

CAPÍTULO I
INTRODUCCIÓN

1.1. Antecedentes

La frutilla es conocida en el mundo por sus nombres en español como frutilla, fresa o fresón, en inglés como strawberry, en francés fraise, en portugués mo-rango, en alemán erdbeere y en italiano fragola. Es una planta perteneciente a la familia de las rosáceas cuyo fruto es comestible; este es un eterio, un receptáculo floral carnoso que presenta una gran cantidad de aquenios; es una fuente de vitamina C, vitamina P, hidratos de carbono, potasio, magnesio, calcio y agua. (Ojeda, 2016)

De acuerdo a (Kessel, 2012), el género fragaria aparece en estado silvestre en América, Asia y Europa. En este último continente existen referencias sobre su consumo desde los tiempos de la antigua Roma. El cultivo de las especies de fruto pequeño se extendió en Europa hasta el final del siglo XIX, momento en el que comenzaron a surgir híbridos entre las especies europeas y las americanas de frutos grandes (*F. chiloensis* y *F. virginiana*) dando origen a los híbridos con frutos de mayor tamaño.

Así mismo, la frutilla es una especie frutal que dependiendo del cultivar se adapta a una amplia gama de suelos y climas. Sin embargo, uno de los principales problemas lo constituyen las pudriciones fungosas, que son un factor preponderante en el deterioro de la fruta. La producción de frutillas en Bolivia se realiza en diversas condiciones climáticas y de manejo, por lo que es posible encontrar rendimientos desde 12 ton/ha a 50 ton/ha. (Gonzales, 2016)

La producción mundial de frutillas, esta alcanzó 9.223,815 de toneladas en 2017, un incremento del 1% respecto al 2018. China fue también el primer país productor en el mundo de la frutilla, con una producción de 3.717,283 de toneladas en 2017, lo que representó el 40,3% de la producción mundial. Los otros productores importantes fueron los EEUU (15,7%), México (7,1%), Egipto (4,4%), Turquía (4,3%) y España (3,9%). (Perdomo, 2019)

La siguiente figura I-1, refleja los principales productores de frutilla en el mundo.



Fuente: Perdomo, 2019

Figura I- 1 Principales productores de frutilla en el mundo

En Bolivia, según datos determinados por El Instituto para el Desarrollo Rural de Sudamérica, la mayor producción de frutilla se ubica en Municipio de Comarapa del departamento de Santa Cruz, con una dimensión de 200 ha. extendida en todo el municipio con un rendimiento promedio de 24 Tn/ha. Sin embargo, también se produce en Municipio de Pojo, con 414 ha. en diferentes comunidades, y en Tarija y La Paz en pequeñas extensiones. (IPDRS, 2016)

Ahora bien, particularmente en Tarija según (Choque, 2021), “la producción de frutillas en el Valle Central representa una alternativa económica y laboral, mucho mejor que la producción de papa, cebolla y otros productos agrícolas” (Pág. 15).

En cuanto a los estudios e investigaciones realizadas acerca de la deshidratación osmótica de frutas, se tiene a los siguientes trabajos denominados “Deshidratación osmótica de la papaya” realizada por (Ramírez, 1998), “Deshidratación osmótica del arándano” (Arroyo, 2017) en la Universidad Autónoma Juan Misael Saracho.

1.2. Objetivos

1.2.1. Objetivo general

Elaborar rodajas deshidratadas de frutilla (*Fragaria ananassa*) variedad San Andreas, empleando procesos tecnológicos experimentales con el fin de contribuir en la

investigación de nuevas materias primas para la producción de rodajas deshidratadas de frutilla en el Departamento de Tarija.

1.2.2. Objetivos específicos

- Caracterizar la frutilla (*Fragaria ananassa*) San Andreas, con el fin de conocer sus propiedades físicas y químicas.
- Identificar las variables de operación del proceso de obtención de frutilla deshidratada con la finalidad de conocer cuáles son las variables que influyen en el proceso.
- Realizar el proceso tecnológico experimental para la obtención frutilla deshidratada.
- Realizar la parte experimental del proceso tecnológico, con la finalidad de conocer las mejores condiciones donde se pueda llevar a cabo la obtención de frutillas deshidratadas.
- Realizar el análisis organoléptico de las frutillas deshidratadas para determinar la calidad del producto.
- Caracterizar las propiedades fisicoquímicas de las frutillas deshidratadas obtenidas, para determinar la calidad del producto.
- Realizar el balance de materia y energía para la elaboración de frutillas deshidratadas.
- Calcular del rendimiento porcentual del proceso de elaboración de frutillas deshidratadas.
- Determinar los costos de investigación incluyendo el costo estimado del producto.

1.3.1. Justificación tecnológica

Se tiene como finalidad hacer llegar la información necesaria a todos los productores de frutilla de la ciudad de Tarija, de manera que se aprovechen las tecnologías que existen para dar el mayor uso a la fruta. Este proceso tiene buenas expectativas ya que la materia prima (frutillas) cumplen con buenas características de color, olor, sabor y

tamaño, el proceso de deshidratación osmótica se realizará en instalaciones del Laboratorio de Operaciones Unitarias LOU de la Carrera de Ingeniería Química, haciendo uso de sus equipos.

1.3.2. Justificación económica

La frutilla deshidratada es una gran opción para incentivar a que el mercado tarijeño aumente su potencial generando una mayor actividad económica, tomando en cuenta que en Bolivia existe una pequeña producción de frutos deshidratados en los departamentos de Santa Cruz, Cochabamba y La Paz, sin embargo, la demanda es grande pues el Instituto Boliviano de Comercio Exterior (IBCE) informa en la publicación Exportemos que en la gestión 2008 se registraron exportaciones de frutas secas por un monto aproximado de 132 mil dólares con un volumen de 67,5 toneladas.

Las frutas secas comienzan a ganar un importante espacio en el mercado por la tendencia al consumo saludable.

1.3.3. Justificación social

Este producto generará satisfacción en el entorno social, ya que es una nueva opción del derivado de la frutilla para incluir en el menú diario, combinan con todo tipo de alimentos en el desayuno, como aperitivo o para las meriendas, estudios demuestran que las frutas secas son aliadas del corazón al prevenir las enfermedades cardiovasculares, aportan vitaminas, minerales, proteínas y fibra.

Por otra parte, generará más empleo, beneficiando así a la misma sociedad.

1.3.4. Justificación ambiental

La proyección de la obtención de rodajas deshidratadas de frutilla tiene una visión adaptable a sus condiciones ambientales, ya que la acumulación de residuos orgánicos en la intemperie se convierte en un problema sanitario que ayuda a la proliferación de insectos, hongos, bacterias y olores de descomposición.

Por lo tanto, se pretende aprovechar de manera óptima la frutilla que se desperdicia por la gran oferta en épocas específicas del año y la fácil degradación (debido a la acción de los hongos *Botrytis* y *Rhizopus* en la fruta), transformando su pulpa en un subproducto con alto valor agregado como son las rodajas deshidratadas, por otro lado, los residuos que se generen se pueden reutilizar en la producción de abonos orgánicos lo que reduce la posibilidad de la contaminación al medio ambiente.

CAPÍTULO II
MARCO TEÓRICO

2.1. Características generales de la frutilla

2.1.1. Antecedentes generales

La frutilla (*Fragaria x ananassa* Duch.), pertenece a la familia de las Rosáceas y género *Fragaria*; es producto del cruzamiento entre *Fragaria chiloensis* L. y *Fragaria virginiana* Duch.; y es considerada una planta perenne, aunque su potencial productivo sólo dura dos años. La frutilla es una planta perenne estolonífera, de pequeña altura, que es cultivada para la producción de sus frutos, los que son altamente apreciados por los consumidores por su delicado sabor, agradable aroma y color rojo intenso. (Rayleigh, 2013).

La frutilla es conocida en vecinos países como fresa, fresón; en inglés como strawberry, en Alemania como como erdbeere, en francés como fraise, en portugués morango, lo que nos muestra la gran expansión que ha tenido esta por todo el mundo; como menciona (Pefaur, 2014), su fruto se destina al consumo directo como también a la producción de jugos, mermeladas, conservas, fármacos y licores.

2.1.2. Descripción botánica de la frutilla

2.1.2.1. Taxonomía

Según (Bonet, 2010), menciona que: la frutilla taxonómicamente pertenece a la familia Rosácea y género *Fragaria*, su nombre científico es *Fragaria ananassa* Duch. Las actuales variedades comerciales de frutilla provienen del cruzamiento *Fragaria chiloensis* y *Fragaria virginiana*. En el año 1712, se llevaron a Francia plantas seleccionadas de *Fragaria chiloensis* L., donde se cultivó en hileras alternadas con *Fragaria virginiana*, dando como resultado un híbrido clasificado como *Fragaria ananassa* Duch., del cual se obtuvieron frutos de mayor tamaño y calidad El género *Fragaria*, nombre derivado del latín *fragans* que significa oloroso. según (Bonet, 2010), la taxonomía se muestra en la siguiente tabla II-1:

Tabla II-1 Taxonomía de la frutilla

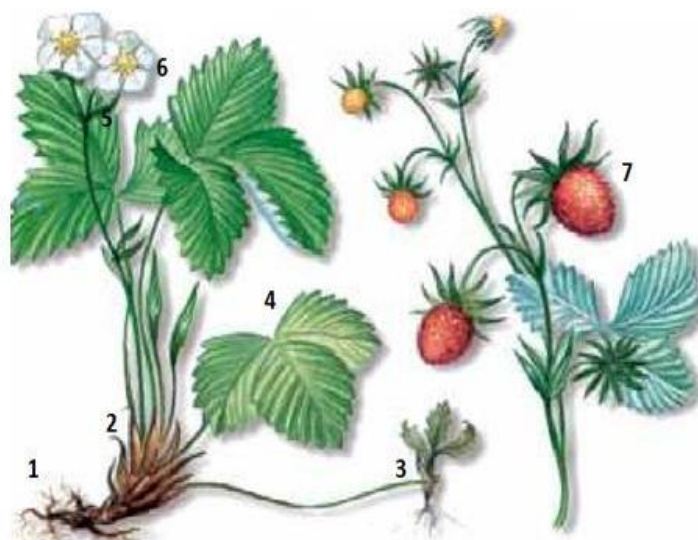
| | |
|--------------|----------------|
| Reino | Vegetal |
| Clase | Magnoliopsida |
| Orden | Rosae |
| Familia | Rosáceas |
| Género | Fragaria |

Fuente: Bonet, 2010

2.1.2.2. Características botánicas del cultivo

La planta de frutilla puede vivir varios años, sin embargo, dura uno o dos años en producción económica, ya que en cultivos de mayor edad las plantas se muestran visiblemente más débiles, con bajo rendimiento y frutas de menor calidad debido a una mayor incidencia de plagas y enfermedades. (Proexant, 2004)

Según (Perez, 1999), menciona que: la frutilla pertenece a la familia de las rosáceas, es una planta herbácea vivaz y de pequeño porte. Las raíces son fasciculadas y no muy profundas. Su tallo es corto, no se ramifica y se endurece ligeramente al envejecer. Las hojas son ovales trifoliadas, con bordes sinuosos y festoneados, provistas de grandes peciolo.



1. Raíz, 2. Tallo, 3. Hoja, 4. Flor, 5. Inflorescencia, 6. Fruto, 7. Estolón.

Fuente: Pérez, 1999

Figura II-1 Partes de la planta de frutilla

2.1.2.2.1. La raíz

La mayor parte del sistema radical se encuentra en los primeros 20 cm del suelo, si bien hay una serie de raíces que llegan a mayor profundidad tanto la planta madre como los estolones, emiten raíces adventicias en la zona del tallo en contacto con el suelo húmedo. (Maroto & López, 1988)

Son de aspecto fibroso, se originan en la corona, se dividen en primarias que son responsables del soporte y nacen en la base de las hojas, y secundarias que son más delgadas y de color marfil. Las raíces pueden penetrar en el suelo hasta 0,80 m, pero generalmente se encuentran en los primeros 0,40 m. Las raíces secundarias forman la masa radicular cuya función principal es la absorción de los nutrientes. (Olias, 1998)

2.1.2.2.2. El tallo

La frutilla es una planta perenne manejada como anual, presenta un tallo de tamaño reducido denominado corona, lleva las yemas tanto vegetativas como florales y de ella nacen: las hojas, los estolones y las inflorescencias. La corona original se ramifica formando una corona secundaria que puede llegar de 10 a 20 cm de longitud a una yema terminal que forma una nueva planta al desarrollarse. El nudo terminal del estolón emite hojas y raíces formando una nueva planta y simultáneamente esta produce estolones secundarios que repite el proceso y así sucesivamente en progresión geométrica una planta madre puede generar cientos plantines al año. (Folquer, 1986)

2.1.2.2.3. Hoja

El autor (Paredes, 2014), indica que: los pecíolos de longitud variable, son pinnadas o palmeadas, subdivididas en tres folíolos, pero es común que en algunas variedades existan 4 o 5. Tienen estípulas en su base y son de color verde intenso. Tienen un alto número de estomas, lo que permite su transpiración y a la vez las hace muy susceptibles a la falta de humedad.

Según (Folquer, 1986), afirma que: en la base de las inflorescencias, antes que estas se manifiesten, suele aparecer una bráctea monofoliar. Las hojas escamosas se presentan

en los nudos de los estolones y de las inflorescencias. Un involucre de brácteas acompaña a los sépalos de cada flor.

2.1.2.2.4. La flor

Las flores pueden ser perfectas (hermafroditas), con órganos masculinos y femeninos (estambres y pistilos), o imperfectas con un solo órgano masculino o femenino (unisexuales). Cada flor perfecta está constituida por un cáliz, compuesto normalmente por 5 sépalos, o más frecuentemente por un número variable, una corola compuesta generalmente por 5 pétalos que a menudo pueden ser más de 12, generalmente blancos de forma variable, desde elípticos a redondeados u ovalados. (Paredes, 2014)

2.1.2.2.5. Inflorescencia

Según (Olias, 1998), indica que: las flores están agrupadas en inflorescencias, poseen tallos modificados, en las que una bráctea sustituye en cada nudo a una hoja, mientras que la yema axilar de ésta se desarrolla en una rama secundaria o eje de la inflorescencia, las inflorescencias primarias salen del tallo terminal, mientras las secundarias proceden de yemas laterales.

Las inflorescencias son del tipo cimoso que pueden tener un raquis con ramificación alta o ramificación basal. En el primer caso dan una mayor facilidad para la recolección. El peciolo de la flor primaria es corto y generalmente no ramificado como lo de las secundarias. Las primeras flores dan frutos de mayor tamaño. (Ospina, 1995)

2.1.2.2.6. Fruto

La frutilla es un fruto múltiple (poli aquenio), denominado botánicamente “eterio”, cuyo receptáculo hipertrofiado constituye la parte comestible. Su forma puede ser achatada globosa cónica, cónica alargada, cónica alargada con cuello, en cuña alargada y en cuña corta y su color puede ser rosado, carmín, rojo o púrpura. (Folquer, 1986)

2.1.2.2.7. Estolón

Es un brote delgado, largo, rastrero, que se forma a partir de las yemas axilares de las hojas situadas en la base de la corona. Se desarrollan en gran cantidad en épocas de alta temperatura y fotoperiodos prolongados. En el extremo del estolón se forma una roseta

de hojas que en contacto con el suelo emite raíces, lo que origina una nueva planta con idénticos caracteres que la planta madre. (Proexant, 2004)

2.1.3. Propiedades nutricionales y funcionales de la frutilla

Según (Torres, 2017), menciona las siguientes propiedades nutricionales de la frutilla: Por su contenido en fibra, mejora el tránsito intestinal y protege al estómago de los efectos del alcohol.

Acción desinfectante y alcalinizadora de la orina, por su contenido en ácido cítrico; que potencia la acción de la vitamina C.

La fresa tiene propiedades antiinflamatorias y anticoagulantes.

Por sus propiedades antioxidantes (vitaminas C y E), es un excelente alimento anti envejecimiento.

Gracias a su contenido en ácido fólico, ayuda a fortalecer las defensas del organismo y contribuyen a la formación de anticuerpos, y la producción y fortalecimiento de glóbulos rojos y blancos. Su consumo resulta muy adecuado en mujeres embarazadas para prevenir la espina bífida; alteración en el desarrollo del sistema nervioso del feto. (Torres, 2017)

La vitamina C interviene en la formación del colágeno, los huesos, los dientes, también favorece la absorción del hierro de los alimentos, por lo que mejora o previene la absorción de grasa en las arterias y con ello, la posibilidad de que se pegue a estas.

Los antioxidantes pueden bloquear los radicales libres que modifican el llamado mal colesterol, contribuyendo a reducir el riesgo cardiovascular y cerebro vascular.

Muy recomendado en lactancia, tabaquismo, empleo de ciertos medicamentos bajada de defensas, estrés o enfermedades inflamatorias crónicas.

Por su elevado contenido de potasio y bajo en sodio, resultan muy adecuadas para aquellas personas que sufren de hipertensión arterial o afecciones de los vasos sanguíneos y el corazón.

En la tabla II-2, se muestra la composición nutricional de la frutilla en 100 g de porción comestible.

Tabla II-2 Datos sobre la composición nutricional de la frutilla

| Nutrientes | Cantidad | Unidades |
|--------------|----------|----------|
| Energía | 39 | Kcal |
| Grasa total | 0,3 | |
| Calcio | 28 | mg |
| Colesterol | - | |
| Fibra | 1,4 | g |
| Folato | 0 | ug |
| Fosforo | 27 | mg |
| Glúcidos | 9,6 | |
| Hierro | 1,5 | mg |
| Niacina | 0,3 | mg |
| Riboflavina | 0,07 | mg |
| Tiamina | 0.03 | mg |
| Yodo | - | ug |
| Vitamina A | 3,33 | mg |
| Vitamina C | 75 | mg |
| Vitamina D | - | |
| Vitamina E | 0 | mg |
| Vitamina B12 | - | |

Fuente: Mataix, 2005

La composición química que se detalla en la tabla II-3, puede variar de acuerdo con las características genéticas del cultivar, sistema de producción agrícola seleccionado, condiciones climáticas y prácticas de manejo agronómico.

En la tabla II-3, se muestra la composición química de la frutilla en 100 g de porción comestible.

Tabla II-3 Datos sobre la composición química de la frutilla

| Componente | Porcentaje (%) |
|---------------|----------------|
| Agua | 89,9 |
| Proteína | 0,8 |
| Grasa | 0,5 |
| Carbohidratos | 6,9 |
| Fibras | 1,4 |
| Cenizas | 0,5 |

Fuente: Terranova, 1995

2.3. Clasificación de la frutilla

Según los autores (Morales & Vargas, 2017), mencionan que: la frutilla cuenta con muchas variedades, esto debido a su sensibilidad al clima, es decir, la temperatura es un gran factor en su producción pues según esta se determina las zonas de producción y los injertos aptos según la luminosidad a la que será expuesta. Es en este sentido, se menciona a continuación las variedades de frutillas: Albión, San Andreas, Monterrey, Portola, Aromas, Cristal y Amandine.

Se describe algunas a continuación:

- San Andreas: Es excepcional en su apariencia con un olor intenso al igual que su sabor. Su calidad es constante los 365 días del año y su vida pos-cosecha excelente. San Andreas es una variedad de día neutro moderado de excelente calidad de fruta (similar al Albión), excelente sabor, con poca necesidad de frío en vivero resistente a enfermedades. Posiblemente, la primera variedad de día neutro que se adapta a los mercados de variedades de día cortó. Produce mucho menos estolones que el Albión que está en producción de fruta. (Fautapo, 2012)

En la figura II-2, se presenta la frutilla de la variedad San Andreas



Fuente: Villagran et al, 2016

Figura II-2 Frutilla variedad San Andreas

- Albión: Es la variedad con mayor superficie y desarrollo en Chile. Variedad moderadamente neutra. Mercado: muy buena aptitud para mercado fresco, es la variedad que acumula mayor cantidad de azúcar, muy demandada también para congelados. Planta: tamaño intermedio de lento crecimiento inicial con

temperaturas bajas en primavera. Fruto: color rojo externo de hombros más claros con bajas temperaturas y pulpa de color moderado, con gran acumulación de azúcar (10-14 °Brix). (Morales et al., 2017)

En la siguiente figura II-3, se muestra la frutilla de variedad Albión



Fuente: Pefaur & Barries, 2014

Figura II-3 Frutilla variedad Albión

- **Cartujo:** Es una variedad española, sus hojas son grandes y de color oscuro, su floración sobresale de la masa foliar; esta se puede plantar en verano y otoño en lugares de clima templado, su piel es de rojo brillante. El calibre del fruto es homogéneo y grande, de forma cónica, la pulpa es de color rojo y anaranjado, firme, la piel es de color rojo brillante, es de tamaño más grande que la variedad Chandler y con buen equilibrio azúcar-acidez. (Bonet, 2010)
- **Camarosa:** Variedad de día corto, muy vigorosa, de hoja de color verde claro, buen desarrollo radicular, fruto de gran firmeza, con mayor desarrollo a las demás variedades. Muy cotizada por los comercializadores. Se obtienen rendimientos superiores a 1 kg por planta, lo que, unido a la calidad de su fruto, la hacen una de las más solicitadas para la venta en fresco y para la agroindustria, sus frutos son grandes, firmes, color rojo fuerte y es más vigorosa, es considerada la variedad con más rendimiento. (Fautapo, 2012)

En la figura II-4, se presenta la frutilla de variedad Camarosa.



Fuente: Villagran et al, 2016

Figura II-4 Frutilla variedad Camarosa

- Chandler: Es una planta de hojas grandes y gran vigor, su color es ligeramente menor que la variedad pájaro; no obstante, se adapta fácilmente a diversas condiciones climáticas. Los frutos generalmente son un tamaño uniforme, grandes, de buen color y sabor dulce. Las características que ofrece esta variedad sobre las demás son sus buenas propiedades organolépticas y su buen equilibrio ácido-base, tiene la ventaja que presenta los aquenios más hundidos en la superficie del fruto. (Pefaur, 2014)

En la figura II-5, se muestra la frutilla variedad Chandler



Fuente: Sweet Berry, 2015

Figura II-5 Frutilla variedad Chandler

- Sweet Charlie: Esta variedad fue introducida por la Universidad de Florida, su fruto es mediano, rojo, de un excelente sabor; muy producida y resistente a la temporada de otoño e invierno, es resistente a antracnosis y sensible a botritis. Es una de las variedades más adaptadas al trópico debido a su origen. Resiste cuatro mayores niveles de humedad que las otras variedades. La forma de la fruta es casi perfecta, en cuanto a sabor y aroma es muy especial. El tamaño es mediano. (Corporación Colombia Internacional, 2000)

2.3.1. Producción actual de frutilla

Los principales países exportadores destinan más de 70% de su producción a mercado fresco, y el resto lo destinan a proceso, principalmente congelado. Las exportaciones de frutillas alcanzaron un total de 1.533,483 toneladas en el año 2013, por un valor de USD 3.477 millones de dólares. En términos de volumen, las frutillas frescas representan el 53% del total de frutillas exportadas. Las siguen las frutillas congeladas, con 38% del total del volumen exportado; las frutillas preparadas o conservadas corresponden al 9% restante. (Ministerio de agricultura de Chile, 2014)

Además, el mercado se ha incrementado en los últimos años, puesto que las exportaciones de esta se ubican en 227 millones 760 mil dólares, incrementándose en alrededor de 5% por año. El volumen de fresas congeladas aumenta en 8%. (FAO, 2011)

Tal es el caso de Bolivia, donde ha aumentado la producción año tras año, como se describe en la siguiente tabla II-4:

Tabla II-4 Bolivia: Producción de frutilla por departamento (ton/año)

| Descripción | 2016-2017 | 2017-2018 | 2018-2019 | 2019-2020 |
|--------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|
| Santa Cruz | 1690 | 1699 | 1697 | 1692,84 |
| Tarija | 99,99 | 100,94 | 100,14 | 99,22 |
| La Paz | 23 | 22 | 22 | 21,13 |
| Cochabamba | 1452 | 1397 | 1607 | 1448,86 |
| Chuquisaca | 23 | 29 | 31 | 25,43 |
| Beni | - | - | - | - |
| Pando | - | - | - | - |
| Potosí | - | - | - | - |
| Oruro | - | - | - | - |
| Producción total | 3287,99 | 3247,94 | 3457,14 | 3287,48 |

Fuente: INE, 2020

Donde:

Ton = Toneladas

El desarrollo de nuevas tecnologías, métodos de plantación, propiedades curativas y agradable sabor posicionan a esta fruta en los puntos más altos de producción a nivel mundial, en Tarija, la producción se detalla en la siguiente tabla II-5:

Tabla II-5 Producción de frutilla en Tarija por año

| Descripción | 2016-2017 | 2017-2018 | 2018-2019 | 2019-2020 |
|--------------------------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|
| Superficie cultivada (ha/año) | 35 | 35 | 35 | 34,48 |
| Producción por año agrícola (Tm/año) | 99,99 | 100,94 | 100,140 | 99,22 |
| Rendimiento (kg/ha) | 2857 | 2884 | 2861,380 | 2877,62 |

Fuente: INE, 2020

Donde

ha= Hectáreas

Tm = Toneladas métricas

2.3.2. Cultivo y plantación de la frutilla

El cultivo de la frutilla se realiza a través de plántulas provenientes de estolones, este se puede realizar en verano o en otoño-invierno; por lo que la frutilla está presente en todo el año. Los tipos de plantaciones pueden ser:

- Plantación de verano: Es aconsejable realizarlo en los meses de enero y febrero, la primera floración se elimina puesto que produce frutos deformes, además de que esta

práctica fortalece al desarrollo de la planta, en esta se usa variedades de día corto, ya que genera mayor rendimiento.

- **Plantación de invierno:** Realizada en los meses de abril y mayo, esta produce frutilla precoz, la cual tiene mejores precios en el mercado local, este es de mejor calidad, pero de menor rendimiento; se utilizan variedades de día neutro o donde el invierno es leve.

Las características para el cultivo, es realizarlo en planta bandas con un ancho de 60cm, en surcos de 40cm de ancho por 25cm de profundidad; esto asegura que a los 15 días de plantado surjan los primeros brotes; así también se recomienda el uso de polietileno de baja densidad contra la radiación ultra violeta, de color gris un espesor de 0,07mm (para invierno) el cual favorece el control de malezas y en época de verano se debe inclinar por el uso de plástico negro u opaco, este evita la incidencia de moho gris, además de evitar el contacto de la fruta con la tierra. (Pefaur & Barries, 2014)

2.3.3. Producción de frutilla en Tarija

Actualmente no se cuentan con datos confiables sobre los registros de productores en Tarija, todo esto debido a que el fruto se ha esparcido por todo el departamento, motivo que ha dificultado la cuantificación de estos, no obstante, se muestran a continuación los datos más representativos recabados en la tabla II-6:

Tabla II-6 Superficie cultivada de frutilla en el Valle Central de Tarija

| Comunidad | Superficie cultivada (ha) |
|-------------|---------------------------|
| Yesera | 15 |
| Coimata | 6 |
| El Portillo | 10,42 |
| Otros | 3,06 |
| Total | 34,48 |

Fuente: FAUTAPO, 2015

Yesera: Se encuentra a 31,5km de la ciudad de Tarija, alrededor de 40min; en el año 2014 se implementó un proyecto de producción de frutilla junto con riego por goteo lo que produce en la zona alrededor de 43.164 kilogramos anuales, implementando hasta 15 hectáreas, las variedades cultivadas son San Andreas y Albión. La zona de Yesera

es apta para el cultivo de la frutilla por sus características climáticas, como señala un informe de (FAUTAPO, 2015).

Coimata: La comunidad de Coimata, ubicada en el valle central de Tarija actualmente cuenta con alrededor de 6 hectáreas destinadas al cultivo de frutilla, los cuales cuentan con nueva tecnología para el cultivo de estos, debido a la implementación de invernaderos lo que asegura la calidad y un mejor desarrollo de estos, como menciona el representante de la Asociación de Productores de Frutilla de Coimata, ing. Edwin Camacho Las variedades cultivadas en la comunidad de Coimata son Camila, San Andreas y Albión. (Céspedes, 2014)

Portillo: Un total de 21 familias en la comunidad del Portillo producen frutilla, de las variedades Albión, Aroma y San Andreas, en el año 2014 se implementaron alrededor de 5000 platines brindando 30 mil kilogramos de frutilla generando un ingreso económico mayor a medio millón de bolivianos gracias al apoyo de la subgobernación. (Céspedes, 2014)

Tolomosa: La comunidad de Tolomosa ha incursionado en el cultivo de la frutilla desde hace más de 10 años. Tal es el hecho de que en esta comunidad se realiza cada año la feria de la frutilla, se cuenta con 40 productores en ascenso produciendo más de 1000 kilogramos de frutilla. (FAUTAPO, 2015)

El precio de la frutilla en el mercado tarijeño oscila entre Bs. 10-25, si bien la frutilla es un fruto que está presente todo el año, el precio varía según la temporada, pues en época de primavera, se tienen mayores cantidades de producción lo que equivale a un menor precio de venta, actualmente esta es vendida en el mercado local en bolsas de nylon por mayor y menor.

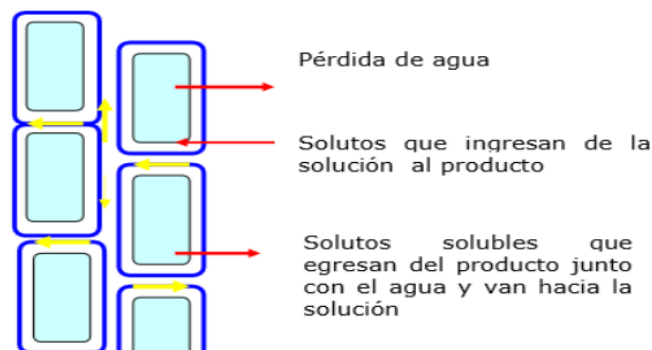
2.4. Deshidratación osmótica

La deshidratación osmótica (DO) es una técnica que se aplica a productos frutihortícolas, la cual permite reducir su contenido de humedad (hasta un 50-60% en base húmeda) e incrementar los sólidos solubles, es un tratamiento no térmico utilizado para reducir el contenido de agua de determinados productos, por inmersión de estos

en una solución hipertónica de un determinado soluto, con el objeto de extender su vida útil y mantener características sensoriales, funcionales y nutricionales. Es un método antiguo que se va mejorando a través del tiempo y adecuando a las necesidades actuales. (Poiting et al., 1966)

Con la deshidratación osmótica se remueven cantidades significativas de agua y del mismo modo se impregna de soluto. Al sumergir trozos de estos en una solución concentrada de sales o azúcares, puede producir ósmosis, pues existirá una transferencia de agua desde el alimento hasta la solución. Como existe mayor presión osmótica, a medida que se incremente la diferencia entre las concentraciones del jarabe y los trozos del alimento, ésta pierde un porcentaje de agua a distintas horas de inmersión. (Mascheroni & Spiazzi, 1999)

Aumentar el contenido de sólidos dentro de los alimentos no es un proceso de conservación, sino una etapa de tratamiento previo para operaciones de conservación y almacenaje. Si se somete un producto a deshidratación osmótica previo al secado, se puede aumentar la capacidad de los secadores y el rendimiento en la etapa final. Esto reduce la energía, y la mejora los productos naturales. (MinAgri, 2010)



Fuente: Rocca, 2010

Figura II-6 Flujo de solutos y de agua en el producto alimenticio inmerso a la solución hipertónica

El proceso de deshidratación osmótica se caracteriza por una etapa de transigente antes de alcanzar el equilibrio. Durante el periodo dinámico la velocidad de transferencia de masa disminuye hasta llegar al equilibrio. Cuando éste alcanza la velocidad de

transporte neta de masa es nula y es el final del proceso osmótico. (Genina, 2002)

2.4.1. Principios y fundamentos

El fenómeno de deshidratación osmótica se ha tratado de explicar a partir de los conceptos fundamentales de transferencia de masa al establecer el origen de las fuerzas impulsoras difusivas involucradas. El mecanismo de impregnación se considera que es producto de la casi saturación de las capas exteriores o superficiales; la mayoría de las explicaciones y el modelado y cálculo de los parámetros que los describen han sido calculados a partir de la segunda ley de Fick. (Genina, 2002)

2.4.2. Fenómenos de membranas: La ósmosis

2.4.2.1. Difusión a través de membranas

La ósmosis es una clase especial de difusión que se define como "el flujo neto de agua que atraviesa una membrana semipermeable que separa dos compartimentos acuosos". La membrana celular se comporta de forma aproximada como una membrana semipermeable, es decir dejando pasar el agua, pero no los solutos. El agua se mueve desde una zona donde su concentración es mayor, a otra donde es menor. En el caso de las soluciones intra y extracelular el agua se moverá desde la solución que presente una menor concentración (solución hiposmótica) a la que tenga la mayor concentración (solución hiperosmótica). La presión hidrostática necesaria para impedir la ósmosis se define como "presión osmótica". (Noriega & Pérez, 2011)

2.4.3. Ventajas y desventajas de la deshidratación osmótica

Ventajas

- Evita pérdidas de aromas de los alimentos, pues éstos son volátiles a altas temperaturas; debido a que el agua que sale del alimento va a la solución concentrada en estado líquido.

- La ausencia de aire en el interior de la masa de jarabe donde se halla sumergido el alimento, evita las correspondientes reacciones de oxidación que afectan directamente la apariencia del producto final.
- En este proceso no se rompen las células, por lo cual puede mantenerse un alto nivel de calidad sensorial en el producto final.
- El producto final puede mantenerse estable a temperatura ambiente en condiciones de humedad restringidas.
- La solución de tratamiento puede hacerse a base de azúcares (frutas) y salmueras (verduras) que son de fácil adquisición.

