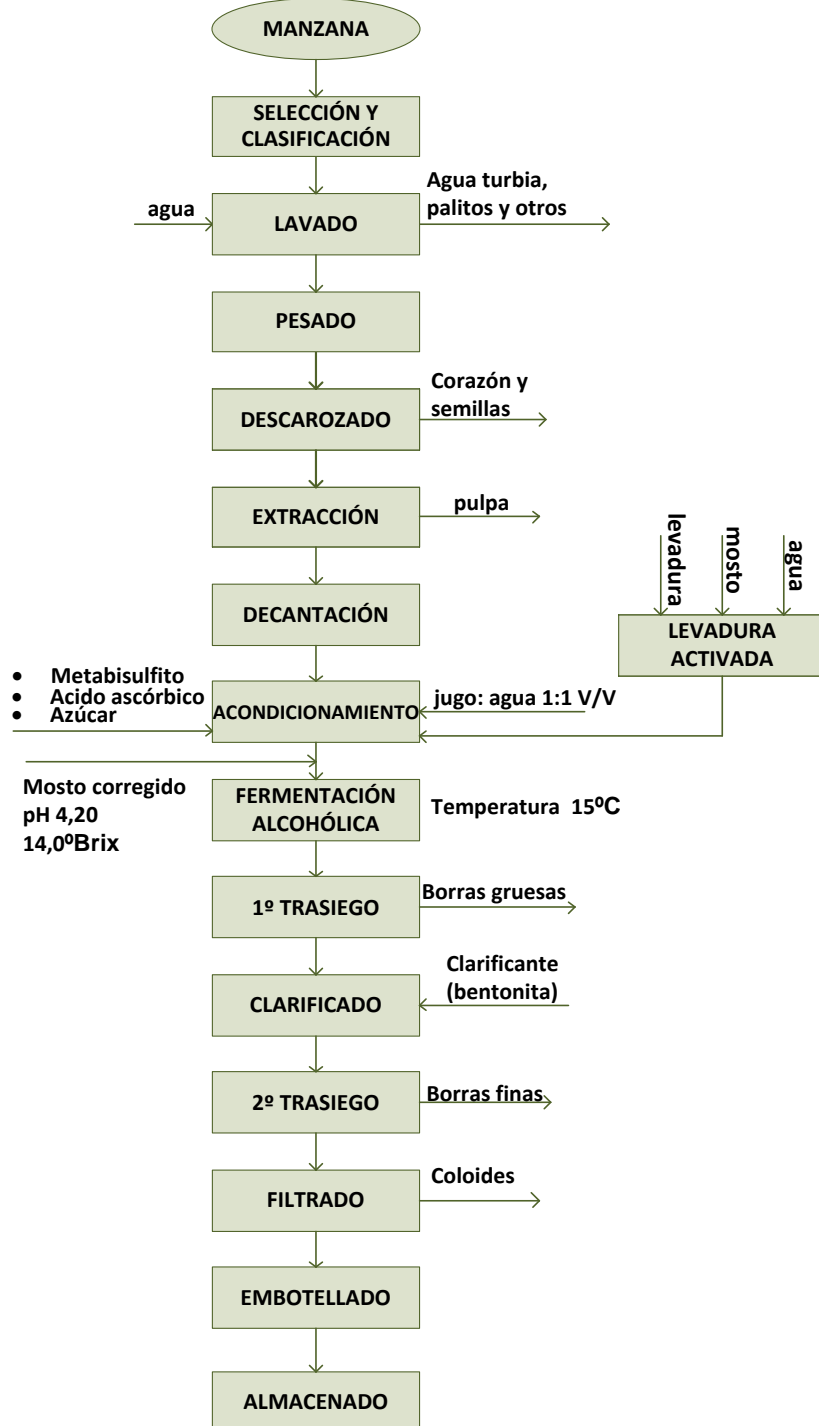
Reactivos	Detalle	Industria
Metabisulfito de potasio	Distribuido por telchi	Argentina
Ácido cítrico	Distribuido por telchi	Argentina
Levadura	Distribuido por telchi	Argentina
Bentonita	Distribuido por telchi	Argentina
Azúcar	Bermejo	Boliviana

Fuente: Elaboración propia

3.5 DESCRIPCIÓN DEL PROCESO DE ELABORACIÓN DE SIDRA NATURAL DE MANZANA VARIEDAD ANNA

En la figura 3.7, se detalla el proceso para elaborar sidra natural de manzana.

Figura 3.7
Proceso de elaboración de sidra natural de manzana variedad Anna



Fuente: Elaboración propia

3.5.1 SELECCIÓN Y CLASIFICACIÓN

Se seleccionan las manzanas en forma manual, descartando las que presenten alguna deficiencia (estado de putrefacción o lesionada, etc.).

3.5.2 LAVADO

Las manzanas fueron sometidas a un lavado con agua potable, en forma manual para eliminar impurezas y otros contaminantes como plaguicidas y fungicidas adheridos a la cáscara.

3.5.3 PESADO

Una vez escurridas, las manzanas fueron pesadas en una balanza digital con la finalidad de poder efectuar el balance de materia en el proceso y calcular el rendimiento.

3.5.4 DESCORAZONADO

Posteriormente se procedió a cortar las manzanas en forma transversal y luego el descorazado de manera manual con un cuchillo de acero inoxidable, que se introduce en el corazón de la manzana con el fin de extraer las semillas.

Una vez descorazado la manzana se colocó a un recipiente de plástico que posee solución de agua con 0,2 % de ácido ascórbico para minimizar los efectos oxidativos.

3.5.5 EXTRACCIÓN

Se realizó la extracción del jugo utilizando una extractora de jugo eléctrica de marca PHILIPS (figura 3.4). El jugo se recibió en un recipiente de plástico (color oscuro), a fin de minimizar el pardeamiento del jugo obtenido.

3.5.6 DECANTACIÓN

Posteriormente el jugo de manzana se vierte en un recipiente de plástico y tapado herméticamente se llevó a cadena de frío en una heladera, a temperatura de 3°C por un tiempo de 24 horas, donde hay una precipitación de proteínas, metales en estado coloidal, materias pécticas y otros componentes.

3.5.7 ACONDICIONAMIENTO

Una vez terminado el proceso de decantación, al jugo obtenido se mide la acidez (pH) y sólidos solubles (°Brix); y se trasvasa a un equipo fermentador (figura 3.8), donde se adiciona agua previamente tratada para realizar la corrección y ajustar la solución a un pH 4,20 para tal efecto se utilizó papel de tornasol (papel que tiene un reactivo, que al introducirlo en el mosto, cambia de color y puede ser comparado en una escala de colores, que nos dan junto a los paquetes de tiras), dilución que no debe sobre pasar la relación 1:1 (v/v) jugo: agua, con el fin de ayudar a disminuir la densidad de la solución, debido a la presencia de sustancias pécticas solubles.

Medir y ajustar el jugo diluido a 14 °Brix con un refractómetro ABBE (figura 3.2). A la cantidad de 4,07 litros de mosto corregido se adiciona 10 g/hl de metabisulfito de potasio que tiene una acción antimicrobiana sobre los microorganismos no deseados.

3.5.8 LEVADURA ACTIVADA

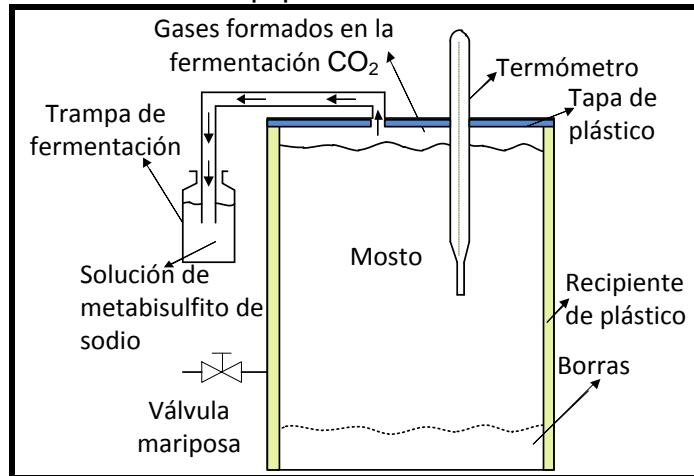
Para activar el medio de cultivo se vierte en un vaso precipitado de 300 ml, 200 cm³ de la dilución de mosto corregido, donde se le agrego levadura liofilizada del genero *saccharomyces cerevisiae* la dosis es de 20 g/hl.

Se incubó en una estufa a una temperatura de 23°C. Se espera un tiempo entre (5 a 10) minutos necesario hasta que se active el inoculo y se pueda establecer al observar la formación de espuma y burbujeo. Una vez activada la levadura se vierte al mosto corregido que se encuentra en el equipo de fermentación (figura 3.8) y se procede a la agitación para tal efecto se utilizó una paleta de madera; para generar un movimiento circulatorio en el interior del recipiente.

Equipo fermentador:

En la tapa del equipo de fermentación se instaló un termómetro de alcohol de capacidad entre (0 -100) °C, y una manguera de plástico para que arrastre todos los gases de CO₂ formados en la fermentación hacia una solución de metabisulfito de sodio 1 g/l, esto se realizó con el fin de evitar el ingreso de aire al medio de fermentación, posteriormente se debe tapar herméticamente el recipiente.

Figura 3.8
Equipo fermentador



Fuente: Elaboración propia

3.5.9 FERMENTACIÓN ALCOHÓLICA

El proceso de fermentación alcohólica se realizó durante 11 días, tiempo en el cual se realizaron controles diarios de sólidos solubles ($^{\circ}$ Brix) y acidez (pH), hasta que el azúcar restante termine de fermentar completamente y de 0° Baumé. Para tal efecto se utilizó un areómetro y una probeta de 100 ml.

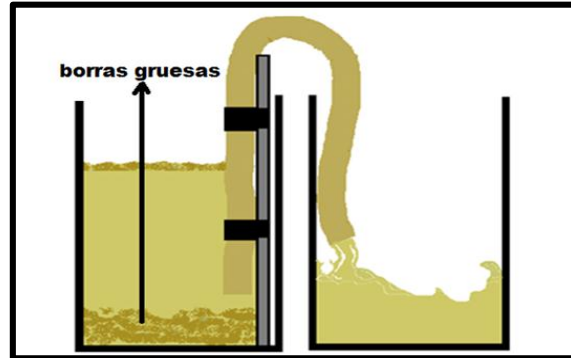
El equipo de fermentación es sumergido en baño María termostatzado para lograr que la temperatura durante la fermentación se mantenga constante de 14°C según se requería en la muestra conforme al diseño experimental realizado.

