

CAPÍTULO I

1.1 El Tomate

Solanum lycopersicum, conocido comúnmente como tomate, jitomate o tomatara, es una especie de la familia de las solanáceas es cultivada en todo el mundo para su consumo tanto fresco como procesado de diferentes modos (salsa, puré, zumo, deshidratado, enlatado). (Garza, L. 1985)

Figura 1.1
Tomate Perita



Fuente: Agri-nature.com

1.1.1 Origen del Tomate

El tomate viajó a Europa, después de la conquista de los españoles, donde se le conocía como *xītomatl*, fruto con ombligo. Si bien ambos centros de origen del tomate cultivado, Perú y México, han sido postulados y se ha proporcionado evidencia en uno u otro sentido, no existen pruebas concluyentes que apoyen de manera incontrovertida uno de tales sitios como el lugar donde el tomate ha sido domesticado a partir de su ancestro silvestre. Más aún, puede ser que este cultivo haya sido domesticado independientemente por las culturas precolombinas que habitaban lo que actualmente es México y Perú (Hernán Sáez P. y Pastor J., 2009).

En América del norte el General Jorge Washington, que fue después el primer Presidente de EE. UU., introdujo el tomate como parte de la ración alimenticia de sus tropas. Otro presidente americano Thomas Jefferson, hace por su cuenta, allá por el año 1780, plantaciones de tomate en Virginia. Medio siglo después, las extensiones

de terreno dedicado al cultivo de tomate en Norteamérica tenían carácter comercial. En la actualidad la importancia de los cultivos de tomates aumenta continuamente, abarcando nuevas extensiones de terreno e industrializando cada vez más la producción no solo para el consumo fresco y la obtención del jugo, sino para suministrar de materia prima a la gran cantidad de fábricas de conserva que cada día se implantan (Hernán Sáez P. y Pastor J., 2009).

1.1.2 Producción del Tomate

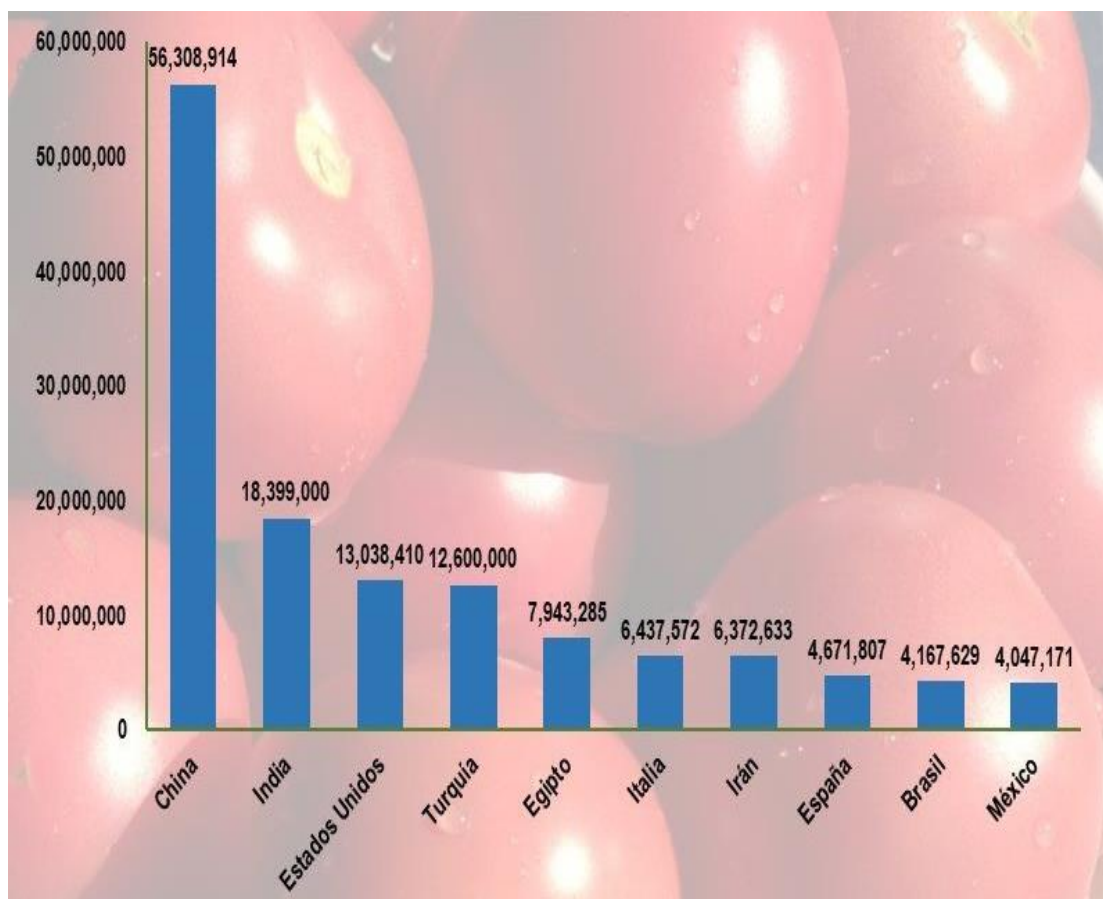
El cultivo de tomate corresponde a una de las especies hortícolas más difundidas a nivel mundial. La superficie total, de acuerdo a la FAO (La Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura), alcanza a unos 3,6 millones de hectáreas, la cual ha aumentado sostenidamente en los últimos años.