Desventajas

- No se puede aplicar en todos los alimentos, sólo en aquellos que presentan estructura sólida.
- Cuando el alimento se sumerge en una solución concentrada, puede aparecer un pequeño residuo de la misma solución al finalizar el proceso; esto puede minimizarse si se escurre el alimento.
- Al haber una inmersión del alimento en el jarabe, se ocasiona flotación, pues algunas muestras del alimento serán menos densas. El jarabe no circulará completamente sobre los trozos, esto se puede solucionar colocando un contra peso de manera que el alimento siempre esté en contacto con la solución concentrada.
- Muchas veces el grado de humedad al final del proceso no es suficientemente bajo y es necesario complementar con otras técnicas como secado o congelamiento.

2.4.3.1. Daños comunes en la deshidratación osmótica y formas de prevención

En la tabla II-7 se describe los daños, causas y prevenciones más comunes en la deshidratación osmótica de las frutas.

Tabla II-7 Daños comunes en la deshidratación osmótica

| Daño | Causa | Prevención |
|--------------------------|---|---|
| Enmohecimiento | Producto de alta humedad, actividad de agua mayor a 0,7 | Reducción del contenido de humedad. Empaque al vacío o hermético, con atmósfera controlada. |
| Contaminación por plagas | Presencia de insectos o larvas en el producto seco | Desinfección del lugar de almacenamiento. Pasteurización: someter a desinfección por calentamiento los alimentos a una temperatura de (60-65°C) previo al empaque. Control de plagas. |
| Oscurecimiento | Reacción enzimática o química del alimento | Reducción del contenido de agua. Almacenaje a baja temperatura. Inactivar enzimas por medio de un proceso de blanqueado. Añadir un antioxidante al proceso. |

Fuente: FAO, 2019

2.4.4. Aplicaciones de la deshidratación osmótica

Gran parte de las frutas y hortalizas permiten el empleo de la deshidratación osmótica para su conservación ya que poseen una estructura celular que puede actuar como membrana semipermeable, principalmente aquellas que poseen un porcentaje de entre 5% y 18% de sólidos disueltos en su interior como ácidos, minerales, vitaminas, azúcares. (Parzanese, 2011)

La estructura de la membrana celular varía dependiendo de la fruta; aquellas que poseen membranas más porosas pueden eliminar mayor cantidad de agua y absorber más sólidos, lo cual puede beneficiar al proceso, pero también podría afectar la textura de la fruta. Existen varios estudios que demuestran la eficiencia de la deshidratación osmótica en papaya, manzana, banana, piña, arándano, mango, guayaba, pera, kiwi, frutilla, higo y de vegetales como papa, tomate, cebolla y otros. Es importante mencionar que en el deshidratado de frutas la solución osmótica puede reutilizarse o servir como materia prima en la fabricación de jugos de frutas o de otras formulaciones. Esto se debe a que estas soluciones son ricas en azúcares y otros solutos provenientes

de las frutas, siendo por esto un subproducto de alto valor agregado que puede generar un beneficio económico. (Parzanese, 2011)

2.4.5. Resultados de la aplicación de la deshidratación osmótica en frutas

Los estudios adelantados sobre la deshidratación osmótica directa de algunas frutas se han realizado a nivel de laboratorio a fin de identificar de forma preliminar las condiciones que requieren y el comportamiento de los productos obtenidos para proceder en un futuro a aumentar los volúmenes y poder así aplicar estos estudios a nivel agroindustrial (Camacho, 2011). Las frutas con las que se han hecho algunos ensayos preliminares son: banano, breva, fresa, guayaba, mango, manzana, melón, mora, papaya, pera, piña, tomate de árbol y uchuva. (Camacho, 2011)

Según (Camacho, 2011), menciona que: los niveles de pérdida de agua alcanzados después de 12 horas de inmersión en jarabe de sacarosa de 70 °Brix, de diferentes frutas en trozos y se presentan a continuación en la tabla II-8:

Tabla II-8 Pérdida de agua alcanzada a través del proceso de deshidratación osmótica en diferentes frutas

| Fruta | Pérdida de agua % | Fruta | Pérdida de agua % |
|---------|-------------------|------------|-------------------|
| Banano | 34 | Manzana | 37 |
| Mora | 18 | Melocotón | 38 |
| Peras | 53 | Tomate | 32 |
| Piña | 52 | Mango A. | 52 |
| Curaba | 46 | Higo | 13 |
| Guayaba | 52 | Parpayuela | 36 |
| Fresa | 51 | Feijoa | 38 |

Fuente: Camacho, 2011

Según (Camacho, 2011), manifiesta que: las características de los productos obtenidos se podrían resumir de la siguiente manera: Las rodajas de banano se alcanzan a pardear ligeramente si están muy maduras o no se sumergen pronto en el jarabe. Una alternativa es sumergirlos en una solución de ácido ascórbico, inmediatamente se cortan y luego se sumergen en la solución osmodeshidratante de jarabe. Los trozos adquieren un sabor más intenso. Las moras tardan más del promedio de las demás frutas por las

características de su piel. Las peras pueden también pardearse ligeramente sobre todo antes de sumergirlas en el jarabe. Se puede seguir el proceso anotado para banano. La deshidratación de curumba permite obtener una pulpa concentrada sin empleo de alta temperatura y sin cambios de color o aroma. La fresa pierde mucho de su sabor característico que pasa al jarabe.

2.5. Proceso de ósmosis

Según (Fito & Chiralt, 1995), la ósmosis puede ser definida como: el transporte de un disolvente a través de una membrana semipermeable, que separa dos soluciones de diferente concentración. La dirección de la corriente es siempre desde la solución más diluida (generalmente el disolvente puro) hacia la más concentrada.

El fenómeno de ósmosis se presenta cuando una solución está separada de su solvente por una membrana semipermeable. La ósmosis es la difusión de solvente a través de la membrana desde la parte de menor a la de mayor concentración. Las membranas biológicas tienen permeabilidades distintas y se dice que son semipermeables, es decir que son permeables para las moléculas del solvente o pequeñas moléculas, pero no permiten el paso libre todas las moléculas disueltas, pues la ósmosis tiende a igualar las concentraciones de las soluciones en ambos lados de una membrana. El resultado final es la extracción de agua pura del medio ambiente. (Fito & Chiralt, 1995)

Según los autores (Fito & Chiralt, 1995), el fenómeno de ósmosis está sujeto a las siguientes leyes definidas:

- a.- Para que el fenómeno de ósmosis tenga lugar, precisa de interposición de una membrana semipermeable.
- b.- Precisa que dicha membrana semipermeable sea mojada, o mejor dicho que se deje inhibir por los líquidos que constituyen el solvente.
- c.- Es indispensable que los líquidos que separa la membrana sean miscibles el uno en el otro. Si un elemento anatómico se halla sumergido en el agua (medio hipotónico) éste pasará a hinchar la célula.

Si, por el contrario, se sumerge en un medio fuertemente concentrado (medio hipertónico) entonces el agua, la que sale del alimento y este se corruga y deseca. Finalmente, la introducción en un medio de igual concentración molecular (medio isotónico), no gana ni pierde agua. (Fito & Chiralt, 1995)

2.6. Agente osmótico

Es la sustancia utilizada para promover la fuerza impulsora osmótica; debe ser no tóxica y poseer sabor agradable. Entre los agentes osmóticos más usados para frutas tenemos: fructosa, glucosa, sacarosa, azúcares invertidos, miel, jarabe de maíz, melaza, sorbitol, malosa y lactosa. La elección del soluto vendrá en función de las características para cual se diseñó el producto a obtener, como sabor, olor y textura del producto final, para lo cual se considerará el costo, su rendimiento deshidratante y su naturaleza fisicoquímica en disolución. (Soto, 2002)

2.6.1. Ventajas y usos

En la tabla II-9 se describe las ventajas y usos de los agentes osmóticos:

Tabla II-9 Agentes osmóticos

| Nombre | Usos | Ventajas |
|------------------|-------------------------|---|
| Cloruro de sodio | Para carnes y vegetales | Alta disminución de la actividad del agua (a_w) |
| Sacarosa | Principalmente frutas | Aumenta la retención de sustancias volátiles |
| Lactosa | Principalmente frutas | Sustitución parcial de sacarosa |
| Glicerol | Frutas y vegetales | Mejora la textura |

Fuente: Barbosa & Vega, 2000

2.6.2. La sacarosa

Es un edulcorante natural por excelencia, representa el 60-80% de los edulcorantes y el 30% de los carbohidratos de la dieta humana. Es muy utilizada industrialmente por sus propiedades físicas de caramelización, higroscopicidad relativamente baja y su estabilidad en muchos procesos alimenticios. (Soto, 2002)

Según los autores (Bolin et al., 1983) citado por (Pérez, 2003), mencionan que: el agente osmótico ideal para la deshidratación de frutas es la sacarosa, tras someter diferentes soluciones osmóticas a evaluación de un panel de catadores, pudo constatar una preferencia nata por la sacarosa como agente osmótico.

Entre sus ventajas el autor (Soto, 2002) menciona que:

- Es un buen agente deshidratante.
- Es económico.
- Es libre de olores extraños.
- Reduce el pardeamiento.
- Aumenta la retención de los volátiles.

2.7. Mecanismo de transferencia de materia en la deshidratación osmótica

El conocimiento de la cinética y la difusividad ayudan a comprender mejor la transferencia de masa interna, y con ello permiten modelar un mecanismo de transporte de materia óptimo para el sistema. Según vaya transcurriendo el tiempo, la transferencia de masa durante la deshidratación osmótica, nos irá proporcionando resultados numéricos mediante ecuaciones que nos ayudaran a comprender y explicar el proceso osmótico entre ellas tenemos: la pérdida de peso (WR); el contenido de sólidos totales (ST); la pérdida de agua (WL); y la ganancia de sólidos (SG). (Kasatkin, 1985)

Según (Azuara et al., 1992), proponen un modelo empírico basado en el balance de masa para predecir la cinética de la deshidratación durante el proceso, la ecuación II-1, ecuación II-2, ecuación II-3 y ecuación II-4 que se detallan a continuación:

Pérdida de peso durante la deshidratación osmótica WR (%):

$$WR(\%) = \left(\frac{m_i - m_f}{m_i} \right) 100 \quad \text{Ecuación II-1}$$

Donde m_i es la masa de la muestra fresca y m_f es la masa de la muestra ya osmodeshidratada, ambas expresadas en gramos.

Contenido de sólidos totales de la muestra osmodeshidratada ST (%):

$$ST(\%) = \left(\frac{m_s}{m_o} \right) 100 \quad \text{Ecuación II-2}$$

Donde m_o es la masa de la muestra húmeda (fresca o DO) y m_s es la masa de la muestra seca ambas expresadas en gramos. Para obtener m_s , una fracción de peso conocido (m_o).

Pérdida de agua durante la deshidratación osmótica WL (%):

$$WL = \left[\frac{m_o h_o - m_f h_f}{m_o} \right] 100 \quad \text{Ecuación II-3}$$

Expresada como los gramos de agua que pierde en la muestra por cada cien gramos de muestra fresca.

Ganancia de sólidos durante la deshidratación osmótica SG (%)

$$SG(\%) = \left[\left(1 - \frac{PP}{100} \right) \frac{ST}{100} - \frac{ST_o}{100} \right] 100 \quad \text{Ecuación II-4}$$

Expresada como los gramos de sólidos que ingresan al tejido por cada cien gramos de muestra fresca.

2.8. Calidad del producto

Según la Norma ISO 9000:2015, la calidad de un producto está determinada por la capacidad para satisfacer a los clientes, y por el impacto previsto y el no previsto sobre las partes interesadas pertinentes, incluye no solo su función y desempeño previsto, sino su valor percibido y el beneficio para el cliente.

Según los autores (Saguy & Karel, 1980), mencionan que: la calidad es una función multiparamétrica y que viene determinada no sólo por las propiedades organolépticas, tales como color, sabor y textura, sino también por el contenido en nutrientes, un fabricante de alimentos para garantizar la calidad, debe tener en cuenta la estabilidad microbiana, las propiedades físicas y sensoriales y la velocidad de los cambios químicos que conducen a la pérdida de vida útil. Todos estos factores dependen en gran medida del contenido en humedad y de la actividad de agua.

2.8.1. Normas de calidad

La producción de rodajas de frutilla deshidratadas en el país no está regulada por una norma estándar que determine la calidad del producto. Sin embargo, existen normas que regulan a las frutas deshidratadas, las cuales dan a conocer las exigencias mínimas que debe presentar este producto deshidratado.

Si bien el código alimentario boliviano no especifica claramente las normas de exigencia que debe presentar una fruta deshidratada, estas normas se pueden tomar de cualquier otro país, debido a que todos los códigos alimentarios del mundo están regulados bajo Organización Mundial de la Salud (OMS) y la Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (FAO) entidades destinadas a proteger la salud de los consumidores.

De acuerdo a las normas calidad vigentes en la Argentina, su código alimentario en el capítulo XI, Artículo 904, pág. 493. Establece que la fruta desecada en el momento del empaque, no deberá contener más de 25 % de agua. Ver la tabla II-10.

Tabla II-10 Norma general para frutas deshidratadas

| Parámetro | Unidad | Límite de Referencia |
|------------------|---------|--------------------------|
| Humedad | g/100 g | Máx. 25 |
| Azúcares totales | g/100 g | Sin límite de referencia |

Fuente: Código alimentario argentino, 2018

2.9. Secado

El secado es un proceso de conservación de alimentos más antiguos y conocidos por el hombre cuyo objetivo principal es reducir el contenido de humedad con lo cual se reduce la actividad enzimática y la capacidad de los microorganismos para desarrollarse sobre el alimento. Del mismo modo, la deshidratación de alimentos permite transformar materias primas en nuevos productos como ser el caso de las sopas deshidratadas, cereales para desayuno y harinas. (UNESCO, 2005)

Otro concepto establecido por (Miralbés, 2019), señala que: el secado es la separación parcial o total del líquido que le acompaña, por medios térmicos. El secado difiere de la evaporación ya que, en esta, el líquido se elimina por ebullición, mientras que aquí

el líquido es arrastrado por el aire en forma de vapor, a temperatura generalmente inferior a la ebullición. Las mezclas tratadas a ebullición suelen contener más líquido que sólido, mientras que en el secado sucede lo contrario.

2.9.1. Humedad

Es el peso del agua que acompaña a la unidad de peso de sólido. La mayoría de materiales sólidos están constituidos de materia seca y agua, por lo que, se puede establecer que la masa total m_h es igual a la suma de masa seca m_s y de su masa de agua m_{H_2O} . (Martines & Leonel, 2010)

$$m_h = m_s + m_{H_2O} \quad \text{Ecuación II-5}$$

La misma fuente indica que el contenido de humedad de puede expresar de dos formas:

- Base Seca (X_{hs}): compara la masa de agua que contiene un material sólido con su masa seca.

$$\%X_{bs} = \frac{m_{H_2O}}{m_s} * 100 \quad \text{Ecuación II-6}$$

- Base Húmeda (X_{bh}): representa el porcentaje de masa de agua que contiene la muestra respecto a su masa total.

$$\%X_{bh} = \frac{m_{H_2O}}{m_s + m_{H_2O}} * 100 \quad \text{Ecuación II-7}$$

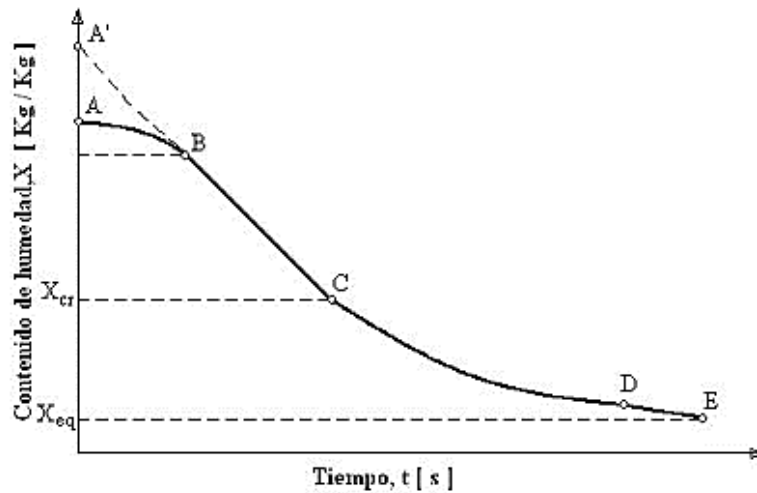
Donde la relación entre ambas es:

$$\frac{X_{bs}}{X_{bh}} = \frac{m_{H_2O} + m_s}{m_s} \quad \text{Ecuación II-8}$$

2.9.2. Curva de secado

Según (Dávila, 2004), menciona que: “las curvas construidas a partir de datos experimentales que otorgan información sobre la velocidad del secado de un alimento bajo determinadas condiciones. Este tipo de curvas, muestran el contenido de humedad a través del tiempo en el proceso del secado” (Pág. 68).

En la siguiente figura II-7, se presenta la curva de secado de la pérdida del contenido de humedad respecto al tiempo.



Fuente: Dávila, 2004

Figura II-7 Curva de secado

2.9.3. Tipos de secado térmico

2.9.3.1. Secado natural

También conocido como secado al sol, es un método que aprovecha la energía solar mediante la interacción de tres elementos: aire, temperatura y humedad, para eliminar el agua en los tejidos del alimento, esto con el objetivo de preservar el producto final por más tiempo. (Calderon, 2010)

Entre su ventaja: Es un proceso barato con niveles de contaminación mínimas al medio ambiente.

Entre su desventaja: El producto se caracteriza por tener calidad media, es dependiente de las condiciones climáticas y el control de higiene del medio que rodea al producto, otra desventaja es que toma muchos días y esto puede ocasionar la oxidación de los azúcares presentes en las frutas y producir un color oscuro en el producto final. (Calderon, 2010)

2.9.3.2. Secado al vacío

Es un proceso de secado para materiales térmicamente sensitivos como son las industrias farmacéuticas, químicas, así como los productos alimenticios y de biotecnología. Este proceso de secado trabaja con presiones por debajo de la presión

normal, creando espacios vacíos sin materia, condiciones ideales para que la presión de vapor internamente se equilibre más rápidamente con la presión de vapor externa, dando como resultado la reducción del punto de ebullición de los líquidos que se encuentran dentro del alimento a más bajas temperaturas. La rapidez del secado dependerá de la capacidad del equipo, así como de la influencia de la presión, a menores presiones habrá mayor remoción de vapor de agua en los alimentos. (Maupoey et al, 2007)

Entre sus ventajas: Es ideal para alimentos que pueden ser dañados a altas temperaturas, previene la oxidación.

Entre su desventaja: Consume mucha energía.

2.9.3.3. Deshidratación con aire forzado

Según (Potter, 2007), indica que: el proceso de secado de cualquier producto consta de dos etapas: La primera es la introducción de calor al producto, y la segunda, es la extracción de la humedad del producto. Advierte que, en el proceso de secado, cuanto más seco esté el aire, mayor será la velocidad de secado, el aire seco tiene el poder de absorber y retener mayor humedad.

Según (Maiztegui & Sabato, 1973), aseguran que: en un sistema cerrado de calefacción de aire, el horno calienta el aire que ingresa, al ser este menos denso, sube por el piso calentando el aire de la habitación, por el extremo opuesto sale ya frío y retorna al horno; por otro extremo entra aire del exterior necesario para la renovación, obligando a un flujo forzado de aire.

2.9.3.4. Secado por congelación

Uno de los métodos más estudiados y exitosos es la liofilización que es básicamente una técnica para eliminar agua a bajas temperaturas y presiones (el proceso puede describirse en tres pasos) en el que inicialmente el producto se congela (donde se separa el agua de los otros componentes al disminuir la temperatura para que se forme hielo) a condiciones atmosféricas y (segundo paso, un secado primario donde se retira el agua congelada por sublimación), posteriormente el hielo se sublima. El tercer paso, consiste

en eliminar otras cantidades de agua que no se hayan congelado, llamado secado secundario, esta parte del proceso se realiza a altas temperaturas y baja presión. (Ramirez, 2006)

2.8.4.5. Secado por aire caliente

El secado por aire caliente se define como la operación unitaria por la que el agua que contiene un sólido o una disolución se transfiere a la fase fluida que lo rodea debido al gradiente de potencial químico existente entre ambas fases. Durante el secado por aire caliente, el calor se transmite por convección, desde el aire de secado hasta la superficie del alimento, y por conducción, desde la superficie del alimento hasta su interior. La fuerza impulsora para la transferencia de materia por el interior del alimento es el gradiente de potencial químico entre el interior, más húmedo, y la superficie, más seca por estar en contacto con el aire de secado. (Barrera, 2007)

Entre sus ventajas:

Es un método convencional, rápido y preciso.

Se pueden acomodar varias muestras al mismo tiempo, y llegar a la temperatura deseada más rápidamente.

El secado es de buena calidad y minimiza el uso de energía.

Entre sus desventajas:

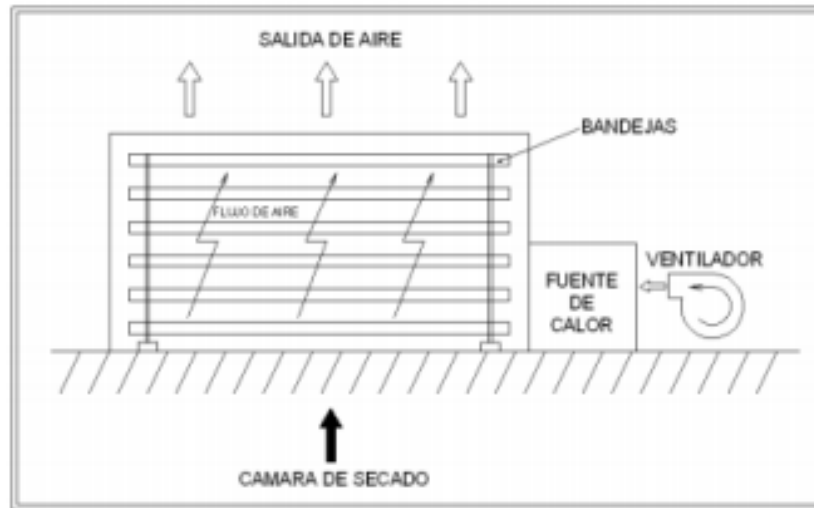
El uso de temperaturas elevadas por encima de 60 °C, generan cambios en la calidad del producto afectando el valor nutritivo como: la destrucción de vitaminas, desnaturalización de proteínas, caramelización de azúcares, gelificación de almidones, destrucción de pigmentos, pérdidas y cambios de aromas e incluso producción de sustancias tóxicas, y modificación de textura.

2.8.4.5.1. Secador de bandejas

Esencialmente consiste en una cabina aislada provista interiormente de un ventilador para circular el aire a través de un calentador; el aire caliente sale por una rejilla de láminas ajustables y es dirigido, ya sea horizontalmente entre bandejas cargadas de

alimento o verticalmente a través de las bandejas perforadas y el alimento. (Calle & Aparicio, 2011)

En la figura II-8 se muestra el esquema de un secador de bandejas.



Fuente: Calle & Aparicio, 2011

Figura II-8 Esquema del secador de bandejas

Los calentadores de aire pueden ser quemadores directos de gas, serpentines calentados por vapor, o en los modelos más pequeños calentadores de resistencia eléctrica. Se utilizan bandejas con perforaciones para lograr que la circulación del aire sea a través del alimento de forma que el tiempo de secado disminuye al tener una exposición mayor y directa al sólido. Los secaderos de bandeja son secaderos de pequeña escala usados en laboratorios y plantas piloto para experimentar sobre secado de diversos materiales. (Merino & Cornejo, 2018)

2.10. Proceso tecnológico experimental

La metodología a emplear está diseñada bajo el marco de la normativa vigente y el alcance establecido; de acuerdo a esto, para cada objetivo específico se otorga el tratamiento respectivo para desarrollar el proyecto.

2.10.1. Proceso de deshidratación osmótica a escala de laboratorio

El procedimiento general para la obtención de rebanadas deshidratadas osmóticamente a escala laboratorio de diferentes materias primas no cambia, en su esencia es el mismo para todas; los procesos principales son: la inactivación de enzimas (Polifenoloxidasas) en las pulpas, y preparación del agente osmótico. La inactivación de enzimas se realiza con el propósito de hacer el proceso de obtención más eficiente, seguido del cortado en rebanadas de la materia prima. La obtención consiste en la deshidratación osmótica en condiciones específicas de concentración, temperatura y tiempo, que son las variables independientes que determinan la calidad del producto y el rendimiento del proceso. Las etapas subsecuentes son el lavado de las rebanadas deshidratadas osmóticamente, lavado a chorro con agua destilada para eliminar el exceso de agente osmótico que queda adherido en las rebanadas; luego se secan la superficie con papel absorbente, se pesan; posteriormente se determina el contenido de humedad por diferencia de peso, finalmente las rebanadas, provenientes de la deshidratación osmótica con humedad intermedia se las seca a vacío hasta una humedad apropiada; como última operación se tiene el envasado y almacenado. (Cornejo, 2010)

2.10.2. Descripción del proceso de elaboración de frutas deshidratadas osmóticamente

A continuación, se describe el proceso para elaborar frutas deshidratadas osmóticamente de acuerdo a los autores. (Carrera & Mora, 2007)

2.10.2.1. Materia prima

La materia prima para elaborar frutas deshidratadas osmóticamente debe poseer estructura celular más o menos rígida que actúa como membrana semipermeable; además, debe estar sana, madura, libre de heridas y enfermedades para garantizar la calidad del producto final.

2.10.2.2. Selección y clasificación

Se realiza un control de calidad y se rechaza la fruta que no cumpla con los parámetros requeridos para el proceso.

2.10.2.3. Pelado

Se procede a retirar la cáscara, si es muy gruesa, poco permeable y no permite una deshidratación óptima.

2.10.2.4. Cortado

La fruta se lava y puede trabajarse entera o en trozos. Del tamaño y forma de los trozos también dependerá una deshidratación osmótica más eficiente.

2.10.2.5. Escaldado

El escaldado consiste en sumergir la fruta en agua a una temperatura que oscila entre 50°C y 90°C por un tiempo variable de (1-3) min. La temperatura aplicada y la duración depende de la especie, de su estado de madurez y de su tamaño.

El escaldado se efectúa en atención a los siguientes objetivos:

- Inactivación de las enzimas.
- Ablandamiento de producto.
- Eliminación parcial de los gases intercelulares.
- Fijación y acentuación del color natural.
- Reducción parcial de los microorganismos presentes.
- Desarrollo del sabor característico.
- Disminuye la selectividad de las paredes de las células.

2.10.2.6. Inmersión en el jarabe

La fruta será sumergida en el jarabe, este jarabe de deshidratación osmótica es una solución que está compuesta por agua y soluto, las características del jarabe varían según la composición y la concentración. Dependiendo de la naturaleza química de los compuestos empleados para preparar el jarabe, es decir su composición, estos van a ejercer una diferente presión osmótica.

2.10.2.7. Deshidratación y agitación

La deshidratación osmótica se produce por la diferencia de concentraciones entre el interior de la fruta con el jarabe la que se incrementa con la agitación. En esta etapa del proceso se produce la salida de agua de la fruta y el ingreso de solutos del jarabe hacia la fruta.

2.10.2.8. Secado

El secado se puede realizar al ambiente con la luz solar o artificialmente con aire forzado caliente; este tratamiento permitirá alcanzar a la fruta más estabilidad al disminuir su cantidad de agua presente en mayor proporción. Al finalizar el secado se empaqueta el producto y se lo almacena en un lugar adecuado a temperatura ambiente.

2.11. Parámetros estimables durante el proceso de deshidratación osmótica

2.11.1. Concentración del agente osmótico

Según (Cornejo, 2010), “las concentraciones del agente osmótico de sacarosa más recomendadas, para su utilización en la deshidratación osmótica son: 50°Brix, 60°Brix y 70°Brix” (Pág. 93).

Con el incremento en la concentración de la solución se forma una capa de soluto sobre la superficie del producto que actúa como barrera reduciendo la pérdida de nutrientes y, a muy altas concentraciones, puede dificultar también la pérdida de agua. La utilización de jarabes de concentraciones elevadas permite también reducir la pérdida de sustancias hidrosolubles tales como la vitamina C. Además, como se mencionó anteriormente, se forma una capa de sacarosa sobre la superficie del producto que impide la penetración de sal en el producto y permite mejorar la pérdida de agua sin afectar tanto el sabor. (Baroni & Hubinger, 2000)

2.11.1.1. Relación fruta: Jarabe

“La relación fruta: jarabe es otro de los factores que influye en la eficiencia del secado osmótico. Las relaciones más comúnmente usadas son: 1:4, 1:5, 1:6 y 1:2”(Valera y Zambrano, 2005).

2.11.1.2. Agitación

Los autores (Montoya et al, 2002), mencionan que: el proceso de deshidratación osmótica, se puede realizar con o sin agitación. Mediante la agitación puede mejorarse el mismo disminuyendo la resistencia a la transferencia de masa en la superficie del producto, además de uniformizar la temperatura y la concentración de solutos en la solución. La ventaja de la agitación, es que el proceso se agiliza o es más rápido, obteniéndose una mayor pérdida de agua.

La agitación del proceso, se puede realizar de dos maneras:

- Agitación con agitador mecánico o utilizar un equipo electromagnético, evitando en lo posible dañar la fruta.
- Reciclando el jarabe por medio de bombeo, que es lo más simple y efectivo, evitando el daño de la fruta.

2.11.1.3. Tiempo de permanencia

El tiempo de permanencia puede ser desde (5, 8 y 15 minutos), hasta (4 y 11 horas). En algunos trabajos de investigación se han reportado problemas de cocimiento del producto a temperaturas de 65°C, 75°C y 85°C con tiempos de 15, 8 y 5 min. Coincidiendo, que las mejores condiciones del secado osmótico ocurren a 70°Brix, 50°C y tiempo de 8 horas con las que se obtiene una reducción de peso aproximadamente del 50% del peso de la fruta, como ser: “Piñas, plátanos, albaricoques y cerezas. A 60°Brix, 55°C y tiempo de 2 horas se obtiene una reducción de peso aproximadamente del 41.06% del peso de la fruta, como ser: “Papaya”. Es importante, tener en cuenta que la inactivación de las enzimas se logra a temperaturas de 65°C, 75°C y 85°C en tiempos de 1, 3 y 10 minutos. (Lerici, 1997)

2.11.1.4. Temperatura de la solución osmótica

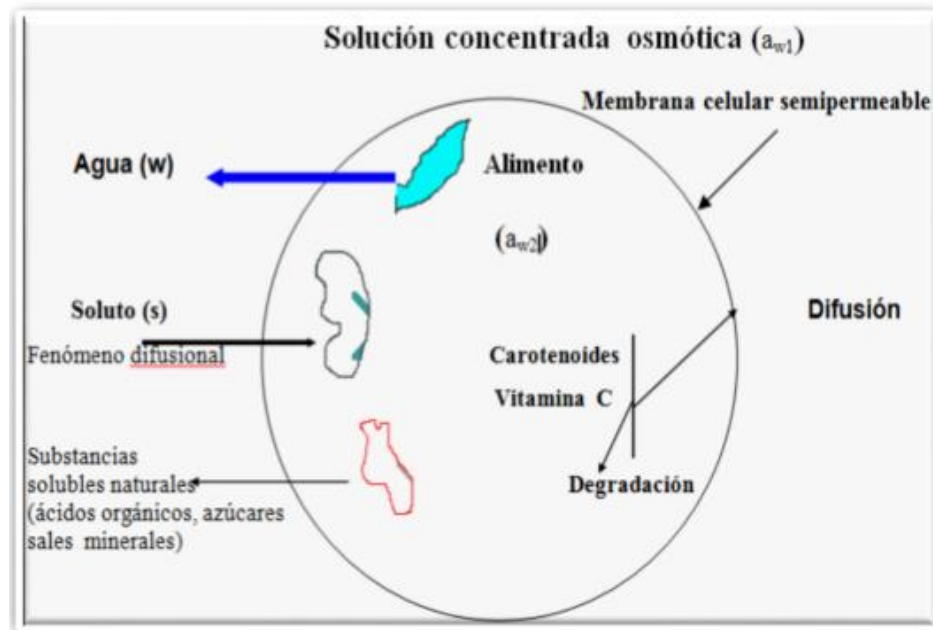
Este es el parámetro más importante que afecta la cinética de pérdida de agua y la ganancia de solutos. La ganancia de solutos es menos afectada que la pérdida de agua por la temperatura ya que a altas temperaturas el soluto no puede difundir tan

fácilmente como el agua a través de la membrana celular de los tejidos del producto. La temperatura presenta dos efectos. Uno de ellos es que el aumento de temperatura favorece la agitación molecular y por consiguiente mejora la velocidad de difusión. El otro es la modificación de la permeabilidad de la membrana celular con un incremento de la temperatura. La temperatura crítica a la cual se produce la variación en la permeabilidad de la membrana depende de las distintas especies, pero se estima que para frutihortícolas rondan en el rango de (50°C-55°C) aproximadamente. (Montoya et al., 2002)

2.11.1.4.1. Contacto de las fases

Según (Ramírez, 2010), manifiesta que: el contacto de la fase sólida con la fase líquida es un factor importante para el desarrollo del proceso, ya que las muestras tienden a flotar sobre la solución osmótica, debido a la diferencia de densidades; por ello, es necesario adoptar un sistema compatible con la fragilidad del producto; además, se tienen tres situaciones del modo de la puesta en contacto de las fases estando directamente relacionado con la pérdida de agua y ganancia de soluto:

- Sumergidos parcialmente
- Sumergidos completamente en reposo
- Con agitación sumergida



Fuente: Ramírez, 2010

Figura II-9 Representación esquemática el transporte de masa durante la deshidratación osmótica

2.12. Evaluación sensorial

La evaluación sensorial es la caracterización y análisis de aceptación o rechazo de un alimento por parte del catador o consumidor, de acuerdo a las sensaciones experimentadas desde el mismo momento que lo observa y después que lo consume. Es necesario tener en cuenta que esas percepciones dependen del individuo, del espacio y del tiempo principalmente. (UPAEP, 2014)

De acuerdo a la Guía para la Evaluación Sensorial de Alimentos, el desarrollo de la evaluación sensorial debe componerse de un grupo de panelistas quienes serán los encargados de realizar la degustación del alimento a analizar, pudiendo ser jueces experimentados o consumidores, estos últimos no presentan habilidades especiales para la cata. Los parámetros a calificar en los alimentos que menciona (Dominguez, 2007), son:

- **Color:** es la propiedad apreciada por el sentido de la vista, siendo el primer “filtro” para la aceptación de un alimento, puesto que sirve para apreciar su apariencia normal: color, forma, superficie, tamaño, rugosidad, etc., y detectar anomalías.