3.5.10 PRIMER TRASIEGO

La sidra se trasvaso a otro recipiente con tapa ambos de plástico sin los residuos de levaduras muertas y materia orgánica precipitada; que si no es separada rápidamente se la sidra, comienza a conferir compuestos que le otorgan características desagradables a la sidra joven.

El vino se extrae por la parte superior del equipo fermentador utilizando una manguera de plástico, evitando succionar partículas sólidas, que queda finalmente depositado en el fondo del recipiente (figura 3.9). Las borras gruesas se filtran utilizando una bomba de vacío con papel filtro de mayor número de porosidad y se conserva la sidra filtrado en un recipiente de plástico separado.

Figura 3.9
1º Trasiego



Fuente: Elaboración propia

3.5.11 CLARIFICADO

Después del primer trasiego, entra a un periodo de reposo y clarificación espontánea que tiene por objeto principal bajar la turbidez de la sidra, para el presente trabajo se utilizó bentonita a razón de 80 g/hl. Para tal efecto se hidrata en agua al 10% p/v, realizando una buena mezcla con el agua y evitando que no se formen grumos.

Luego se procedió a dosificar y agitar suavemente con una paleta de madera, de manera que adquiriera un movimiento circulatorio y que todas las partículas suspendidas en la sidra entren en contacto con la bentonita, luego se llevó a cadena de frío en heladera a una temperatura de 3°C, se dejó reposar por un tiempo de 6 días.

3.5.12 SEGUNDO TRASIEGO

Es un proceso similar al primer trasiego, se realiza extrayendo la sidra por la parte superior del envase a otro recipiente de plástico, cuidando de no arrastrar las borras finas precipitadas, compuestas por los sólidos remanentes del primer trasiego y el clarificante (Figura 3.9).

Las borras finas y la bentonita resultantes de la clarificación, se desechan. Porque si no es separada rápidamente de la sidra, comienza a cederle compuestos que le otorga características desagradables, con la consecuente disminución de su calidad

3.5.13 FILTRADO

El filtrado se realizó con el fin de eliminar coloidales disueltos en la sidra, para esta operación se utilizó una bomba de vacío y filtros de celulosa de numeración 0,5 micras, los coloides retenidos por el medio filtrante se desechan.

En el trabajo de investigación “elaboración de sidra natural de manzana. Antes de la filtración se realizó el agregado del siguiente insumo enológico o conservante: metabisulfito de potasio 40 ppm/l de sidra, este insumo tiene varias funciones es antiséptico, antioxidante y conservante (Messina, 2004). Que garantiza la inocuidad de la sidra y esta no sufra alteraciones microbiológicas. Debido a la presencia de microorganismos, los cuales se debe evitar que se desarrollen dado que producirían efectos perjudiciales en su conservación.

3.5.14 EMBOTELLADO

Una vez terminado la filtración el embotellado se realizó de forma manual fraccionando la sidra en envases vidrio de 500 ml de volumen esterilizado y seco. Para el taponado de los envases se usó tapones de corcho.

3.5.15 ALMACENADO

Finalizado el embotellado se puso la botella en posición horizontal y conservada en un lugar fresco y seco.

3.6 METODOLOGÍA PARA LA OBTENCIÓN DE RESULTADOS

Los análisis fisicoquímicos se llevaron a cabo en el Centro de Análisis Investigación y Desarrollo CEANID perteneciente a la “U.A.J.M.S.” Para tal efecto se determinaron las características fisicoquímicas de la materia prima (tabla 3.3).

3.6.1 ANÁLISIS FÍSICOQUÍMICO DE LA MATERIA PRIMA

En la tabla 3.3, se muestra los parámetros y métodos utilizados en la determinación de las propiedades fisicoquímicas de la materia prima, manzana variedad Anna.

Tabla 3.3
Propiedades fisicoquímicas de la materia prima, manzana variedad Anna

Análisis	Norma	Cálculo
Humedad	NB 028788	Gravimétrico
Azúcares totales	AOAC 923.09	Volumétrico Fehiling
Acidez	NB 229:78	Volumétrico
pH	NB 518:85	Electrométrico
Ácido ascórbico	NB 229:78	Volumétrico tillman
Solidos solubles (°Brix)	-----	Refractómetro

Fuente: CEANID, 2017

3.6.2 ANÁLISIS FÍSICO QUÍMICO DEL PRODUCTO FINAL

En la tabla 3.4, se muestra los parámetros y métodos utilizados en la determinación de las propiedades fisicoquímicas del producto terminado.

Tabla 3.4
Propiedades fisicoquímicas del producto terminado

Análisis	Norma	Cálculo
Acidez total (como ácido málico)	NB 322004:04	Volumétrico
Grado alcohólico (20°C)	NB 322003:04	Densímetro
Anhídrido sulfuroso total	NB 322003:04	Volumétrico

Fuente: CEANID, 2017

3.7 ANÁLISIS SENSORIAL

El análisis sensorial de alimentos es un método experimental que permite medir, analizar e interpretar las propiedades sensoriales que tiene un alimento, mediante el uso de jueces o personas, que perciben y califican las sensaciones producidas en los alimentos a través de los sentidos de la vista, olfato, gusto, tacto y oído (Ramírez, 2012).

3.7.1 EVALUACION SENSORIAL PARA ELEGIR LA MUESTRA FINAL

Para determinar la muestra final, se elaboraron cuatro muestras, con distintas cantidades de insumo y a diferentes temperaturas, posteriormente estas muestras se presentaron a quince jueces no entrenados, para su evaluación sensorial mediante un test de evaluación, tomando como referencia la escala hedónica, calificando los atributos: aroma, aspecto (limpiez) y color.

3.8 DISEÑO EXPERIMENTAL

Los diseños experimentales son una serie de pruebas en las cuales se inducen cambios deliberados en las variables de entrada a un proceso o sistema, de manera que sea posible observar las causas de los cambios en la respuesta de salida (Montgomery, 2004). El diseño experimental puede ser considerado como parte del proceso científico y una de las formas en que aprendemos acerca de la forma en que funcionan los sistemas o procesos. El diseño experimental utilizado en este trabajo se muestra en la siguiente ecuación 3.1:

$$2^k$$

Ecuación 3.1

Donde:

2 = número de niveles

K = número de variables

3.8.1 DISEÑO EXPERIMENTAL 2^k

Actualmente los diseños factoriales tienen una amplia utilización en las etapas iniciales del trabajo experimental, cuando posiblemente de tenga que investigar una serie de factores, para lo cual este diseño proporciona el menor número de corridas, con el estudio de k factores en un diseño, puesto que se tiene dos niveles para cada factor y puede suponerse que la respuesta es aproximadamente lineal con los rangos elegidos para los niveles de los factores (Montgomery, 2004).

3.8.2 DISEÑO EXPERIMENTAL 2^k EN LA ETAPA DE FERMENTACIÓN ALCOHÓLICA DE LA SIDRA NATURAL DE MANZANA

Para la realización del diseño experimental se tomó en cuenta la etapa de fermentación alcohólica, el cual se escogió por tomar en cuenta dos factores temperatura en ($^{\circ}\text{C}$) y concentración de sacarosa en el jugo; expresado en $^{\circ}\text{Brix}$, para la elaboración de sidra natural de manzana en la cual se utilizó la ecuación 3.2 donde se tiene:

$$2^2 = 2 * 2 = 4 \text{ tratamientos (pruebas)} \quad \text{Ecuación 3.2}$$

Donde los niveles de variación de cada factor son los siguientes:

$^{\circ}\text{Brix}$ (B) = 2 niveles

Temperatura (T) = 2 niveles

En la tabla 3.5, se puede ver la matriz de combinación del diseño experimental 2^k en la etapa de fermentación alcohólica.

Tabla 3.5
Niveles de variación de los factores para la fermentación alcohólica en la elaboración de sidra natural de manzana

Combinación de tratamiento	Variables		Interacción BT	Respuesta Y_i
	B	T		
1	-	-	+	Y1
a	+	-	-	Y2
b	-	+	-	Y3
ab	+	+	+	Y4

Fuente: Elaboración propia

Dónde: Y_i = concentración de alcohol (°GL), variable respuesta

En la tabla 3.6, se puede observar los niveles de variación de los factores (nivel superior y nivel inferior) en la etapa de fermentación alcohólica.

Tabla 3.6
Propiedades fisicoquímicas del producto terminado

Factores	Nivel inferior	Nivel superior
Temperatura (°C)	15	18
°Brix	12	14

Fuente: Elaboración propia

En la tabla 3.7, se muestra el arreglo factorial del diseño planteado en el proceso de fermentación alcohólica.

Tabla 3.7
Diseño factorial para las variables en el proceso de fermentación alcohólica

N° de Tratamiento	Variables		Combinaciones	
	Temperatura	°Brix	Réplica I	Réplica II
1	T ₁	B ₁	T ₁₁ B ₁₁	T ₁₂ B ₁₂
2	T ₂	B ₁	T ₂₁ B ₁₁	T ₂₂ B ₁₂
3	T ₁	B ₂	T ₁₁ B ₂₁	T ₁₂ B ₂₂
4	T ₂	B ₂	T ₂₁ B ₂₁	T ₂₂ B ₂₂

Fuente: Elaboración propia

4.1 CARACTERIZACIÓN DE LA MATERIA PRIMA (MANZANA)

Para el presente trabajo se analizó la materia prima (manzana variedad Anna) tomando en cuenta las propiedades fisicoquímicas.

4.1.1 CARACTERÍSTICAS FISICOQUÍMICAS DE LA MATERIA PRIMA MANZANA VARIEDAD ANNA

En la tabla 4.1 se muestran los resultados de los análisis fisicoquímicos de la manzana variedad Anna (Anexo B), realizados en el laboratorio CEANID, perteneciente a la Universidad Autónoma “Juan Misael Saracho”.

Tabla 4.1
Propiedades fisicoquímicas de la materia prima, variedad Anna

Parámetros	Valor	Unidad
Humedad	82,62	%
Azúcares totales	15,43	%
Acidez	0,38	%
pH	4,57	
Ácido ascórbico	2,3	mg/100 g
Sólidos solubles	12	°Brix

Fuente: CEANID, 2017

Como se puede observar en la tabla 4.1, la manzana variedad Anna posee un contenido de humedad del 82.62%, azúcares totales 15.43%, acidez 0.38%, pH 4.57, ácido ascórbico 2.37 (mg/100 g) y sólidos solubles 13 °Brix.