China ocupa el primer puesto en cuanto a la producción de tomate, con 56,30 millones de toneladas producidas en 2016 (datos a nivel mundial), El segundo lugar en el listado de los países del mundo mayores productores de tomate, está ocupado por India, con 18,39 millones de toneladas; en el tercer puesto figura Estados Unidos con 13,03 millones de toneladas, en el cuarto lugar aparece Turquía con 12,6 millones de toneladas y en el quinto puesto Egipto, con 8,10 millones de toneladas. (FAOSTAD, 2016)

En la **Figura1.2**, se presentan los 10 países con mayor producción obtenida de tomate a nivel mundial durante 2016. Este es el último año con información publicada. Los datos se encuentran en toneladas.

Figura I.2

Principales países productores de tomate a nivel mundial (toneladas por año)



Fuente: FAOSFAT, 2016

En Bolivia, el cultivo de tomate es de gran importancia, tanto por su amplia adaptabilidad a distintos pisos ecológicos, como por su rendimiento, generando por lo tanto importantes ingresos económicos a los agricultores que la cultivan (Coca M., 2012).

En la **Tabla I-2** se muestra la producción de tomate en Bolivia en toneladas por año (INE, 2014), en los años de 2.007 a 2.012.

Tabla I-1
Producción de tomate en Bolivia (toneladas por año)

Descripción	2.007-2.008	2.008-2.009	2.009-2.010	2.010-2.011	2.011-2.012
Producción de tomate	52.324	53.070	53.062	49.476	51.748

Fuente: INE, 2014.

En la **Tabla I-3** se muestra la producción de tomate en Bolivia por departamento en cuanto a producción (INE, 2.014), en los años 2.007 a 2.012.

Tabla I-2
Producción de tomate por Departamento en Bolivia (toneladas por año)

Descripción	2.007-2.008	2.008-2.009	2.009-2.010	2.010-2.011	2.011-2.012
Chuquisaca	3.930	3.986	4.034	3.780	3.336
La Paz	4.436	4.499	4.544	3.154	3.896
Cochabamba	19.513	19.789	20.046	18.653	17.214
Potosí	231	239	225	210	229
Tarija	3.543	3.593	3.647	3.474	3.379
Santa Cruz	20.237	20.615	20.203	19.819	20.254
Beni	288	292	302	261	298
Pando	56	57	61	53	58

Fuente: INE, 2014.

En la tabla **Tabla I-4** se muestra la producción de tomate en Tarija en toneladas por año en producción (INE, 2014.), en los años 1.996 a 2.000.

Tabla I-3
Producción de tomate en Tarija (toneladas por año)

Descripción	1.996	1.997	1.998	1.999	2.000
Producción de tomate	2.090	2.222	1.542	1.816	2.017

Fuente: INE, 2014.