- Olor: Es la percepción por medio de la nariz de sustancias volátiles liberadas en los alimentos. Dicha propiedad en la mayoría de las sustancias olorosas es diferente para cada una. En la evaluación del olor es muy importante que no haya contaminación de un olor con otro, por tanto, los alimentos que van a ser evaluados deberán mantenerse en recipientes herméticamente cerrados.
- Gusto: También se le denomina “sabor básico” y hay cuatro distintos: dulce, salado, ácido y amargo. El sabor es la percepción de olfato y gusto que, configura una sensación compleja que puede ser descompuesta en componentes que pueden evaluarse por separado.
- Textura: Es la propiedad apreciada por los sentidos del tacto, la vista y el oído; se manifiesta cuando el alimento sufre una deformación. La textura no puede ser percibida si el alimento no ha sido deformado; es decir, por medio del tacto podemos decir, por ejemplo, si el alimento está duro o blando al hacer presión sobre él.

2.12.1. Tipos de análisis

Según (Carpenter et al, 2000) menciona que: “para poder cuantificar las percepciones y medir las respuestas de los consumidores se utilizan las escalas las cuales son sistemas que envuelven la asignación de valores numéricos y/o verbales a percepciones sensoriales” (Pág. 38).

Se pueden evaluar las respuestas sensoriales de manera discriminativa, descriptiva y afectiva, tal como se puede observar a continuación:

2.12.1.1. Análisis descriptivo

El análisis se basa en la detección y la descripción de los aspectos sensoriales cualitativos y cuantitativos, por grupos de personas entrenadas y estandarizadas. Los panelistas deben dar valores cuantitativos proporcionales a la intensidad que perciban de cada uno de los atributos evaluados durante el análisis descriptivo. (Carpenter et al, 2000)

El objetivo de las pruebas es obtener especificaciones cuantitativas, a través de su descripción de aspectos importantes del producto que se está evaluando. A través de este método se ayuda a identificar ingredientes esenciales del producto.

2.12.1.2. Análisis discriminativo

Se emplea en la industria alimentaria para saber si hay diferencias entre dos o más productos, el entrenamiento de los evaluadores es más rápido que en el análisis descriptivo. Se emplean cerca de 30 personas. En algunos casos se llega a consultar a diferentes grupos étnicos: asiáticos, africanos, europeos, americanos, etc.

2.12.1.3. Análisis hedónico

También denominado análisis afectivo y consiste en evaluar si el producto agrada o no. En este caso se trata de evaluadores no entrenados, las pruebas deben ser lo más espontáneas posibles.

Las respuestas están categorizadas en escalas desde gusta a no gusta, también se pueden evaluar otros atributos del alimento, por ejemplo: salado, dulce, espeso, aguado, etc. Para el análisis se asigna un valor numérico a cada escala. No se debe buscar otra alternativa o alternativas intermedias, se usa las que están dadas (sobre todo en las ya definidas). (Dominguez, 2007)

CAPÍTULO III
PARTE EXPERIMENTAL

La parte experimental del presente trabajo “Deshidratación osmótica de la frutilla *Fragaria ananassa* en rodajas de la variedad San Andreas” se realizó en las instalaciones del Laboratorio de Operaciones Unitarias de la Universidad Autónoma Juan Misael Saracho, ubicado en el Campus Universitario de la Zona el Tejar.

3.1. Caracterización de la materia prima

La materia prima, frutilla (*Fragaria ananassa*) de la variedad San Andreas, es adquirida del mercado Campesino, proveniente de su centro de cultivo ubicado en la comunidad de Tolomosa Grande del departamento de Tarija, con un tiempo de post cosecha de 1 y 3 días.



Fuente: Elaboración propia, 2021

Figura III-1 Materia prima

Actualmente el Instituto Nacional de Innovación Agropecuaria y Forestal, está en proceso de selección de una variedad mejorada, San Andreas es excepcional en su apariencia con un olor intenso al igual que su sabor. Su calidad es constante los 365 días del año y su vida pos-cosecha es excelente, es una variedad de día neutro moderado de excelente calidad de fruta, excelente sabor, con poca necesidad de frío en vivero resistente a enfermedades. Posiblemente, la primera variedad de día neutro que se adapta a los mercados de variedades de día cortó. En el valle central de Tarija la variedad San Andreas que tradicionalmente se cultiva en frutos grandes y uniformes. La tabla III-1, muestra los resultados la caracterización fisicoquímica de la materia que

fueron realizados en el Centro de Análisis, Investigación y Desarrollo. (ver Anexo A)

Tabla III-1 Análisis fisicoquímicos de la frutilla

| Parámetros | Unidad | Resultado |
|---------------------|------------|-----------|
| Valor Energético | Kcal/100 g | 48,34 |
| Proteína total | % | 0,98 |
| Hidratos de carbono | % | 10,51 |
| Grasa | % | 0,22 |
| Humedad | % | 87,27 |
| Sólidos solubles | ° Brix | 10,4 |
| Fibra | % | 0,41 |
| Ceniza | % | 0,51 |
| Acidez | % | 1,13 |
| Azúcares totales | % | 10,15 |
| pH (20°C) | | 3,55 |

Fuente: CEANID, 2021

3.2. Diseño experimental para el proceso de la frutilla comestible deshidratada

Para determinar las variables significativas del presente trabajo de investigación, se plantea un diseño factorial con dos niveles y tres factores con dos repeticiones, por tanto, el número de tratamientos son 16.

Los modelos de diseño de experimentos son modelos estadísticos clásicos cuyo objetivo es averiguar si unos determinados factores influyen en una variable de interés y, si existe influencia de algún factor, cuantificar dicha influencia. Este tipo de experimentos permite, el estudio del efecto de cada factor sobre la variable respuesta, así como el efecto de las interacciones entre factores sobre dicha variable. (Marín, 2013)

Estos diseños permiten estudiar las posibles interacciones entre los factores intervinientes, y consecuentemente con ello el efecto o comportamiento de cada factor en los diferentes niveles del otro factor.

3.2.1. Variables y niveles del diseño factorial

De los principales parámetros a evaluar durante la obtención de fruta deshidratada por el método osmótico descritos en el Capítulo II, los factores manipulables son:

3.2.2. Concentración del agente osmótico

Cuanto mayor sea la concentración de soluto de la solución osmótica mayor será la diferencia de presión osmótica entre esta y el producto, lo cual aumentará la velocidad de salida de agua del producto.

3.2.3. Temperatura del agente osmótico

Según (Parzanese, 2014), indica que: “la temperatura produce cambios en el proceso de deshidratación debido a los efectos que tiene sobre la difusión de agua del producto hacia la solución y sobre la permeabilidad de las membranas celulares” (Pág. 6).

Respecto a la velocidad de pérdida de agua el aumento de temperatura favorece la agitación molecular lo cual eleva la velocidad de difusión.

En cuanto a la permeabilidad de las membranas un aumento de temperatura puede afectarla perjudicando el proceso. Para la mayoría de los alimentos el rango de temperatura al cual las membranas de las células se modifican es entre los 40°C a 50°C aproximadamente, por lo cual se considera estos valores como los adecuados para el experimento.

3.2.4. Tiempo de inmersión

El tiempo de inmersión es un factor que puede ser influyente en la deshidratación osmótica, esta se puede encontrar entre rangos de 3 a 4 horas.

En consecuencia, el modelo factorial adoptado es un diseño 2^3 en el cual se compone de tres factores y dos niveles como se presenta a continuación en la tabla III-2.

Tabla III-2 Factores y niveles del diseño factorial del experimento

| Factores | Niveles | |
|--------------------------------------|---------|------|
| | Bajo | Alto |
| Concentración de la solución (°Brix) | -1 | +1 |
| Temperatura de la solución (°C) | -1 | +1 |
| Tiempo de inmersión (horas) | -1 | +1 |

Fuente: Elaboración propia, 2021

A continuación, en la tabla III-3 se presentan los valores asignados para los niveles del proceso experimental:

Tabla III-3 Valores asignados para los niveles del diseño factorial

| Factores | Nivel | |
|---|-------|------|
| | Bajo | Alto |
| Concentración del agente osmótico (°Brix) | 50 | 60 |
| Temperatura (°C) | 40 | 50 |
| Tiempo de inmersión (horas) | 3 | 4 |

Fuente: Elaboración propia, 2021

Basándose en los niveles óptimos de investigación, se toma estos datos como punto de partida se realiza un diseño factorial 2^3 :

$$\text{N}^\circ \text{ variables} = 3$$

$$\text{Niveles} = 2$$

$$\text{N}^\circ \text{ experimentos} = 2^3 = 8$$

Se realizará dos repeticiones.

$$\text{N}^\circ \text{ experimentos} = 8 \cdot 2 = 16 \text{ experimentos}$$

3.2.5. Variable respuesta

La variable respuesta de interés es la ganancia de sólidos solubles por el producto deshidratado (SG).

La variable respuesta busca mejorar el rendimiento del producto final, además de mejorar la textura, sabor y mantener el color estable en el producto.

Para la determinación de ganancia de sólidos (SG), se hace uso de la ecuación III-1, propuesta por el autor (Argaiz et al., 1994).

$$SG = \frac{(m_o \cdot S_o) - (m_f \cdot S_f)}{m_o} \times 100 \quad \text{Ecuación III- 1}$$

El número de combinaciones entre factores y niveles se representa en la tabla III-4:

Tabla III-4 Matriz del diseño factorial para el proceso experimental

| Nº | Concentración (°Brix) | Temperatura (°C) | Tiempo (h) |
|----|--------------------------|---------------------|---------------|
| A1 | -1 | -1 | -1 |
| A2 | +1 | -1 | -1 |
| A3 | -1 | +1 | -1 |
| A4 | +1 | +1 | -1 |
| A5 | -1 | -1 | +1 |
| A6 | +1 | +1 | +1 |
| A7 | -1 | -1 | +1 |
| A8 | +1 | +1 | +1 |

Fuente: Elaboración propia, 2021

La tabla III-5, muestra el diseño factorial para la elaboración de las rodajas de frutillas, ahora bien, la matriz de diseño para el estudio se concreta sustituyendo los valores +1 y -1 de los factores por los valores reales, para la obtención de las variables respuestas ganancia de sólidos solubles **SG** (%) en cada experimento (codificado como **R**):

Tabla III-5 Matriz del diseño factorial codificada

| Muestras | Concentración (°Brix) | Temperatura (°C) | Tiempo (h) | Variable respuesta (SG) |
|----------|--------------------------|---------------------|---------------|----------------------------|
| A1 | 50 | 40 | 3 | R1 |
| A2 | 60 | 40 | 3 | R2 |
| A3 | 50 | 50 | 3 | R3 |
| A4 | 60 | 50 | 3 | R4 |
| A5 | 50 | 40 | 4 | R5 |
| A6 | 60 | 40 | 4 | R6 |
| A7 | 50 | 50 | 4 | R7 |
| A8 | 60 | 50 | 4 | R8 |

Fuente: Elaboración propia, 2021

3.3. Procedimientos y técnicas para la obtención de los resultados

3.3.1. Materiales de laboratorio, equipos, utensilios e insumos utilizados para obtener frutilla deshidratada

Para llevar a cabo la parte experimental del trabajo de investigación, se utilizó los siguientes materiales, equipos y utensilios:

3.3.1.1. Equipos utilizados en el proceso de obtención de frutilla comestible deshidratada

Los equipos de laboratorio que se utilizaron para llevar a cabo el trabajo de investigación se describen a continuación.

Balanza eléctrica, equipo en el cual se miden las masas de las muestras, reactivos e insumos. Ver Anexo E.

Calentador magnético, equipo multiuso que controla la temperatura como el grado de agitación del jarabe durante la deshidratación osmótica. Ver Anexo E.

Refractómetro digital, equipo usado para medir el índice de refracción en °Brix, de la materia prima como del jarabe en sus distintas etapas. Ver Anexo E.

Secador infrarrojo, equipo que permite medir la humedad de las rodajas de frutilla en el proceso de secado por aire caliente. Ver Anexo E.




Secador por aire forzado, equipo empleado para reducir la humedad de las frutillas osmodeshidratadas. Ver Anexo E.

Selladora de bolsas de polietileno, equipo utilizado para soldar la boca de las bolsas con el producto elaborado mediante el prensado térmico. Ver Anexo E.

3.3.1.2. Instrumentos de laboratorio

Los instrumentos de laboratorio que se utilizaron para llevar a cabo el trabajo de investigación se describen a continuación en la tabla III-6:

Tabla III-6 Instrumentos de laboratorio

| | | |
|----------------------|--|--|
| Vernier Digital |  | <p>Este es un instrumento de alta precisión, que se utiliza para hacer mediciones en diferentes superficies.</p> |
| Termómetro de vidrio |  | <p>Este instrumento, es empleado para medir la temperatura y se utilizó durante el proceso de deshidratación osmótica y secado a vacío de las rodajas osmodeshidratadas de frutilla.</p> |
| pH-metro digital |  | <p>Este instrumento se utilizó para determinar la acidez de la materia prima y del jarabe en el proceso de deshidratación por osmosis.</p> |

Fuente: Elaboración propia, 2021

3.3.1.3. Utensilios e insumos utilizados en el proceso de la elaboración de frutilla deshidratada

En la tabla III-7, se detallan los utensilios utilizados en la parte experimental para elaborar frutillas deshidratadas mediante deshidratación osmótica.

Tabla III-7 Utensilios utilizados en el proceso de elaboración de frutillas deshidratadas

| Material | Escala/ capacidad | Material | Cantidad |
|---------------------|-------------------|------------------|----------|
| Canastilla vaporera | 300 g | Metal | 1 |
| Colador | 500 g | Plástico | 1 |
| Cuchillo | mediano | Acero inoxidable | 1 |
| Olla | 1000 ml | Acero inoxidable | 1 |
| Fuentes de plástico | | Plástico | 1 |
| Jarra | 1000 ml | Plástico | 1 |
| Papel de aluminio | Rollo | Papel | 1 |
| Papel manteco | lamina | Papel | 2 |

Fuente: Elaboración propia, 2021

En la tabla III-8, se presenta a continuación, se detallan los insumos utilizados en la parte experimental para frutillas deshidratadas.

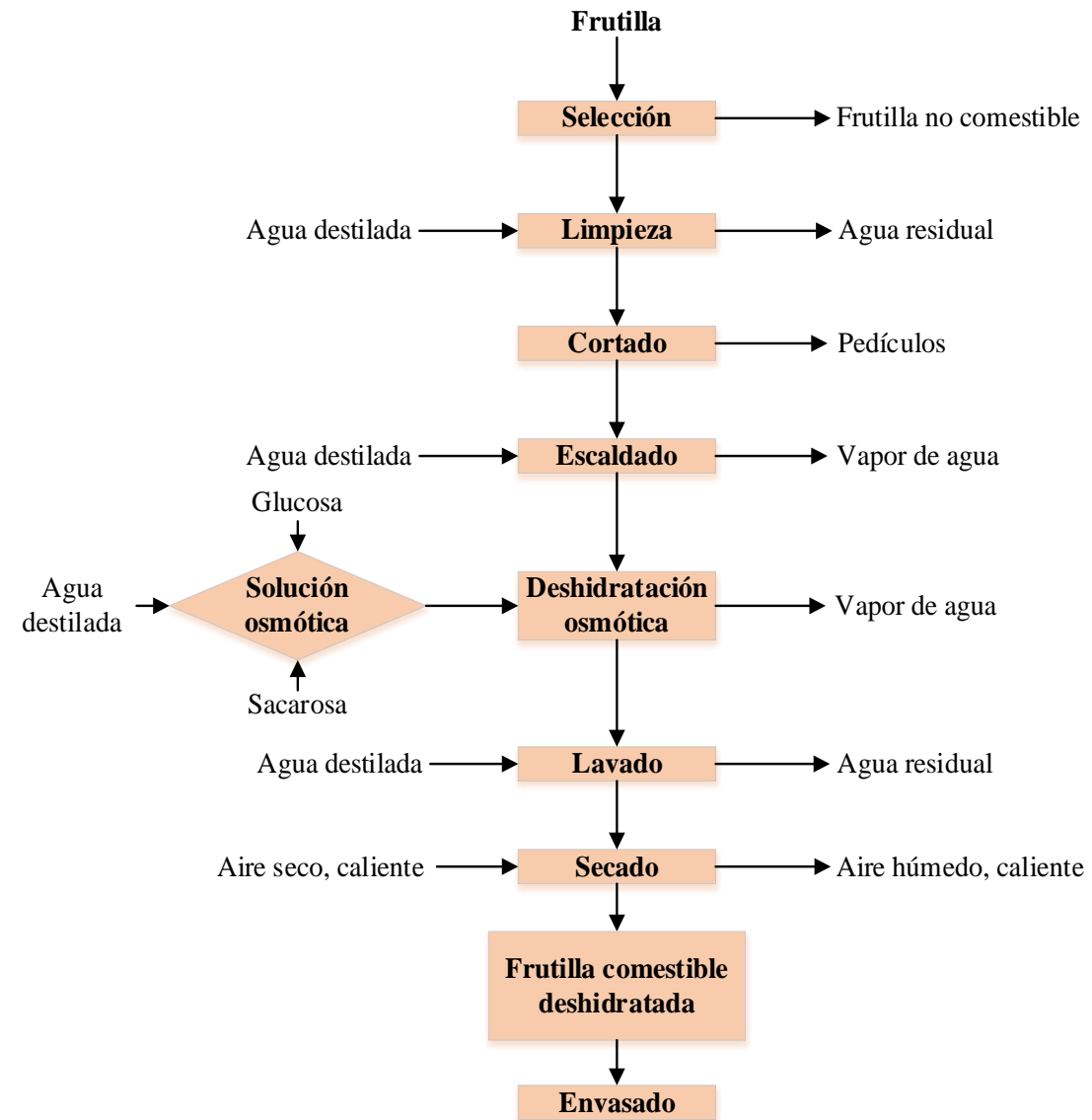
Tabla III-8 Insumos utilizados para la elaboración de frutillas deshidratadas

| Insumos | Estado | Procedencia | Marca |
|-----------------|---------|-------------|-----------|
| Agua destilada | Líquido | Bolivia | SOLQUIFAR |
| Azúcar | Sólido | Bolivia | IABSA |
| Glucosa líquida | Líquido | Bolivia | SOLQUIFAR |

Fuente: Elaboración propia, 2021

3.4.Descripción del proceso experimental

A continuación, en la figura III-2, se puede observar el diagrama de bloques del proceso de “deshidratación osmótica de la frutilla”.



Fuente: Elaboración propia, 2021

Figura III-2 Diagrama de flujo del proceso experimental para deshidratar la frutilla

3.5. Desarrollo del proceso experimental de la deshidratación osmótica de la frutilla

El desarrollo del presente proyecto de investigación se llevó a cabo en instalaciones del Laboratorio de Operaciones Unitarias (LOU) de la Carrera de Ingeniería Química de la Universidad Autónoma Juan Misael Saracho.

3.5.1. Caracterización de la frutilla

En la figura III-3, muestra cómo se determinaron las siguientes características físicas en una muestra de 25 frutillas, con ayuda de la balanza analítica y un vernier electrónico:

- Peso
- Diámetro polar
- Diámetro ecuatorial
- Porcentaje comestible
- Porcentaje no comestible



Fuente: Elaboración propia, 2021

Figura III-3 Proceso de caracterización física de la materia prima

Las mediciones se presentan en la tabla III-9, a continuación:

Tabla III-9 Valores experimentales de las características físicas de la frutilla

| Nº | Peso (g) | Diámetro polar (cm) | Diámetro ecuatorial (cm) | PC | PNC | Porción comestible (%) | Porción no comestible (%) |
|----------|----------|---------------------|--------------------------|--------|-------|------------------------|---------------------------|
| 1 | 22,195 | 4,8 | 2,88 | 21,827 | 0,368 | 98,342 | 1,658 |
| 2 | 25,61 | 4,27 | 3,35 | 25,343 | 0,267 | 98,957 | 1,043 |
| 3 | 27,938 | 3,71 | 3,13 | 27,659 | 0,279 | 99,001 | 0,999 |
| 4 | 27,047 | 4,46 | 3,06 | 26,733 | 0,314 | 98,839 | 1,161 |
| 5 | 28,824 | 4,68 | 2,87 | 28,470 | 0,354 | 98,772 | 1,228 |
| 6 | 22,532 | 3,72 | 3,23 | 22,315 | 0,217 | 99,037 | 0,963 |
| 7 | 25,838 | 4,85 | 2,29 | 25,518 | 0,320 | 98,762 | 1,238 |
| 8 | 21,722 | 4,12 | 2,77 | 21,462 | 0,260 | 98,803 | 1,197 |
| 9 | 21,258 | 3,78 | 2,57 | 21,015 | 0,243 | 98,857 | 1,143 |
| 10 | 23,578 | 5,02 | 3,22 | 23,375 | 0,203 | 99,139 | 0,861 |
| 11 | 24,485 | 4,78 | 3,57 | 24,258 | 0,227 | 99,073 | 0,927 |
| 12 | 22,118 | 4,5 | 3,05 | 21,884 | 0,234 | 98,942 | 1,058 |
| 13 | 23,023 | 4,52 | 2,85 | 22,678 | 0,345 | 98,501 | 1,499 |
| 14 | 20,394 | 4,43 | 2,46 | 20,095 | 0,299 | 98,534 | 1,466 |
| 15 | 23,255 | 4,3 | 3,16 | 22,982 | 0,273 | 98,826 | 1,174 |
| 16 | 21,569 | 4,11 | 3,26 | 21,284 | 0,285 | 98,679 | 1,321 |
| 17 | 21,747 | 4,63 | 3,11 | 21,468 | 0,279 | 98,717 | 1,283 |
| 18 | 19,839 | 4,69 | 2,7 | 19,617 | 0,222 | 98,881 | 1,119 |
| 19 | 21,527 | 4,6 | 3 | 21,282 | 0,245 | 98,862 | 1,138 |
| 20 | 21,512 | 4,67 | 3,05 | 21,207 | 0,305 | 98,582 | 1,418 |
| 21 | 22,154 | 4,37 | 2,94 | 21,890 | 0,264 | 98,808 | 1,192 |
| 22 | 22,925 | 4,72 | 3,14 | 22,676 | 0,249 | 98,914 | 1,086 |
| 23 | 21,035 | 4,26 | 3,35 | 20,822 | 0,213 | 98,987 | 1,013 |
| 24 | 20,472 | 3,97 | 3,29 | 20,254 | 0,218 | 98,935 | 1,065 |
| 25 | 21,643 | 4,26 | 3,13 | 21,341 | 0,302 | 98,605 | 1,395 |
| Promedio | 22,970 | 4,409 | 3,017 | 22,698 | 0,271 | 98,814 | 1,186 |

Fuente: Elaboración propia, 2021

Donde:

PC = Porción comestible

PNC = Porción no comestible

3.5.2. Selección y clasificación

Esta operación trata de separar todo fruto que no presente uniformidad con el lote como ser:

- Daño mecánico: las muestras se seleccionaron de acuerdo a su estado físico, a consecuencia de que puedan presentar distintos tipos de daños físicos como golpes y fracturas superficiales que presentan durante la etapa de cosecha o traslado.
- Daño microbiológico: dependiendo del tiempo de conserva y la forma de cultivo, existe la posibilidad del desarrollo de algunos microorganismos en algunos frutos del lote, los cuales deben ser excluidos de manera inmediata.
- Estado de madurez: en cuanto a la selección de acuerdo a estado de madurez, se tomaron los frutos maduros o semi maduros para su tratamiento siempre y cuando los mismos presenten una estructura rígida, facilitando la etapa de cortado de la materia prima. Al no presentar una estructura consistente, la pulpa de la misma tiende a desprenderse por efecto de la temperatura y agitación.

Después de la selección de frutillas se determinó la cantidad de materia apta para el proceso de deshidratación osmótica, los resultados se presentan en el Capítulo IV Análisis y Discusión de Resultados.

En la siguiente figura III-4, se muestran las frutillas seleccionadas para el proceso.



Fuente: Elaboración propia, 2021

Figura III-4 Proceso de selección de materia prima

3.5.3. Limpieza

El proceso de limpieza se realizó por medio de un lavado el cual es una operación que generalmente constituye el punto de partida de cualquier proceso de producción para frutas y hortalizas, tiene el fin de eliminar impurezas indeseables como tierra, piedras y microorganismos mediante un lavado directo con agua potable de la canilla, evitando así las complicaciones derivadas a la contaminación de la materia prima. Posteriormente la muestra es escurrida.

3.5.4. Cortado

El tamaño y la forma del producto juegan un papel importante en la cinética del proceso de deshidratación, además determina la forma estética de presentación del producto final.

Es por ello que, con ayuda de un cuchillo se procedió a cortar rebanadas de la frutilla en forma vertical con un espesor aproximado de 3-4 mm con ayuda del vernier, de forma que las rebanadas mantengan su consistencia en los procesos subsecuentes. A continuación, se presentan las frutillas cortadas en rodajas en la figura III-5.



Fuente: Elaboración propia, 2021

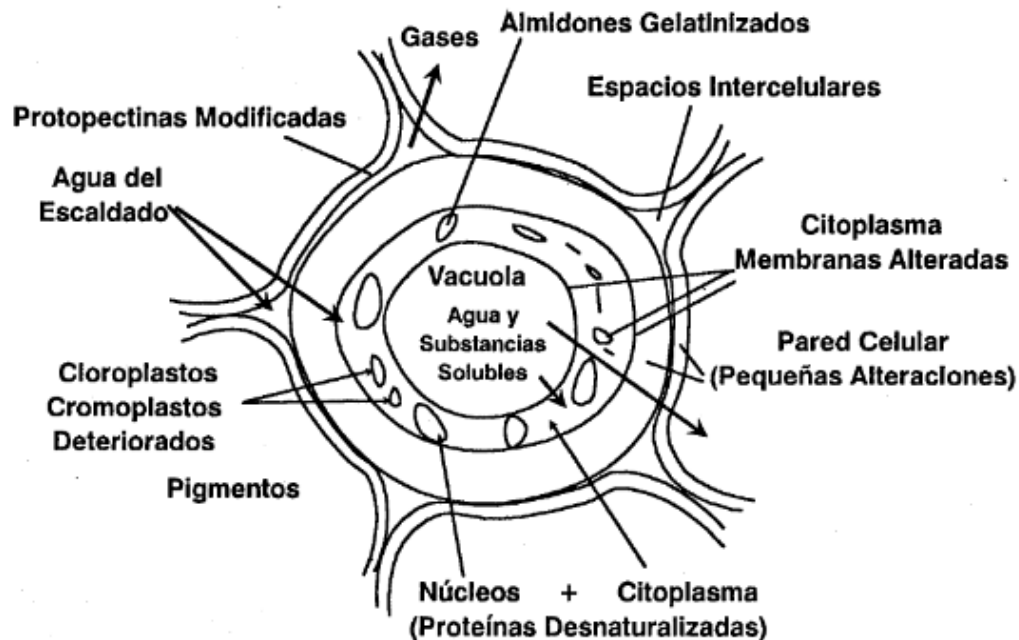
Figura III-5 Cortado de frutillas en rodajas

3.5.5. Escaldado

Esta operación consiste en un tratamiento térmico usado con el propósito de acondicionar el material en diversos sentidos, inhibir o inactivar reacciones de carácter enzimático, reducir parcialmente el contenido de microorganismos que pueden tomar parte en procesos de deterioro del producto, eliminar el aire y los gases ocluidos en los espacios intercelulares de las rebanadas de frutilla.

Al respecto, las temperaturas utilizadas son letales para las levaduras, la mayoría de los mohos y microorganismos aeróbicos. Existen reportes que señalan que el escaldado reduce la carga microbiana entre un 60 a un 99%. (Alzamora et al., 2004)

En la siguiente figura III-6, se muestra el efecto del escaldado en el tejido de los vegetales.



Fuente: Gómez et al., 2004

Figura III-6 Efectos del escaldado en los tejidos vegetales

Una vez teniendo las rebanadas de frutillas, estas son sometidas a un proceso de escaldado con vapor saturado generado por un baño María, operación realizada colocando las rebanadas en una canastilla metálica cerrada que es sostenida por un recipiente metálico en un lapso de 2 minutos. Al tratar el fruto durante un periodo más

prolongado puede causar daños al producto y pérdidas elevadas de compuestos hidrosolubles, vitaminas, minerales y carbohidratos.

En la figura III-7, se muestra el proceso de escaldado donde las rodajas de frutillas son sometidas a una temperatura de 93°C , obteniendo así la inactivación de las enzimas que forman parte del alimento y favorecen cambios sensoriales como el color, permite la remoción del aire atrapado en los tejidos y eliminación de algunos microorganismos también ayudó en el ablandamiento de los alimentos para facilitar acciones posteriores como la adición de jarabes.



Fuente: Elaboración propia, 2021

Figura III-7 Proceso de escaldado de las frutillas

3.5.6. Deshidratación osmótica

3.5.6.1. Preparación del agente osmótico

Para la preparación del agente osmótico se utilizó sacarosa o azúcar blanca comercial como soluto debido a que esta es de fácil adquisición, una vez seleccionado el soluto del agente osmótico se procedió a preparar las soluciones en donde se establecieron los niveles de concentración del agente.

Se pesó el agua, la sacarosa y el azúcar en la balanza, diluyéndose poco a poco en el vaso de precipitación, para una mejor disolución se llevó esta solución al agitador magnético.

- 50° Brix

Para 1000 g de solución: 250 g de sacarosa, 250 g de glucosa / 500 g de agua

- 60° Brix:

Para 1000 g de solución: 300 g de sacarosa, 300 g de glucosa / 400 g de agua

Para una mejor disolución, se llevó esta solución al agitador magnético, posteriormente se procedió a medir los grados ° Brix en un refractómetro digital a fin de corroborar que las soluciones tengan las concentraciones deseadas (ver figura III-8).



Fuente: Elaboración propia, 2021

Figura III-8 Preparación del agente osmótico

3.5.6.2. Deshidratación de las rodajas de frutilla por ósmosis

La deshidratación osmótica es la primera etapa de deshidratación de las rodajas de frutilla donde la fruta pierde agua en una cantidad aproximada del 50 % de su peso inicial. Junto al agua que pierde la fruta son arrastradas pequeñas partículas de sustancias orgánicas en pequeñas cantidades, así como la introducción de sólidos solubles como azúcares necesarias desde el jarabe hacia la fruta distribuyéndose dentro del tejido vegetal mediante difusión hasta que alcanza el equilibrio conforme transcurre el tiempo de deshidratado. Para la elaboración experimental del producto: se usó 200 g

de fruta, bajo las siguientes condiciones de operación: la relación jarabe de sacarosa/fruta de frutilla es de 5:1, con una agitación de 100 rpm, y temperaturas de 40-50 °C.

La mezcla se agita constantemente para agilizar la deshidratación y evitar que los sólidos queden adheridos al producto.

La medición de las variables de acuerdo al diseño factorial son: los °Brix del jarabe en un tiempo óptimo de operación en (h) para lograr deshidratar e introducir la cantidad de sólidos deseables, en un total de 16 experimentos de investigación entre las mediciones principales y sus réplicas.



Fuente: Elaboración propia, 2021

Figura III-9 Proceso de deshidratación osmótica

En la figura III-9, se muestra el proceso de la deshidratación osmótica, donde las rodajas de frutilla son inmersas en la solución osmótica dentro del vaso de precipitación, tapado con papel de aluminio para minimizar las pérdidas de vapor de agua.

3.5.7. Lavado

En esta fase, las rodajas de frutilla después de la deshidratación por ósmosis son escurridas en un colador de plástico. Al finalizar el proceso de drenaje, se puede observar una presencia elevada de sacarosa en la superficie de la frutilla, que se elimina

con un lavado con agua destilada a chorro, para evitar el exceso de soluto adherido en las rebanadas. Ver la figura III-10



Fuente: Elaboración propia, 2021

Figura III-10 Eliminación de la sacarosa en la superficie de las rodajas de frutilla

3.5.8. Secado de las rodajas de frutilla osmodeshidratadas por aire caliente

El objetivo básico del secado por aire caliente es la remoción del agua hasta un nivel en el que se inhibe la proliferación microbiológica, consecuentemente de ello se obtiene un producto estable, de mayor vida útil y una excelente calidad, similar a las frutas frescas. Una vez eliminada la sacarosa de la superficie de las rodajas por medio del lavado, estas se llevaron al secador de bandejas, con aire forzado, bajo las siguientes condiciones: temperatura 50 °C, P = 1 atm, flujo de aire $1,2095 \cdot 10^{-4} \text{ m}^3 / \text{s}$. El proceso de secado fue constante hasta que la pérdida de agua entro en equilibrio con el medio, es donde el peso de la fruta deshidratada se vuelve constante en el tiempo.

A continuación, en la figura III-11, se muestran las rodajas de frutilla entrando a un secador de aire forzado, con un espaciamiento unas a otras, puestas sobre una bandeja con papel manteco, permitiendo que el flujo llegue al alimento. La humedad final en cada medición del proceso, se determinó en el secador infrarrojo para cada muestra, a una temperatura estándar de 50 °C.