4.2 EVALUACIÓN SENSORIAL FINAL PARA DETERMINAR LAS PROPIEDADES ORGANOLÉPTICAS DE LA SIDRA DE MANZANA

Para realizar la evaluación sensorial para elegir la muestra final, se elaboraron cuatro muestras con diferentes cantidades de ácido ascórbico y concentración de sacarosa en el jugo; expresado en °Brix, para determinar los atributos aroma, aspecto (limpidez) y color; utilizando un test de escala hedónica se podrá obtener valores de la muestra más aceptada y de esta manera determinar la composición final de la sidra.

4.2.1 EVALUACIÓN SENSORIAL FINAL PARA DETERMINAR EL ATRIBUTO AROMA DE LA SIDRA NATURAL DE MANZANA

La tabla 4.2, se muestran los resultados obtenidos de la tabla C.2.1, extraída del Anexo C.2, de la evaluación sensorial final para determinar el atributo aroma en la sidra.

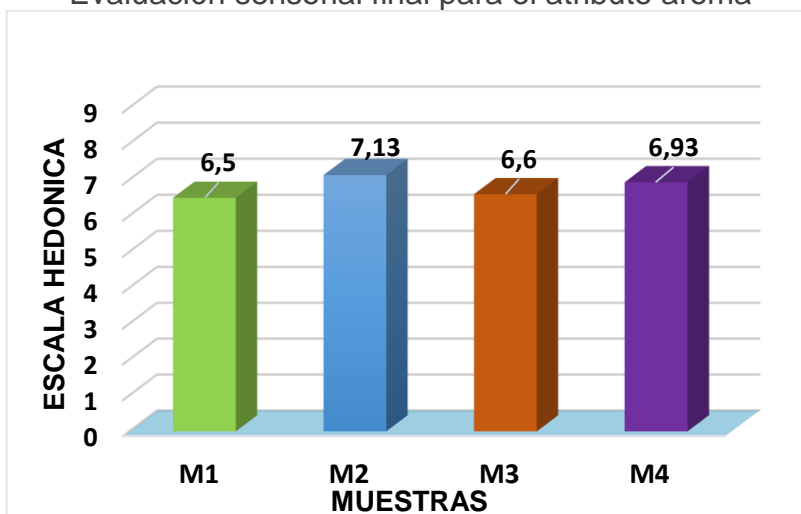
Tabla 4.2
Evaluación sensorial final para el atributo aroma

JUECES	MUESTRAS				
	M1	M2	M3	M4	TOTAL
1	6	7	5	7	25
2	7	8	6	6	27
3	7	6	7	6	26
4	8	7	6	7	28
5	6	8	7	8	29
6	5	7	6	8	26
7	6	8	7	6	27
8	6	8	7	8	29
9	7	7	6	7	27
10	5	6	8	8	27
11	7	8	7	6	28
12	6	6	8	6	26
13	8	8	6	6	28
14	7	7	7	7	28
15	7	6	6	8	27
\bar{x}	6,53	7,13	6,60	6,93	27,20

Fuente: elaboración propia

En la figura 4.1, se pueden observar los resultados promedios de la tabla anterior (tabla 4.2), de la evaluación sensorial fina para determinar el atributo aroma en la sidra natural de manzana.

Figura 4.1
Evaluación sensorial final para el atributo aroma



Fuente: Elaboración propia

Como se observa en la figura 4.1, la muestra con mayor puntuación es la M2 con 7.13, seguida de la muestra M4 con 6.93, la muestra M3 con una puntuación de 6.6, haciendo una comparación con las demás muestras evaluadas; las muestras antes mencionadas tienen mejor aceptación por los jueces.

4.2.2 PRUEBA ESTADÍSTICA DE LA EVALUACIÓN SENSORIAL FINAL PARA DETERMINAR EL ATRIBUTO AROMA EN LA SIDRA DE MANZANA

La tabla 4.3, muestra los resultados del análisis de varianza para la evaluación sensorial final del atributo aroma extraído de la tabla C.2.2 (Anexo C.2).

Tabla 4.3
Análisis de varianza de la evaluación sensorial final del atributo aroma

Fuente de variación (CM)	Suma de cuadrados (SC)	Grados de libertad (GL)	Cuadrados medios (CM)	F calculado (F cal)	F tabulado (F tab)
Total	45,6	59			
Muestras (A)	3,6	3	1,200	1,348	2,836
Jueces (B)	4,6	14	0,329	0,369	1,941
Error (E)	37,4	42	0,890		

Fuente: elaboración propia

En la tabla 4.3 se puede observar que $F_{cal} < F_{tab}$ ($1,348 < 2,836$) para las muestras; por lo tanto, se acepta la hipótesis H_p y se puede decir que no hay diferencia significativa entre las muestras para el atributo aroma con un nivel de significancia de 0,05.

4.2.3 EVALUACIÓN SENSORIAL FINAL PARA DETERMINAR EL ATRIBUTO ASPECTO (LIMPIDEZ) DE LA SIDRA NATURAL DE MANZANA

La tabla 4.4 muestra los resultados obtenidos de la tabla C.3.1, extraída del Anexo C.3, de la evaluación sensorial final para determinar el atributo aspecto (limpidez), en la elaboración de sidra natural de manzana.

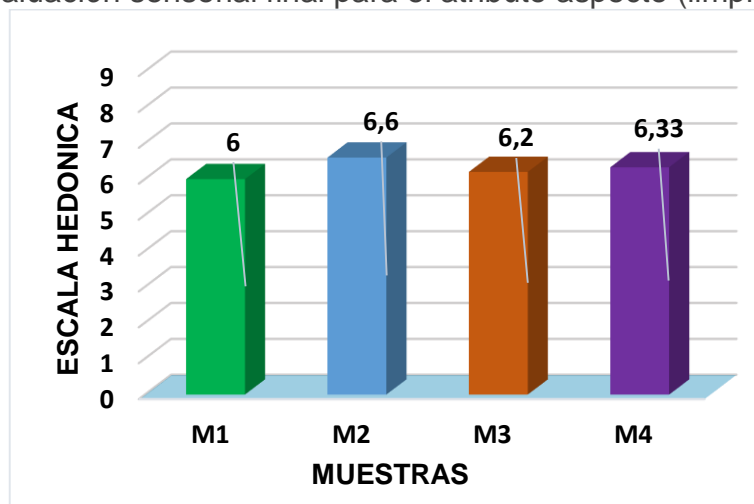
Tabla 4.4
Evaluación sensorial final para el atributo aspecto (limpidez)

JUECES	MUESTRAS				
	M1	M2	M3	M4	TOTAL
1	6	7	7	6	26
2	5	6	6	5	22
3	7	6	7	6	26
4	7	7	6	7	27
5	5	7	5	7	24
6	7	8	6	6	27
7	6	7	7	8	28
8	5	6	7	6	24
9	5	5	6	7	23
10	7	8	5	6	26
11	6	7	6	7	26
12	6	6	5	5	22
13	5	7	7	6	25
14	6	6	6	6	24
15	7	6	7	7	27
\bar{x}	6,00	6,60	6,20	6,33	25,13

Fuente: elaboración propia

En la figura 4.2, se pueden observar los resultados promedios de la tabla anterior (tabla 4.4), de la evaluación sensorial final para determinar el atributo aspecto (limpidez), en la sidra natural de manzana.

Figura 4.2
Evaluación sensorial final para el atributo aspecto (limpidez)



Fuente: Elaboración propia

Como se observa en la figura 4.2, la muestra con mayor puntuación es la M2 con 6.60, seguida de la muestra M4 con 6.33, la muestra M3 con una puntuación de 6.2, haciendo una comparación con las demás muestras evaluadas; las muestras antes mencionadas tienen mejor aceptación por los jueces.

4.2.4 PRUEBA ESTADÍSTICA DE LA EVALUACIÓN SENSORIAL FINAL PARA DETERMINAR EL ATRIBUTO ASPECTO EN LA SIDRA DE MANZANA

La tabla 4.5, muestra los resultados del análisis de varianza para la evaluación sensorial final del atributo aspecto (limpidez), extraído de la tabla C.3.2 (Anexo C.3).

Tabla 4.5

Análisis de varianza de la evaluación sensorial final del atributo aspecto (limpidez)

Fuente de variación (CM)	Suma de cuadrados (SC)	Grados de libertad (GL)	Cuadrados medios (CM)	F calculado (F cal)	F tabulado (F tab)
Total	51,18	59			
Muestras (A)	2,85	3	0,950	1,111	2,836
Jueces (B)	12,43	14	0,888	1,039	1,941
Error (E)	35,9	42	0,855		

Fuente: elaboración propia

En la tabla 4.5 se puede observar que $F_{cal} < F_{tab}$ ($1,111 < 2,836$) para las muestras; por lo tanto, se acepta la hipótesis H_p y se puede decir que no hay diferencia significativa entre las muestras para el atributo aroma con un nivel de significancia de 0,05.

4.2.5 EVALUACIÓN SENSORIAL FINAL PARA DETERMINAR EL ATRIBUTO COLOR DE LA SIDRA NATURAL DE MANZANA

La tabla 4.6 se muestran los resultados obtenidos de la tabla C.4.1, extraída del Anexo C.4, de la evaluación sensorial final para determinar el atributo color en la sidra natural de manzana.

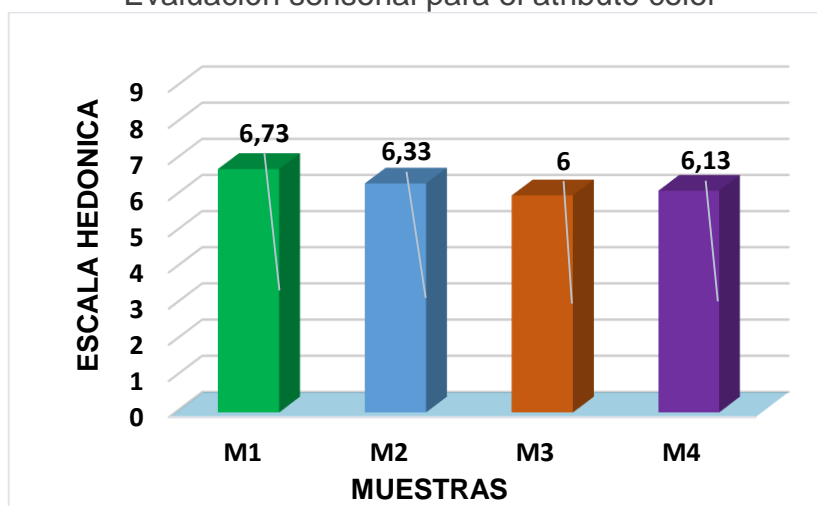
Tabla 4.6
Evaluación sensorial final para el atributo color

JUECES	MUESTRAS				
	M1	M2	M3	M4	TOTAL
1	6	7	6	6	25
2	5	6	5	6	22
3	5	6	5	7	23
4	6	7	6	6	25
5	7	6	5	5	23
6	6	6	6	6	24
7	6	7	7	6	26
8	5	7	5	7	24
9	5	6	6	6	23
10	6	6	7	7	26
11	5	7	7	6	25
12	5	6	5	5	21
13	6	5	7	7	25
14	6	7	6	6	25
15	7	6	7	6	26
\bar{x}	5,73	6,33	6,00	6,13	24,20

Fuente: elaboración propia

En la figura 4.3, se pueden ver los resultados promedios de la tabla anterior (tabla 4.3), de la evaluación sensorial final para determinar el atributo color, en la sidra natural de manzana.