Según datos de la CAT (Cámara Agropecuaria Tarija) la producción de tomate para el año 2013 se resume en la **Tabla I-5**

Tabla I-4
Producción de tomate en Tarija año 2013 (toneladas por año)

Provincia	Superficie Cultivada (ha)	Rendimiento por ha.	Producción total (Tn)
Cercado	68	20	1360
Avilés	151	20	3020
Arce	62	20	1240
O'Connor	18	20	360
Gran Chaco	74	20	1480
Méndez	5	20	100
Total	378		7560

Fuente: Cámara Agropecuaria de Tarija - CAT, 2014.

El tomate es una de las hortalizas más demandadas por los consumidores, quienes la usan como ingredientes en sopas, ensaladas y como condimento, convirtiéndose en uno de los principales rubros que más se consumen en estado fresco, así como

también es usado en la industria para su transformación, hecho que se atribuye a una creciente demanda del producto.

La vida útil del tomate se limita a unas pocas semanas por lo tanto procesar el tomate es una alternativa para extender la disponibilidad y vida de este producto. Es así que la importancia de procesar los productos agrícolas ha ido creciendo y tiene una gran demanda a nivel mundial.

1.2 Generalidades del Tomate

El tomate es rico en ácido orgánico como p-cumarico y ácido clorogénico con un papel protector del cáncer de estómago. Es una de las principales fuentes de vitaminas en la dieta de muchos países, es rico en minerales como el potasio. Destaca su contenido en carotenoides (b-caroteno y licopeno), que lo hacen recomendable para la prevención de enfermedades cardiovasculares y de distintos tipos de cánceres. Rico en vitamina E y β -caroteno. **(Carlos Baixauli Soria, 2016)**

Su valor calórico es bajo. El contenido en azúcares está ligado al estado de madurez del fruto, su recolección prematura afecta negativamente a su contenido. Predominan en el tomate el ácido cítrico y málico, siendo máximo con el color rosado del fruto y disminuyendo posteriormente de forma progresiva. **(Carlos Baixauli Soria, 2016)**

Otro elemento antioxidante es el glutatión, que encontramos fundamentalmente en su piel. Ayuda a eliminar radicales libres y toxinas de nuestro cuerpo. Además, rebaja la presión arterial y favorece la salud del hígado. **(Carlos Baixauli Soria, 2016)**

Las vitaminas también están presentes, siendo la vitamina C y la vitamina A las que se encuentran en mayor cantidad.

- **La vitamina A:** es fundamental para el desarrollo celular, para la salud de nuestros huesos y dientes y para fortalecer el sistema inmunológico.
- **La vitamina C:** es clave para ayudar a desintoxicar nuestro cuerpo y, cómo no, para evitar resfriados y gripes.

- **El potasio:** este elemento ayuda a nuestro sistema nervioso y muscular. El potasio lo convierte en un alimento perfecto para las personas con problemas diuréticos, pues ayuda eliminar el exceso de líquidos. **(Carlos Baixauli Soria, 2016)**

Se utiliza al tomate como producto fresco en ensaladas, relleno, en salmuera, frito, como guarnición. En industria tiene diferente aprovechamiento, como zumo, tomate triturado, frito, envasado entero, para pistos, para hacer tortas y pasteles.

1.3 Tipos de Tomate más comunes en Tarija

Existen más de un centenar de variedades de tomate en el mundo, destinados para la industria alimenticia. Pero las más conocidas en el departamento de Tarija son: Tomate Río Grande, más conocido en el departamento como Tomate Perita; y el Tomate Bella Rosa, más conocido en el departamento como Tomate Manzano.

En la siguiente **Figura 1.2**, se muestra las variedades de tomate más comunes en el departamento de Tarija.

Figura 1.3

Tomate Variedad Perita y Tomate Variedad Manzano



Fuente: Elaboración Propia, 2018

1.3.1 Tomate Río Grande

Conocido en el departamento de Tarija como tomate perita, presenta una forma ovalada y con un intenso color rojo, y de piel fina y lisa y pulpa consistente. Es un tomate con menor cantidad de humedad interna, lo que los hacen una variedad que tiene gran aceptación en la industria conservera, siendo así ideales para hacer con ellos tomates secos (El Huerto 2.0, 2011).