Fuente: Elaboración propia, 2021

Figura III-11 Secado por aire caliente

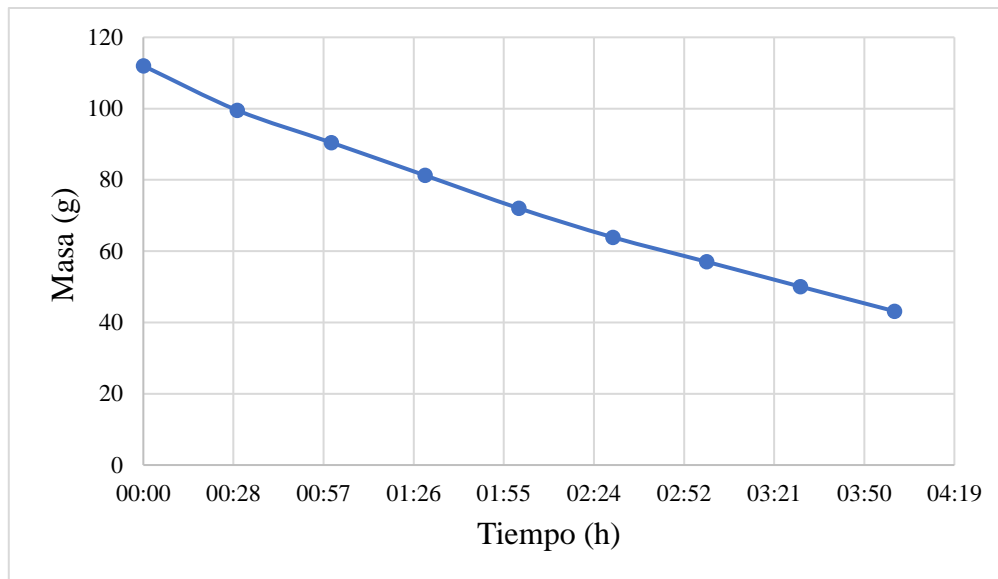
En la siguiente tabla III-10, se presenta la variación de masa durante el proceso de secado en función del tiempo con las variables de 50° C y 4:00 horas, se trabajó con los datos de la muestra A4, que presenta las mejores características organolépticas.

Tabla III-10 Variación de masa en función del tiempo para 50 °C en 4 h

| Nº | Tiempo (h) | Masa (g) |
|----|------------|----------|
| 1 | 00:00 | 112,737 |
| 2 | 00:30 | 99,538 |
| 3 | 01:00 | 90,492 |
| 4 | 01:30 | 81,273 |
| 5 | 02:00 | 72,040 |
| 6 | 02:30 | 63,914 |
| 7 | 03:00 | 57,035 |
| 8 | 03:30 | 50,058 |
| 9 | 04:00 | 43,176 |

Fuente: Elaboración propia, 2021

Con los datos obtenidos en la tabla anterior, se presenta la curva de variación de masa durante el proceso de secado en función del tiempo con las variables de 50° C y 4:00 horas en la siguiente figura III-12.



Fuente: Elaboración propia, 2021

Figura III-12 Curva de variación de masa en función del tiempo para 50 °C en 4 h

3.5.9. Envasado de las rodajas de frutillas deshidratadas

La etapa de envasado de las rodajas de frutilla después de la etapa de secado, es muy importante para su conservación, ya que este medio le brinda protección mediante una barrera permeable de bolsa de polietileno, con el fin de conservar y prolongar así la vida útil del producto, eliminando cualquier contacto del interior con el medio externo. El empaque es un parte fundamental dado a que preserva y mantiene el producto en buenas condiciones hasta el consumo final.

En la parte experimental las rodajas de frutillas deshidratadas obtenidas, fueron envasados en bolsas de polietileno pouch, para luego ser sellados térmicamente mediante el equipo con aire natural, para evitar que las superficies planas del producto se peguen unas a otras, como se puede ver en la figura III-13, a continuación.



Fuente: Elaboración propia, 2021

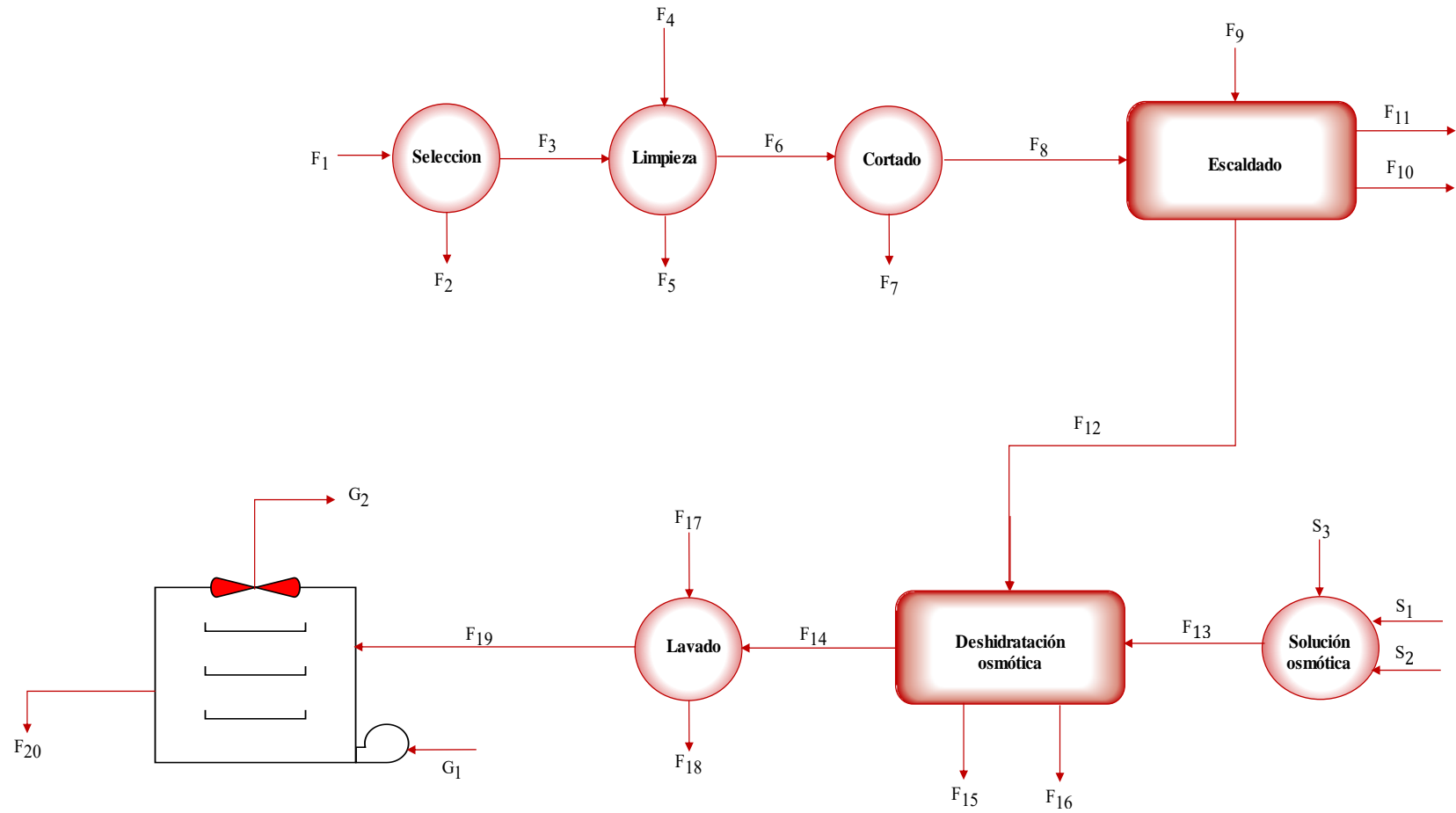
Figura III-13 Rodajas de frutilla envasadas en bolsa de polietileno

3.6. Balance de materia y energía del proceso de obtención de frutilla comestible deshidratada

A continuación, se expone el balance de materia realizado para la muestra cuatro (A4), cuyo porcentaje de aceptación fue el más alto respecto a los otros experimentos. El proceso se realizó en las siguientes condiciones:

- ❖ Solución osmótica: 60° Brix
- ❖ Relación: 5:1
- ❖ Agitación: 100 rpm
- ❖ Temperatura de deshidratación osmótica: 50°C
- ❖ Tiempo de deshidratación osmótica: 3 horas
- ❖ Temperatura de secado por convección: 50°C

En la figura III-14, se muestra el diagrama del proceso de obtención de frutilla comestibles deshidratada.



Fuente: Elaboración propia, 2022

Figura III-14 Diagrama de flujo para el proceso de obtención de la frutilla comestible deshidratada

Donde:

F_1 = Cantidad de frutilla (g)

F_2 = Cantidad de frutilla no comestible (g)

F_3 = Cantidad de frutilla comestible (g)

F_4 = Cantidad de agua destilada (g)

F_5 = Cantidad de agua residual (g)

F_6 = Cantidad de frutilla comestible limpia (g)

F_7 = Cantidad de pedículos de frutilla (g)

F_8 = Cantidad de frutilla comestible cortada (g)

F_9 = Cantidad de agua que ingresa en la etapa de escaldado (g)

F_{10} = Cantidad de vapor de agua (g)

F_{11} = Cantidad de agua residual de la etapa de escaldado (g)

F_{12} = Frutilla comestible escaldada (g)

S_1 = Cantidad de sacarosa (g)

S_2 = Cantidad de glucosa (g)

S_3 = Cantidad de agua destilada (g)

F_{13} = Cantidad de solución osmótica (g)

F_{14} = Cantidad de frutilla comestible deshidratada osmóticamente (g)

F_{15} = Cantidad de solución osmótica residual (g)

F_{16} = Cantidad de vapor de agua (g)

F_{17} = Cantidad de agua que ingresa en la etapa de lavado (g)

F_{18} = Cantidad de agua residual (g)

F_{19} = Cantidad de frutilla comestibles osmodeshidratadas lavada (g)

F_{20} = Cantidad de frutilla comestible deshidratada (g)

x_1^{PC} = Fracción de la porción comestible de frutilla en la corriente F_1

x_2^{PC} = Fracción de la porción comestible de frutilla en la corriente F_2

x_3^{PC} = Fracción de la porción comestible de frutilla en la corriente F_3

x_1^{PNC} = Fracción de la porción no comestible de frutilla en la corriente F_1

x_2^{PNC} = Fracción de la porción no comestible de frutilla en la corriente F_2

x_3^{PNC} = Fracción de la porción no comestible de frutilla en la corriente F_3

x_3^{PC} = Fracción de la porción comestible de frutilla en la corriente F_3

x_4^{PC} = Fracción de la porción comestible de frutilla en la corriente F_4

x_5^{PC} = Fracción de la porción comestible de frutilla en la corriente F_5

x_6^{PC} = Fracción de la porción comestible de frutilla en la corriente F_6

x_3^A = Fracción de agua destilada en la corriente F_3

x_4^A = Fracción de agua destilada en la corriente F_4

x_5^A = Fracción de agua destilada en la corriente F_5

x_6^A = Fracción de agua destilada en la corriente F_6

x_6^{PC} = Fracción de la porción comestible de frutilla en la corriente F_6

x_7^{PC} = Fracción de la porción comestible de frutilla en la corriente F_7

x_8^{PC} = Fracción de la porción comestible de frutilla en la corriente F_8

x_6^{PPF} = Fracción de pedículos de frutilla en la corriente F_6

x_7^{PPF} = Fracción de pedículos de frutilla en la corriente F_7

x_8^{PPF} = Fracción de pedículos de frutilla en la corriente F_8

x_8^{PCC} = Fracción de la porción comestible de frutilla en la corriente F_8

x_9^{PCC} = Fracción de la porción comestible de frutilla en la corriente F_9

x_{10}^{PCC} = Fracción de la porción comestible de frutilla en la corriente F_{10}

x_{11}^{PCC} = Fracción de la porción comestible de frutilla en la corriente F_{11}

x_{12}^{PCC} = Fracción de la porción comestible de frutilla en la corriente F_{12}

x_8^{AL} = Fracción de agua líquida en la corriente F_8

x_9^{AL} = Fracción de agua líquida en la corriente F_9

x_{10}^{AL} = Fracción de agua líquida en la corriente F_{10}

x_{11}^{AL} = Fracción de agua líquida en la corriente F_{11}

x_{12}^{AL} = Fracción de agua líquida en la corriente F_{12}

x_{12}^{S} = Fracción sólida en la corriente F_{12}

x_{13}^{S} = Fracción sólida en la corriente F_{13}

x_{14}^{S} = Fracción sólida en la corriente F_{14}

x_{15}^{S} = Fracción sólida en la corriente F_{15}

x_{16}^{S} = Fracción sólida en la corriente F_{16}

$x_{12}^{\text{H}_2\text{O}}$ = Fracción de agua en la corriente F_{12}

$x_{13}^{\text{H}_2\text{O}}$ = Fracción de agua en la corriente F_{13}

$x_{14}^{\text{H}_2\text{O}}$ = Fracción de agua en la corriente F_{14}

$x_{15}^{\text{H}_2\text{O}}$ = Fracción de agua en la corriente F_{15}

$x_{16}^{\text{H}_2\text{O}}$ = Fracción de agua en la corriente F_{16}

x_{14}^{A} = Fracción de agua en la corriente F_{14}

x_{14}^{S} = Fracción de sólidos en la corriente F_{14}

x_{17}^{A} = Fracción de agua en la corriente F_{17}

x_{17}^S = Fracción de sólidos en la corriente F_{17}

x_{18}^A = Fracción de agua en la corriente F_{18}

x_{18}^S = Fracción de sólidos en la corriente F_{18}

x_{19}^A = Fracción de agua en la corriente F_{19}

x_{19}^S = Fracción de sólidos en la corriente F_{19}

x_{14}^S = Fracción solida de la frutilla comestible en la corriente F_{14}

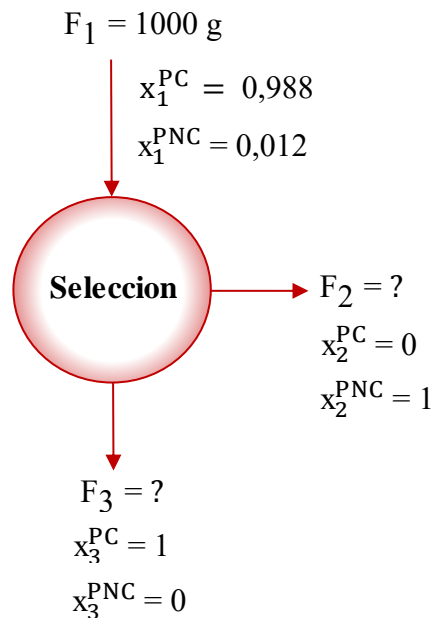
$x_{14}^{H_2O}$ = Fracción de agua en la corriente F_{14}

x_{20}^S = Fracción solida de la frutilla comestible en la corriente F_{20}

$x_{20}^{H_2O}$ = Fracción agua en la corriente F_{20}

3.6.1.1. Balance de materia en la etapa de selección de la frutilla

La figura III-15, muestra el proceso de balance de materia en la etapa de selección de la porción comestible de la frutilla, partiendo de 1000 g de frutilla para realizar el balance de materia. En esta etapa la fracción de frutilla comestible es de 0,988 y la fracción no comestible es igual 0,012, datos que fueron tomados de la parte experimental del trabajo (ver tabla III-9).



Fuente: Elaboración propia, 2021

Figura III-15 Etapa de selección de la materia prima

Balance de materia global en la etapa de selección de la frutilla:

$$F_1 = F_2 + F_3 \quad \text{Ecuación III-5}$$

Balance parcial para la fracción comestible en la etapa de selección de la frutilla:

$$F_1 * x_1^{\text{PC}} = F_2 * x_2^{\text{PC}} + F_3 * x_3^{\text{PC}}$$

$$1000 * 0,988 = F_2 * 0 + F_3 * 1$$

$$F_3 = 988 \text{ g de frutilla comestible}$$

Balance parcial para la fracción no comestible de frutilla:

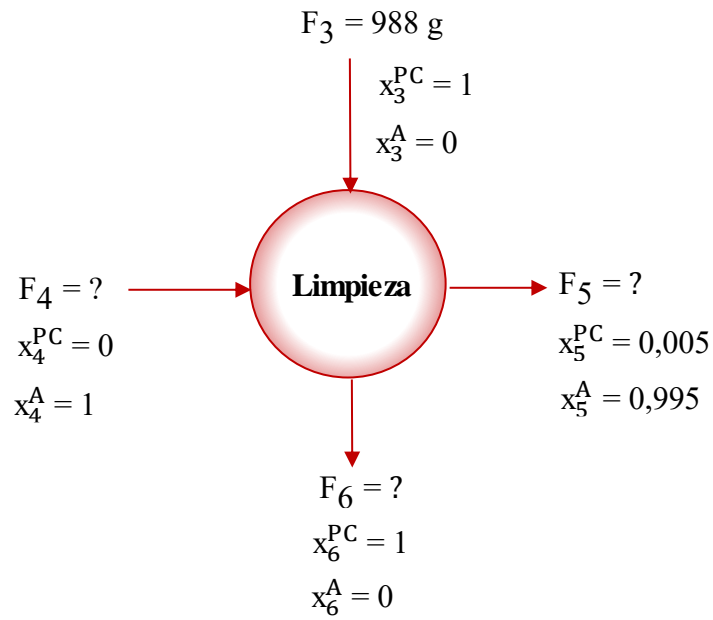
$$F_1 * x_1^{\text{PNC}} = F_2 * x_2^{\text{PNC}} + F_3 * x_3^{\text{PNC}}$$

$$1000 * 0,012 = F_2 * 1 + F_3 * 0$$

$$F_2 = 12 \text{ g de la porción no comestible de frutilla}$$

3.6.1.2. Balance de materia en la etapa de limpieza de la frutilla

En la figura III-16, se muestra el proceso de balance de materia prima en la etapa de limpieza de la frutilla comestible.



Fuente: Elaboración propia, 2022

Figura III-16 Etapa de limpieza de la frutilla comestible

Balance de materia global en la etapa de limpieza de la frutilla comestible:

$$F_3 + F_4 = F_5 + F_6 \quad \text{Ecuación III-6}$$

Para llevar a cabo la etapa de limpieza, se trabajó con una relación 1:1 de cantidad de agua destilada con frutilla comestible.

$$\frac{F_3}{F_4} = \frac{1 \text{ g}}{1 \text{ g}} \quad \text{Ecuación III-7}$$

Entonces:

$$F_3 = F_4 = 988 \text{ g de agua destilada}$$

Balance parcial para el agua destilada en la etapa de limpieza de la frutilla comestible:

$$F_3 * x_3^A + F_4 * x_4^A = F_5 * x_5^A + F_6 * x_6^A$$

$$988 * 0 + 988 * 1 = F_5 * 0,995 + F_6 * 0$$

$F_5 = 992,965$ g de agua residual

Balance parcial para la porción de frutilla comestible en la etapa de limpieza:

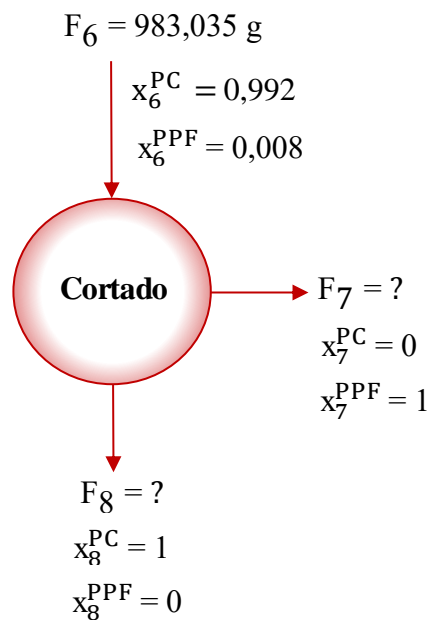
$$F_3 * x_3^{PC} + F_4 * x_4^{PC} = F_5 * x_5^{PC} + F_6 * x_6^{PC}$$

$$988 * 1 + 988 * 0 = 992,965 * 0,005 + F_6 * 1$$

$F_6 = 983,035$ g de frutilla comestible limpia

3.6.1.3. Balance de materia en la etapa de cortado o rebanado de la frutilla

En la figura III-17, se muestra el proceso de balance de materia en la etapa de cortado de la frutilla comestible.



Fuente: Elaboración propia, 2022

Figura III-17 Etapa de cortado de la frutilla comestible

Balance de materia global en la etapa de cortado de la frutilla comestible:

$$F_6 = F_7 + F_8 \quad \text{Ecuación III-8}$$

Balance parcial para la fracción comestible en la etapa de cortado de la frutilla:

$$F_6 * x_6^{PC} = F_7 * x_7^{PC} + F_8 * x_8^{PC}$$

$$983,035 * 0,992 = F_7 * 0 + F_8 * 1$$

$$F_8 = 975,171 \text{ g de frutilla comestible}$$

Balance parcial para la fracción de pedículos de la frutilla en la etapa de cortado:

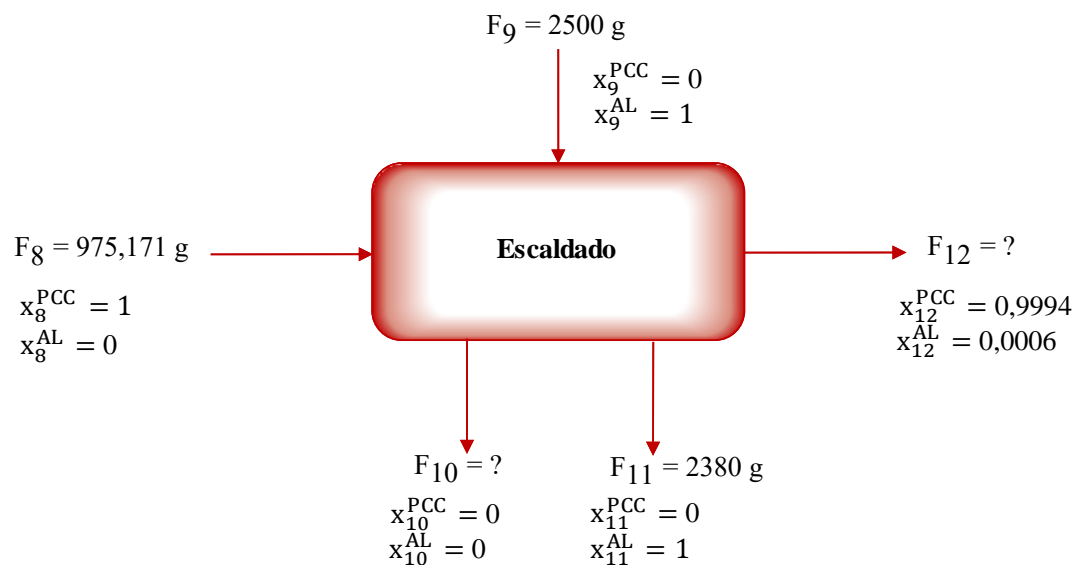
$$F_6 * x_6^{PPC} = F_7 * x_7^{PPC} + F_8 * x_8^{PPF}$$

$$983,035 * 0,008 = F_7 * 1 + F_8 * 0$$

$$F_7 = 7,864 \text{ g de pedículos de la frutilla}$$

3.6.1.4. Balance de materia en la etapa de escaldado de la frutilla comestible

En la figura III-18, se muestra el proceso de balance de materia de la etapa de escaldado. La frutilla rebanada o cortada es sometida a un tratamiento térmico con vapor saturado durante un lapso de 3 minutos a una temperatura de 93°C. En este proceso se pudo apreciar un mínimo aumento de peso en los trozos de frutilla, esto debido a que el vapor condensado se adhiere en la superficie de la frutilla, formando así una capa o película líquida.



Fuente: Elaboración propia, 2022

Figura III-18 Etapa de escaldado de la frutilla comestible

Balance de materia global en la etapa de limpieza de la frutilla comestible:

$$F_8 + F_9 = F_{10} + F_{11} + F_{12}$$

Ecuación III-9

Balance parcial para la porción comestible de frutilla en la etapa de escaldado:

$$F_8 * x_8^{PCC} + F_9 * x_9^{PCC} = F_{10} * x_{10}^{PCC} + F_{11} * x_{11}^{PCC} + F_{12} * x_{12}^{PCC}$$

$$975,171 * 1 + 2500 * 0 = F_{10} * 0 + F_{11} * 0 + F_{12} * 0,9994$$

$$F_{12} = 975,756 \text{ g de frutilla a la salida de la etapa de escaldado}$$

La cantidad de vapor de agua desprendido en la etapa de escaldado es:

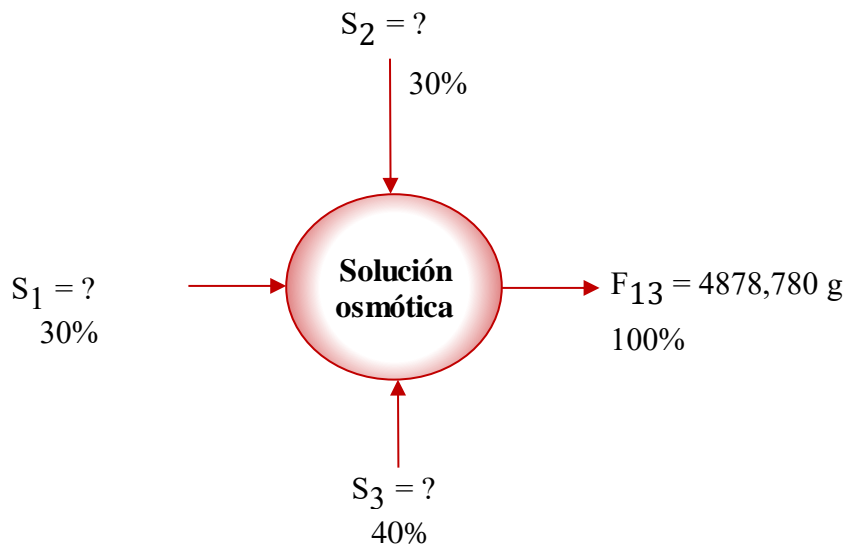
$$F_8 + F_9 = F_{10} + F_{11} + F_{12}$$

$$975,171 + 2500 = F_{10} + 2380 + 975,756$$

$$F_{10} = 119,415 \text{ g de vapor de agua}$$

3.6.1.5. Balance de materia en la preparación de la solución osmótica

En la figura III-19, se muestra el proceso de balance de materia en la etapa de preparación de la solución osmótica, la misma tiene 60 °Brix en la solución.



Fuente: Elaboración propia, 2022

Figura III-19 Etapa de la preparación de la solución osmótica

Balance de materia global en la etapa de preparación de la solución osmótica para llevar a cabo la deshidratación osmótica de la frutilla comestible:

$$S_1 + S_2 + S_3 = F_{13}$$

Ecuación III-10

Balance parcial para de las fracciones de entrada en la etapa de preparación de la solución osmótica:

$$S_1 = F_{13}(0,3)$$

$$S_1 = 4878,780 * (0,3)$$

$$S_1 = 1463,634 \text{ g de sacarosa}$$

$$S_2 = F_{13}(0,3)$$

$$S_2 = 4878,780 * (0,3)$$

$$S_2 = 1463,634 \text{ g de glucosa}$$

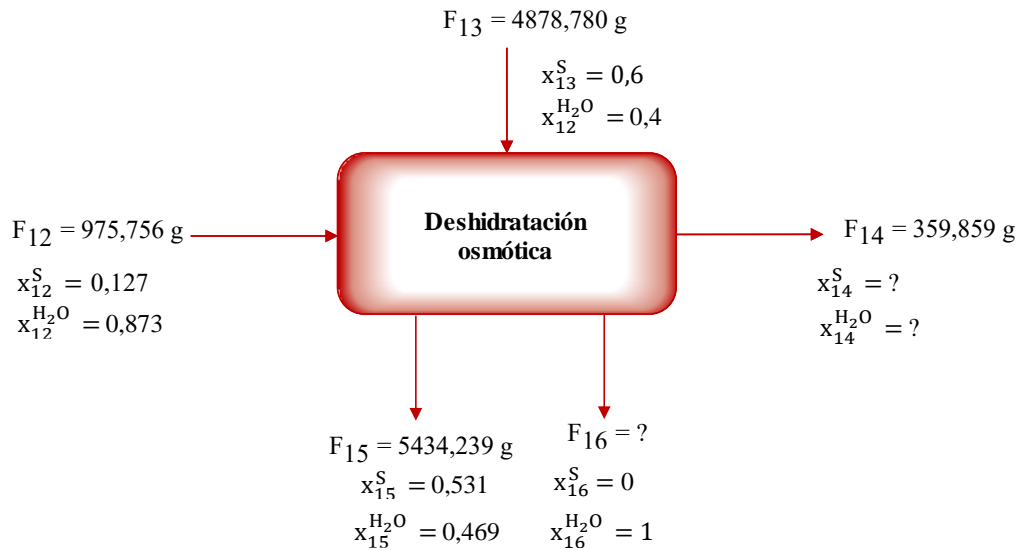
$$S_3 = F_{13}(0,40)$$

$$S_3 = 4878,780 * (0,4)$$

$$S_3 = 1951,512 \text{ g de agua}$$

3.6.1.6. Balance de materia en la etapa de deshidratación osmótica de la frutilla comestible

En la figura III-20, se muestra el proceso de balance de materia en la etapa de deshidratación osmótica de la frutilla comestible previamente escaldada.



Fuente: Elaboración propia, 2022

Figura III-20 Etapa de deshidratación osmótica de la frutilla comestible

Balance de materia global en la etapa de limpieza de la frutilla comestible:

$$F_{12} + F_{13} = F_{14} + F_{15} + F_{16} \quad \text{Ecuación III-11}$$

Entonces:

$$F_{16} = F_{12} + F_{13} - F_{14} - F_{15}$$

$$F_{16} = 975,756 \text{ g} + 4878,780 \text{ g} - 359,859 \text{ g} - 5434,239 \text{ g}$$

$$F_{16} = 60,438 \text{ g vapor de agua}$$

Balance parcial para los componentes sólidos en la etapa de deshidratación osmótica de la frutilla comestible:

$$F_{12} * x_{12}^S + F_{13} * x_{13}^S = F_{14} * x_{14}^S + F_{15} * x_{15}^S + F_{16} * x_{16}^S$$

$$975,756 * 0,127 + 4878,780 * 0,6 = 359,859 * x_{14}^S + 5434,239 * 0,531 + 60,438 * 0$$

$$x_{14}^S = 0,460 \text{ g de componentes sólidos en la frutilla comestible deshidratada}$$

Entonces la fracción de agua en la frutilla deshidratada osmóticamente es:

$$x_{14}^{H_2O} = 1 - x_{14}^S$$

$$x_{14}^{\text{H}_2\text{O}} = 1 - 0,460$$

$$x_{14}^{\text{H}_2\text{O}} = 0,540 \text{ fracción de agua presente en la frutilla comestible deshidratada}$$

Con los datos obtenidos podemos obtener la cantidad de agua perdida por el fruto, la masa de agua que gana la agente osmótica y la cantidad de agua evaporada en el proceso.

$$M_{\text{H}_2\text{O}} \text{ pérdida} = (F_{12} * x_{12}^{\text{H}_2\text{O}}) - (F_{16} * x_{16}^{\text{H}_2\text{O}})$$

$$m_{\text{H}_2\text{O}} \text{ pérdida} = (975,756 * 0,873) - (359,859 * 0,540)$$

$$m_{\text{H}_2\text{O}} \text{ pérdida} = 657,511 \text{ g}$$

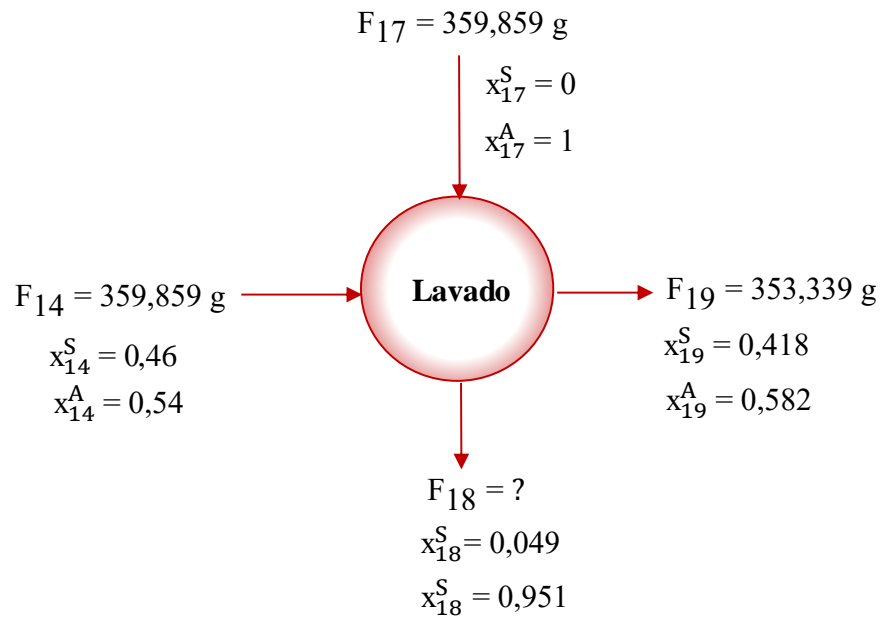
Con el dato de la masa de agua pérdida y la masa de la frutilla deshidratada se puede calcular el porcentaje de pérdida de agua:

$$\% m_{\text{H}_2\text{O}} \text{ perdida} = \frac{657,511}{975,756} * 100$$

$$\% m_{\text{H}_2\text{O}} \text{ perdida} = 67,385$$

3.6.1.7. Balance de materia en la etapa de lavado de la frutilla comestible deshidratada osmóticamente

En la figura III-21, se muestra la etapa de lavado de la frutilla comestible deshidratada osmóticamente. Esta se realizó con la finalidad de eliminar la cantidad de soluto adherida en la frutilla comestible.