Figura 4.3
Evaluación sensorial para el atributo color



Fuente: elaboración propia

Como se observa en la figura 4.3, la muestra con mayor puntuación es la M1 con 6.73, seguida de la muestra M2 con 6.33, la muestra M4 con una puntuación de 6.12, haciendo una comparación con las demás muestras evaluadas; las muestras antes mencionadas tienen mejor aceptación por los jueces.

4.2.6 PRUEBA ESTADÍSTICA DE LA EVALUACIÓN SENSORIAL FINAL PARA DETERMINAR EL ATRIBUTO COLOR EN LA SIDRA DE MANZANA

La tabla 4.7, muestra los resultados del análisis de varianza para la evaluación sensorial inicial del atributo color extraído de la tabla C.4.2 (Anexo C.4).

Tabla 4.7
Análisis de varianza de la evaluación sensorial final del atributo color

Fuente de variación (CM)	Suma de cuadrados (SC)	Grados de libertad (GL)	Cuadrados medios (CM)	F calculado (F cal)	F tabulado (F tab)
Total	30,85	59			
Muestras (A)	2,85	3	0,950	2,005	2,872
Jueces (B)	8,1	14	0,579	1,221	2,051
Error (E)	19,9	42	0,474		

Fuente: elaboración propia

En la tabla 4.7 se puede observar que $F_{cal} < F_{tab}$ ($2,005 < 2,872$) para las muestras; por lo tanto, se acepta la hipótesis H_p y se puede decir que no hay diferencia significativa entre las muestras para el atributo color con un nivel de significancia de 0,05.

4.3. EVALUACIÓN SENSORIAL FINAL PARA DETERMINAR LAS PROPIEDADES

ORGANOLÉPTICAS DEL PRODUCTO TERMINADO.

La tabla 4.8, muestra los resultados obtenidos de la tabla C.5.1, extraída del Anexo C.5, de la evaluación sensorial final de las propiedades organolépticas del producto terminado. Para la evaluación sensorial del mismo, se utilizó el test de escala hedónica donde evaluaron quince jueces no entrenados los atributos: aroma, aspecto (limpiez) y color.

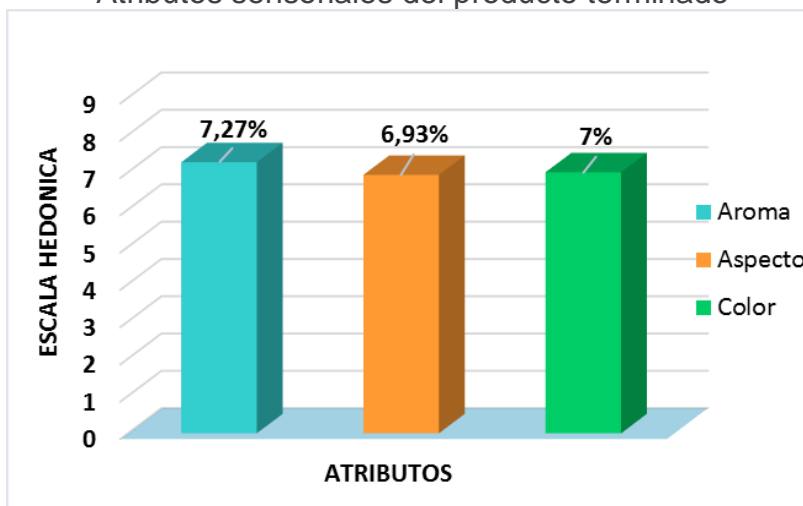
Tabla 4.8
Evaluación sensorial final del producto terminado

JUECES	MUESTRAS		
	Aroma	Aspecto (Limpidez)	Color
1	8	7	8
2	8	7	6
3	7	6	7
4	7	7	8
5	6	7	6
6	8	6	7
7	7	7	7
8	8	6	7
9	7	7	8
10	7	8	8
11	6	6	7
12	7	7	7
13	8	8	7
14	7	8	6
15	8	7	6
\bar{x}	7,27	6,93	7,00

Fuente: elaboración propia

En la figura 4.4, se pueden observar los resultados promedios de la tabla 4.8, de la evaluación sensorial final para determinar las propiedades organolépticas del producto terminado sidra natural de manzana.

Figura 4.4
Atributos sensoriales del producto terminado



Fuente: elaboración propia

Como se observar en la figura 4.4, el atributo con mejor puntuación es el aroma con 7.27, seguido del atributo color con un puntaje de 7.00 y por último el atributo aspecto (limpidez) con 6.93 de puntaje en la escala hedónica.

4.3.1 PRUEBA ESTADÍSTICA DE LA EVALUACIÓN SENSORIAL FINAL PARA DETERMINAR LAS PROPIEDADES ORGANOLÉPTICAS DEL PRODUCTO TERMINADO.

La tabla 4.9, muestra los resultados del análisis de varianza para la evaluación sensorial final para determinar las propiedades organolépticas del producto terminado, extraído de la tabla C.5.2 (Anexo C.5).

Tabla 4.9

Análisis de varianza de la evaluación sensorial final para determinar las propiedades organolépticas del producto terminado

Fuente de variación (CM)	Suma de cuadrados (SC)	Grados de libertad (GL)	Cuadrados medios (CM)	F calculado (F cal)	F tabulado (F tab)
Total	22,8	44			
Muestras (A)	0,93	2	0,465	0,905	3,340
Jueces (B)	7,47	14	0,534	1,039	2,014
Error (E)	14,4	28	0,514		

Fuente: elaboración propia

En la tabla 4.9 se puede observar que $F_{cal} < F_{tab}$ ($0,905 < 3,340$) para las muestras; por lo tanto, se acepta la hipótesis H_p y se puede decir que no hay diferencia significativa entre las muestras para un nivel de significancia de 0,05. Tomando en cuenta la preferencia de los jueces por los atributos aroma y color como los más aceptados.

4.4 DISEÑO FACTORIAL AL AZAR EN LA ETAPA DE FERMENTACIÓN ALCOHÓLICA.

En la tabla 4.10, muestra los resultados obtenidos dela tabla E.2.1, extraída del Anexo E.2, del control de °Baumé por tiempo durante la fermentación alcohólica para el diseño experimental al azar (DCA) en la elaboración de sidra natural de manzana.

Tabla 4.10
Control de °Baumé en función del tiempo durante la etapa de fermentación alcohólica

Tiempo (días)	Muestras				Total (Yi)
	M1	M2	M3	M4	
0	6,4	7,8	6,4	7,8	28,4
1	5,9	7,3	5,8	7,1	26,1
2	5,4	7,1	5,7	6,6	24,8
3	5,1	6,7	5,4	6,2	23,4
4	4,8	6,4	5,2	5,6	22
5	4,4	5,9	4,8	5,2	20,3
6	3,9	5,4	4,5	4,8	18,6
7	2,5	3,3	2,7	3,4	11,9
8	0,8	1,6	0,6	1,4	4,4
9	0	0,2	0	0,3	0,5
10	0	0	0	0	0
Total (Yj)	39,2	51,7	41,1	48,4	180,4

Fuente: elaboración propia

En la tabla 4.11, muestra los resultados del análisis de varianza en la fermentación alcohólica en función del tiempo extraído de la tabla E.2.2 del (anexo E.2).

Tabla 4.11
Análisis de varianza (ANVA) en función del tiempo de concentración alcohólica

Fuente de variación (CM)	Suma de cuadrados (SC)	Grados de libertad (GL)	Cuadrados medios (CM)	F calculado (F cal)	F tabulado (F tab)
Total	169,39	37			
Muestras (B)	3,54	3	1,18	0,242	2,916
Error (E)	165,85	34	4,88		

Fuente: Elaboración propia

4.5 CARACTERÍSTICAS FÍSICOQUÍMICAS DEL PRODUCTO TERMINADO

En la tabla 4.12 se muestran los resultados del análisis fisicoquímico del producto terminado “sidra natural de manzana” (Anexo B), analizados en el laboratorio CEANID, perteneciente a la Universidad Autónoma Juan Misael Saracho.

Tabla 4.12
Propiedades fisicoquímicas del producto terminado

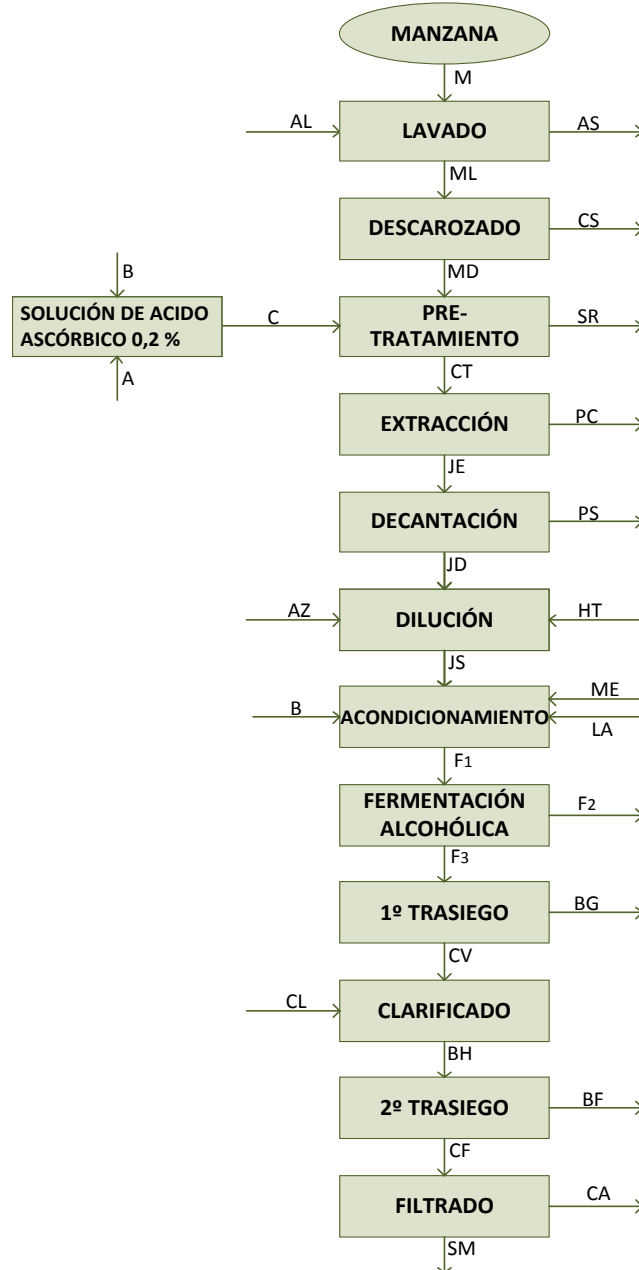
Parámetro	Unidad	Valor
Acidez total (como ácido málico)	163	mg/l
Grado alcohólico (20°C)	6,5	%
Anhídrido sulfuroso total	85	mg/l