En la siguiente **Figura 1.3**, se muestra una de las variedades de tomate más conocidas en Tarija el tomate perita.

Figura1.4
Tomate Perita



Fuente: Elaboración propia, 2018

1.3.2 Tomate Bella Rosa

Conocido en el departamento de Tarija como Tomate Manzano, es de un color rojo brillante, casi esférico y muy resistente a plagas y enfermedades. Es un tomate jugoso, muy productivo, quizá de sabor medio, pero el problema que presenta es su

piel muy fina, con lo que los tomates se lesionan fácilmente al retirarlos de las plantas, por lo que la podredumbre actúa pronto sobre ellos (El Huerto 2.0, 2011).

En la **Figura 1.4**, se muestra la variedad de Tomate Manzano, una de las variedades más comunes en el departamento de Tarija.

Figura 1.5

Tomate Manzano



Fuente: El Huerto 2.0, 2014

1.4 Generalidades del Tomate Variedad Perita

1.4.1 Taxonomía del Tomate Variedad Perita

Es un fruto híbrido de la tomatera que recibe este nombre debido a su característica forma alargada y oblonga. El Tomate Pera es un tomate carnoso, dulce, sabroso y con una piel muy fina.

El fruto de tomate requiere de 40 a 60 días desde la floración para alcanzar la madurez completa. Una vez cuajado el fruto se desarrolla rápidamente hasta su tamaño normal en cerca de la mitad del tiempo de su periodo de maduración; durante el tiempo restante transcurren una serie de procesos de desarrollo que constituyen su maduración. (Scientific American 1988).

El almidón se acumula en el fruto a partir de los azúcares elaborados previamente en el o en sus proximidades. A medida que va madurando la planta, la clorofila se degrada progresivamente, lo que ocasiona un blanqueamiento del fruto, que es un buen precursor de la madurez; a lo largo de la semana siguiente se desarrolla el color rojo.

Los azúcares constituyen el 50 -70% de los sólidos totales y casi la totalidad de los sólidos solubles, los monosacáridos glucosa y fructuosa son lo más importantes. (Primo, 1979, 138).

Los componentes volátiles responsables del aroma son básicamente compuestos carbonilos, alcoholes de 3-6 átomos de carbono, hidrocarburos y alcoholes de cadena larga.

Figura 1.6

Planta Tomate Perita



Fuente: El Huerto 2.0, 2014

1.4.2 Propiedades del Tomate Variedad Perita

- **Ayuda a reducir el colesterol:** muchos son los alimentos con lo que, bien combinados, podemos obtener beneficios fantásticos sobre nuestra salud y concretamente sobre el colesterol. Si queremos reducir, una fórmula casi mágica es preparar una ensalada a base de tomate pera.

- **Fortalece nuestro sistema inmunitario:** evita resfriados y gripes tomando diariamente un tomate, especialmente indicado en invierno.
- **Nos ayuda a evitar infecciones y acabar con ellas:** si tienes una infección que no consigues que desaparezca, el tomate es un gran aliado.
- **Reduce el riesgo de cáncer:** entre los llamados alimentos anti cancerígenos, se destaca el tomate por su riqueza antioxidante.
- **Ayuda a regular el tránsito intestinal:** destacamos entre las propiedades del Tomate Perita su calidad para regular nuestro tránsito intestinal, mejorando las digestiones. (HORTAMAR, 2018)

1.4.3 Composición del Tomate Variedad Perita

En la Tabla I-6 se puede observar la composición física y química del tomate variedad perita (Revista colombiana de química, V 22 (1 y 2). 1992).

Tabla I-5

Composición física y química del tomate variedad perita

Componente	Porcentaje	Minerales	mg/100 gr.
Cascara	9.7	Fósforo	20.6
Pulpa,	68.4	Sodio	6.3
Semilla	4.7	Potasio	171.5
Humedad	93.5	Hierro	2.8
Extracto etéreo	0.06	Cobre	6.14
Fibra	0.66		
Proteína bruta	0.65		
Azúcar total	5.4		
Azucares reductores	4.16		
Cenizas	0.31		

Fuente: Revista colombiana de química, V 22 (1 y 2). 1992

En la **Tabla I-7**, se muestra la variación de las características fisicoquímicas del tomate variedad perita (Revista colombiana de química. V 22 (1 y 2). 1992), según el grado de madurez del tomate.