Fuente: Elaboración propia, 2022

Figura III-21 Etapa de lavado de la frutilla comestible osmodeshidratada

Balance de materia global en la etapa de lavado de la frutilla comestible osmodeshidratadas:

$$F_{14} + F_{17} = F_{18} + F_{19} \quad \text{Ecuación III-12}$$

Balance parcial para el agua destilada en la etapa de lavado de la frutilla comestible osmodeshidratadas:

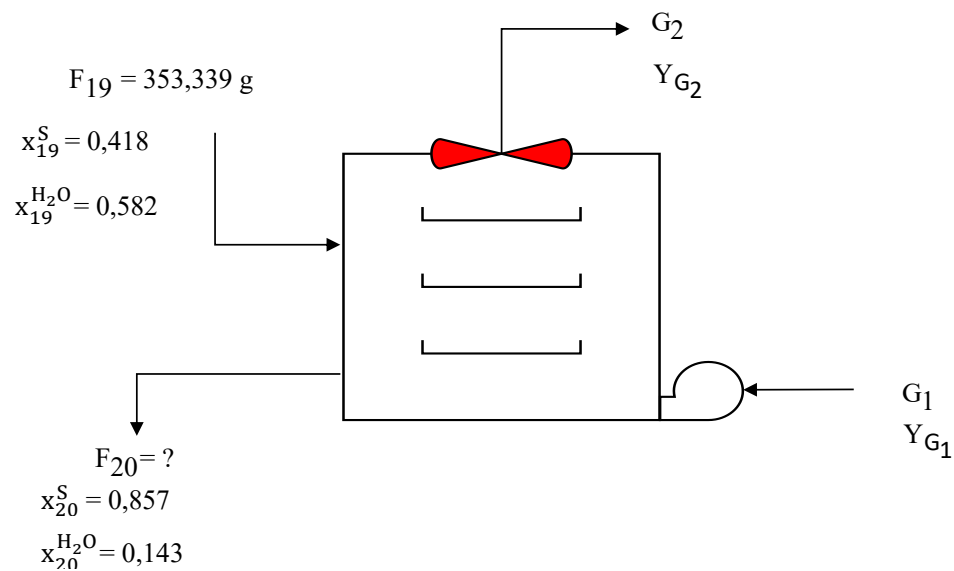
$$F_{14} * x_{14}^A + F_{17} * x_{17}^A = F_{18} * x_{18}^A + F_{19} * x_{19}^A$$

$$359,859 * 0,54 + 359,859 * 1 = F_{18} * 0,951 + 353,339 * 0,582$$

$$F_{18} = 366,490 \text{ g de agua residual}$$

3.6.1.8. Balance de materia en la etapa de secado de la frutilla comestible deshidratada osmóticamente

En la figura III-22, se muestra la etapa de secado de la frutilla comestible con un contenido de humedad inicial en base húmeda 54 % y al finalizar la etapa de secado la frutilla comestible la humedad es de 14,3% (ver tabla III-20).



Fuente: Elaboración propia, 2022

Figura III-22 Etapa de secado de la frutilla previamente deshidratada osmóticamente
El balance de materia global en la etapa de secado de la frutilla comestible, se tomó en cuenta la ecuación (III-13) mencionada por (Valiente, 1994).

$$F_{19} + G_1 = F_{20} + G_2 \quad \text{Ecuación III-13}$$

Balance de parcial por componentes sólidos en la etapa de secado:

$$F_{19} * x_{19}^S = F_{20} * x_{20}^S$$

$$353,339 * 0,418 = F_{20} * 0,857$$

$$F_{20} = 172,340 \text{ g de frutilla comestible deshidratada}$$

Balance parcial en base seca en la etapa de secado; para ello se tomó en cuenta la ecuación (III-14) mencionada por (Singh & Heldman, 2009).

$$F_{19} * X_{19} + G_1 * Y_{G_1} = F_{20} * X_{20} + G_2 * Y_{G_2} \quad \text{Ecuación III-14}$$

Donde:

G_1 = Caudal másico de aire seco a la entrada del secadero (Kg aire seco/h)

G_2 = Caudal másico de aire seco a la salida del secadero (Kg aire seco/h)

F_{19} = Caudal másico de sólido seco (Kg sólido seco/h)

F_{20} = Caudal másico de sólido seco (Kg sólido seco/h)

X = Humedad del producto (Kg agua/Kg sólido seco)

Y = Humedad del aire (Kg agua/Kg aire seco)

Para determinar la cantidad de aire seco que circula en el secadero, se considerando un sistema abierto:

$$G_1 = G_2 = G$$

$$F_{19} = F_{20} = F$$

Reemplazando variables en la ecuación (III-14) se tiene:

$$F * X_{19} + G * Y_{G_1} = F * X_{20} + G * Y_{G_2} \quad \text{Ecuación III-15}$$

Ordenando la ecuación (III-15), tenemos:

$$G = \frac{(X_{19} - X_{20}) * F}{Y_{G_2} - Y_{G_1}} \quad \text{Ecuación III-16}$$

A partir de la ecuación (III-16), se puede determinar la cantidad de aire seco en la etapa de secado de la frutilla comestible deshidratada osmóticamente.

El contenido de humedad de base seca del camote comestible en la etapa del secado, se determinó mediante la ecuación (III-17) (Singh & Heldman, 2009).

$$X = \frac{X_{\text{agua}}}{X_{\text{sólido seco}}} \quad \text{Ecuación III-17}$$

Entonces la humedad inicial en base seca en etapa de secado es:

$$X_{19} = \frac{0,582}{0,418}$$

$$X_{19} = 1,392 \text{ Kg agua/Kg sólido seco}$$

Para calcular el contenido de humedad en base seca al final de la etapa de secado se procede con la ecuación (III-17):

$$X_{20} = \frac{0,143}{0,857}$$

$$X_{20} = 0,167 \text{ Kg agua/Kg sólido seco}$$

Según (Gutierrez, 1875), la altura de la ciudad de Tarija es 1866 msnm; por tanto, los datos fueron introducidos en el software Psicrom 1,0 de psicrometría y los resultados se muestran en la tabla III-11, en base a temperatura de bulbo seco y bulbo húmedo que fueron medidos a la entrada y salida del secador de tiro forzado (ver Anexo H).

Tabla III-11 Propiedades psicométricas del aire

| Propiedades | Aire frío | Aire saturado |
|-------------------------|-----------|---------------|
| Tbs (°C) | 19 | 39 |
| Tbh (°C) | 14 | 24 |
| HR% | 60,94 | 29,68 |
| Y (g/agua/Kg aire seco) | 10,51 | 17,56 |
| PVP(Kpa) | 1,339 | 2,213 |

Fuente: Tabla psicométrica, 2021

Donde:

Tbs = Temperatura del bulbo seco

Tbh = Temperatura del bulbo húmedo

HR = Humedad relativa

Y = Humedad absoluta (g de agua/Kg aire seco)

PVP = Presión parcial de vapor de agua

Para una cantidad de frutilla comestible de 353,339 g la relación de cantidad de materia seca (F) es de 172,340 g.

Por lo tanto, para calcular la cantidad de masa de aire seco se usa la ecuación (III-16), citada por (Singh & Heldman, 2009).

$$G = \frac{(1,392 - 0,167) * 172,340}{17,56 - 10,51}$$

$$G = 29,946 \text{ kg de aire seco}$$

Para calcular de masa de agua evaporada se tomó en cuenta la siguiente ecuación:

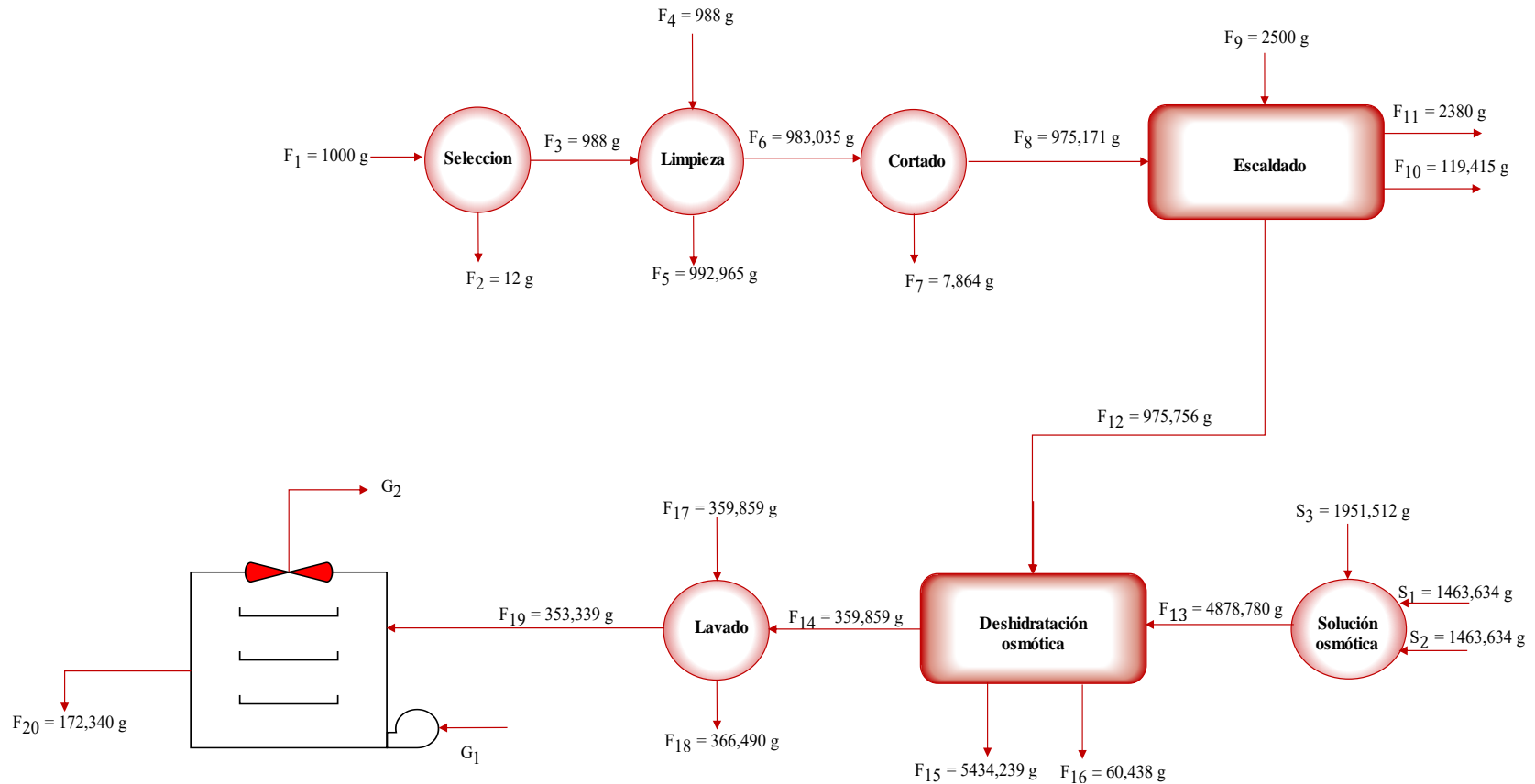
$$AE = (X_{19} - X_{20}) * C \quad \text{Ecuación III-18}$$

$$AE = (1,392 - 0,167) * 172,340$$

$$AE = 211,116 \text{ g de agua evaporada}$$

3.6.1.9. Resumen general del balance de materia para obtener frutilla comestible deshidratada

En la figura III-23, se muestra el resumen general del balance de materia para obtener frutilla comestible deshidratada osmóticamente.



Fuente: Elaboración propia, 2022

Figura III-23 Resumen general del balance de materia para obtener frutilla comestible deshidratada

3.6.2. Balance de energía para el proceso de obtención de frutilla comestible deshidratada

En este acápite se realizan los balances de energía en los procesos de escaldado, deshidratación osmótica y secado para obtener frutilla comestible deshidratada.

Aplicando la primera ley de la termodinámica “Ley de la conservación de la energía”. Si la frontera de un sistema no permite el transporte de materia entre el sistema y sus alrededores, entonces se dice que el sistema es cerrado, descrita mediante la siguiente ecuación. (Smith & Abbott, 1996)

$$\Delta E_{\text{cinética}} + \Delta E_{\text{potencial}} + \Delta U = Q + W \quad \text{Ecuación III-19}$$

Los sistemas cerrados a menudo experimentan procesos donde la de energía cinética y potencial son tan pequeños que pueden considerarse a estos como despreciables, sino solamente en su energía interna. (Smith & Abbott, 1996)

$$\Delta E_{\text{cinética}} + \Delta E_{\text{potencial}} = 0$$

Como el sistema se encuentra en un estacionario el volumen se mantiene constante por lo cual no se efectúa el trabajo en el sistema. (Smith & Abbott, 1996)

$$W = 0$$

Entonces la ecuación es:

$$\Delta U = Q \quad \text{Ecuación III-20}$$

$$Q_{\text{cedido}} = Q_{\text{ganado}}$$

Según (Smith & Abbott, 1996), para un sistema estacionario a volumen constante el calor sensible y latente es igual a:

$$Q_{\text{sensible}} = m C_p \Delta T \quad \text{Ecuación III-21}$$

$$Q_{\text{latente}} = m * \lambda \quad \text{Ecuación III-22}$$

Donde:

m = Masa del componente (Kg)

C_p = Capacidad calorífica (Kcal/ Kg °C)

ΔT = Diferencial de temperatura (°C)

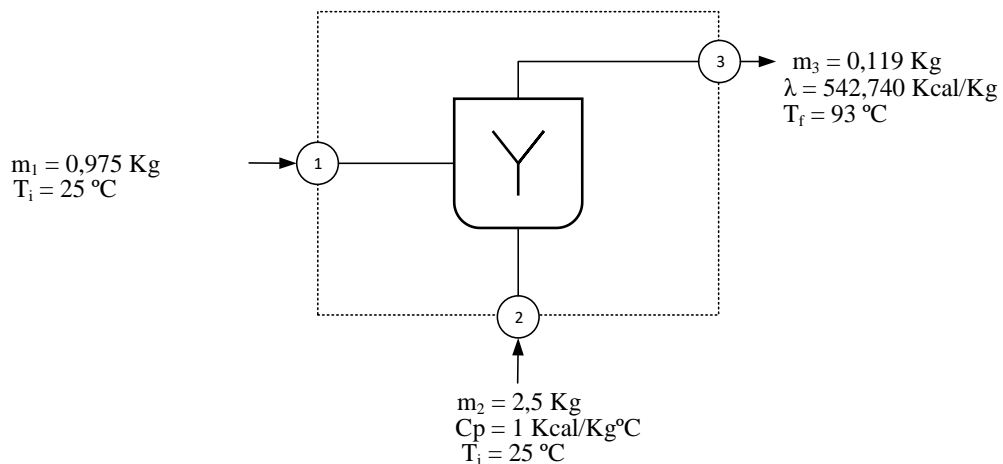
T_f = Temperatura final (°C)

T_i = Temperatura inicial (°C)

λ = Calor latente de vaporización (Kcal/Kg)

3.6.2.1. Balance de energía en la etapa de escaldado de la frutilla comestible

Para calcular la energía requerida en la etapa de escaldado, se debe determinar el calor sensible debido al calentamiento del agua desde 25 °C hasta 93 °C con la presencia de la frutilla comestible, este proceso se realizó en un calentador. En la figura III-24, representa el sistema utilizado para el proceso de escaldado.



Fuente: Elaboración propia, 2021

Figura III-24 Etapa de escaldado de la frutilla comestible

La energía total que requiere el sistema para llevar a cabo el proceso de escaldado es:

$$Q_E = Q_{SE} + Q_{LE} \quad \text{Ecuación III-23}$$

Donde:

Q_E = Calor total que se requiere en el proceso de escaldado (Kcal)

Q_{SE} = Calor sensible de escaldado (Kcal)

Q_{LE} = Calor latente para evaporar el agua en la etapa de escaldado (Kcal)

Partiendo de la ecuación (III-21), el calor sensible requerido para la etapa de escaldado es:

$$Q_{SE} = m_1 * Cp_1 * (T_f - T_i) + m_2 * Cp_2 * (T_f - T_i) \quad \text{Ecuación III-24}$$

Donde:

m_1 = masa de frutilla comestible = 0,975 Kg

m_2 = masa de agua presente en la etapa de escaldado = 2,5 Kg

Cp_2 = Capacidad calorífica del agua, 1,0 Kcal/Kg °C (Chang, 1999).

M_3 = masa de vapor de agua = 0,119 kg

λ = Calor latente de vaporización del agua = 542,740 kcal/kg, a la presión de la ciudad de Tarija. (Smith & Abbott, 1996)

Para calcular el calor específico de cualquier tipo de alimento, se procede a partir de la ecuación (III-25) citada por (Singh & Heldman, 2009).

$$Cp_p = x_c * Cp_c + x_r * Cp_r + x_g * Cp_g + x_f * Cp_f + x_a * Cp_a + x_w * Cp_w \quad \text{Ecuación III-25}$$

Donde:

$Cp_c = 1,4$ (KJ/Kg °K) = Calor específico de los carbohidratos (Lewis, 1993)

$Cp_r = 1,6$ (KJ/Kg °K) = Calor específico de las proteínas (Lewis, 1993)

$Cp_g = 1,7$ (KJ/Kg g °K) = Calor específico de las grasas (Lewis, 1993)

$Cp_f = 1,5$ (KJ/Kg °K) = Calor específico de la fibra (Lewis, 1993)

$Cp_a = 0,8$ (KJ/Kg °K) = Calor específico de las cenizas (Lewis, 1993)

$Cp_w = 4,18$ (KJ/Kg °K) = Calor específico del agua (Lewis, 1993)

x_c = Fracción másica de los carbohidratos

x_r = Fracción másica de la proteína

x_g = Fracción másica de la grasa

x_f = Fracción másica de la fibra

x_a = Fracción másica de las cenizas

x_w = Fracción másica del agua

Reemplazando los valores en la ecuación (III-25), se obtiene:

$$C_{p_p} = x_c * 1,4 + x_r * 1,6 + x_g * 1,7 + x_f * 1,5 + x_a * 0,8 + x_w * 4,18 \quad \text{Ecuación III-26}$$

En la tabla III-12, muestra los datos de la composición fisicoquímica de la frutilla, estos valores son utilizados para calcular el calor específico de la frutilla, se tomó en cuenta de los datos de la tabla III-1.

Tabla III-12 Datos de la composición fisicoquímica de la frutilla

| Componentes | Símbolo | Fracción másica |
|---------------------|---------|-----------------|
| Hidratos de carbono | x_c | 0,1051 |
| Proteínas | x_r | 0,0098 |
| Grasa | x_g | 0,0022 |
| Fibra | x_f | 0,0041 |
| Cenizas | x_a | 0,0051 |
| Humedad | x_w | 0,8727 |

Fuente: CEANID, 2022

Reemplazando valores de la tabla III-12, en la ecuación (III-26), se tiene:

$$C_{p_1} = 0,1051 * 1,4 + 0,0098 * 1,6 + 0,0022 * 1,7 + 0,0041 * 1,5 + 0,0051 * 0,8 + 0,8727 * 4,18$$

$$C_{p_1} = 3,825 \left[\frac{\text{KJ}}{\text{Kg } ^\circ\text{K}} \right]$$

$$C_{p_1} = 0,914 \left[\frac{\text{Kcal}}{\text{Kg } ^\circ\text{C}} \right]$$

Reemplazando valores en la ecuación (III-24):

$$Q_{SE} = 0,975 \text{ Kg} * 0,914 \left[\frac{\text{Kcal}}{\text{Kg } ^\circ\text{C}} \right] * (93 - 25)^\circ\text{C} + 2,5 \text{ Kg} * 1 \left[\frac{\text{Kcal}}{\text{Kg } ^\circ\text{C}} \right] * (93 - 25)^\circ\text{C}$$

$$Q_{SE} = 230,598 \text{ Kcal}$$

Partiendo de la ecuación (III-22), el calor latente para evaporar el agua en la etapa de escaldado es:

$$Q_{LE} = m_3 * \lambda \quad \text{Ecuación III-27}$$

Reemplazando valores en la ecuación (III-27):

$$Q_{LE} = 0,119 \text{ Kg} * 542,74 \left[\frac{\text{Kcal}}{\text{Kg}} \right]$$

$$Q_{LE} = 64,586 \text{ Kcal}$$

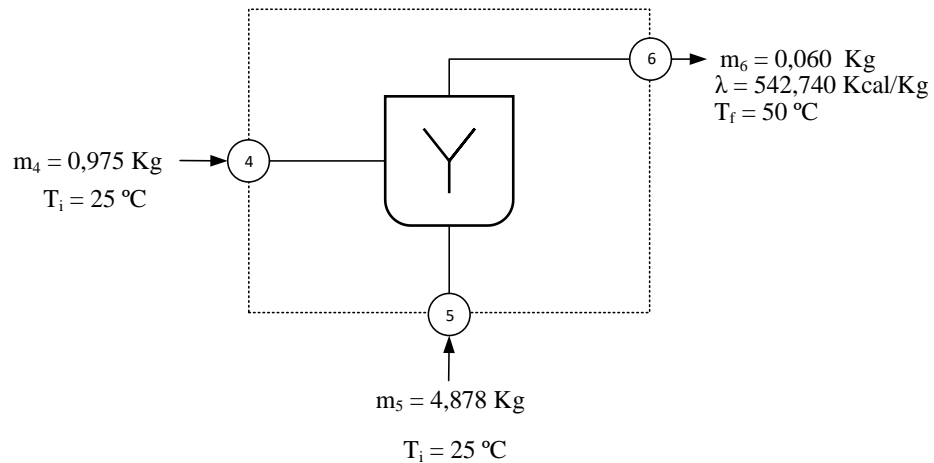
Reemplazando valores en la ecuación (III-23), la energía total que requiere el sistema para llevar a cabo el proceso de escaldado es:

$$Q_E = 230,598 \text{ Kcal} + 64,586 \text{ Kcal}$$

$$Q_E = 295,184 \text{ Kcal}$$

3.6.2.2. Balance de energía en la etapa de deshidratación osmótica

Para calcular la energía requerida en la etapa de deshidratación osmótica, se debe determinar el calor sensible debido al calentamiento del agua desde 25 °C hasta 50 °C con la presencia de la frutilla comestible, este proceso se realizó en un calentador. En la figura III-25, representa el sistema utilizado para el proceso de deshidratación osmótica.



Fuente: Elaboración propia, 2022

Figura III-25 Etapa de deshidratación osmótica de la frutilla comestible

La energía total que requiere el sistema para llevar a cabo el proceso de deshidratación osmótica de la frutilla comestible es:

$$Q_D = Q_{SD} + Q_{LD} \quad \text{Ecuación III-28}$$

Donde:

Q_D = Calor total que se requiere en la etapa de deshidratación osmótica (Kcal)

Q_{SD} = Calor sensible de deshidratación osmótica (Kcal)

Q_{LD} = Calor latente para evaporar el agua en la deshidratación osmótica (Kcal)

Partiendo de la ecuación (III-21), el calor sensible requerido para la etapa de deshidratación osmótica es:

$$Q_{SD} = m_4 * C_{pF} * (T_f - T_i) + m_5 * C_{pSO} * (T_f - T_i) \quad \text{Ecuación III-29}$$

Donde:

m_4 = masa de frutilla comestible = 0,975 Kg

C_{pF} = capacidad calorífica de la frutilla = 0,914 (Kcal/Kg°C)

m_5 = masa de solución osmótica presente en la etapa de deshidratación = 4,878 Kg

C_{pSO} = capacidad calorífica de la solución osmótica

m_6 = masa de vapor de agua = 0,060 Kg

λ = Calor latente de vaporización del agua = 542,740 Kcal/Kg, a la presión de la ciudad de Tarija. (Smith & Abbott, 1996)

Según (Urrutia, 2004) la capacidad calorífica de soluciones azucaradas, puede ser determinada por métodos de laboratorio, por lo que se toma en cuenta la siguiente relación:

$$C_{p_{SO}} = 1 - 0,006 * \text{Brix} \quad \text{Ecuación III-30}$$

Donde los Brix es la cantidad de solidos solubles en la solución y $C_{p_{SO}}$ es la capacidad calorífica que tiene la solución en esa concentración.

Entonces la capacidad calorífica de la solución osmótica es:

$$C_{p_{SO}} = 1 - 0,006 * 60$$

$$C_{p_{SO}} = 0,64 \text{ (Kcal/Kg } ^\circ\text{C)}$$

Reemplazando valores en la ecuación (III-29):

$$Q_{SD} = 0,975 \text{ Kg} * 0,914 \left[\frac{\text{Kcal}}{\text{Kg } ^\circ\text{C}} \right] * (50 - 25)^\circ\text{C} + 4,878 \text{ Kg} * 0,64 \left[\frac{\text{Kcal}}{\text{Kg } ^\circ\text{C}} \right] * (50 - 25)^\circ\text{C}$$

$$Q_{SD} = 100,327 \text{ Kcal}$$

Partiendo de la ecuación (III-22), el calor latente para evaporar el agua en la etapa de deshidratación osmótica es:

$$Q_{LD} = m_6 * \lambda \quad \text{Ecuación III-31}$$

Reemplazando valores en la ecuación (III-31):

$$Q_{LD} = 0,060 \text{ Kg} * 542,74 \left[\frac{\text{Kcal}}{\text{Kg}} \right]$$

$$Q_{LD} = 32,564 \text{ Kcal}$$

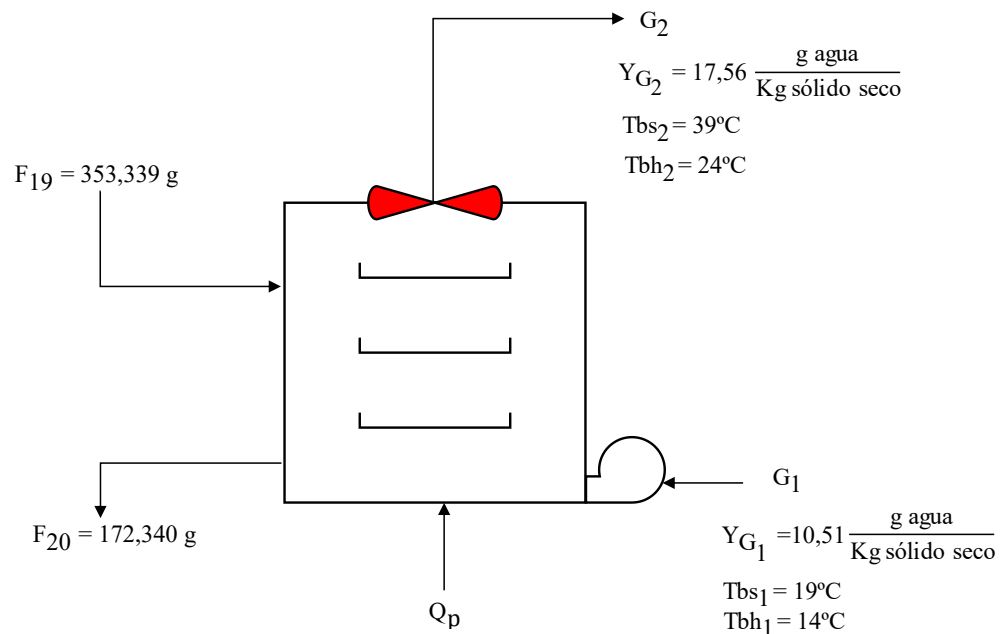
Reemplazando valores en la ecuación (III-28), la energía total que requiere el sistema para llevar a cabo el proceso de deshidratación osmótica es:

$$Q_D = 100,327 \text{ Kcal} + 32,564 \text{ Kcal}$$

$$Q_D = 132,891 \text{ Kcal}$$

3.6.2.3. Balance de energía en la etapa de secado con aire caliente de la frutilla comestible deshidratada osmóticamente

En la figura III-26, se muestra el balance de energía para la frutilla comestible previamente deshidratada osmóticamente. Así mismo, se extrajeron valores de humedad relativa, temperatura del bulbo seco y temperatura del bulbo húmedo de la tabla III-11.



Fuente: Elaboración propia, 2022

Figura III-26 Etapa de secado de la frutilla comestible previamente deshidratada

Donde los datos son:

G_1 = Cantidad de aire caliente a la entrada del secador (g)

Y_{G_1} = Humedad absoluta (Kg de agua/ Kg aire seco)

T_{bs_1} = Temperatura de bulbo seco a la entrada del secador (°C)

T_{bh1} = Temperatura de bulbo húmedo a la entrada del secador (°C)

G_2 = Cantidad de aire húmedo a la salida del secador (g)

Y_{G_2} = Humedad absoluta (Kg de agua/ Kg aire seco)

T_{bs2} = Temperatura de bulbo seco a la salida del secador (°C)

T_{bh2} = Temperatura de bulbo húmedo a la salida del secador (°C)

Balance combinado de materia y energía en el proceso de secado, a continuación, se detalla la ecuación (III-32) según (Valiente, 1994).

$$F_{19}H_{19} + G_1H_{G_1} + Q_P = F_{20}H_{20} + G_2H_{G_2} \quad \text{Ecuación III-32}$$

Considerando un sistema abierto tenemos:

$$G_1 = G_2 = G$$

$$F_{19} = F_{20} = F$$

Reemplazando variables en la ecuación (III-32), se obtiene:

$$F H_{19} + G H_{G_1} + Q_P = F H_{20} + G H_{G_2} \quad \text{Ecuación III-33}$$

Donde:

G = Cantidad de aire (Kg aire seco)

F = Cantidad de producto (Kg)

H_{19} = Entalpía del producto al ingreso del secadero (KJ/Kg sólido seco)

H_{20} = Entalpía del producto a la salida del secadero (KJ/Kg sólido seco)

H_{G_1} = Entalpía del aire al ingreso del secadero (KJ/Kg sólido seco)

H_{G_2} = Entalpía del aire a la salida del secadero (KJ/Kg sólido seco)

Q_P = Calor aportado al sistema (KJ)

Despejando Q_P y ordenando las variables de la ecuación (III-33), se tiene:

$$Q_P = G(H_{G_2} - H_{G_1}) + F(H_{19} - H_{20}) \quad \text{Ecuación III-34}$$

Para calcular la entalpía del aire, se tomó en cuenta la ecuación (III-35), mencionada por (Singh & Heldman, 2009).

$$H_a = C_S(T_a - T_0) + YH_L \quad \text{Ecuación III-35}$$

Donde:

C_S = Calor húmedo (KJ/Kg de aire seco °C)

T_a = Temperatura del aire °C

T_0 = Temperatura de referencia, igual a 0°C

Y = Humedad absoluta (g agua/Kg de aire seco)

H_L = Calor latente de vaporización del agua (KJ/Kg de agua)

Para calcular el calor húmedo del aire, se tomó en cuenta la ecuación (III-36) mencionada por (Singh & Heldman, 2009), donde: el calor específico del aire seco es de 1,005 (KJ/Kg aire seco °C) y el calor específico para el agua 1,88 (KJ/Kg agua °C).

$$C_S = 1,005 + 1,88 Y \quad \text{Ecuación III-36}$$

Reemplazando la ecuación (III-35) en (III-36), se tiene:

$$H_a = (1,005 + 1,88 Y)(T_a - T_0) + YH_L \quad \text{Ecuación III-37}$$

Ajustando los datos de la ecuación (III-37) a presión de la ciudad de Tarija (610 mmHg), se obtiene el calor específico del aire seco 0,81 (KJ/Kg aire seco °C) y el calor específico del agua es 1,51 (KJ/Kg agua °C), mencionado por (López, 2021). Entonces la ecuación queda de la siguiente manera:

$$H_a = (0,81 + 1,51 Y)(T_a - T_0) + YH_L \quad \text{Ecuación III-38}$$

Reemplazando datos en la ecuación (III-38), para determinar la entalpía del aire a la entrada del secador.

Donde:

H_L = 2456,5 KJ/Kg entalpía del agua a 19 °C

Y_{G_1} = 0,0105 Kg de agua/ Kg aire seco

$$T_{G_1} = 19 \text{ }^\circ\text{C}$$

$$T_0 = 0 \text{ }^\circ\text{C}$$

$$H_{G_1} = 0,81 \left[\frac{\text{KJ}}{\text{Kg } ^\circ\text{C}} \right] + 1,51 \left[\frac{\text{KJ}}{\text{Kg } ^\circ\text{C}} \right] * 0,0105 \left[\frac{\text{KJ}}{\text{Kg}} \right] (19 - 0)^\circ\text{C} + 0,0105 \left[\frac{\text{KJ}}{\text{Kg}} \right] * 2456,5 \left[\frac{\text{KJ}}{\text{Kg}} \right]$$

$$H_{G_1} = 41,484 \left[\frac{\text{KJ}}{\text{Kg}} \right]$$

Reemplazando datos en la ecuación (III-38), para determinar la entalpía del aire a la salida del secador.