Fuente: CEANID, 2017

4.6 BALANCE DE MATERIA EN EL PROCESO DE ELABORACIÓN DE SIDRA NATURAL DE MANZANA

El balance de materia se basa en la ley de la conservación de la masa enunciada por Lavoisier: “en cada proceso hay exactamente la misma cantidad de sustancia presente antes y después que el proceso haya sucedido. Solo se transforma la materia (Rodríguez, 1993).

Figura 4.5
Balance de materia para el proceso de elaboración de sidra natural de manzana

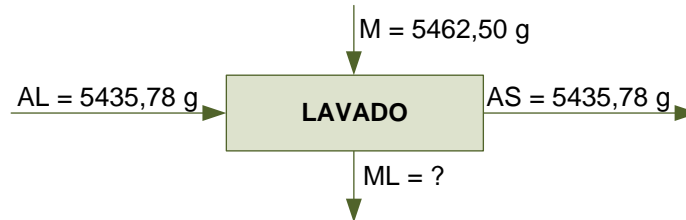


Fuente: Elaboración propia

4.6.1 BALANCE DE MATERIA EN LA ETAPA DE LAVADO

En la figura 4.6 se muestra el balance de materia en la etapa de lavado de la manzana, en tal sentido se tomó en cuenta la cantidad de 5432,50 g de manzana variedad Anna y una relación 1:1(m/v) fruta: agua.

Figura 4.6
Balance de materia en la etapa de lavado



Datos:

$$M = 5462,50 \text{ g}$$

$$AL = 5435,78 \text{ g}$$

$$AS = 5435,78 \text{ g}$$

$$ML = ?$$

Donde:

M = cantidad de manzana variedad Anna (g)

AL = cantidad de agua inicial (g)

AS = cantidad de agua final (g)

ML = cantidad de manzanas limpias (g)

Planteamiento; balance de materia en la etapa de lavado:

$$M + AL = ML + AS \quad \text{Ecuacion 4.1}$$

Despejando (ML) de la ecuación 4.1:

$$ML = M + AL - AS \quad \text{Ecuacion 4.2}$$

Para calcular la cantidad de agua en el proceso de lavado, fue necesario considerar la densidad del agua a (20°C) que corresponde a 995,20 Kg/m³ Tarija (Iturbe, 1976).

$$\rho_{H_2O} \frac{m}{v} \Rightarrow m = \rho_{H_2O} * v \quad \text{Ecuacion 4.3}$$

Donde:

ρ_{H_2O} = densidad del agua (Kg/m³)

m = masa del agua (Kg)

v = volumen del agua (m³)

La cantidad de agua inicial (AL) y final (AS) utilizada fue de relación 1:1(m/v), para el proceso de lavado. Por lo tanto:

$$AL = AS = \rho_{H_2O} * v = 995,20 \text{ Kg/m}^3 * \left(\frac{1 \text{ m}^3}{1000 \text{ L}} \right) * \left(\frac{1000 \text{ g}}{1 \text{ Kg}} \right) * 5 \text{ L} = 5435,78 \text{ g}$$

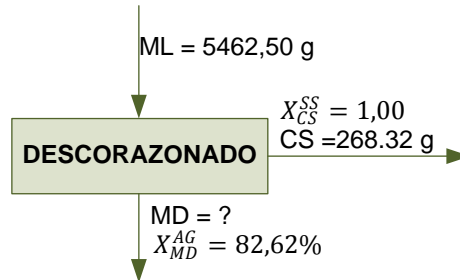
Reemplazando los valores en la ecuación 4.2

$$ML = 5462,50 \text{ g} + 3980,8 \text{ g} - 3980,8 \text{ g} \Rightarrow ML = 5462,50 \text{ g}$$

4.6.2 BALANCE DE MATERIA EN LA ETAPA DE DESCORAZONADO

En la figura 4.7 se muestra el balance de materia en la etapa de descorazonado. Para tal efecto se tomó en cuenta la cantidad de 5462,50 g de manzana lavada.

Figura 4.7
Balance de materia en la etapa de descorazonado



Datos	Donde:
$ML = 5462,50 \text{ g}$	$ML =$ cantidad de manzana limpias (g)
$X_{MD}^{AG} = 82,62\%$	$X_{MD}^{AG} =$ fracción de agua de la manzana
$CS = 268,32 \text{ g}$	$CS =$ cantidad desechos de corazón y semillas (g)
$MD = ?$	$MD =$ manzanas sin la parte central y semillas (g)
$X_{MD}^{AG} = 82,62\%$	$X_{MD}^{AG} =$ fracción de agua de la manzana

Planteamiento; balance de materia en la etapa de descorazonado:

$$ML = MD + CS \quad \text{Ecuacion 4.4}$$

Despejando (MD) de la ecuación 4.4:

$$MD = ML - CS \quad \text{Ecuacion 4.5}$$

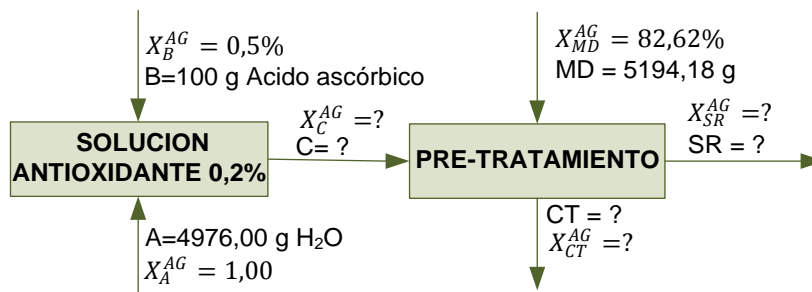
Reemplazando los valores en la ecuación (4.5).

$$MD = 5462,50 \text{ g} - 268,32 \text{ g} \Rightarrow MD = 5194,18 \text{ g}$$

4.6.3 BALANCE DE MATERIA EN LA ETAPA DE PRE-TRATAMIENTO

En la figura 4.8 se muestra el balance de materia en la etapa de pre-tratamiento.

Figura 4.8
Balance de materia en la etapa de pre-tratamiento



Datos:	Donde:
MD = 5194,18 g	MD = manzanas sin la parte central y semillas (g)
$X_{MD}^{AG} = 82,62\%$	X_{MD}^{AG} = fracción de agua de la manzana
A = 4976,00 g	A = cantidad de agua destilada (g)
$X_A^{AG} = 1,00$	X_A^{AG} = fracción de agua
B = 100,00 g	B = cantidad de ácido ascórbico (g)
$X_B^{AG} = 0,5\%$	X_B^{AG} = fracción de agua del ácido ascórbico
C = ?	C = cantidad de solución antioxidante (g)
$X_C^{AG} = ?$	X_C^{AG} = fracción de agua en la solución antioxidante
CT = ?	CT = cantidad de manzanas tratadas (g)
$X_{CT}^{AG} = ?$	X_{CT}^{AG} = fracción de agua de la manzana tratada
SR = ?	SR = cantidad de solución antioxidante (g)
$X_{SR}^{AG} = ?$	X_{SR}^{AG} = fracción de agua en la solución antioxidante restante

Planteamiento; balance de materia en la etapa de pre-tratamiento:

$$MD + C = CT + SR \quad \text{Ecuacion 4.6}$$

4.6.4 BALANCE DE MATERIA EN LA ETAPA DE PREPARACIÓN DE LA SOLUCIÓN ANTIOXIDANTE

$$A + B = C \quad \text{Ecuacion 4.7}$$

La cantidad de agua utilizada para la preparación de la solución fue de 5,00 litros. Por lo tanto, utilizando la ecuación (4.3), se procedió a reemplazar el valor:

$$A = \rho_{H_2O} * v = \frac{995,20Kg}{m^3} * \left(\frac{1m^3}{1000 L}\right) * \left(\frac{1000 g}{1 Kg}\right) * 5 L = 4976,00g$$

Reemplazando el valor de (A) en la ecuación (4.7)

$$C = 4976,00 g + 100,00g \Rightarrow C = 5076,00g$$

Planteamiento de la fracción de agua de la solución antioxidante. Se tomó en cuenta el porcentaje de humedad del ácido ascórbico 0,5% (Ficha Técnica Telchi, 2015).

$$A * X_A^{AG} + B * X_B^{AG} = C * X_C^{AG} \quad \text{Ecuacion 4.8}$$

Despejando (X_C^{AG}) de la ecuación 4.8:

$$X_C^{AG} = \frac{A * X_A^{AG} + B * X_B^{AG}}{C} \Rightarrow \frac{4976,00g * (1) + 100,00g * (0,005)}{5076,00g} \Rightarrow X_C^{AG} = 0,98$$

- Efectuando los cálculos en la etapa de pre-tratamiento

La cantidad de solución antioxidante (C) inicial fue de 5076,00 g y (SR) final será igual para el para el proceso de pre-tratamiento. Por lo tanto: $C = SR$

Despejando (CT) de la ecuación 4.6:

$$CT = MD + C - SR \Rightarrow CT = 5194,18g + 5076,00g - 5076,00g \Rightarrow CT = 5194,18g$$

Calculando la fracción de agua de las manzanas tomando en cuenta el porcentaje de humedad 82,62% de la manzana variedad Anna (tabla 4.1).

$$MD * X_{MD}^{AG} + C * X_C^{AG} = CT * X_{CT}^{AG} + SR * X_{SR}^{AG} \quad \text{Ecuacion 4.9}$$

Despejando (X_{CT}^{AG}) de la ecuación 4.9:

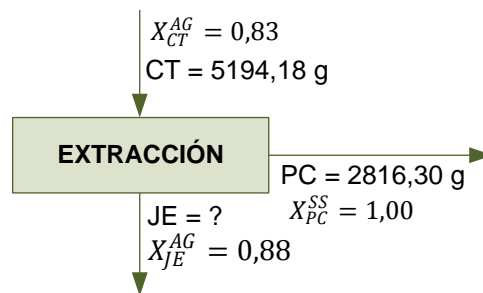
$$X_{CT}^{AG} = \frac{MD * X_{MD}^{AG} + C * X_C^{AG} - SR * X_{SR}^{AG}}{CT}$$

$$X_{CT}^{AG} = \frac{5194,18g(0,8262) + 5076,00(0,98) - 5076,00(0,98)}{5194,18g} \Rightarrow X_{CT}^{AG} = 0,83$$

4.6.5 BALANCE DE MATERIA EN LA ETAPA DE EXTRACCIÓN

Para realizar el balance de materia en el proceso de extracción (figura 4.9), Se tomó en cuenta la cantidad de 5194,18 g de manzana pre-tratada.