Tabla I-6

Variación de las características fisicoquímicas del tomate variedad perita

Parámetro	Grado de Madurez		
	Verde	Pintón	Maduro
Acidez gr. ac acético/100 gr.	0.43	0.39	0.32
Ph	4.24	4.25	4.45
Grados Brix	5.0	5.5	5.3
Vitamina C mg ac ascórbico/100 gr.	11.0	7.8	8.55
Dureza Kg./cm ²	14.2	11.6	6.7
Grado de madurez	10.9	14.0	16.8
Almidón gr/100 gr.	0.65	0.49	0.19

Fuente: Revista colombiana de química. V 22 (1 y 2). 1992

1.4.5 Propiedades Nutricionales del Tomate Variedad Perita

El tomate es un alimento poco energético que aporta apenas 20 calorías por 100 gramos. Su componente mayoritario es el agua, seguido de los hidratos de carbono. Se considera una fruta-hortaliza, ya que su aporte de azúcares simples es superior al de otras verduras, lo que le confiere un ligero sabor dulce.(Nature Choice, SAT, 2012),

En la siguiente **Tabla I-8** se muestra las propiedades nutricionales del tomate variedad perita (Nature Choice, SAT, 2012), a base de 100 gramos.

Tabla I-7

Propiedades Nutricionales del Tomate Pera

Componente	Valor nutricional en base a 100 gr.
Proteínas	1.20 gr.
Lípidos	0.15 gr.
Glúcidos	6.50 gr.
Valor energético	20 kcal.
Calcio	7.00 mg.
Hierro	0.60 mg.
Riboflavinas	0.05 mg.
Vitamina A	833.00 UI
Caroteno	0.05 mg.
Vitamina C	23.00 mg.
Fibra alimentaria	1.00 mg.

Fuente: NatureChoice, SAT, 2012

El tomate fresco es una fuente interesante de fibra, minerales como el potasio y el fósforo, y de vitaminas, entre las que se destacan la C, E, A.

- **La vitamina E:** al igual que la C, tiene acción antioxidante, y esta última además interviene en la formación de colágeno, glóbulos rojos, huesos y dientes. También favorece a la absorción del hierro de los alimentos y aumenta la resistencia frente las infecciones.(NatureChoice, SAT, 2012),
- **La vitamina A:** es especial para la visión, el buen estado de la piel, el cabello, las mucosas, los huesos y para el buen funcionamiento del sistema inmunológico, además de tener propiedades antioxidantes.(NatureChoice, SAT, 2012),

- **La niacina o vitamina B3:** actúa en el funcionamiento del sistema digestivo, el buen estado de la piel, sistema nervioso y en la conversión de los alimentos en energía.(NatureChoice, SAT, 2012),
- **El potasio:** es un mineral necesario para la transmisión y generación del impulso nervioso y para la actividad muscular normal, además de intervenir en el equilibrio de agua dentro y fuera de la célula.(NatureChoice, SAT, 2012),

1.5 Selección y Descripción del Proceso de elaboración de Harina de Tomate

1.5.1 Selección de Materia Prima

No es fácil disponer de suministros regulares de la materia prima para el tratamiento industrial. Esto se debe por una parte a lo estacional que por naturaleza resulta el suministro de materia prima (frutas, legumbres).

El desarrollo de variedades para el tratamiento industrial de los alimentos requiere considerar todos aquellos atributos de las materias primas que se reflejan luego en la calidad de los productos acabados. Los atributos importantes son: color, forma, textura y características de maduración. Por lo que la selección puede hacerse por las siguientes pautas.

- Selección según las características de color.
- Selección según las características de forma.
- Selección según las características de sabor.
- Selección según las características de maduración.