Donde:

$$H_L = 2411,5 \text{ KJ/Kg entalpía del agua a } 39 \text{ }^\circ\text{C}$$

$$Y_{G_2} = 0,0175 \text{ Kg de agua/ Kg aire seco}$$

$$T_{G_2} = 39 \text{ }^\circ\text{C}$$

$$T_0 = 0 \text{ }^\circ\text{C}$$

$$H_{G_2} = 0,81 \left[\frac{\text{KJ}}{\text{Kg } ^\circ\text{C}} \right] + 1,51 \left[\frac{\text{KJ}}{\text{Kg } ^\circ\text{C}} \right] * 0,0175 \left[\frac{\text{KJ}}{\text{Kg}} \right] (39 - 0)^\circ\text{C} + 0,0175 \left[\frac{\text{KJ}}{\text{Kg}} \right] * 2411,5 \left[\frac{\text{KJ}}{\text{Kg}} \right]$$

$$H_{G_2} = 74,822 \left[\frac{\text{KJ}}{\text{Kg}} \right]$$

Para calcular la entalpía del producto, se tiene la ecuación (III-39):

$$H_P = C_{P_p}(T_P - T_0) + X_P C_{P_X}(T_P - T_0) \quad \text{Ecuación III-39}$$

Donde:

$$C_{P_p} = \text{Calor específico del producto (KJ/Kg } ^\circ\text{K)}$$

$$T_P = \text{Temperatura del producto (} ^\circ\text{K)}$$

$$X_P = \text{Humedad del producto (Kg agua/Kg sólido seco)}$$

$$C_{P_X} = \text{Calor específico del agua (KJ/Kg agua } ^\circ\text{K)}$$

Para calcular la entalpia de la frutilla deshidratada osmóticamente, reemplazando datos en la ecuación (III-39).

$$C_{p_{19}} = 2,905 \text{ KJ/Kg } ^\circ\text{K}$$

$$T_P = 292,15 \text{ } ^\circ\text{K}$$

$$H_{19} = 2,905 \left[\frac{\text{KJ}}{\text{Kg } ^\circ\text{K}} \right] (292,15 - 0) ^\circ\text{K} + 1,174 \left[\frac{\text{Kg}}{\text{Kg}} \right] * 4,18 \left[\frac{\text{KJ}}{\text{Kg } ^\circ\text{K}} \right] (292,15 - 0) ^\circ\text{K}$$

$$H_{19} = 2282,369 \left[\frac{\text{KJ}}{\text{Kg}} \right]$$

Para calcular el calor específico de cualquier tipo de alimento, se procede a partir de la ecuación (III-40) citada por (Singh & Heldman, 2009).

$$C_{p_p} = x_c * C_{p_c} + x_r * C_{p_r} + x_g * C_{p_g} + x_f * C_{p_f} + x_a * C_{p_a} + x_w * C_{p_w} \quad \text{Ecuación III-40}$$

Donde:

$$C_{p_c} = 1,4 \text{ (KJ/Kg } ^\circ\text{K)} = \text{Calor específico de los carbohidratos (Lewis, 1993)}$$

$$C_{p_r} = 1,6 \text{ (KJ/Kg } ^\circ\text{K)} = \text{Calor específico de las proteínas (Lewis, 1993)}$$

$$C_{p_g} = 1,7 \text{ (KJ/Kg g } ^\circ\text{K)} = \text{Calor específico de las grasas (Lewis, 1993)}$$

$$C_{p_f} = 1,5 \text{ (KJ/Kg } ^\circ\text{K)} = \text{Calor específico de la fibra (Lewis, 1993)}$$

$$C_{p_a} = 0,8 \text{ (KJ/Kg } ^\circ\text{K)} = \text{Calor específico de las cenizas (Lewis, 1993)}$$

$$C_{p_w} = 4,18 \text{ (KJ/Kg } ^\circ\text{K)} = \text{Calor específico del agua (Lewis, 1993)}$$

x_c = Fracción másica de los carbohidratos

x_r = Fracción másica de la proteína

x_g = Fracción másica de la grasa

x_f = Fracción másica de la fibra

x_a = Fracción másica de las cenizas

x_w = Fracción másica del agua

Reemplazando los valores en la ecuación (III-40), se obtiene:

$$C_{p_p} = x_c * 1,4 + x_r * 1,6 + x_g * 1,7 + x_f * 1,5 + x_a * 0,8 + x_w * 4,18 \quad \text{Ecuación III-41}$$

En la tabla III-13, muestra los datos de la composición fisicoquímica de la frutilla deshidratada comestible, estos valores son utilizados para calcular el calor específico del producto final se tomó en cuenta de los datos de la tabla II-20.

Tabla III-13 Datos de la composición fisicoquímica de la frutilla comestible deshidratada

| Componentes | Símbolo | Fracción másica |
|---------------------|---------|-----------------|
| Hidratos de carbono | x_c | 0,7793 |
| Proteínas | x_r | 0,0275 |
| Grasa | x_g | 0,0074 |
| Fibra | x_f | 0,0374 |
| Cenizas | x_a | 0,0054 |
| Humedad | x_w | 0,1430 |

Fuente: CEANID, 2021

Reemplazando valores de la tabla III-13, en la ecuación (III-41), se tiene:

$$C_{p_{20}} = 0,7793 * 1,4 + 0,0275 * 1,6 + 0,0074 * 1,7 + 0,0374 * 1,5 + 0,0054 * 0,8 + 0,1430 * 4,18$$

$$C_{p_{20}} = 1,806 \left[\frac{\text{KJ}}{\text{Kg} \cdot ^\circ\text{K}} \right]$$

A partir de la ecuación (III-39), se obtiene la entalpía de la frutilla comestible deshidratada a la salida del secador:

$$H_{20} = 1,806 \left[\frac{\text{KJ}}{\text{Kg} \cdot ^\circ\text{K}} \right] * (312,15 - 0)^\circ\text{K} + 0,167 \left[\frac{\text{Kg}}{\text{Kg}} \right] * 4,18 \left[\frac{\text{KJ}}{\text{Kg} \cdot ^\circ\text{K}} \right] * (312,15 - 0)^\circ\text{K}$$

$$H_{20} = 781,642 \left[\frac{\text{KJ}}{\text{Kg}} \right]$$

Reemplazando datos en la ecuación (III-34), se tiene:

$$Q_p = 29,946 \text{ Kg} * (74,822 - 41,484) \left[\frac{\text{KJ}}{\text{Kg}} \right] + 0,172 \text{ Kg} * (781,642 - 2282,369) \left[\frac{\text{KJ}}{\text{Kg}} \right]$$

$$Q_p = 740,215 \text{ KJ}$$

$$Q_p = 176,916 \text{ Kcal}$$

El calor necesario para el proceso de secado de la frutilla comestible es 176,916 Kcal.

3.7.Determinación del rendimiento del proceso

Para determinar el rendimiento de todo el proceso de la deshidratación osmótica de la frutilla se aplica la siguiente ecuación:

$$\% \text{ Rendimiento} = \frac{\text{Masa final}}{\text{Masa inicial}} * 100 \quad \text{Ecuación III-42}$$

En donde la masa inicial es la cantidad de materia prima, es decir el peso de la frutilla fresca y la masa final es la cantidad de rodajas de frutillas deshidratadas obtenidas.

3.8.Análisis sensorial para la frutilla comestible deshidratada

En la figura III-27, se muestra las ocho muestras que serán sometidas a un análisis sensorial. El análisis sensorial tiene la finalidad de evaluar el nivel de aceptabilidad de las frutillas deshidratadas, determinando así la calidad del producto.

El valor de la calificación organoléptica se basa en la escala Hedónica, para ello se reúne un panel de 10 integrantes no calificados a los cuales se les entrega una encuesta en donde calificarían los atributos (olor, color, textura y sabor), así como las propiedades nutricionales e higiene microbiológica de cada una de las ocho muestras de las frutillas deshidratadas.

En la tabla III-14, se muestra la escala de calificación para realizar el análisis sensorial de la frutilla comestible deshidratada.

Tabla III-14 Escala de calificación

| Escala | Valoración | Ponderación % |
|-----------|------------|---------------|
| Muy Buena | 5 | 100 |
| Buena | 4 | 75 |
| Regular | 3 | 50 |
| Mala | 2 | 25 |
| Muy mala | 1 | 0 |

Fuente: Elaboración propia, 2021

En la figura III-27 se observa las muestras presentadas a los panelistas calificadores.



Fuente: Elaboración propia, 2021

Figura III-27 Muestras de los experimentos realizados

En la figura III-28, se observa a los jurados calificadores, degustando de las diferentes muestras presentadas, para posteriormente valorar a cada una.



Fuente: Elaboración propia, 2021

Figura III-28 Degustación de los panelistas calificadores

Habiendo logrado el mayor puntaje de aceptación la muestra A4, “por la textura suave, mantiene su color rojo, el olor y el sabor agradable” mencionan los jurados. Ver puntajes de cada muestra en el Anexo D.

CAPÍTULO IV
ANÁLISIS Y DISCUSIÓN DE RESULTADOS

4.1. Resultados de los análisis de la materia prima

Los análisis fisicoquímicos de la materia prima (rodajas de frutilla) y producto final (rodajas de frutillas deshidratadas) son determinados por el Centro de Análisis Investigación y Desarrollo (CEANID) de la Universidad Autónoma Juan Misael Saracho.

La tabla IV-1, muestra los resultados obtenidos del análisis fisicoquímico de la frutilla (*Fragaria ananassa*), variedad San Andreas, como materia prima para obtener rodajas osmodeshidratadas de frutilla. Ver anexo A

Tabla IV-1 Análisis fisicoquímicos de la frutilla

| Parámetros | Método de ensayo | Unidad | Resultado |
|---------------------|------------------|------------|-----------|
| Valor energético | Calculo | Kcal/100 g | 48,34 |
| Proteína total | NB/ISO 8968-1:08 | % | 0,98 |
| Hidratos de carbono | Calculo | % | 10,51 |
| Grasa | NB 313019:06 | % | 0,22 |
| Humedad | NB 313010:05 | % | 87,27 |
| Sólidos solubles | NB 36003:02 | ° Brix | 10,4 |
| Fibra | Gravimétrico | % | 0,41 |
| Ceniza | NB 39034:10 | % | 0,51 |
| Acidez | NB 229-98 | % | 1,13 |
| Azúcares totales | NB 38033-06 | % | 10,15 |
| pH (20°C) | SM 4500-H-B | | 3,55 |

Fuente: CEANID, 2021

4.2. Deshidratación osmótica de las rodajas de frutillas comestibles

Se realizó la deshidratación osmótica de cada muestra con las interacciones del diseño factorial de las cuales los resultados son los siguientes:

4.2.1. Experimento A1 de las frutillas comestibles osmodeshidratadas

Tabla IV-2 Medición experimental de la muestra A1

| Experimento A1 | | | | | Réplica |
|------------------|-----------------------|------------|-------------------------|-----------------------|-----------------------|
| Temperatura (°C) | Concentración (°Brix) | Tiempo (h) | Peso de las Rodajas (g) | Concentración (°Brix) | Concentración (°Brix) |
| 40 | 50 | 0 | 200 | 50,10 | 50,00 |
| | | 1 | 191,89 | 47,97 | 47,56 |
| | | 2 | 162,026 | 46,36 | 46,19 |
| | | 3 | 138,29 | 41,53 | 41,24 |

Fuente: Elaboración propia, 2021.

La tabla IV-2, muestra los resultados experimentales de la muestra A1, sometidas a dos pruebas de investigación con las mediciones de las siguientes variables: tiempo (h), peso de las rodajas de frutilla (g), concentración del jarabe (°Brix).

4.2.2. Experimento A2 de las frutillas comestibles osmodeshidratadas

Tabla IV-3 Medición de la muestra A2

| Experimento A2 | | | | | Réplica |
|------------------|-----------------------|------------|-------------------------|-----------------------|-----------------------|
| Temperatura (°C) | Concentración (°Brix) | Tiempo (h) | Peso de las Rodajas (g) | Concentración (°Brix) | Concentración (°Brix) |
| 40 | 60 | 0 | 200 | 60 | 60 |
| | | 1 | 177,075 | 59,02 | 58,88 |
| | | 2 | 145,94 | 58,25 | 58,34 |
| | | 3 | 121,73 | 40,43 | 41,44 |

Fuente: Elaboración propia, 2021

La tabla IV-3, muestra los resultados experimentales de la muestra A2, sometidas a la prueba de investigación con las mediciones siguientes variables: tiempo (h), peso de las rodajas de frutilla (g), concentración del jarabe (°Brix).

4.2.3. Experimento A3 de las frutillas comestibles osmodeshidratadas

Tabla IV-4 Medición de la muestra A3

| Experimento A3 | | | | | Réplica |
|------------------|-----------------------|------------|-------------------------|-----------------------|-----------------------|
| Temperatura (°C) | Concentración (°Brix) | Tiempo (h) | Peso de las Rodajas (g) | Concentración (°Brix) | Concentración (°Brix) |
| 50 | 50 | 0 | 200 | 50,2 | 50 |
| | | 1 | 159,937 | 46,75 | 46,37 |
| | | 2 | 139,55 | 45,22 | 45,32 |
| | | 3 | 125,76 | 40,16 | 39,50 |

Fuente: Elaboración propia, 2021

La tabla IV-4, muestra los resultados experimentales de la muestra A3, sometidas a la prueba de investigación con las siguientes variables: tiempo (h), peso de las rodajas de frutilla (g), concentración del jarabe (°Brix).

4.2.4. Experimento A4 de las frutillas comestibles osmodeshidratadas

Tabla IV-5 Medición de la muestra A4

| Experimento A4 | | | | | Réplica |
|------------------|-----------------------|------------|-------------------------|-----------------------|-----------------------|
| Temperatura (°C) | Concentración (°Brix) | Tiempo (h) | Peso de las Rodajas (g) | Concentración (°Brix) | Concentración (°Brix) |
| 50 | 60 | 0 | 200 | 60,3 | 60,2 |
| | | 1 | 151,29 | 56,96 | 57,14 |
| | | 2 | 129,57 | 55,65 | 55,74 |
| | | 3 | 112,737 | 36,58 | 35,54 |

Fuente: Elaboración propia, 2021

La tabla IV-5, muestra los resultados experimentales de la muestra A4, sometidas a la prueba de investigación con las siguientes variables: tiempo (h), peso de las rodajas de frutilla (g), concentración del jarabe (°Brix).

4.2.5. Experimento A5 de las frutillas comestibles osmodeshidratadas

Tabla IV-6 Medición de la muestra A5

| Experimento A5 | | | | | Réplica |
|------------------|-----------------------|------------|-------------------------|-----------------------|-----------------------|
| Temperatura (°C) | Concentración (°Brix) | Tiempo (h) | Peso de las Rodajas (g) | Concentración (°Brix) | Concentración (°Brix) |
| 40 | 50 | 0 | 200 | 50 | 50,1 |
| | | 1 | 187,29 | 47,39 | 47,53 |
| | | 2 | 159,91 | 46,24 | 46,23 |
| | | 3 | 135,17 | 45,92 | 45,67 |
| | | 4 | 121,97 | 39,59 | 39,41 |

Fuente: Elaboración propia, 2021

La tabla IV-6, muestra los resultados experimentales de la muestra A5, sometidas a la prueba de investigación con la medición de las siguientes variables: tiempo (h), peso de las rodajas de frutilla (g), concentración del jarabe (°Brix).

4.2.6. Experimento A6 de las frutillas comestibles osmodeshidratadas

Tabla IV-7 Medición de la muestra A6

| Experimento A6 | | | | | Réplica |
|------------------|-----------------------|------------|-------------------------|-----------------------|-----------------------|
| Temperatura (°C) | Concentración (°Brix) | Tiempo (h) | Peso de las Rodajas (g) | Concentración (°Brix) | Concentración (°Brix) |
| 40 | 60 | 0 | 200 | 60 | 60 |
| | | 1 | 179,69 | 58,64 | 58,62 |
| | | 2 | 143,05 | 58,04 | 58,13 |
| | | 3 | 120,21 | 57,65 | 57,73 |
| | | 4 | 113,53 | 39,54 | 37,42 |

Fuente: Elaboración propia, 2021

La tabla IV-7, muestra los resultados experimentales de la muestra A6, sometidas a la prueba de investigación con la medición de las siguientes variables: tiempo (h), peso de las rodajas de frutilla (g), concentración del jarabe (°Brix).

4.2.7. Experimento A7 de las frutillas comestibles osmodeshidratadas

Tabla IV-8 Medición de la muestra A7

| Experimento A7 | | | | | Réplica |
|------------------|-----------------------|------------|-------------------------|-----------------------|-----------------------|
| Temperatura (°C) | Concentración (°Brix) | Tiempo (h) | Peso de las Rodajas (g) | Concentración (°Brix) | Concentración (°Brix) |
| 50 | 50 | 0 | 200 | 50 | 50 |
| | | 1 | 161,66 | 47,48 | 48,26 |
| | | 2 | 141,803 | 46,21 | 46,64 |
| | | 3 | 124,107 | 45,01 | 45,32 |
| | | 4 | 111,376 | 38,58 | 37,58 |

Fuente: Elaboración propia, 2021

La tabla IV-8, muestra los resultados experimentales de la muestra A7, sometidas a la prueba de investigación con las siguientes variables: tiempo (h), peso de las rodajas de frutilla (g), concentración del jarabe (°Brix).

4.2.8. Experimento A8 de las frutillas comestibles osmodeshidratadas

Tabla IV-9 Medición de la muestra A8

| Experimento A8 | | | | | Réplica |
|------------------|-----------------------|------------|-------------------------|-----------------------|-----------------------|
| Temperatura (°C) | Concentración (°Brix) | Tiempo (h) | Peso de las Rodajas (g) | Concentración (°Brix) | Concentración (°Brix) |
| 50 | 60 | 0 | 200 | 60 | 60 |
| | | 1 | 157,8 | 58,25 | 58,45 |
| | | 2 | 132,026 | 57,53 | 57,52 |
| | | 3 | 117,58 | 56,93 | 56,84 |
| | | 4 | 103,88 | 36,80 | 36,02 |

Fuente: Elaboración propia, 2021

La tabla IV-9, muestra los resultados experimentales de la muestra A8, sometida a la prueba de investigación con las siguientes variables: tiempo (h), peso de las rodajas de frutilla (g), concentración del jarabe (°Brix).

4.3. Secado por aire caliente de la frutilla comestible osmodeshidratada

La deshidratación osmótica remueve grandes cantidades de agua incluso puede superar el 50% del peso inicial de la fruta, pero no permite obtener un producto seguro microbiológicamente, ya que la actividad acuosa alcanzada no es lo suficientemente baja como para inhibir la proliferación de microorganismos. En consecuencia, es necesario someter las frutillas osmodeshidratadas a un secado final por aire caliente para reducir la cantidad de humedad en la fruta a niveles estables.

4.4. Determinación de la humedad de la frutilla comestible

Se realizó el secado de la frutilla comestible osmodeshidratadas, posteriormente se determina la humedad, para ello se usó los datos de la muestra A4, que tiene un peso de 112,737 gramos de frutilla cortada en rodajas finas un aproximado de 0,3- 0,4 mm. En la tabla IV-10, muestra los valores de humedad expresada en base seca de la frutilla comestible osmodeshidratadas respecto al tiempo de secado.

Para conocer el contenido de humedad expresada en base seca se sigue la ecuación II-2, expuesta en el apartado Humedad Expresada en Base Seca (Martines & Leonel, 2010), entonces para el primer valor se tiene:

Ejemplo para la muestra A4, la cual presenta mayor aceptación según el análisis organoléptico.

$$X_{bs} = \frac{112,737 \text{ g} - 43,176 \text{ g}}{43,176 \text{ g}} = 1,611$$

Masa de la frutilla húmeda = 112,737 g.

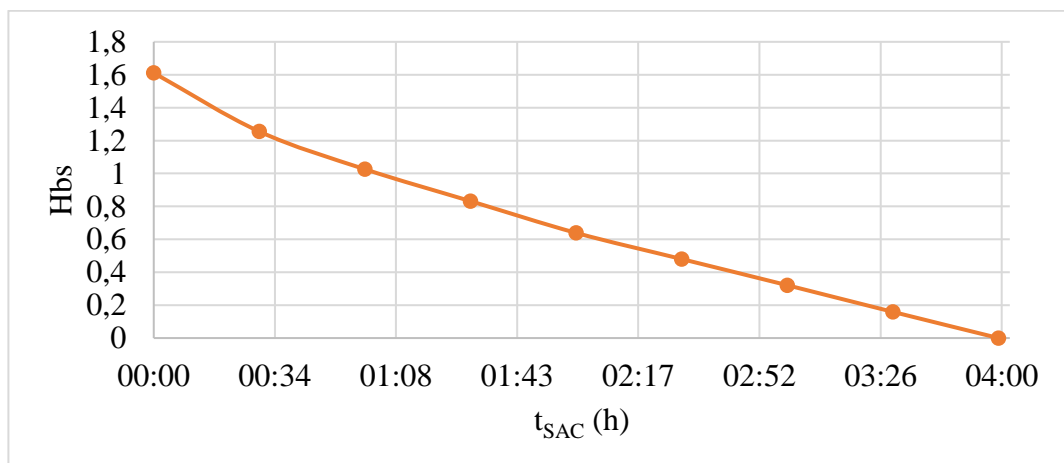
Masa de la frutilla seca = 43,176 g.

Tabla IV-10 Variación de la humedad expresada en base seca del proceso de secado de las frutillas osmodeshidratadas

| Nº | Tiempo (h) | Masa (g) | Humedad en base seca X (Kg H ₂ O/Kg ss) |
|----|------------|----------|--|
| 1 | 00:00 | 112,737 | 1,611 |
| 2 | 00:30 | 99,538 | 1,255 |
| 3 | 01:00 | 90,492 | 1,096 |
| 4 | 01:30 | 81,273 | 0,882 |
| 5 | 02:00 | 72,040 | 0,669 |
| 6 | 02:30 | 63,914 | 0,480 |
| 7 | 03:00 | 57,035 | 0,321 |
| 8 | 03:30 | 50,058 | 0,159 |
| 9 | 04:00 | 43,176 | 0,000 |

Fuente: Elaboración propia, 2021

De acuerdo a la ecuación anterior se puede construir la siguiente curva (figura IV-1)



Fuente: Elaboración propia, 2021

Figura IV-1 Curva de secado

La figura IV-1, ilustra la variación de la humedad de la frutilla en base seca (H_{bs}) de la muestra A4 respecto al tiempo de secado por aire caliente (t_{SAC}), en las siguientes condiciones: temperatura 50 °C, presión 1 atm y un flujo de aire 1.2095*10⁻⁴m³ /s.

4.4.1. Resultados de pérdida de peso en el secado al vacío

A continuación, en la tabla IV-11, se representa la diferencia de peso de las rodajas de frutilla deshidratadas antes y después de entrar al secadero por aire caliente de cada una de las muestras.

Tabla IV-11 Medición de la pérdida de peso en el secado de las muestras

| Secado por aire caliente | | | | | | Réplica | |
|--------------------------|------------|------------------|-----------------------|------------------|----------------|----------------|-------------------|
| Nº | Tiempo (h) | Temperatura (°C) | Concentración (°Brix) | Masa inicial (g) | Masa final (g) | Masa final (g) | Masa promedio (g) |
| A1 | 3 | 40 | 50 | 200 | 44,02 | 43,47 | 43,745 |
| A2 | | | 60 | 200 | 43,76 | 43,11 | 43,435 |
| A3 | | 50 | 50 | 200 | 43,97 | 42,91 | 43,44 |
| A4 | | | 60 | 200 | 43,18 | 42,45 | 42,815 |
| A5 | 4 | 40 | 50 | 200 | 41,64 | 41,24 | 41,44 |
| A6 | | | 60 | 200 | 41,2 | 41,86 | 41,53 |
| A7 | | 50 | 50 | 200 | 41,08 | 41,37 | 41,225 |
| A8 | | | 60 | 200 | 40,65 | 40,98 | 40,815 |

Fuente: Elaboración propia, 2021

4.4.2. Resultados de la pérdida de agua de los experimentos

Para determinar la pérdida de agua de las rodajas de frutillas deshidratadas se toma en cuenta los siguientes parámetros de humedad:

El cálculo de la pérdida de agua pertenece a la muestra A1 del primer experimento, donde se considera una muestra de frutilla fresca de 200 g, y así se realizan los cálculos de pérdida de agua para cada una de las muestras, haciendo uso de la ecuación II-6.

$$WL = \left(\frac{m_o - m_f}{m_o} \right) 100 = \left(\frac{200 * 0,8727 - 138,29 * 0,143}{200} \right) 100 = 77,38\%$$

Masa de fruta fresca = 200 g, para un tiempo de deshidratación de cero segundos

Humedad inicial = 0,8727 (87,27 %)

Masa de la muestra ya osmodeshidratada = 138,29 g, para un tiempo t_{DO} = 4 h

Humedad final = 0,143 (14,3%)

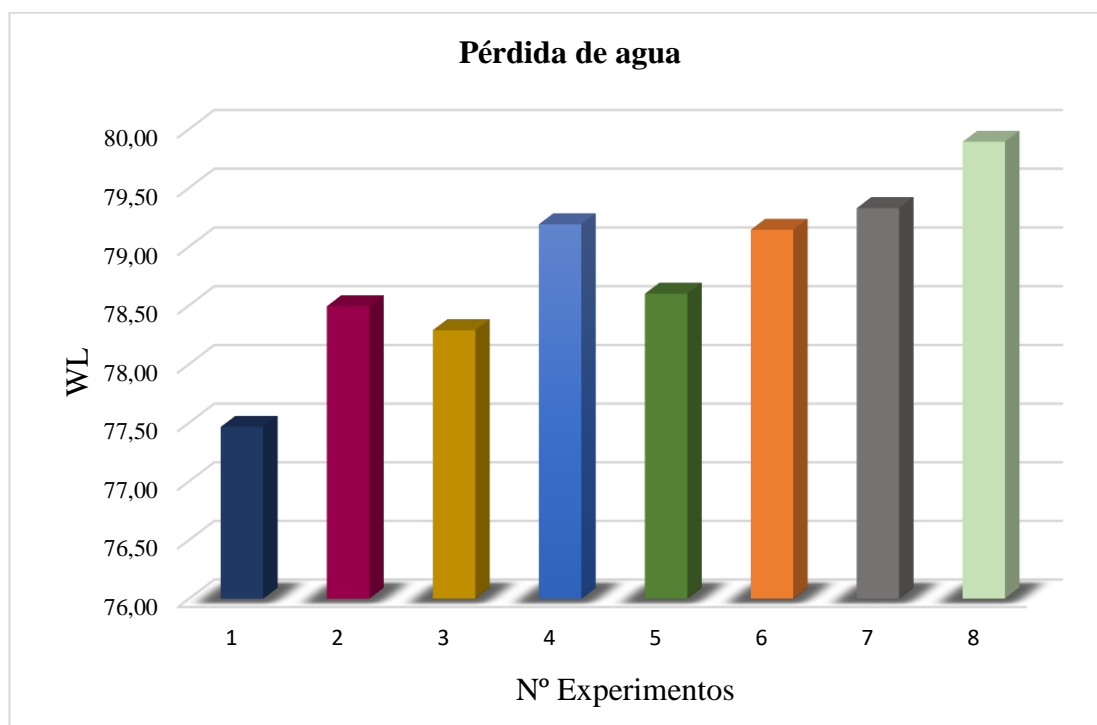
En la siguiente tabla IV-12, se muestra los resultados del porcentaje de la pérdida de agua de cada experimento.

Tabla IV-12 Medición de la pérdida de agua de los experimentos

| Pérdida de agua (WL) | | | | | | |
|----------------------|------------|------------------|-----------------------|--------|-------------|----------|
| N° | Tiempo (h) | Temperatura (°C) | Concentración (°Brix) | WL (%) | Réplica (%) | Promedio |
| 1 | 3 | 40 | 50 | 77,38 | 77,55 | 77,47 % |
| 2 | | | 60 | 78,57 | 78,42 | 78,49 % |
| 3 | | 50 | 50 | 78,28 | 78,30 | 78,29 % |
| 4 | | | 60 | 79,21 | 79,17 | 79,19 % |
| 5 | 4 | 40 | 50 | 78,55 | 78,65 | 78,60 % |
| 6 | | | 60 | 79,15 | 79,14 | 79,14 % |
| 7 | | 50 | 50 | 79,31 | 79,35 | 79,33 % |
| 8 | | | 60 | 79,84 | 79,94 | 79,89 % |

Fuente: Elaboración propia, 2021

La figura IV2, ilustra la comparación de la pérdida de agua de cada muestra, apreciando que la mayor pérdida de agua se da en las muestras A4, A6, A7 y A8.



Fuente: Elaboración propia, 2021

Figura IV-2 Comparación de la pérdida de agua de los experimentos

4.4.3. Resultados de la reducción de peso de los experimentos

La frutilla deshidratada presenta una reducción de peso, las mismas son calculadas según la ecuación II-1, propuesta por (Azua et al, 1992), en el proceso de secado de tal manera en la siguiente tabla se puede apreciar los datos de cada experimento tratado en el laboratorio.

Cálculo de la pérdida de peso de la muestra A1 en el primer experimento.

$$WR = \left(\frac{m_o - m_f}{m_o} \right) 100 = \left(\frac{200 - 138,29}{200} \right) 100 = 30,86 \%$$

Masa de fruta fresca = 200 g, para un tiempo de deshidratación de cero segundos

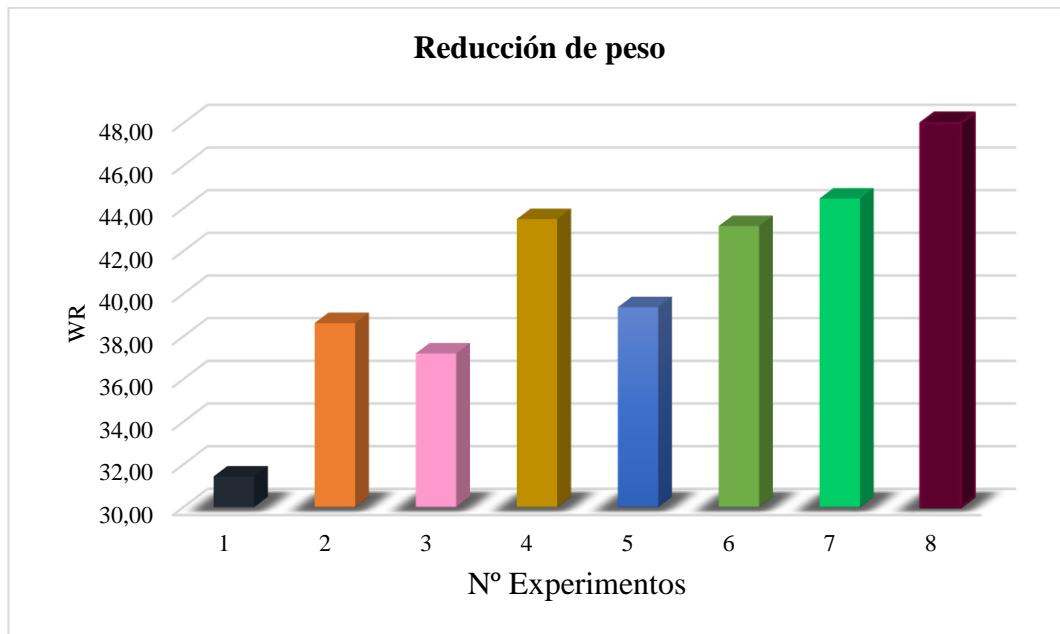
Masa de la muestra ya osmodeshidratada = 138,29 g, para un tiempo $t_{DO} = 4$ h

En la tabla IV-13, se puede observar los datos tabulados de la pérdida de peso en función a los factores del diseño factorial de cada experimento.

Tabla IV-13 Medición de la reducción de peso de los experimentos

| Reducción de peso (WR) | | | | | | |
|------------------------|------------|------------------|-----------------------|--------|-------------|----------|
| N° | Tiempo (h) | Temperatura (°C) | Concentración (°Brix) | WR (%) | Réplica (%) | Promedio |
| 1 | 3 | 40 | 50 | 30,86 | 32,02 | 31,44 % |
| 2 | | | 60 | 39,14 | 38,12 | 38,63 % |
| 3 | | 50 | 50 | 37,12 | 37,29 | 37,20 % |
| 4 | | | 60 | 43,63 | 43,37 | 43,50 % |
| 5 | 4 | 40 | 50 | 39,02 | 39,73 | 39,37 % |
| 6 | | | 60 | 43,24 | 43,12 | 43,18 % |
| 7 | | 50 | 50 | 44,31 | 44,62 | 44,47 % |
| 8 | | | 60 | 48,06 | 48,77 | 48,41 % |

Fuente: Elaboración Propia, 2021



Fuente: Elaboración propia, 2021

Figura IV-3 Comparación de la reducción de peso de los experimentos

La figura IV-3, ilustra la comparación que hay de la pérdida de peso de cada muestra.

4.4.4. Resultados de la ganancia de sólidos totales (ST) de los experimentos:

En la siguiente tabla IV-14, se presentan los cálculos realizados para obtener los valores de la ganancia de soluto, haciendo uso de la ecuación II-4, propuesta por (Azuara et al., 1992).

Cálculo de la ganancia de sólidos totales de la muestra A1 en el experimento 1

$$ST(\%) = \left(\frac{m_f}{m_i} \right) 100 = \frac{44,02}{138,29} 100 = 31,83\%$$

Masa seca de la muestra ya osmodeshidratada = 44,02 g,

Masa de fruta DO = 138,29 g, para un $t_{DO} = 3$ h

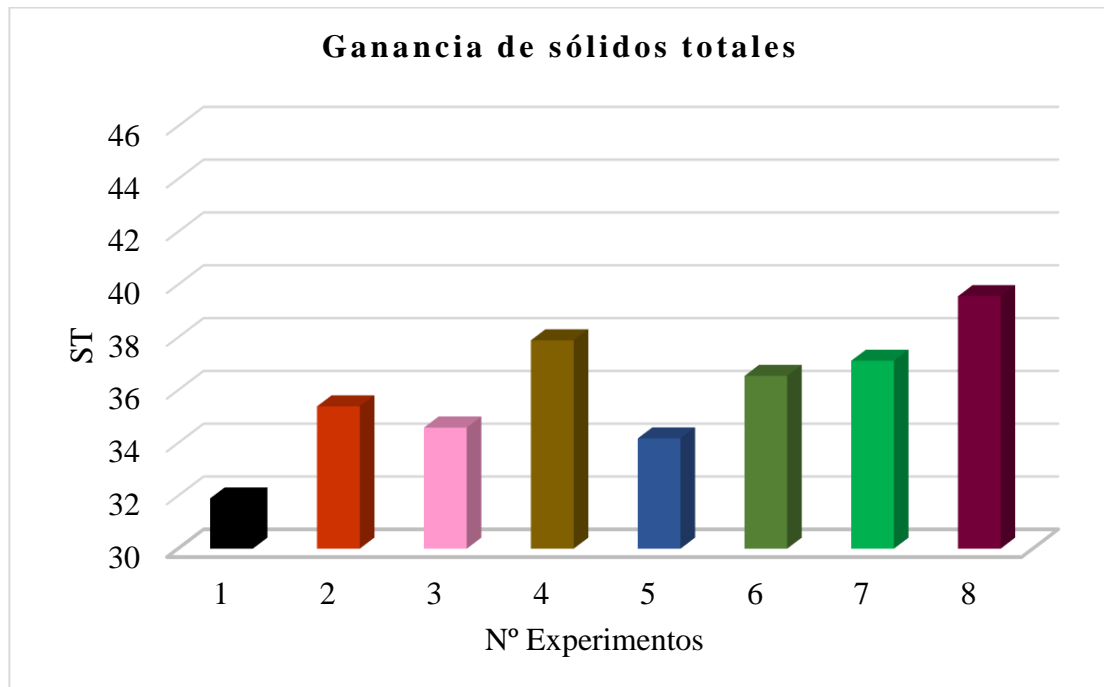
En la siguiente tabla IV-14, se muestran los resultados de la ganancia de los sólidos totales de las 8 muestras realizadas.