Figura 4.9
Balance de materia en la etapa de extracción



Datos:

$$CT = 5194,18 \text{ g}$$

$$X_{CT}^{AG} = 0,83$$

$$PC = 2816,30 \text{ g}$$

$$X_{PC}^{SS} = 1,00$$

$$JE = ?$$

$$X_{JE}^{AG} = 0,88$$

Donde:

CT = cantidad de manzanas tratadas (g)

X_{CT}^{AG} = fracción de agua de la manzana tratada

PC = cantidad de desechos de pulpa y cascara (g)

X_{PC}^{SS} = fracción de desechos

JE = cantidad de jugo de manzana extraída (g)

X_{JE}^{AG} = fracción de agua del jugo de manzana

Planteamiento; balance de materia en la etapa de extracción:

$$CT = PC + JE \quad \text{Ecuacion 4.10}$$

Despejando (JE) de la ecuación 4.9:

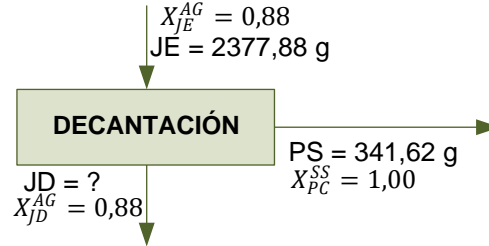
$$JE = CT - PC \quad \text{Ecuacion 4.11}$$

$$JE = 5194,18 \text{ g} - 2816,30 \text{ g} \Rightarrow JE = 2377,88 \text{ g}$$

4.6.6 BALANCE DE MATERIA EN LA ETAPA DE DECANTACIÓN

Para realizar el balance de materia en el proceso de decantación (figura 4.10), Se tomó en cuenta la cantidad de 2377,88 g de jugo de manzana.

Figura 4.10
Balance de materia en la etapa de decantación



Datos:

$$JE = 2377,88 \text{ g}$$

$$X_{jE}^{AG} = 0,88$$

$$PS = 341,62 \text{ g}$$

$$X_{pC}^{SS} = 1,00$$

$$JD = ?$$

$$X_{jD}^{AG} = 0,88$$

Donde:

JE = cantidad de jugo de manzana extraída (g)

X_{jE}^{AG} = fracción de agua del jugo de manzana

PS = cantidad de partículas sólidas de mayor densidad (g)

X_{pC}^{SS} = fracción de partículas sólidas

JD = cantidad de jugo de manzana (g)

X_{jD}^{AG} = fracción de agua del jugo de manzana

Planteamiento; balance de materia en la etapa de decantación:

$$JE = JD + PS \quad \text{Ecuación 4.12}$$

Despejando (JD) de la ecuación 4.12:

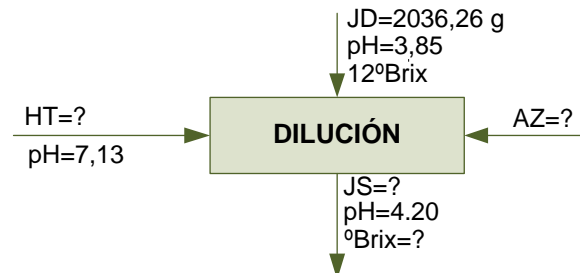
$$JD = JE - PS \quad \text{Ecuación 4.13}$$

$$JD = 2377,88 \text{ g} - 341,62 \text{ g} \Rightarrow JD = 2036,26 \text{ g}$$

4.6.7 BALANCE DE MATERIA EN LA ETAPA DE DILUCIÓN

Para realizar el balance de materia en la etapa de dilución (figura 4.11), Se tomó en cuenta la cantidad de 2036,26 g de jugo de manzana decantada.

Figura 4.11
Balance de materia en la etapa de dilución



Datos:

JD = 2036,26 g

AZ = ?

HT = ?

JS = ?

Donde:

JD = cantidad de jugo de manzana (g)

AZ = cantidad de azúcar (g)

HT = cantidad de agua tratada (g)

JS = cantidad de jugo diluido (g)

- a) Planteamiento; balance de materia en la etapa de dilución relación 1:1 (v/v)
jugo: agua:

$$JD + HT = JS \quad \text{Ecuacion 4.14}$$

$$JD = 2036,26g \rightarrow 1 \text{ partes}$$
$$JS \rightarrow 2 \text{ partes}$$

$$JS = \frac{2036,26g * 2partes}{1partes} \Rightarrow JS = 4072,52g$$

Despejando (HT) de la ecuación 4.14:

$$HT = JS - JD \Rightarrow HT = 4052,52g - 2036,26g \Rightarrow HT = 2036,26g$$

- b) balance de materia parcial para sólidos solubles en la etapa dilución
Se llevó a 14 °Brix, según se requería en la muestra conforme al diseño
Experimental realizado.

$$JD * X_{JD}^{SS} + HT * X_{HT}^{SS} + AZ * X_{AZ}^{SS} = JS * X_{JS}^{SS} \quad \text{Ecuacion (4.15)}$$

Despejando (AZ) de la ecuación 4.15:

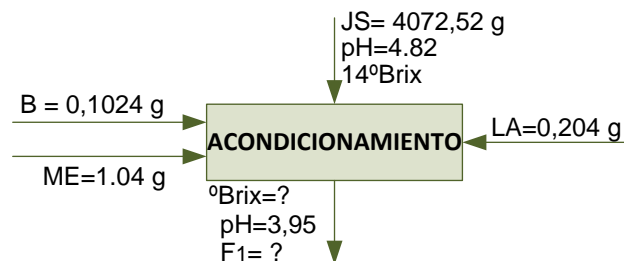
$$AZ = \frac{JS * X_{JS}^{SS} - JD * X_{JD}^{SS}}{X_{AZ}^{SS}} \Rightarrow \frac{4072,52g * (0,14) - 2036,26g * (0,12)}{1,00}$$

$$AZ = 325,83g$$

4.6.8 BALANCE DE MATERIA EN LA ETAPA DE ACONDICIONADO

Para realizar el balance de materia en el proceso de acondicionamiento (figura 4.12),
Se tomó en cuenta la cantidad de 4072,52 g de jugo diluido.

Figura 4.12
Balance de materia en la etapa de acondicionamiento



Datos:

LA= 0,204 g

B = 0,1024 g

JS = 4072,52 g

ME = 1,04 g

F₁=?

Donde:

LA= levadura activada

B= cantidad de ácido ascórbico (g)

JS = cantidad de jugo diluido (g)

ME = cantidad de metabisulfito de potasio (g)

F₁ = cantidad de jugo acondicionado (g)

a) Planteamiento; balance de materia en la etapa de acondicionado:

$$LA + B + ME + JS = F_1 \quad \text{Ecuacion 4.16}$$

Reemplazando valores en la ecuación 4.16

$$F_1 = 0,204g + 0,1024g + 1,04g + 4072,52g \Rightarrow F_1 = 4073,87g$$

b) Balance de materia parcial para solidos solubles en la etapa acondicionamiento.

$$LA * X_{LA}^{SS} + B * X_B^{SS} + ME * X_{ME}^{SS} + JS * X_{JS}^{SS} = F_1 * X_{F_1}^{SS} \quad \text{Ecuacion 4.17}$$

Contenido de humedad del ácido ascórbico 0,5% (Telchi, 2015):

Contenido de humedad del metabisulfito de potasio 0,35% (Telchi, 2015):

$$X_{F_1}^{SS} = \frac{LA * X_{LA}^{SS} + B * X_B^{SS} + ME * X_{ME}^{SS} + JS * X_{JS}^{SS}}{F_1}$$

Reemplazando valores en la ecuación 4.17

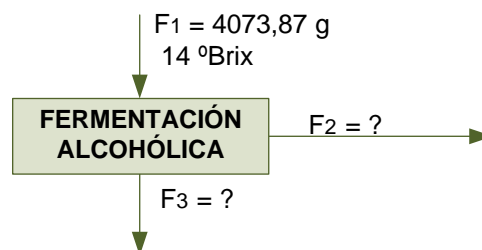
$$X^{JA} = \frac{(0,204 * 0,14) + (0,1024 * 0,995) + (1,04 * 0,9965) + (4072,52 * 0,14)}{4073,87}$$

$$X^{JA} = 0,14 \Rightarrow 14 \text{ }^\circ\text{Brix}$$

4.6.9 BALANCE DE MATERIA EN LA ETAPA DE FERMENTACIÓN ALCOHÓLICA

Para realizar el balance de materia en el proceso de fermentación alcohólica (figura 4.12), Se tomó en cuenta la cantidad de 4073,87 g de jugo acondicionada.

Figura 4.13
Balance de materia en la etapa de fermentación



Datos:

Donde:

F_1 mosto = 4073,87 g

F_1 = cantidad de mosto (g)

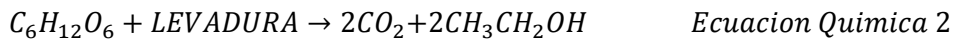
F_2 =?

F_2 = cantidad de dióxido de carbono (g)

F_3 =?

F_3 = vino producto de la fermentación (g)

Ecuación química de la reacción de fermentación alcohólica:



1. De la ecuación química: 1 mol sacarosa 4 moles de CO_2
2. De la ecuación química 1 mol de sacarosa 4 moles de etanol

Planteamiento; balance de materia en la etapa de fermentación alcohólica:

$$F_1 \text{ mosto} = F_2 \text{ gas carbonico} + F_3 \text{ vino} \quad \text{Ecuacion 4.18}$$

- a) Para determinar la cantidad de azúcar fermentable (S), es necesario considerar la expresión matemática (ecuación 4.19) según (Adams, 2000).