1.5.2 Selección del Tipo de Secado

El secado de alimentos es un proceso de remoción de humedad. Su objetivo consiste en mejorar la estabilidad de un producto al estar este almacenado, con un mínimo de requerimientos de empaque reduciendo los pesos para su transportación. (QuimiNet, 2010)

1.5.2.1 Métodos utilizados para la “Deshidratación de Tomate”

1.5.2.1.1 Deshidratación Solar

La deshidratación por exposición al sol es ampliamente practicada en los trópicos y subtropicos. La variante más común y económica de este método consiste en colocar el alimento sobre la tierra: acondicionada o alfombrada, o piso de concreto, quedando expuesto directamente al sol. La desventaja de esta manera, radica en la vulnerabilidad del alimento a la contaminación por polvo, infestación por insectos y hongos productores de aflatoxinas, pérdidas por animales y baja calidad de los productos obtenidos (Bala, 2004). El proceso de deshidratación mediante la exposición directa al sol puede requerir de 106 a 120 h (Saciliket *al.*, 2006).

Las ventajas de la deshidratación solar radican en los bajos costos de operación y en ser ecológicos, puesto que generalmente no utilizan energía eléctrica o derivada de combustibles fósiles (Bala y Woods, 1994).

Se han diseñado e instalado diferentes tipos de deshidratadores solares en diferentes regiones del mundo. En términos generales, los deshidratadores solares se pueden clasificar en dos tipos: los deshidratadores que utilizan exclusivamente fuentes de energía renovables y los deshidratadores que incluyen además fuentes de energía no renovable, ya sea como fuente suplementaria de calor o para favorecer la circulación de aire (Bala, 1998).

1.5.2.1.2 Deshidratación Osmótica

La deshidratación osmótica tiene la ventaja de mantener de mejor manera las características organolépticas (color, textura, sabor y aroma) y nutricionales (vitaminas, minerales y compuestos protectores) de los tomates, lo cual no se logra con la deshidratación térmica (Jiokapet *al.*, 2001).

La deshidratación osmótica también permite reducir los costos de producción, empaque y distribución de esta hortaliza (El- Aouaret *al.*, 2006). La deshidratación osmótica consiste en colocar el producto en contacto con una solución de azúcar y/o sal, a la cual se le denomina solución osmótica. Durante la deshidratación osmótica disminuye continuamente el contenido de agua en el tomate mientras el agente osmótico penetra en él (Huu-Thauanet *al.*, 2009).

1.5.2.1.3 Deshidratado con Microondas

Las microondas causan la polarización de moléculas y una movilidad intensa de sus electrones, debido a la conversión de energía electromagnética en energía cinética. A causa de este movimiento, los electrones chocan entre sí, generando calor como resultado de la fricción (Alibaset *al.*, 2007). La aplicación de microondas genera un calentamiento interno y una presión de vapor dentro del producto que suavemente “bombea” la humedad hacia la superficie, reduciendo la resistencia interna del alimento al movimiento de agua y causando su deshidratación (Turner y Jolly, 1991). La alta presión de vapor de agua que se genera en el interior del alimento expuesto a microondas puede inducir la formación de poros en el producto, lo cual facilita el proceso de secado (Feng *et al.*, 2001). Este método de deshidratación se ha vuelto común, porque previene la disminución de la calidad y asegura una distribución rápida y eficiente del calor en el alimento (Díaz-Maroto *et al.*, 2003). Con este método el tiempo de secado se reduce significativamente y se obtienen grandes ahorros de energía (Feng, 2002).

1.5.2.1.4 Deshidratado por Liofilización

Es un proceso industrial empleado para asegurar la estabilidad a largo plazo y para preservar las propiedades originales de los productos farmacéuticos y biológicos. Este proceso se aplicó recientemente para mejorar la estabilidad a largo plazo de las nanopartículas (Abdelwahedet *al.*, 2006). El liofilizado requiere la eliminación de agua de más de 99 % de una solución diluida inicialmente. La concentración de soluto total aumenta rápidamente y es una función de la temperatura solamente, es

por lo tanto independiente de la concentración de la solución inicial. El estado sólido del agua durante la liofilización protege la estructura primaria y la forma de los productos con una reducción mínima de volumen. Los compuestos volátiles, sales o electrolitos, sino forman una clase especial de excipientes, sales, acetato o bicarbonato, se eliminan fácilmente durante la etapa de sublimación del hielo y por lo tanto no permanecen en el producto deshidratado (Franks, 1998).