Tabla IV-14 Medición de la ganancia de sólidos totales (ST) de los experimentos

| Ganancia de sólidos totales (ST) | | | | | | |
|---|------------|------------------|-----------------------|--------|-------------|----------|
| Nº | Tiempo (h) | Temperatura (°C) | Concentración (°Brix) | ST (%) | Réplica (%) | Promedio |
| A1 | 3 | 40 | 50 | 31,83 | 31,97 | 31,90 % |
| A2 | | | 60 | 35,94 | 34,83 | 35,39 % |
| A3 | | 50 | 50 | 34,96 | 34,21 | 34,58 % |
| A4 | | | 60 | 38,30 | 37,48 | 37,89 % |
| A5 | 4 | 40 | 50 | 34,13 | 34,21 | 34,17 % |
| A6 | | | 60 | 36,28 | 36,79 | 36,54 % |
| A7 | | 50 | 50 | 36,88 | 37,35 | 37,11 % |
| A8 | | | 60 | 39,13 | 39,99 | 39,56 % |

Fuente: Elaboración propia, 2021

En la siguiente Figura IV-4, se presenta el gráfico de comparación de la ganancia de soluto de cada uno de los experimentos.



Fuente: Elaboración propia, 2021

Figura IV-4 Comparación de la ganancia de soluto de los experimentos

4.5. Ganancia de sólidos solubles (SG) deseables

Denominación referida a la cantidad de sólidos deseables que va ganando la frutilla fresca conforme transcurre en tiempo durante la DO por cada 200 g de frutilla fresca que entra. Ver la ecuación (II-1).

Cálculo de la ganancia de sólidos deseables de la muestra A1 en el experimento 1.

Para este cálculo se considera una muestra de frutilla fresca de 200 g.

$$SG (\%) = \left[\left(1 - \frac{30,855}{200} \right) \frac{31,83}{200} - \frac{10,4}{200} \right] 100 = 8,26\%$$

Pérdida de peso durante la deshidratación por ósmosis = 30,855 g.

Contenido de sólidos totales de una muestra ya osmodeshidratada = 31,83 g.

Contenido de sólidos totales de una muestra de frutilla fresca = 10,04 g.

Tabla IV-15 Ganancia de los solutos deseables durante la deshidratación osmótica

| Ganancia de soluto (SG) | | | | | | |
|-------------------------|------------|------------------|-----------------------|----------|-----------|--------|
| Nº | Tiempo (h) | Temperatura (°C) | Concentración (°Brix) | SG I (%) | SG II (%) | SG (%) |
| A1 | 3 | 40 | 50 | 8,26 | 8,22 | 8,24 % |
| A2 | | | 60 | 9,25 | 8,89 | 9,07 % |
| A3 | | 50 | 50 | 9,03 | 8,71 | 8,87 % |
| A4 | | | 60 | 9,77 | 9,47 | 9,6 % |
| A5 | 4 | 40 | 50 | 8,53 | 8,50 | 8,52 % |
| A6 | | | 60 | 9,02 | 9,23 | 9,12 % |
| A7 | | 50 | 50 | 9,15 | 9,30 | 9,23 % |
| A8 | | | 60 | 9,6 | 9,92 | 9,79 % |

Fuente: Elaboración propia, 2022

La tabla IV-15, muestra los resultados de las ganancias de los sólidos solubles. (Siendo también las variables respuestas de nuestro proyecto de investigación) para las muestras A1, A2, A3, A4, A5, A6, A7, A8 durante el proceso de osmosis: abreviadas

como SGI (primer experimento), SGII (réplica de la muestra) y SG como el promedio de las ganancias de los sólidos deseables para cada experimento

4.6. Análisis estadístico del diseño factorial realizado en el proceso de deshidratación osmótica de la frutilla comestible

El análisis estadístico se realizó mediante IBM SPSS versión 23.0; permite un tratamiento integrado de todas las fases del análisis de datos, obteniendo de esta manera los resultados más significativos. El diseño factorial, se realiza con el propósito de establecer si los factores tiempo, concentración y temperatura tienen influencia en el porcentaje de sólidos solubles en el proceso de deshidratación osmótica. En la tabla IV-16, se muestran los datos introducidos al programa de acuerdo al diseño factorial planteado; cada factor tiene un nivel alto (1) y un nivel bajo (-1).

Tabla IV-16 Variables del diseño factorial en la etapa de deshidratación osmótica de la frutilla comestible

| N.º | Tiempo (h) | Concentración (°Brix) | Temperatura (°C) | Sólidos solubles (%) |
|-----|------------|-----------------------|------------------|----------------------|
| 1 | 1 | 1 | 1 | 31,82 |
| 2 | 1 | 1 | -1 | 34,89 |
| 3 | 1 | -1 | 1 | 34,53 |
| 4 | 1 | -1 | -1 | 37,95 |
| 5 | -1 | 1 | 1 | 34,26 |
| 6 | -1 | 1 | -1 | 36,64 |
| 7 | -1 | -1 | 1 | 37,14 |
| 8 | -1 | -1 | -1 | 39,47 |
| 9 | 1 | 1 | 1 | 31,75 |
| 10 | 1 | 1 | -1 | 35,39 |
| 11 | 1 | -1 | 1 | 34,87 |
| 12 | 1 | -1 | -1 | 38,32 |
| 13 | -1 | 1 | 1 | 34,23 |
| 14 | -1 | 1 | -1 | 36,59 |
| 15 | -1 | -1 | 1 | 36,93 |
| 16 | -1 | -1 | -1 | 39,08 |

Fuente: Elaboración propia, 2022

En la siguiente tabla IV-17, se puede observar el análisis estadístico basado en los resultados de las interacciones del tiempo, concentración, temperatura y sus respectivas

réplicas, tomando como respuesta el porcentaje de sólidos solubles obtenido para cada ensayo y réplica.

Tabla IV-17 Análisis de varianza del diseño factorial en la etapa de deshidratación osmótica de la frutilla comestible

| Origen | Suma de cuadrados | Grados de libertad | Media cuadrática | F | Sig. |
|---------------------------|-------------------|--------------------|------------------|------------|-------|
| Modelo corregido | 79,947 | 6 | 13,325 | 67,156 | 0,000 |
| Intersección | 20583,641 | 1 | 20583,641 | 103742,380 | 0,000 |
| Tiempo | 13,764 | 1 | 13,764 | 69,372 | 0,000 |
| Temperatura | 32,262 | 1 | 32,262 | 162,604 | 0,000 |
| Concentración | 32,490 | 1 | 32,490 | 163,751 | 0,000 |
| Tiempo-Temperatura | 0,240 | 1 | 0,240 | 1,210 | 0,300 |
| Tiempo-Concentración | 1,188 | 1 | 1,188 | 5,988 | 0,037 |
| Temperatura-Concentración | 0,002 | 1 | 0,002 | 0,013 | 0,913 |
| Error | 1,786 | 9 | 0,198 | | |
| Total | 20665,374 | 16 | | | |
| Total corregida | 81,733 | 15 | | | |

Fuente: Elaboración propia, 2022

Las variables más significativas poseen una significancia menor al 5% (0,05), con una probabilidad de 95%.

Según el análisis de varianza a un nivel de significancia 5% los factores tiempo, temperatura, concentración y la interacción, Tiempo - Concentración cumplen con el requisito (menor al 0.05). Esto quiere decir que las variables tienen significancia en la etapa de deshidratación osmótica de la frutilla comestible.

Las interacciones tiempo-temperatura y temperatura-concentración no muestran significancia ya que son mayores a 0,05.

4.7. Análisis de regresión lineal múltiple en la etapa de deshidratación osmótica

Establecido lo anterior, se procede a realizar la regresión lineal múltiple a fin de establecer el modelo matemático corregido. En la tabla IV-18, se muestran los resultados de la regresión.

Tabla IV-18 Coeficientes del modelo

| Modelo | Coeficiente no estandarizado | | Coeficiente tipificado | F | Sig. | Intervalos de confianza | |
|---------------------------|------------------------------|-------|------------------------|--------|-------|-------------------------|-----------------|
| | B | Error | Beta | | | Límite inferior | Límite superior |
| Constante | 35,868 | 0,107 | | 334,11 | 0,000 | 35,631 | 36,104 |
| Tiempo | 0,928 | 0,107 | 0,410 | 8,640 | 0,000 | 0,691 | 1,164 |
| Concentración | 1,425 | 0,107 | 0,630 | 13,274 | 0,000 | 1,189 | 1,661 |
| Temperatura | 1,420 | 0,107 | 0,628 | 13,228 | 0,000 | 1,184 | 1,656 |
| Temperatura-Concentración | -0,273 | 0,105 | -0,121 | -2,538 | 0,028 | -0,509 | -0,036 |

Fuente: Elaboración propia, 2022

Los resultados de la tabla IV-18, establecen los coeficientes de los efectos en el modelo; Tomando en cuenta el nivel de significancia de 0.025, se demuestra que todos los factores en regresión lineal cumplen el requisito y por ende la ecuación del modelo resulta en:

$$\% \text{ Sólidos solubles} = 35,868 + 0,928 * t + 1,425 * C + 1,420 * T \quad \text{Ecuación IV-2}$$

Donde:

t= Tiempo (h)

C = Concentración (°Brix)

T = Temperatura (°C)

A partir de esta ecuación (IV-2), se puede enunciar que: a mayor concentración y temperatura mayor es la ganancia de sólidos solubles en las rodajas de frutillas, si bien con el aumento de las variables en la interacción disminuye la ganancia de sólidos solubles por tener signo negativo, sin embargo, hay que considerar que el tiempo de secado tiene un rango de 3 horas.

4.8. Cinética del proceso en la etapa de deshidratación osmótica

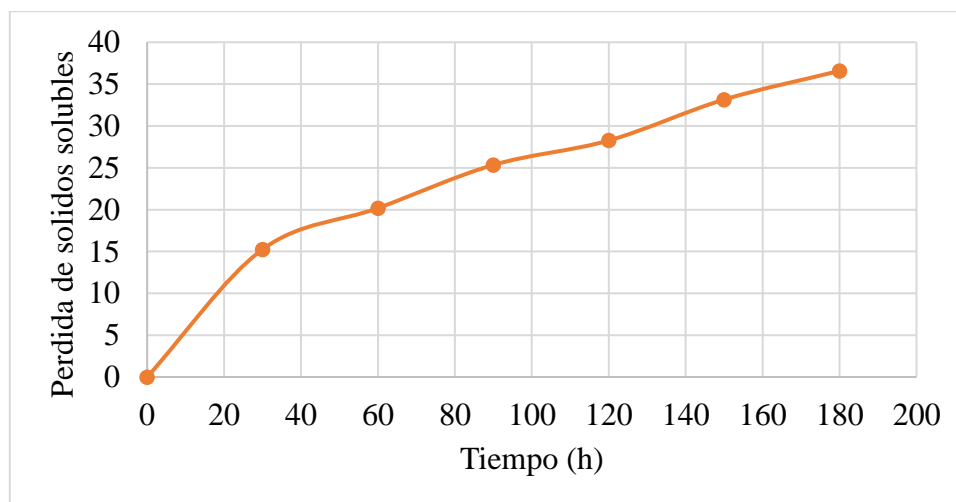
En la tabla IV-19, se presenta la pérdida de sólidos solubles en la solución osmótica en función al tiempo, se hace uso de los datos de la muestra A4, ya que obtiene el mejor resultado en el análisis sensorial.

Tabla IV-19 Pérdida de sólidos solubles en el jarabe en función al tiempo

| Tiempo | Sólidos solubles |
|--------|------------------|
| 0 | 60 |
| 30 | 55,43 |
| 60 | 51,15 |
| 120 | 42,13 |
| 180 | 38,45 |
| 150 | 36,75 |
| 180 | 36,58 |

Fuente: Elaboración propia, 2021

En la figura IV-5, si bien se observa una pérdida de los sólidos solubles en la solución osmótica, ésta diferencia es la ganancia de sólidos solubles que tienen las rodajas de frutillas deshidratadas en función del tiempo. Analizando la figura IV-5, de la cual se deduce que la mayor pérdida de sólidos solubles en la deshidratación se adquiere a los 180 min, debido a la concentración de glucosa y a la temperatura de 60°C las cuales se encargan de la formación de sólidos solubles en las rodajas de frutilla.



Fuente: Elaboración propia, 2021

Figura IV-5 Pérdida de sólidos solubles en el jarabe en función del tiempo en la etapa de deshidratación osmótica.

4.9. Cinética de la pérdida de sólidos solubles en la solución osmótica

Para poder predecir la rapidez y la deformación de sólidos solubles, es decir el grado de influencia de la deshidratación osmótica en la pérdida de sólidos solubles en la solución osmótica, se determinó la cinética química de la reacción a través del método

integral (Levenspiel, 1986). Para un sistema discontinuo de volumen constante, la medida de la velocidad de reacción del reactivo A corresponden a la ecuación (IV-3).

$$-r_A = \frac{dC_A}{dt} = k f(C_A)$$

$$-r_A = k C_A^n \quad \text{Ecuación IV-3}$$

Donde:

$-r_A$ = velocidad de desaparición de la reacción de formación de sólidos solubles (g/ml. min), k es la constante cinética, C_A la concentración de reactante A (g/ml) y n orden de reacción. Linealizando la ecuación (IV-3), resulta:

$$\ln\left(-\frac{dC_A}{dt}\right) = \ln k + n \ln(C_A) \quad \text{Ecuación IV-4}$$

$$y = b + ax$$

La ecuación (IV-4), representa la ecuación de una recta.

El modelo de la cinética de la pérdida de sólidos solubles, se llevó a cabo mediante el método de los tres puntos para determinar el modelo cinético en función del tiempo en la deshidratación osmótica, a partir de los resultados experimentales, para encontrar la pendiente en cada uno de los puntos observados, por lo que se trabajó con la ecuación (IV-5), ecuación (IV-6) y ecuación (IV-7).

$$Y_o = \frac{-3Y_o + 4Y_1 - Y_2}{2h} \quad \text{Ecuación IV-5}$$

$$Y_1 = \frac{-Y_o + Y_2}{2h} \quad \text{Ecuación IV-6}$$

$$Y_2 = \frac{Y_o + 4Y_1 - 3Y_2}{2h} \quad \text{Ecuación IV-7}$$

Donde:

h = Intervalo de tiempo

Y_o, Y_1, Y_2 = datos pérdida de sólidos solubles.

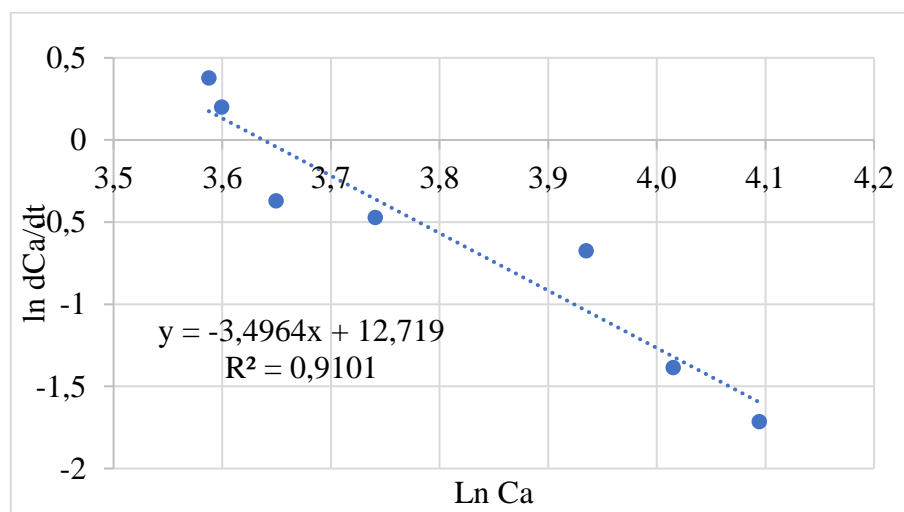
La tabla IV-20, indica los resultados del método de los tres puntos de una ecuación linealizada para encontrar la pendiente y determinar la cinética de en la etapa deshidratación osmótica, se hace uso de los resultados de la muestra A4, que tiene el mayor puntaje de aceptabilidad en el análisis organoléptico.

Tabla IV-20 Tratamiento de datos para determinar la cinética de la pérdida de sólidos solubles en la solución osmótica

| Tiempo | Sólidos solubles | dCa/dt | ln dCa/dt | ln Ca |
|--------|------------------|--------|-----------|-------|
| 0 | 60 | 0,18 | -1,71 | 4,1 |
| 30 | 55,43 | 0,25 | -1,38 | 4,0 |
| 60 | 51,15 | 0,51 | -0,67 | 3,9 |
| 120 | 42,13 | 0,62 | -0,47 | 3,7 |
| 180 | 38,45 | 0,69 | -0,37 | 3,6 |
| 150 | 36,75 | 1,46 | 0,37 | 3,6 |
| 180 | 36,58 | 1,22 | 0,19 | 3,6 |

Fuente: Elaboración propia, 2022

A continuación, en la figura IV-6, se observa el modelo linealizado para poder determinar la constante cinética.



Fuente: Elaboración propia, 2022

Figura IV-6 Modelo linealizado para determinar la constante cinética

Reemplazando los valores de la ecuación (IV-4)

$$y = -3,4964x + 12,719$$

Sabiendo que:

$b = \ln k = 12,719$, aplicando anti logaritmo $k = 2,54$

$a = n = -3,49$

Reemplazando valores en la ecuación (IV-3), se tiene:

$$-rA = 2,54 Ca^{-3,49} \quad \text{Ecuación IV-8}$$

La ecuación (IV-8), representa el modelo matemático que rige la cinética de la etapa de pérdida de sólidos solubles con una constante de 2,54 y un orden igual a -3,49, esta ecuación nos permite determinar la velocidad de la pérdida de sólidos solubles en función del tiempo.

4.10. Resultado del análisis sensorial de las rodajas de frutillas deshidratadas

A nivel experimental se procedió a elaborar 8 muestras preliminares según el diseño factorial para determinar la aceptación de cada muestra, se realizó un análisis Tukey por componentes: olor, sabor, color y textura.

Para el análisis de Tukey se debe tomar en cuenta las tablas Tukey (ver Anexo I), así también dos hipótesis: una hipótesis nula H_n y una hipótesis alterna H_o .

H_n = el promedio de los 8 grupos es igual con 95% de confiabilidad

H_a = el promedio de los 8 grupos es distinto con 95% de confiabilidad

Los criterios a tomar en cuenta son:

- Se acepta la H_n si $F_{cal} < F_{tab}$ (no se realiza la prueba de Tukey)
- Se rechaza la H_n si $F_{cal} > F_{tab}$ (se realiza la prueba de Tukey)

4.10.1. Análisis de varianza para el atributo color de la frutilla deshidratada

Para llevar a cabo el análisis de color se registró la sumatoria de cada producto en referencia al atributo color, en la siguiente tabla IV-22, se muestra el resumen estadístico de comparaciones de las frutillas deshidratadas:

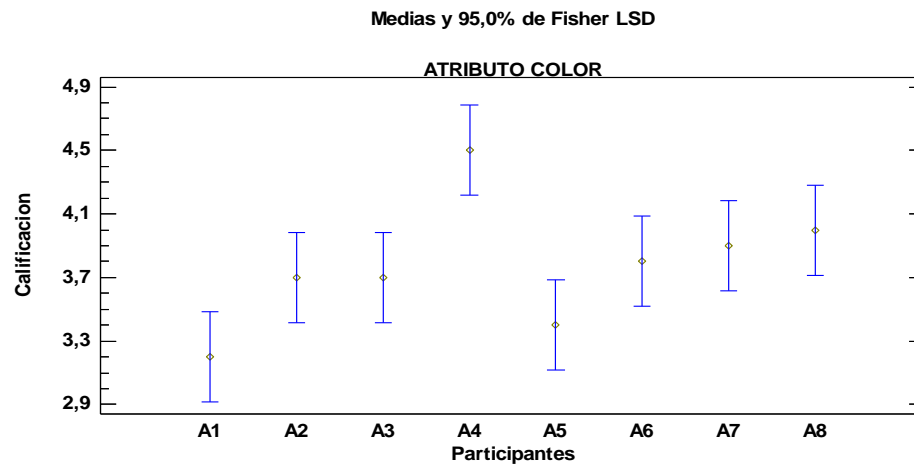
Tabla IV-21 Resumen estadístico para calificación color

| Fuente | Suma de cuadrados | GL | Cuadrados medios | F cal | F tab |
|----------|-------------------|----|------------------|-------|-------|
| Total | 39,95 | 79 | | | |
| Muestras | 10,75 | 7 | 1,54 | 3,65 | 2,14 |
| Jueces | 2,70 | 9 | 0,30 | 0,71 | 2,01 |
| Error | 26,50 | 63 | 0,42 | | |

Fuente: Elaboración propia, 2022

La tabla IV-21, se observa que el $F_{cal} > F_{tab}$ ($3,65 > 2,14$) para las muestras, por lo que se rechaza la hipótesis planteada $p < 0,05$, lo cual hace referencia que existe una diferencia estadísticamente significativa entre la media de calificación color entre los jueces, con un nivel de confianza del 95,0%.

En la siguiente figura (IV-7), se muestra una estadística de barras para el atributo color en los ensayos preliminares A1, A2, A3, A4, A5, A6, A7 y A8 extraídos de la tabla D-1. (ver Anexo D)



Fuente: Elaboración propia, 2022

Figura IV-7 Estadística de barra para el atributo color de la frutilla comestible deshidratada

En la figura IV-7, se puede observar un intervalo alrededor de cada media. Los intervalos mostrados actualmente están basados en el procedimiento de la diferencia mínima significativa de Fisher.

Se puede ver gráficamente los intervalos de medias, que la muestra A4 presenta mediana para el atributo color (4,5) indicando que tuvo mayor preferencia seguido de la muestra A8 (4,0) y las muestras A1 A2, A3, A5, A6 y A7.

En el análisis estadístico de Tukey, estos intervalos se usan para determinar cuáles medias son significativamente diferentes de otras.

En la tabla IV-22, se observa las diferencias de cada tratamiento respecto al atributo color.

Tabla IV-22 Estadística de Tukey para el atributo color

| Tratamientos | Valor | Diferencia | Significancia |
|---------------------|--------------|-------------------|----------------------|
| A1*A2 | 0,5 | 0,5<0,88 | No hay significancia |
| A1*A3 | 0,5 | 0,5<0,88 | No hay significancia |
| A1*A4 | 1,3 | 1,3>0,88 | Si hay significancia |
| A1*A5 | 0,2 | 0,2<0,88 | No hay significancia |
| A1*A6 | 0,6 | 0,6<0,88 | No hay significancia |
| A1*A7 | 0,7 | 0,7<0,88 | No hay significancia |
| A1*A8 | 0,8 | 0,8<0,88 | No hay significancia |
| A2*A3 | 0,0 | 0,0<0,88 | No hay significancia |
| A2*A4 | 0,8 | 0,8<0,88 | No hay significancia |
| A2*A5 | 0,3 | 0,3<0,88 | No hay significancia |
| A2*A6 | 0,1 | 0,1<0,88 | No hay significancia |
| A2*A7 | 0,2 | 0,2<0,88 | No hay significancia |
| A2*A8 | 0,3 | 0,3<0,88 | No hay significancia |
| A3*A4 | 0,8 | 0,8<0,88 | No hay significancia |
| A3*A5 | 0,3 | 0,3<0,88 | No hay significancia |
| A3*A6 | 0,1 | 0,1<0,88 | No hay significancia |
| A3*A7 | 0,2 | 0,2<0,88 | No hay significancia |
| A3*A8 | 0,3 | 0,3<0,88 | No hay significancia |
| A4*A5 | 1,1 | 1,1>0,88 | Si hay significancia |
| A4*A6 | 0,7 | 0,7<0,88 | No hay significancia |
| A4*A7 | 0,6 | 0,6<0,88 | No hay significancia |
| A4*A8 | 0,5 | 0,5<0,88 | No hay significancia |
| A5*A6 | 0,4 | 0,41<0,88 | No hay significancia |
| A5*A7 | 0,5 | 0,5<0,88 | No hay significancia |
| A5*A8 | 0,6 | 0,6<0,88 | No hay significancia |
| A6*A7 | 0,1 | 0,1<0,88 | No hay significancia |
| A6*A8 | 0,2 | 0,2<0,88 | No hay significancia |
| A7*A8 | 0,1 | 0,1<0,88 | No hay significancia |

Fuente: Elaboración propia, 2022

En la tabla IV-22, se puede observar diferencias significativas entre los tratamientos A1*A4 y A4*A5 respecto a los tratamientos A1*A2, A1*A7, A1*A8, A2*A4, A3*A4,

A4*A6, A1*A3, A1*A5, A1*A6, A2*A3, A2*A5, A2*A6, A2*A7, A2*A8, A3*A5, A3*A6, A3*A7, A3*A8, A4*A7, A4*A8, A5*A6, A5*A7, A5*A8, A6*A7, A6*A8, A7*A8. No existiendo diferencias significativas por tanto probabilidad $<0,05$.

4.10.2. Análisis de varianza para el atributo olor de la frutilla comestible deshidratada

Para llevar a cabo el análisis de olor se registró la sumatoria de cada producto en referencia al atributo olor, en la siguiente tabla IV-23, se muestra el resumen estadístico de comparaciones de las frutillas deshidratadas.

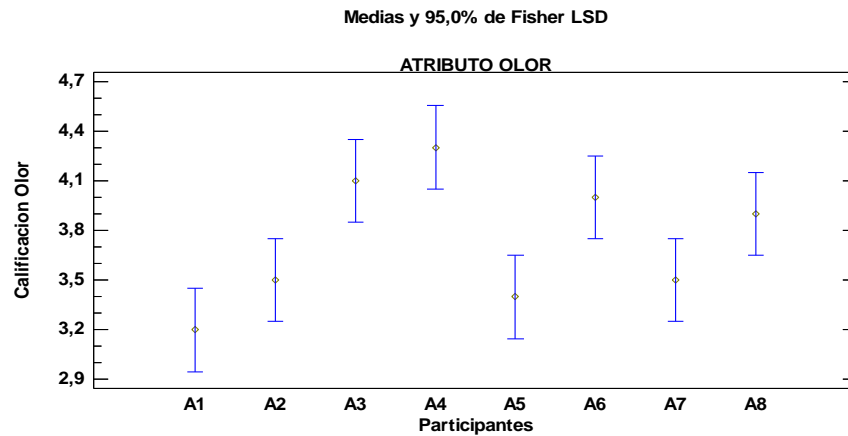
Tabla IV-23 Resumen Estadístico para calificación olor

| Fuente | Suma de cuadrados | GL | Cuadrados medios | F cal | F tab |
|----------|-------------------|----|------------------|-------|-------|
| Total | 33,49 | 79 | | | |
| Muestras | 10,59 | 7 | 1,51 | 4,53 | 2,14 |
| Jueces | 1,86 | 9 | 0,21 | 0,62 | 2,01 |
| Error | 21,04 | 63 | 0,33 | | |

Fuente: Elaboración propia, 2022

La tabla IV-23, se observa que el $F_{cal} > F_{tab}$ ($4,53 > 2,14$) para las muestras, por lo que se rechaza la hipótesis planteada $p < 0,05$, lo cual hace referencia que existe una diferencia estadísticamente significativa entre la media de calificación olor entre los jueces, con un nivel de confianza del 95,0%.

En la siguiente figura IV-9, se muestra una estadística de barras del atributo olor para los ensayos preliminares A1, A2, A3, A4, A5, A6, A7 y A8 extraídos de la tabla D-2. (ver Anexo D)



Fuente: Elaboración propia, 2022

Figura IV-8 Estadística de barra para el atributo olor de la frutilla comestible deshidratada

En la figura IV-8, se puede observar un intervalo alrededor de cada media. Los intervalos mostrados actualmente están basados en el procedimiento de la diferencia mínima significativa de Fisher.

Se puede ver gráficamente los intervalos de Medias que la muestra A4 presenta mediana para el atributo olor (4,3) indicando que tuvo mayor preferencia seguido de la muestra A3 (4,1) y la muestra A6 (4,0) y las muestras A1 A2, A5, A7 y A8.

En el análisis estadístico de Tukey, estos intervalos se usan para determinar cuáles medias son significativamente diferentes de otras.

En la tabla IV-24, se observa las diferencias de cada tratamiento del atributo olor.

Tabla IV-24 Estadística de Tukey para el atributo olor

| Tratamientos | Valor | Diferencia | Significancia |
|--------------|-------|------------|----------------------|
| A1*A2 | 0,3 | 0,3<0,78 | No hay significancia |
| A1*A3 | 0,9 | 0,9>0,78 | Si hay significancia |
| A1*A4 | 1,1 | 1,1>0,78 | Si hay significancia |
| A1*A5 | 0,2 | 0,2<0,78 | No hay significancia |
| A1*A6 | 0,8 | 0,8>0,78 | Si hay significancia |
| A1*A7 | 0,3 | 0,3<0,78 | No hay significancia |
| A1*A8 | 0,7 | 0,7<0,78 | Si hay significancia |
| A2*A3 | 0,6 | 0,6<0,78 | No hay significancia |
| A2*A4 | 0,8 | 0,8>0,78 | Si hay significancia |
| A2*A5 | 0,1 | 0,1<0,78 | No hay significancia |
| A2*A6 | 0,5 | 0,5<0,78 | No hay significancia |
| A2*A7 | 0,0 | 0,0<0,78 | No hay significancia |
| A2*A8 | 0,4 | 0,4<0,78 | No hay significancia |
| A3*A4 | 0,2 | 0,2<0,78 | No hay significancia |
| A3*A5 | 0,7 | 0,7<0,78 | No hay significancia |
| A3*A6 | 0,1 | 0,1<0,78 | No hay significancia |
| A3*A7 | 0,6 | 0,6<0,78 | No hay significancia |
| A3*A8 | 0,2 | 0,2<0,78 | No hay significancia |
| A4*A5 | 0,9 | 0,9>0,78 | Si hay significancia |
| A4*A6 | 0,3 | 0,3<0,78 | No hay significancia |
| A4*A7 | 0,8 | 0,8>0,78 | Si hay significancia |
| A4*A8 | 0,4 | 0,4<0,78 | No hay significancia |
| A5*A6 | 0,6 | 0,6>0,78 | No hay significancia |
| A5*A7 | 0,1 | 0,1<0,78 | No hay significancia |
| A5*A8 | 0,5 | 0,5<0,78 | No hay significancia |
| A6*A7 | 0,5 | 0,5<0,78 | No hay significancia |
| A6*A8 | 0,1 | 0,1<0,78 | No hay significancia |
| A7*A8 | 0,4 | 0,4<0,78 | No hay significancia |

Fuente: Elaboración propia, 2022

En la tabla IV-24, se puede observar diferencias significativas entre los tratamientos A1*A3, A1*A4, A1*A6, A1*A8, A2*A4, A4*A5, A4*A7 respecto a los tratamientos A1*A2, A1*A5, A1*A7, A2*A3, A2*A5, A2*A6, A2*A7, A2*A8, A3*A4, A3*A6, A3*A5, A3*A7, A3*A8, A4*A6, A4*A8, A5*A6, A5*A7, A5*A8, A6*A7, A6*A8 y A7*A8. No existiendo diferencias significativas por tanto probabilidad<0,05.

4.10.3. Análisis de varianza para el atributo sabor de la frutilla comestible deshidratada

Para llevar a cabo el análisis de sabor se registró la sumatoria de cada producto en referencia al atributo sabor, en la siguiente tabla IV-25, se muestra el resumen estadístico de comparaciones de las frutillas deshidratadas.

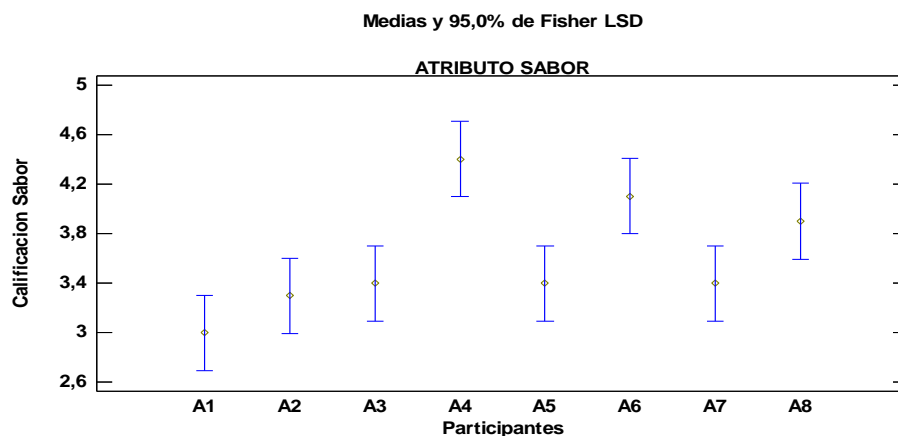
Tabla IV-25 Resumen estadístico para calificación sabor

| Fuente | Suma de cuadrados | GL | Cuadrados medios | F cal | F tab |
|----------|-------------------|----|------------------|-------|-------|
| Total | 48,99 | 79 | | | |
| Muestras | 15,49 | 7 | 2,21 | 4,51 | 2,14 |
| Jueces | 2,61 | 9 | 0,29 | 0,59 | 2,01 |
| Error | 30,89 | 63 | 0,49 | | |

Fuente: Elaboración propia, 2022

La tabla IV-25, se observa que el $F_{cal} > F_{tab}$ ($4,53 > 2,14$) para las muestras, por lo que se rechaza la hipótesis planteada $p < 0,05$, lo cual hace referencia que existe una diferencia estadísticamente significativa entre la media de calificación sabor entre los jueces, con un nivel de confianza del 95,0%.