AF = Azúcar fermentable a 14°Brix: 118,5 g/Kg de tabla del (Anexo f).

$$S = \frac{JA * AF}{1000} \quad \text{Ecuacion 4.19}$$

$$S = \frac{4,08Kg * 118,5g/Kg}{1000} \Rightarrow S = 483,48 \text{ g de azúcar fermentable}$$

- b) para determinar la cantidad de dióxido de carbono (CO_2) es necesario considerar la expresión matemática (ecuación 4.20) según (Adams, 2000).

Datos:

Donde:

$PM_{\text{sacarosa}} = 342 \text{ g/mol}$

$PM =$ peso molecular de la sacarosa g/mol

$PM_{CO_2} = 44 \text{ g/mol}$

$PM =$ peso molecular de CO_2 g/mol

De la ecuación química (1): 1 mol sacarosa 4 moles de CO_2

$$F_{CO_2} = \left(\frac{F_{\text{mosto}}}{PM_{\text{sacarosa}}} \right) * 4 * (PM_{CO_2}) \quad \text{Ecuacion 4.20}$$

$$F_{CO_2} = \left(\frac{483,48g}{342g} \right) * 4 * (44g) \Rightarrow F_{CO_2} = 248,81g \text{ de gas carbonico}$$

- c) Determinación de la cantidad de vino:

Despejando (F_3 vino) de la ecuación 4.18:

$$F_3 \text{ vino} = F_{\text{mosto}} - F_{CO_2} \Rightarrow F_3 = 4073,87g - 248,81g \Rightarrow F_3 \text{ vino} = 3825,06g$$

d) Determinación de la cantidad de etanol (H), es necesario considerar la expresión matemática (ecuación 4.21) según (Adams, 2000).

Datos: $PM_{sacarosa} = 342 \text{ g/mol}$
 $PM_{etanol} = 46 \text{ g/mol}$

Donde: $PM = \text{peso molecular de la sacarosa g/mol}$
 $PM = \text{peso molecular de etanol g/mol}$

De la ecuación química (2): 1 mol de sacarosa 4 moles de etanol

$$H = \left(\frac{S}{PM_{sacarosa}} \right) * 4 * (PM_{etanol}) \quad \text{Ecuacion 4.21}$$

$$H = \left(\frac{483,48g}{342g} \right) * 4 * (46g) \Rightarrow H = 260,12g \text{ de etanol}$$

e) Determinación de la concentración de alcohol en la sidra (H) es necesario considerar la expresión matemática (ecuación 4.22) según (Adams, 2000).

Datos: $H = 260,12 \text{ g}$
 $F_3 = 3825,06 \text{ g}$

Donde: $H = \text{cantidad de etanol g}$
 $F_3 = \text{vino producto de la fermentación g}$

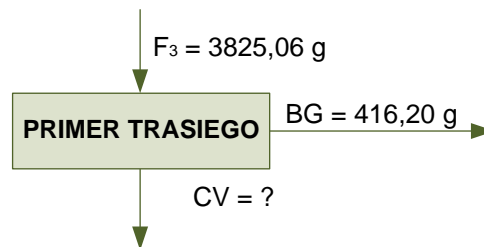
$$H_{sidra} = \frac{H}{F_3} * 100 \quad \text{Ecuacion 4.22}$$

$$H_{sidra} = \frac{260,12g \text{ de etanol}}{3825,06g} * 100 \Rightarrow H_{sidra} = 6,8\%$$

4.6.10 BALANCE DE MATERIA EN LA ETAPA DE 1º TRASIEGO

Para realizar el balance de materia en el proceso de primer trasiego (figura 4.13), Se tomó en cuenta la cantidad 3825,06 g de vino producto de la fermentación.

Figura 4.14
 Balance de materia en la etapa de primer trasiego



Datos:	Donde:
BG = 416,20 g	BG = cantidad de borras gruesas (g)
F ₃ = 3825,06 g	F ₃ = vino producto de la fermentación (g)
CV = ?	CV = cantidad de vino libre de borras gruesas (g)

Planteamiento; balance de materia en la etapa de primer trasiego

$$F_3 = BG + CV \quad \text{Ecuacion 4.23}$$

Despejando (CV) de la ecuación 4.23:

$$CV = F_3 - BG \quad \text{Ecuacion 4.24}$$

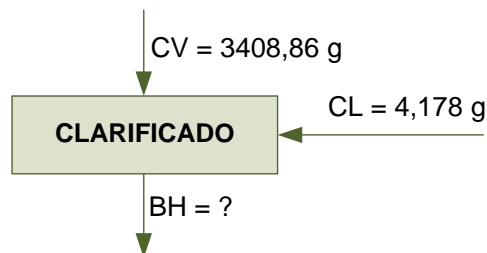
$$CV = 3825,06 \text{ g} - 416,20 \text{ g}$$

$$CV = 3408,86 \text{ g}$$

4.6.11 BALANCE DE MATERIA EN LA ETAPA DE CLARIFICADO

Para realizar el balance de materia en el proceso de clarificado (figura 4.14), Se tomó en cuenta la cantidad 3408,86 g de vino libre de borras gruesas.

Figura 4.15
Balance de materia en la etapa de clarificado



Datos:	Donde:
BH = ?	BH = cantidad de vino clarificado (g)
CL = 4,178 g	CL = cantidad de clarificante (g)
CV = 3408,86 g	CV = cantidad de vino libre de borras gruesas (g)

Planteamiento; balance de materia en la etapa de clarificado:

$$CV + CL = BH \quad \text{Ecuacion 4.25}$$

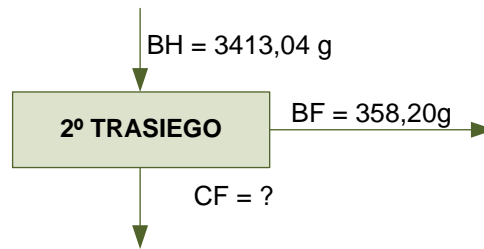
Reemplazando valores en la ecuación 4.25:

$$BH = 3408,86 \text{ g} + 4,178 \text{ g} \Rightarrow BH = 3413,04 \text{ g}$$

4.6.12 BALANCE DE MATERIA GLOBAL EN LA ETAPA DE 2º TRASIEGO

Para realizar el balance de materia en el proceso de segundo trasiego (figura 4.15), Se tomó en cuenta la cantidad 3413,04 g de vino clarificado.

Figura 4.16
Balance de materia en la etapa de segundo trasiego



Datos:

BH = 3413,04 g

BF = 358,20 g

CF = ?

Donde:

BH = cantidad de vino clarificado (g)

BF = cantidad de borras finas (g)

CF = cantidad de vino libre de borras finas (g)

Planteamiento; balance de materia en la etapa de segundo trasiego:

$$BH = BF + CF \quad \text{Ecuacion 4.26}$$

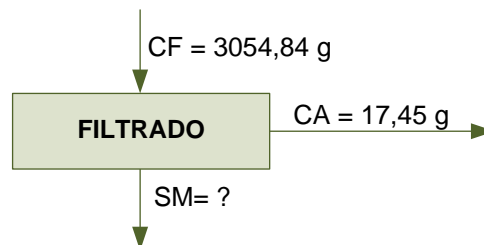
Despejando (CF) de la ecuación 4.26:

$$CF = BH - BF \quad \Rightarrow \quad CF = 3413,04 \text{ g} - 358,20 \text{ g} \quad \Rightarrow \quad CF = 3054,84 \text{ g}$$

4.6.13 BALANCE DE MATERIA GLOBAL EN LA ETAPA DE FILTRADO

Para realizar el balance de materia en el proceso de filtrado (figura 4.16), Se tomó en cuenta la cantidad 3054,84 g de vino libre de borras finas.

Figura 4.17
Balance de materia en la etapa de filtrado



Datos:

SM = ?

CA = 17,45 g

CF = 3054,84

Donde:

SM = Cantidad de sidra de manzana (g)

CA = Cantidad de coloides adheridos al medio filtrante (g)

CF = Cantidad de vino libre de borras finas (g)

Planteamiento; balance de materia en la etapa de filtrado:

$$CF = CA + SM \quad \text{Ecuacion 4.27}$$

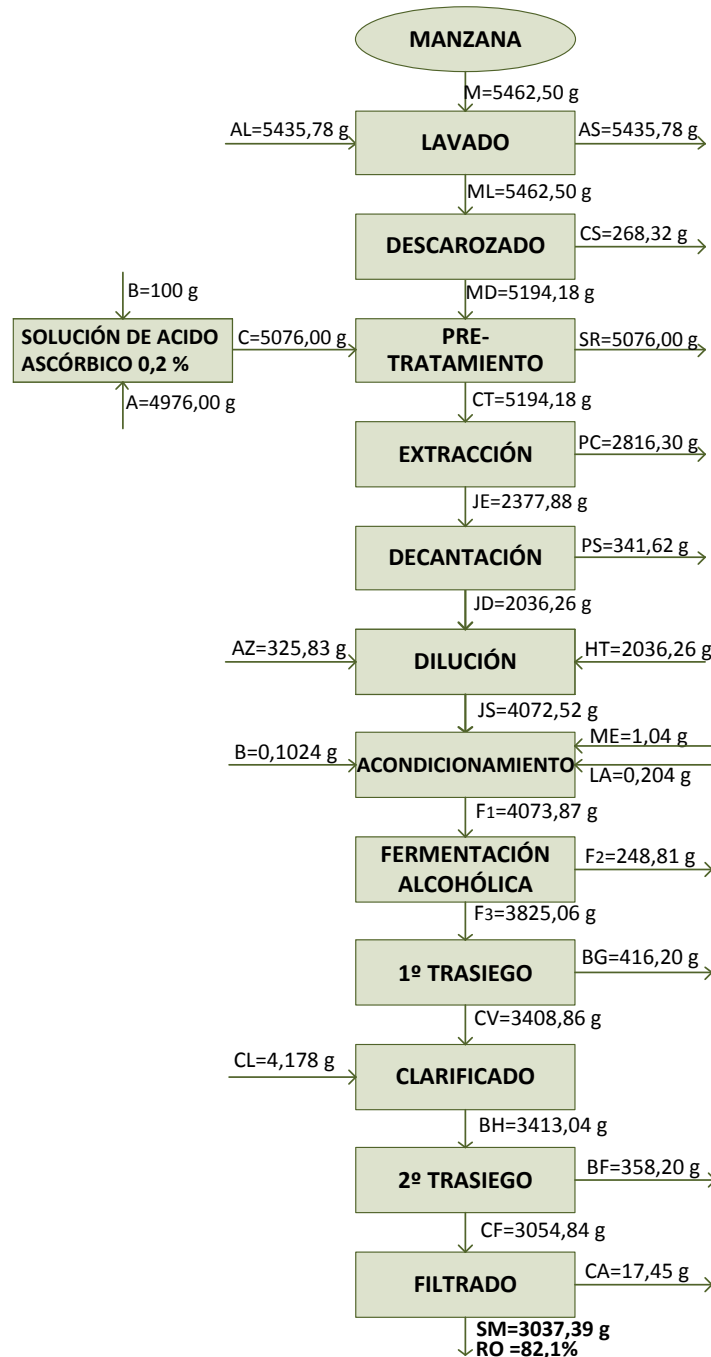
Despejando (SM) de la ecuación 4.27:

$$SM = CF - CA \quad \Rightarrow \quad SM = 3054,84 \text{ g} - 17,45 \text{ g} \quad \Rightarrow \quad SM = 3037,39 \text{ g}$$

4.7 RESUMEN DEL BALANCE DE MATERIA EN LA ELABORACIÓN DE SIDRA NATURAL DE MANZANA

En la figura 4.20, se puede observar el resumen del balance de materia global y parcial en el proceso de elaboración de sidra natural de manzana.