1.5.2.1.5 Deshidratado con Aire Caliente Forzado

El deshidratado con aire caliente forzado es el método más común para secar productos alimenticios, incluyendo tomates (Doymaz, 2007). En este método, el aire caliente remueve el agua en estado libre de la superficie de los productos (Schiffmann, 1995).

El secado o deshidratación consiste en la extracción del agua contenida en los alimentos por medios físicos hasta que el nivel de agua sea adecuado para su conservación por largos periodos.

Los tomates dedicados a la deshidratación deben estar sanos, maduros (color rojo) y de consistencia dura.

1.5.2.2 Selección del Secado según los tipos de Secadores más utilizados para alimentos

En la siguiente **Tabla I-9**, se muestra la selección del método de secado de acuerdo al producto a secar.

Tabla I-8
Tipos de Secadores más Utilizados para Alimentos

Producto	Tipo de Secador
Hortalizas, frutas, confitería	Bandejas y túnel
Hortalizas, frutas	Bandejas
Manzana, lactosa, almidón	Rotativos
Forrajes, granos, frutas, hortalizas, cereales de desayuno	Cinta
Café, leche, té, puré de frutas	Atomización (Spray)
Almidón, pulpa de frutas	Neumático
Café, esencias, extracto de carne, frutas y hortalizas	Congelación y vacío
Manzana y algunas hortalizas	Horno

Fuente: Sökhansanj y Jayas, Mujumdar. 1995.

1.5.2.2.1 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. Los calentadores pueden ser quemadores directos de gas, serpentines calentados por vapor o, en los modelos más pequeños, calentadores de resistencia eléctrica.

1.5.3 Molienda

La molienda es una operación unitaria que tiene como objetivo reducir el volumen promedio de las partículas de una muestra sólida, existiendo así la transferencia de movimiento exclusivo de los sólidos.

A pesar de que solo implica una transformación física de la materia sin alterar su naturaleza, es de suma importancia en diversos procesos industriales, ya que el tamaño de las partículas representa en forma indirecta áreas, que a su vez afectan las magnitudes de los fenómenos de transferencia entre otras. Considerando lo anterior, el conocimiento de la granulometría para determinado material es de importancia, consecuentemente. (Ramon Cruz, 2009)

La reducción se lleva a cabo dividiendo o racionando la muestra por medios mecánicos hasta el tamaño deseado.

Figura 1.7
Tomate en Polvo



Fuente: vegenat.es

1.5.4 Selección de Molienda

Existen diversas razones por la que es conveniente reducir el tamaño (molienda) de los alimentos en la industria alimentaria como ser el incremento de los usos del producto.

Para la selección de molienda tomamos en cuenta el tipo de alimento que se tenga, en este caso tenemos tomate deshidratado, que es un alimento con un porcentaje de agua elevado. Por lo tanto, se realiza un estudio y selección de molinos para tener un óptimo rendimiento en la molienda.

A continuación, tenemos la descripción de los molinos y la selección de los mismos según el tipo de fuerza que se aplica para cada tipo de alimentos.

1.5.4.1 Tipos de Fuerzas

El tipo de fuerza a emplear para lograr una reducción de tamaño depende del tipo de alimento que se tenga.

Para la reducción de tamaño se pueden emplear estos tipos de fuerzas:

- Fuerza de compresión: se utiliza para reducir sólidos duros a tamaños más o menos grandes.
- Fuerza de impacto: se utiliza para reducir sólidos a tamaños gruesos, medianos y finos.
- Fuerza de frotación, rozamiento o cizalla: se utiliza para producir partículas finas.

Fuerza de corte: se utiliza para obtener tamaños y formas definidos o eliminar partes sólidas.(Ramon Cruz, 2009).

1.5.4.2 Tipos de Molinos

Existen gran variedad de tipos de molinos, entre los que se encuentran:

- Molino de Bolas
- Molinos de Martillos
- Molinos de Discos
- Molinos de Rodillos. (Ramon Cruz, 2009).