En la siguiente figura IV-9, se muestra una estadística de barras del atributo sabor para los ensayos preliminares A1, A2, A3, A4, A5, A6, A7 y A8 extraídos de la tabla D-3. (ver Anexo D)



Fuente: Elaboración propia, 2022

Figura IV-9 Estadística de barra para el atributo sabor de la frutilla comestible deshidratada

En la figura IV-9, se puede observar un intervalo alrededor de cada media. Los intervalos mostrados actualmente están basados en el procedimiento de la diferencia mínima significativa de Fisher.

Se puede ver gráficamente en los intervalos de medias que la muestra A4 presenta mediana para el atributo sabor (4,4) indicando que tuvo mayor preferencia seguido de la muestra A6 (4,1) y la muestra A8 (3,9) y las muestras A1 A2, A3, A5 y A7.

En el análisis estadístico de Tukey, estos intervalos se usan para determinar cuáles medias son significativamente diferentes de otras.

En la siguiente tabla IV-26, se observa las diferencias de cada tratamiento del atributo sabor.

Tabla IV-26 Estadística de Tukey para el atributo sabor

| Tratamientos | Valor | Diferencia | Significancia |
|--------------|-------|------------|----------------------|
| A1*A2 | 0,3 | 0,3<0,94 | No hay significancia |
| A1*A3 | 0,4 | 0,4<0,94 | No hay significancia |
| A1*A4 | 1,4 | 1,4>0,94 | Si hay significancia |
| A1*A5 | 0,4 | 0,4<0,94 | No hay significancia |
| A1*A6 | 1,1 | 1,1>0,94 | Si hay significancia |
| A1*A7 | 0,4 | 0,4<0,94 | No hay significancia |
| A1*A8 | 0,9 | 0,9<0,94 | No hay significancia |
| A2*A3 | 0,1 | 0,1<0,94 | No hay significancia |
| A2*A4 | 0,5 | 0,5<0,94 | No hay significancia |
| A2*A5 | 0,5 | 0,5<0,94 | No hay significancia |
| A2*A6 | 0,5 | 0,5<0,94 | No hay significancia |
| A2*A7 | 0,5 | 0,5<0,94 | No hay significancia |
| A2*A8 | 0,5 | 0,5<0,94 | No hay significancia |
| A3*A4 | 1,0 | 1,0>0,94 | Si hay significancia |
| A3*A5 | 0,0 | 0,0<0,94 | No hay significancia |
| A3*A6 | 0,7 | 0,7<0,94 | No hay significancia |
| A3*A7 | 0,0 | 0,0<0,94 | No hay significancia |
| A3*A8 | 0,5 | 0,5<0,94 | No hay significancia |
| A4*A5 | 1,0 | 1,0>0,94 | Si hay significancia |
| A4*A6 | 0,3 | 0,3<0,94 | No hay significancia |
| A4*A7 | 1,0 | 1,0>0,94 | Si hay significancia |
| A4*A8 | 0,5 | 0,5<0,94 | No hay significancia |
| A5*A6 | 0,7 | 0,7<0,94 | No hay significancia |
| A5*A7 | 0,0 | 0,0<0,94 | No hay significancia |
| A5*A8 | 0,5 | 0,5<0,94 | No hay significancia |
| A6*A7 | 0,7 | 0,7<0,94 | No hay significancia |
| A6*A8 | 0,2 | 0,2<0,94 | No hay significancia |
| A7*A8 | 0,5 | 0,5<0,94 | No hay significancia |

Fuente: Elaboración propia, 2022

En la tabla IV-26, se puede observar diferencias significativas entre los tratamientos A1*A4, A1*A6, A3*A4, A4*A5, A4*A7 respecto a los tratamientos A1*A2, A1*A5, A1*A3, A1*A8, A2*A3, A2*A4, A3*A5, A3*A7, A5*A6 A1*A7, A2*A5, A2*A6, A2*A7, A2*A8,

, A3*A6, A3*A8, A4*A6, A4*A8, A5*A7, A5*A8, A6*A7, A6*A8 y A7*A8. No existiendo diferencias significativas por tanto probabilidad $<0,05$.

4.10.4. Análisis de varianza para el atributo textura de la frutilla comestible deshidratada

Para llevar a cabo el análisis de sabor se registró la sumatoria de cada producto en referencia al atributo sabor, en la siguiente tabla IV-27, se muestra el resumen estadístico de comparaciones de las frutillas deshidratadas.

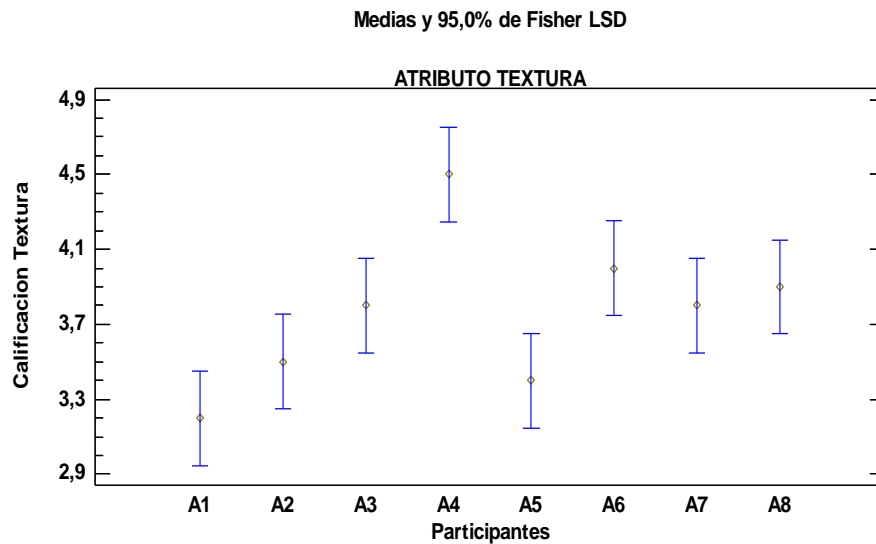
Tabla IV-27 Resumen estadístico para calificación textura

| Fuente | Suma de cuadrados | GL | Cuadrados medios | F cal | F tab |
|----------|-------------------|----|------------------|-------|-------|
| Total | 34,49 | 79 | | | |
| Muestras | 11,39 | 7 | 1,63 | 5,13 | 2,14 |
| Jueces | 3,11 | 9 | 0,35 | 1,09 | 2,01 |
| Error | 19,99 | 63 | 0,32 | | |

Fuente: Elaboración propia, 2022

La tabla IV-27, se observa que el $F_{cal} > F_{tab}$ ($5,13 > 2,14$) para las muestras, por lo que se rechaza la hipótesis planteada $p < 0,05$, lo cual hace referencia que existe una diferencia estadísticamente significativa entre la media de calificación textura entre los jueces, con un nivel de confianza del 95,0%.

En la siguiente figura IV-10, se muestra una estadística de barras del atributo textura para los ensayos preliminares A1, A2, A3, A4, A5, A6, A7 y A8 extraídos de la tabla D-4. (ver Anexo D)



Fuente: Elaboración propia, 2021

Figura IV-10 Estadística de barra para el atributo textura de la frutilla comestible deshidratada

En la figura IV-10, se puede observar un intervalo alrededor de cada media. Los intervalos mostrados actualmente están basados en el procedimiento de la diferencia mínima significativa de Fisher.

Puede ver gráficamente los intervalos de medias que la muestra A4 presenta mediana para el atributo textura (4,5) indicando que tuvo mayor preferencia seguido de la muestra A6 (4,0) y la muestra A8 (3,9) y las muestras A1 A2, A3, A5 y A7.

En el análisis estadístico de Tukey, estos intervalos se usan para determinar cuáles medias son significativamente diferentes de otras.

En la tabla IV-28, se observa las diferencias de cada tratamiento del atributo textura.

Tabla IV-28 Estadística de Tukey para el atributo textura

| Tratamientos | valor | diferencia | significancia |
|--------------|-------|------------|----------------------|
| A1*A2 | 0,3 | 0,3<0,78 | No hay significancia |
| A1*A3 | 0,6 | 0,6<0,78 | No hay significancia |
| A1*A4 | 1,3 | 1,3<0,78 | Si hay significancia |
| A1*A5 | 0,2 | 0,2<0,78 | No hay significancia |
| A1*A6 | 0,8 | 0,8>0,78 | Si hay significancia |
| A1*A7 | 0,6 | 0,6<0,78 | Si hay significancia |
| A1*A8 | 0,7 | 0,7>0,78 | Si hay significancia |
| A2*A3 | 0,3 | 0,3<0,78 | No hay significancia |
| A2*A4 | 1,0 | 1,0>0,78 | Si hay significancia |
| A2*A5 | 0,1 | 0,1<0,78 | No hay significancia |
| A2*A6 | 0,5 | 0,5<0,78 | No hay significancia |
| A2*A7 | 0,3 | 0,3<0,78 | No hay significancia |
| A2*A8 | 0,4 | 0,4<0,78 | No hay significancia |
| A3*A4 | 0,7 | 0,7<0,78 | No hay significancia |
| A3*A5 | 0,4 | 0,4<0,78 | No hay significancia |
| A3*A6 | 0,2 | 0,2<0,78 | No hay significancia |
| A3*A7 | 0,0 | 0,0<0,78 | No hay significancia |
| A3*A8 | 0,1 | 0,1<0,78 | No hay significancia |
| A4*A5 | 1,1 | 1,1>0,78 | Si hay significancia |
| A4*A6 | 0,5 | 0,5<0,78 | No hay significancia |
| A4*A7 | 0,7 | 0,7<0,78 | No hay significancia |
| A4*A8 | 0,6 | 0,6<0,78 | No hay significancia |
| A5*A6 | 0,6 | 0,6<0,78 | No hay significancia |
| A5*A7 | 0,4 | 0,4<0,78 | No hay significancia |
| A5*A8 | 0,5 | 0,5<0,78 | No hay significancia |
| A6*A7 | 0,2 | 0,2<0,78 | No hay significancia |
| A6*A8 | 0,1 | 0,1<0,78 | No hay significancia |
| A7*A8 | 0,1 | 0,1<0,78 | No hay significancia |

Fuente: Elaboración propia, 2022

En la tabla IV-28, se puede observar diferencias significativas entre los tratamientos, A1*A4, A1*A6, A1*A8, A1*A7, A2*A4, A4*A5, respecto a los tratamientos A1*A2, A1*A3, A1*A5, A2*A3, A3*A4, A3*A5, A3*A7, A2*A5, A2*A6, A2*A7, A2*A8, A3*A6, A3*A8, A4*A6, A4*A7, A4*A8, A5*A6, A5*A7, A5*A8, A6*A7, A6*A8 y A7*A8. No existiendo diferencias significativas por tanto probabilidad<0,05.

4.11. Grado de aceptación general

Para llevar a cabo el análisis de aceptabilidad se registró la sumatoria de cada producto en referencia al atributo sabor, color, olor y textura en la siguiente tabla IV-29, se muestra el resumen estadístico de comparaciones de las muestras de frutillas deshidratadas.

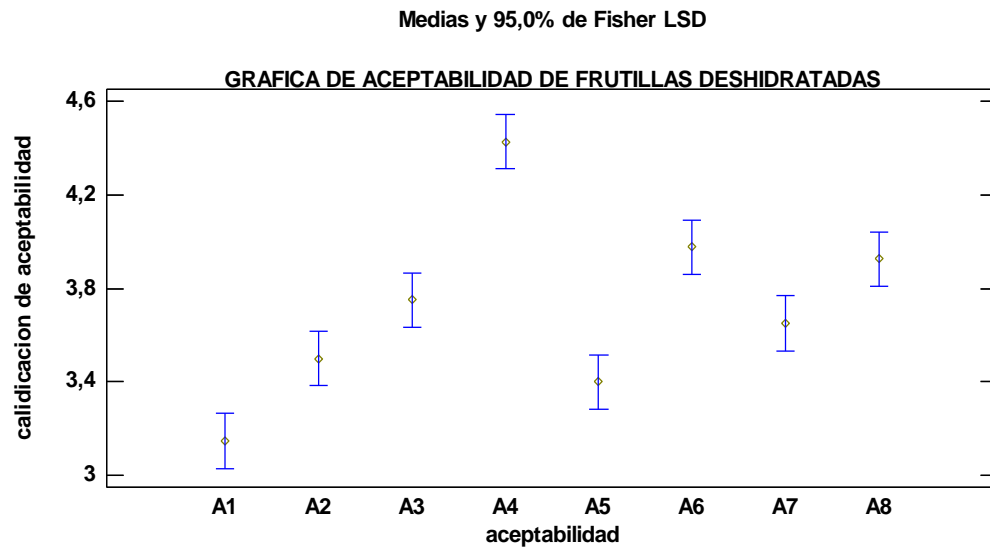
Tabla IV-29 Resumen estadístico para la aceptabilidad

| Fuente | Suma de cuadrados | GL | Cuadrados medios | F cal | Probabilidad |
|-----------------------------|--------------------------|-----------|-------------------------|--------------|---------------------|
| Entre grupos | 4,342 | 7 | 0,620 | 24,306 | 1,97938E-09 |
| Dentro de los grupos | 0,612 | 24 | 0,025 | | |
| Total | 4,954 | 31 | | | |

Fuente: Elaboración propia, 2022

La tabla IV-29, descompone la varianza de calificación para la aceptabilidad general, un componente entre grupos y un componente dentro-de-grupos. La razón Fisher, que en este caso es igual a 24,306, es el cociente entre el estimado Entre-grupos y el estimado dentro-de-grupos. Puesto que la probabilidad de la prueba Fisher es menor que 0,05, lo cual hace referencia que existe una diferencia estadísticamente significativa entre la media de calificación de los participantes para los atributos, con un nivel de confianza del 95,0%.

En la siguiente figura IV-11, se muestra una estadística de barras de la aceptabilidad general para los ensayos preliminares A1, A2, A3, A4, A5, A6, A7 y A8 extraídos de las tablas (ver Anexo D).



Fuente: Elaboración propia, 2022

Figura IV-11 Aceptabilidad de frutillas deshidratadas

En la figura IV-11, se puede observar un intervalo alrededor de cada media. Los intervalos mostrados actualmente están basados en el procedimiento de la diferencia mínima significativa de Fisher.

Puede ver gráficamente los intervalos de Medias que la muestra A4 presenta mediana para los atributos de aceptación general, (4,42) indicando que tuvo mayor preferencia seguido de la muestra A6 (3,97) y la muestra A8 (3,92) y las muestras A1 A2, A3, A5 y A7.

En la tabla IV-30, se observa el análisis estadístico de Tukey, estos intervalos se usan para determinar cuáles medias son significativamente diferentes de otras.

Tabla IV-30 Estadística de Tukey para la aceptabilidad general

| Tratamientos | Valor | Diferencia | Significancia |
|--------------|-------|------------|----------------------|
| A1*A2 | 0,35 | 0,24<0,35 | Si hay significancia |
| A1*A3 | 0,6 | 0,24<0,6 | Si hay significancia |
| A1*A4 | 1,275 | 0,24<1,275 | Si hay significancia |
| A1*A5 | 0,25 | 0,24<0,25 | Si hay significancia |
| A1*A6 | 0,825 | 0,24<0,82 | Si hay significancia |
| A1*A7 | 0,5 | 0,24<0,5 | Si hay significancia |
| A1*A8 | 0,775 | 0,24<0,775 | Si hay significancia |
| A2*A3 | 0,25 | 0,24<0,25 | No hay significancia |
| A2*A4 | 0,92 | 0,24<0,92 | Si hay significancia |
| A2*A5 | 0,1 | 0,24>0,1 | No hay significancia |
| A2*A6 | 0,47 | 0,24<0,47 | Si hay significancia |
| A2*A7 | 0,15 | 0,24>0,15 | No hay significancia |
| A2*A8 | 0,42 | 0,24<0,42 | Si hay significancia |
| A3*A4 | 0,67 | 0,24<0,67 | Si hay significancia |
| A3*A5 | 0,35 | 0,24<0,35 | Si hay significancia |
| A3*A6 | 0,22 | 0,24>0,22 | No hay significancia |
| A3*A7 | 0,1 | 0,24>0,1 | No hay significancia |
| A3*A8 | 0,17 | 0,24>0,17 | No hay significancia |
| A4*A5 | 1,025 | 0,24<1,025 | Si hay significancia |
| A4*A6 | 0,45 | 0,24<0,45 | Si hay significancia |
| A4*A7 | 0,775 | 0,24<0,775 | Si hay significancia |
| A4*A8 | 0,5 | 0,24<0,5 | Si hay significancia |
| A5*A6 | 0,57 | 0,24<0,57 | Si hay significancia |
| A5*A7 | 0,25 | 0,24<0,25 | Si hay significancia |
| A5*A8 | 0,52 | 0,24<0,52 | Si hay significancia |
| A6*A7 | 0,325 | 0,24<0,32 | Si hay significancia |
| A6*A8 | 0,05 | 0,24>0,05 | No hay significancia |
| A7*A8 | 0,275 | 0,24<0,275 | Si hay significancia |

Fuente: Elaboración propia, 2022

4.12. Resultado de la caracterización físico-química de las rodajas deshidratadas de frutilla (San Andreas)

Concluyendo con el análisis factorial de obtención de rodajas deshidratadas, se obtiene el mejor resultado para la pérdida de agua a la muestra A8 con una pérdida del 79,89%, en la reducción de peso el mejor resultado lo obtuvo la muestra A8, la cual perdió el 48,41 % de peso, en la ganancia de soluto la muestra que ganó más soluto fue la muestra A8 a la que se aplicó una concentración de 60 °Brix, 50 °C de temperatura y un tiempo de 4 horas. Sin embargo, en el análisis organoléptico realizado, es la muestra A4 que cumple con las mejores características, a esta muestra A4 se le aplicó una concentración de 60°Brix, temperatura de 50°C, y un tiempo de 3 horas. A continuación, se presenta los resultados del análisis físicoquímico y se hace una comparación del aspecto del producto final.

4.12.1. Propiedades físicoquímicas de la frutilla comestible deshidratada

La tabla IV-31, muestra los resultados obtenidos del análisis físicoquímico (Anexo A) de la frutilla (*Fragaria ananassa*) variedad San Andreas ya deshidratada.

Tabla IV-31 Análisis físicoquímicos de la frutilla comestible deshidratada

| Parámetro | Método de ensayo | Unidad | Resultado |
|---------------------|------------------|------------|-----------|
| Acidez | NB 229:98 | % | 1,39 |
| Azúcares reductores | NB 38033:06 | % | 25,08 |
| Azúcares totales | NB 38033-06 | % | 56,92 |
| Ceniza | NB 39034:10 | % | 0,54 |
| Fibra | Gravimétrico | % | 3,74 |
| Grasa | NB 313019:06 | % | 0,74 |
| Hidratos de carbono | Calculo | % | 77,93 |
| Humedad | NB 313010:05 | % | 14,30 |
| pH (20°C) | SM 4500-H-B | | 3,68 |
| Proteína total | NB/ISO 8968-1:08 | % | 2,75 |
| Sólidos Solubles | NB 36003:02 | ° Brix | 65 |
| Valor Energético | Calculo | Kcal/100 g | 329,38 |

Fuente: CEANID, 2021

Como se aprecia en la tabla IV-31, las características físicoquímicas de las rodajas deshidratadas de frutilla obtenidas experimentalmente presentaron un bajo índice de

proteína total obtenido (2,75 %), debido a que la materia prima también presentó un bajo contenido de proteína total del (0,98 %). El porcentaje de fibra (3,74 %), cenizas (0,54 %) y humedad (14,30 %).

Tabla IV-32 Análisis microbiológico de la frutilla comestible deshidratada

| Parámetros | Método de ensayo | Unidad | Resultado |
|--------------------|------------------|--------|--------------------------|
| Coliformes totales | NB 32005:02 | UFC/g | <1,0x10 ¹ (*) |
| Escherichia coli | NB 32005:02 | UFC/g | <1,0x10 ¹ (*) |
| Mohos y levaduras | NB 32006:03 | UFC/g | <1,0x10 ¹ (*) |

Fuente: CEANID, 2021

De la tabla IV-32, se observa en el análisis microbiológico que los resultados de mohos, levaduras, escherichia coli y coliformes totales, que según el reglamento sanitario de alimentos Chile, se encuentran dentro de los límites aceptables, lo que indica que las rodajas deshidratadas de frutilla que se obtuvieron son aptas para su consumo humano.

4.13. Resultados del balance de materia y energía para la obtención de frutilla comestible deshidratada

4.13.1. Resultados del balance de materia para la obtención de frutilla comestible deshidratada

A continuación, en la tabla IV-33, se presentan los resultados obtenidos en cada fase del proceso de deshidratación osmótica de la frutilla.

Tabla IV-33 Resultados obtenidos en el balance de materia del proceso de deshidratación osmótica de la frutilla

| Proceso | Masa de frutillas en la entrada | Masa de frutillas a la salida |
|-------------------------|---------------------------------|-------------------------------|
| Recepción y selección | 1000 g | 988 g |
| Limpieza | 988 g | 983,035 g |
| Cortado | 983,035 g | 975,171 g |
| Escaldado | 975,171 g | 975,756 g |
| Deshidratación osmótica | 975,756 g | 359,859 g |
| Lavado | 359,859 g | 353,339 g |
| Secado | 353,339 g | 172,340 g |

Fuente: Elaboración propia, 2022

Obteniendo esta información se calcula el rendimiento del proceso haciendo uso de la ecuación III-42, y usando los resultados obtenidos del balance de materia del proceso de deshidratación osmótica de rodajas de la frutilla comestible.

$$\% \text{Rendimiento} = \frac{\text{masa final}}{\text{masa inicial}} * 100 = \frac{172,340}{1000} * 100 = 17,23\%$$

Entonces se deduce que el rendimiento del proceso para obtener frutilla comestible deshidratada osmóticamente es de 17,23 %.

4.13.2. Resultados del balance de energía para la obtención de frutilla comestible deshidratada

Asimismo, se presenta la tabla IV-34 con los resultados del consumo energético en los siguientes procesos:

Tabla IV-34 Resultados obtenidos en el balance de energía del proceso de deshidratación osmótica de la frutilla

| Proceso | Calor total |
|-------------------------|--------------------|
| Secado | 176,916 Kcal |
| Escaldado | 295,184 Kcal |
| Agitador magnético | 4,583 Kcal/h |
| Deshidratación osmótica | 132,891 Kcal |

Fuente: Elaboración propia, 2022

CAPÍTULO V
COSTOS DEL PROYECTO DE
INVESTIGACIÓN

5.1. Determinación del costo de obtención de rodajas deshidratadas de frutilla

Para determinar los costos del presente proyecto se toman en cuenta los datos empleados en el balance de materia, insumos, análisis, materiales, gastos energéticos de los equipos y otros utilizados durante el proceso de obtención de frutilla deshidratada osmóticamente.

La tabla V-1, muestra a detalle los costos de la merita e insumos para llegar a cabo la parte experimental del proyecto.

Tabla V-1 Costo de materia prima y reactivos

| Ítem | Detalle | Cantidad | Unidad | Costo (Bs) | Costo global (Bs) |
|-------|-------------------|----------|--------|------------|-------------------|
| 1 | Frutilla | 6 | Kg | 18 | 108 |
| 2 | Glucosa (líquida) | 6,000 | Kg | 30 | 180 |
| 3 | Sacarosa (sólida) | 6,000 | Kg | 5 | 30 |
| 4 | Agua destilada | 5 | lts | 5 | 25 |
| Total | | | | | Bs. 343 |

Fuente: Elaboración propia, 2021

La tabla V-2, se muestra los costos de los materiales utilizados.

Tabla V-2 Costos de materiales de trabajo

| Ítem | Detalle | Cantidad | Costo unitario Bs | Costo total (Bs) |
|-------|---------------------------|----------|-------------------|------------------|
| 1 | pHmetro | 1 | 120 | 120 |
| 2 | Vasos precipitados | 2 | 30 | 60 |
| 3 | Jarra de acero inoxidable | 1 | 20 | 20 |
| 4 | Cuchillo | 1 | 10 | 10 |
| 5 | Canastilla metálica | 1 | 20 | 20 |
| 6 | Colador de plástico | 1 | 10 | 10 |
| 7 | Cuchara | 1 | 10 | 10 |
| 8 | Bolsas de polietileno | 1 | 25 | 25 |
| Total | | | | Bs. 275 |

Fuente: Elaboración propia, 2021

La tabla V-3, muestra el costo de los materiales de escritorio que se necesitaron para realizar el proyecto.

Tabla V-3 Costo de materiales de escritorio

| Ítem | Detalle | Cantidad | Costo unitario Bs | Costo total (Bs) |
|-------|-----------------------|----------|-------------------|-------------------|
| 1 | Cuaderno | 1 | 15 | 15 |
| 2 | Lápices / lapiceras | 2/2 | 2/5 | 14 |
| 3 | Fotocopias | 1 | 0,10 | 20 |
| 4 | Papel manteco | 5 | 2.50 | 12.50 |
| 5 | Impresión y empastado | 3 | 150 | 450 |
| Total | | | | Bs. 511.50 |

Fuente: Elaboración propia, 2021

En la siguiente tabla V-4, se describe el costo de la investigación del proyecto de frutillas deshidratadas.

Tabla V-4 Costo de investigación del proyecto

| Descripción | Especificación | Costo unitario (Bs) | Costo total (Bs) |
|--------------|----------------|---------------------|------------------|
| Internet | internet | 3,5 (h) | 500 |
| Comunicación | llamadas | 1 | 20 |
| Transporte | pasaje | 2 | 200 |
| Total | | | Bs. 720 |

Fuente: Elaboración propia, 2021

La tabla V-5, muestra el costo de los análisis de laboratorio realizados a la materia prima y producto final del proyecto de investigación.

Tabla V-5 Costos de análisis de laboratorio

| Ítem | Detalle | Unidad | Cantidad | Costo Unitario Bs | Costo Total (Bs) |
|-------|---------------------|----------|-------------------------------|-------------------|------------------|
| 1 | Humedad | análisis | 2 | 40 | 80 |
| 2 | Proteína total | análisis | 2 | 100 | 200 |
| 3 | Acidez | análisis | 2 | 40 | 80 |
| 4 | Cenizas | análisis | 2 | 70 | 140 |
| 5 | Fibra | análisis | 2 | 70 | 140 |
| 6 | Grasa | análisis | 2 | 90 | 180 |
| 7 | Valor energético | análisis | 2 | 20 | 40 |
| 8 | Hidratos de carbono | análisis | 2 | 40 | 40 |
| 9 | Escherichia Coli | análisis | 1 | 100 | 100 |
| 10 | Coliformes totales | análisis | 1 | 100 | 100 |
| 11 | Mohos y levaduras | análisis | 1 | 120 | 120 |
| 12 | Azúcares totales | análisis | 2 | 100 | 200 |
| 13 | Azúcares reductores | análisis | 1 | 90 | 90 |
| 14 | Solidos solubles | | 2 | 40 | 80 |
| Total | | | Bs. (1590 x 0,3) = 477 | | |

Fuente: Elaboración propia, 2021

Los análisis fueron realizados en del CEANID en donde se aplica el descuento del 70 % para estudiantes de la Facultad de Ciencias y Tecnología de la Universidad Autónoma Juan Misael Saracho.

A continuación, en la tabla V-6, muestra los costos de energía eléctrica para la parte experimental del proyecto.

Tabla V-6 Costos de energía eléctrica

| Equipos | Potencia (Kw) | Tiempo (h) | Energía (Kwh) | Costo Unitario Bs | Costo Global (Bs) |
|---------------------------------|---------------|------------|---------------|-------------------|-------------------|
| Calentador - Agitador Magnético | 0,64 | 30 | 19,2 | 0,84 | 16,128 |
| Secador a vacío | 1,4 | 4 | 89,6 | 0,84 | 75,264 |
| Secador infrarrojo | 1,11 | .. | .. | 0,84 | .. |
| Total | | | | | 91,392 |

Fuente: Elaboración propia, 2021

En la tabla V-7, se muestra el costo de otros servicios para el proyecto.

Tabla V-7 Detalle de otros servicios

| Ítem | Detalle | Unidad | Cantidad | Costo Unitario Bs | Costo Total (Bs) |
|-------|---|----------------|----------|----------------------|---------------------|
| 1 | Gas | m ³ | 5 | 0,6 | 3 |
| 2 | Agua potable | m ³ | 1 | 6,4 | 6,4 |
| * | COSSALT, cobra Bs. 6,4 por el consumo de 0 a 10 m ³ de agua. | | | | |
| Total | | | | Bs. 9,4 | |

Fuente: Elaboración propia, 2021

En la tabla V-8, se ilustra el costo de la inversión total para la investigación de obtención de rodajas de frutillas deshidratadas.

Tabla V-8 Detalle de costos totales del proyecto

| Descripción | Costo total (Bs) |
|----------------------------------|---------------------|
| Investigación del proyecto | 720 |
| Materia prima e insumos | 343 |
| Materiales de trabajo | 275 |
| Materiales de escritorio | 511.50 |
| Costo de análisis de laboratorio | 477 |
| Costo de energía eléctrica | 91,39 |
| Costo de otros servicios | 9,4 |
| Costo total | Bs. 2427.3 |

Fuente: Elaboración propia, 2021

CAPÍTULO VI
CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

6.1. Conclusiones

Referente a los resultados obtenidos del presente proyecto de investigación, se tienen las siguientes conclusiones.

- La frutilla que se empleó en el proceso de la deshidratación osmótica es la *Fragaria ananassa* (variedad San Andreas), producida en el departamento de Tarija provincia Cercado, comunidad de Tolomosa. Los parámetros fisicoquímicos son: Valor energético 48,34 kcal/100 g, Proteína total 0,98%, Hidratos de carbono 10,51 %, Grasa 0,22 %, Fibra 0,41%, Cenizas 0,51% y Humedad 87,27%.
- En los ensayos preliminares se determina que las condiciones óptimas de proceso son concentración de 60 °Brix del agente osmótico, temperatura del proceso de obtención de 50 °C y tiempo de deshidratación de 4 horas. A estas condiciones se obtiene rodajas deshidratadas de frutilla con una humedad promedio de 14,30 % p/p, rendimiento promedio de g p/p y mejor calidad con propiedades organolépticas (olor, color y sabor, etc.), siendo las variables determinantes temperatura y concentración del agente osmótico.
- Los parámetros fisicoquímicos de las rodajas que se determinan en el Centro de Análisis, Investigación y Desarrollo, tienen los siguientes resultados: Valor energético: 329,38 kcal/100g. Proteína total: 2,75 %. Hidratos de carbono: 77,93 %. Grasa: 0,74 %. Fibra: 3,74 %. Ceniza 0,54 % y Humedad de las rebanadas osmóvacío es de 14,3 %.
- De 200 gramos de frutilla al 87,27 % de humedad, se obtiene 112,737 gramos de rodajas de frutillas osmodeshidratadas cuya replica dio un peso de 117,58 gramos, es decir, que de 200 gramos frutilla se obtiene 115,128 gramos de frutilla deshidratada osmóticamente.
- En base a las pruebas preliminares elaboradas para la obtención de frutilla deshidratada, se eligió (A4) como muestra ideal, estadísticamente se evidenció, que hay diferencia significativa entre los tratamientos.
- Aplicando el análisis de Tukey, se estableció que la variable respuesta presenta significancia para los cuatro factores: sabor, olor, color y aceptando la hipótesis

alterna H_a = el promedio de las 8 muestras preliminares es distintas con 95% de confiabilidad. Se determinó que la muestra aceptada para fue la muestra A4, obteniendo mejores resultados en las siguientes condiciones: color (4,5); sabor (4,4); textura (4,5); olor (4,4) y aceptabilidad (4.42).

- De acuerdo al diseño factorial 2^3 aplicado en el proceso de deshidratación, se pudo establecer que las interacciones temperatura-concentración y tiempo-temperatura no muestran significancia ($p > 0,05$), mientras que los demás factores e interacciones si son significativas ($p < 0,05$).

6.2. Recomendaciones

Después de la experiencia adquirida al realizar el presente proyecto, se tiene las siguientes recomendaciones:

- La temperatura es un factor importante que hay que tomar en cuenta durante el proceso, si no es controlada estrictamente puede deteriorar al producto porque cada fruta cuenta con sus propias características que determinan un grado de temperatura con el que se elimina agua, pasado este limite la fruta pierde sabor, color, olor entre otras características.
- Realizar los cortes de la fruta con un espesor no mayor a 4 mm para facilitar el proceso en el pretratamiento, en la deshidratación osmótica y el secado, con lo que se logrará disminuir el tiempo del proceso y reducir así los gastos de la investigación.
- Analizar opciones para el jarabe obtenido del proceso de deshidratación osmótica y su posible reutilización con el fin de optimizar recursos y costos de investigación.
- Se recomienda, mejorar el proceso de obtención de rodajas deshidratadas para futuros experimentos ya que la deshidratación osmótica no disminuye la actividad acuosa del alimento de manera tal de estabilizarlo totalmente, sino que solo extiende su vida útil. Para ello es necesario aplicar otros procesos posteriores como secado, congelado o liofilizado, entre otros posibles.

- El almacenamiento del producto obtenido por recomendación (bibliográfica) debe ser un lugar estable, seco, oscuro, con temperaturas moderadas por debajo de los 25 °C para evitar desnaturalización del producto en sus nutrientes.