Figura 4.18
Resumen del balance de materia



Fuente elaboración propia

4.8 BALANCE DE ENERGÍA EN EL PROCESO DE ELABORACIÓN DE SIDRA NATURAL DE MANZANA

El balance de energía se basa en la ley de conservación de energía que indica que en un proceso, la energía no se crea, ni se destruye, solo se transforma (Rodríguez, 1993).

4.8.1 BALANCE DE ENERGÍA EN LA ETAPA DE EXTRACCIÓN

Para realizar el balance de energía en el proceso de extracción se tomó en cuenta el trabajo realizado y el calor generado en su funcionamiento del motor por la **ley de Joule** (Castellán, 1987).

Especificaciones técnicas de la extractora marca PHILIPS:

Capacidad: 1,5 litros

Fuente: 220 V

Potencia del motor: 350 watt

Tiempo de funcionamiento: 45 minuto = 2700 segundos.

Sea las ecuaciones de trabajo, energía y calor:

$$P = \frac{T}{t} \quad \text{Ecuacion 4.28 (Castellan, 1987)}$$

$$P = V * I \quad \text{Ecuacion 4.29 (Castellan, 1987)}$$

$$P = \frac{V^2}{R} \quad \text{Ecuacion 4.30 (Castellan, 1987)}$$

$$Q = 0,24 * R * I^2 * t \quad \text{Ecuacion 4.31 (Castellan, 1987)}$$

♣ Despejando (T) de la ecuación 4.28:

$$T = P * t$$

Reemplazando valores en la ecuación 4.28:

$$T = 350 \text{ watt} * 2700 \text{ segundos} \Rightarrow T = \mathbf{945000 \text{ Joules}}$$

♣ Despejando (I) de la ecuación 4.29:

$$I = \frac{P}{V}$$

Reemplazando valores en la ecuación 4.29:

$$I = \frac{350 \text{ watt}}{220V} \Rightarrow I = \mathbf{1,6 \text{ Amperios}}$$

♣ Despejando (R) de la ecuación 4.30

$$R = \frac{V^2}{P}$$

Reemplazando valores en la ecuación 4.30:

$$R = \frac{48400 V^2}{350 watt} \Rightarrow R = 138,29 \text{ Ohm}$$

♣ De la ecuación (4.31) encontrar el calor (Q) generado en el motor:

$$Q = 0,24 * 138,29 \text{ Ohm} * (1,59)^2 * 2700 \text{ seg.}$$

$$Q = 226718,16 \text{ cal} \Rightarrow Q = 226,7 \text{ Kcal}$$

4.8.2 BALANCE TERMICO EN LA ETAPA FERMENTACIÓN ALCOHÓLICA

Para la elaboración de sidra natural de manzana, el líquido que es transformado a alcohol etílico es el jugo de la manzana utilizada, ya que en él se encuentran los azúcares que son convertidos a alcohol (Rivera, 2011).

$$\Delta H = \frac{Q}{L} \quad \text{Ecuacion 4.32}$$

ΔH ; Es el cambio de entalpia entre los productos y los reactivos debido a la reacción química. Como la reacción de fermentación es exotérmica, se tendrá que calcular la cantidad de calor generada durante la reacción, para ello se necesitara los calores de combustión de los reactivos y los productos.

DATOS PARA LA REACCIÓN QUÍMICA DE FERMENTACIÓN ALCOHÓLICA:

Contenido de azúcar del mosto acondicionado 14°Brix (g/Kg)

L: cantidad molar del azúcar

ΔH_R : Calor normal de la reacción

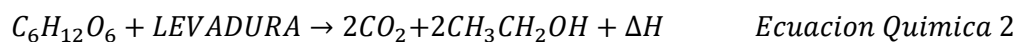
ΔH_c : Calores normales de la combustión a 18°C

$\Delta H_{(sacarosa)}$: -1348,9 Kcal/mol (Rosales, 1986)

$\Delta H_{(glucosa)}$: - 673 Kcal/mol (Rosales, 1986)

$\Delta H_{(etanol)}$: -326,7 Kcal/mol (Rosales, 1986)

La reacción es:



Para determinar el calor de reacción a partir de los calores de combustión es necesario considerar la expresión matemática (ecuación 4.36) según (Rosales, 1986).

$$\Delta H_R = \sum \Delta H_{\text{productos}} - \sum \Delta H_{\text{reactivos}} + \Delta H \quad \text{Ecuacion 4.33}$$

$$\Delta H_R = -2\Delta H_{\text{glucosa}} - 2\Delta H_{\text{CO}_2} - \Delta H_{\text{etanol}} + \Delta H_{\text{sacarosa}} + \Delta H_{\text{glucosa}} + \Delta H_{\text{agua}}$$

Reemplazando valores en la ecuación 4.33:

$$\Delta H_R = -2 * 673 \left(\frac{\text{Kcal}}{\text{mol}} \right) + 2 * 0 \left(\frac{\text{Kcal}}{\text{mol}} \right) - 2 * 326,7 \left(\frac{\text{Kcal}}{\text{mol}} \right) + 1348,9 \left(\frac{\text{Kcal}}{\text{mol}} \right) + 673 \left(\frac{\text{Kcal}}{\text{mol}} \right) + 0 \left(\frac{\text{Kcal}}{\text{mol}} \right)$$

$$\Delta H_R = 22500 \left(\frac{\text{cal}}{\text{mol}} \right)$$

Para determinar la cantidad molar de azúcar (L) es necesario considerar la expresión matemática (ecuación 4.34) según (Rosales, 1986).

$$L = \text{cantidad de mosto} * \frac{\text{contenido de azúcar}}{PM_{\text{sacarosa}}} \quad \text{Ecuacion 4.34}$$

$$L = 5,12 \text{ Kg} * \frac{0,14 \text{ g/Kg}}{342 \text{ g/mol}}$$

$$L = 0,7182 \text{ g} * \frac{1 \text{ mol de sacarosa}}{342 \text{ g}} * 1000$$

$$L = 2,1 \text{ mol de azucar}$$

De la ecuación (4.32) despejar Q:

$$Q = \Delta H * L \quad \text{Ecuacion 4.35}$$

Reemplazando valores en la ecuación 4.35:

$$Q = 22500 \left(\frac{\text{cal}}{\text{mol}} \right) * 2,1 \text{ mol}$$

$$Q = 47250,13 \text{ calorías (calor desprendido en el proceso)}$$

5.1 CONCLUSIONES

- ♣ De la investigación realizada se puede concluir que a nivel experimental se ha obtenido sidra natural de manzana en un proceso de fermentación alcohólica, utilizando como materia prima manzana de la variedad Anna, con un requerimiento de tiempo para el proceso completo de 17 días, 11 días para la fermentación alcohólica y 6 días para el clarificado.
- ♣ De acuerdo al análisis fisicoquímico realizado a la materia prima manzana variedad Anna, esta presentó un contenido de humedad del 82.62%, azúcares totales 15.43%, acidez 0.38%, pH 4.57, ácido ascórbico 2.37 (mg/100 g), sólidos solubles 12 °Brix.
- ♣ En la evaluación sensorial para elegir la muestra final, se evaluaron cuatro muestras, se obtuvo para el atributo aroma la muestra con mejor puntuación fue M2 (7.13), para el atributo aspecto limpidez M2 (6.60), y para el atributo color M2 (6.33), de esta manera se eligió M2 como la muestra final y la más representativa para la sidra natural de manzana.
- ♣ En cuanto a la evaluación sensorial final para determinar las propiedades organolépticas del producto terminado, se evaluaron los atributos aroma, aspecto (limpidez) y color para la muestra final, donde los jueces mostraron preferencia por el atributo aroma (7,27), seguido del atributo aspecto limpidez (6,93) y por último el atributo color (7,00).
- ♣ Después de realizar el análisis completamente al azar de los factores de la fermentación alcohólica se concluye que el mejor tratamiento para la investigación fue la M2 (14 °Brix y a una temperatura de 15°C) con las siguientes características:

Tiempo de fermentación: 11 días

Grado alcohólico del producto terminado: 6,5 °GL

Se acepta la hipótesis alternativa que dice:

La concentración de sacarosa en el jugo; expresado en °Brix y la temperatura inciden en el tiempo de fermentación ya que $F_{cal} < F_{tab}$ ($0,242 < 2.916$).

- ♣ La sidra de manzana obtenida posee una concentración de alcohol de 6,5 °GL (Gay Lussac) y una densidad de 1.043 g/ml.
- ♣ Realizando el análisis fisicoquímico del producto terminado se tiene un contenido de acidez total (como ácido málico) 163 mg/l, grado alcohólico de 6,5% y anhídrido sulfuroso total de 85 mg/l.

5.2 RECOMENDACIONES

- ♣ Se recomienda usar manzanas sin defectos pero también se puede usar fruta con pequeñas fallas físicas para la producción de calvados (destilado de sidra).
- ♣ La manzana usada para la producción de sidra natural, no debe ser ni tierna ni sobre madura, debido que afectaría al proceso de fermentación.
- ♣ Para la fermentación del mosto, se recomienda usar otro tipo de levadura o enzima como también probar con temperaturas iguales a del medio ambiente.