1.5.4.2.1 Molino de Bolas

El molino de bolas es un tipo de molino utilizado para moler y mezclar materiales por ejemplo en procesos de adobado de minerales, pinturas, pirotecnia, cerámicos y sinterización de laser selectivo. Funciona por el principio de impacto y atrición: la reducción de medida se obtiene por impacto al caer las bolas desde arriba del cilindro.

Un molino de bolas consiste de un recipiente cilíndrico vacío que gira sobre su eje. El eje del cilindro puede ser tanto horizontal como tener un ángulo pequeño con la horizontal. Es parcialmente lleno de bolas las que pueden ser hechas de acero, acero inoxidable, cerámico, o goma. (Ramon Cruz, 2009).

1.5.4.2.2 Molino de Martillos

Los molinos de martillo consisten en una cámara circular en la cual se instalan martillos fijos a giratorios que rotan a alta velocidad molienda en grano. El grano molido pasa a través de un cernidor removible colocado en la base inferior de la cámara a un saco, o puede ser aspirado por un ventilador ubicado en la parte superior del canal de salida. La abertura de la malla en el cernidor determina el tamaño de las partículas: los agujeros de 1mm son apropiados para el consumo humano; los de 3mm, para la alimentación animal. (Ramon Cruz, 2009).

1.5.4.2.3 Molino de Discos

Los molinos de discos son ideales para la trituración fina en el rango medio de tamaño de partículas de sólidos blandos a duros, viscosos y sensibles a la temperatura. El material se tritura mediante presión y cizallamiento entre dos discos de molienda con un grueso dentado interno que actúan en sentido opuesto.

El molino oscilante de discos es ideal para la molienda extremadamente rápida de materiales blandos a duros, quebradizos, viscosos, fibrosos y húmedos a una granulometría para el análisis. La molienda se realiza mediante oscilaciones circulares del juego de la molienda sobre un plato oscilante con una presión extremadamente alta, impactos y abrasión. Para evitar el molesto desgaste, los juegos de molienda se presentan en acero de diferentes durezas, metal duro de carburo de tungsteno y óxido de circonio. (Ramon Cruz, 2009).

1.5.4.2.4 Molino de Rodillos

Un molino de rodillo consiste en un par de rodillos que giran en sentido opuesto. Uno de ellos gira más rápidamente que el otro, para permitir que las cascarras se desprendan del grano. Un rodillo esta sostenido por un soporte fijo, el otro se coloca en paralelo por medio de un resorte ajustable, de modo que la separación y, por lo tanto, la textura de molienda puede ser adaptada. Los molinos de rodillo por lo general operan en serie: cada uno produce una harina de grano más fino. Existe una distinción entre los elementos que intervienen en cada etapa. Si bien los pequeños molinos de rodillo se hallan disponibles, la tecnología utilizada resulta demasiado sofisticada y costosa para el área rural y, por lo general, se encuentra en las áreas urbanas para la producción de harina de trigo y maíz.

En la **Tabla I-10**, se muestra la matriz para seleccionar el tipo de molino según la fuerza aplicada por los mismos, y por el tipo de productos en los que se emplea.

Tabla I-9
Selección de Molino

TIPO DE MOLINO	FUERZA APLICADA	PRODUCTOS EN LOS QUE SE EMPLEA
De Bolas	Impacto y Cizalla	Harina de pescado, colorantes
De Martillo	Impacto	Verduras deshidratadas, especias, pimienta, maíz.
De Rodillos	Compresión y Cizalla	Refinado de chocolate, molienda de café, caña de azúcar, trigo, cebada.
De Discos	Cizalla e Impacto	Maíz, trigo, cacao, nuez moscada, especias.

Fuente: Elaboración Propia, 2017

1.5.5 Tamizado

El tamizado es uno de los métodos más antiguos para clasificar los materiales finos y los granulados mediante la distribución del tamaño de partícula. El tamizado consiste

básicamente en clasificar las partículas según su tamaño intermedio, es decir, su ancho o amplitud, utilizando cribas o tamices preferentemente de acero inoxidable.

Debido a la amplia gama de tamaños que se pueden dar en esta operación, es importante clasificarlas, para ello se utiliza el término de apertura de malla.

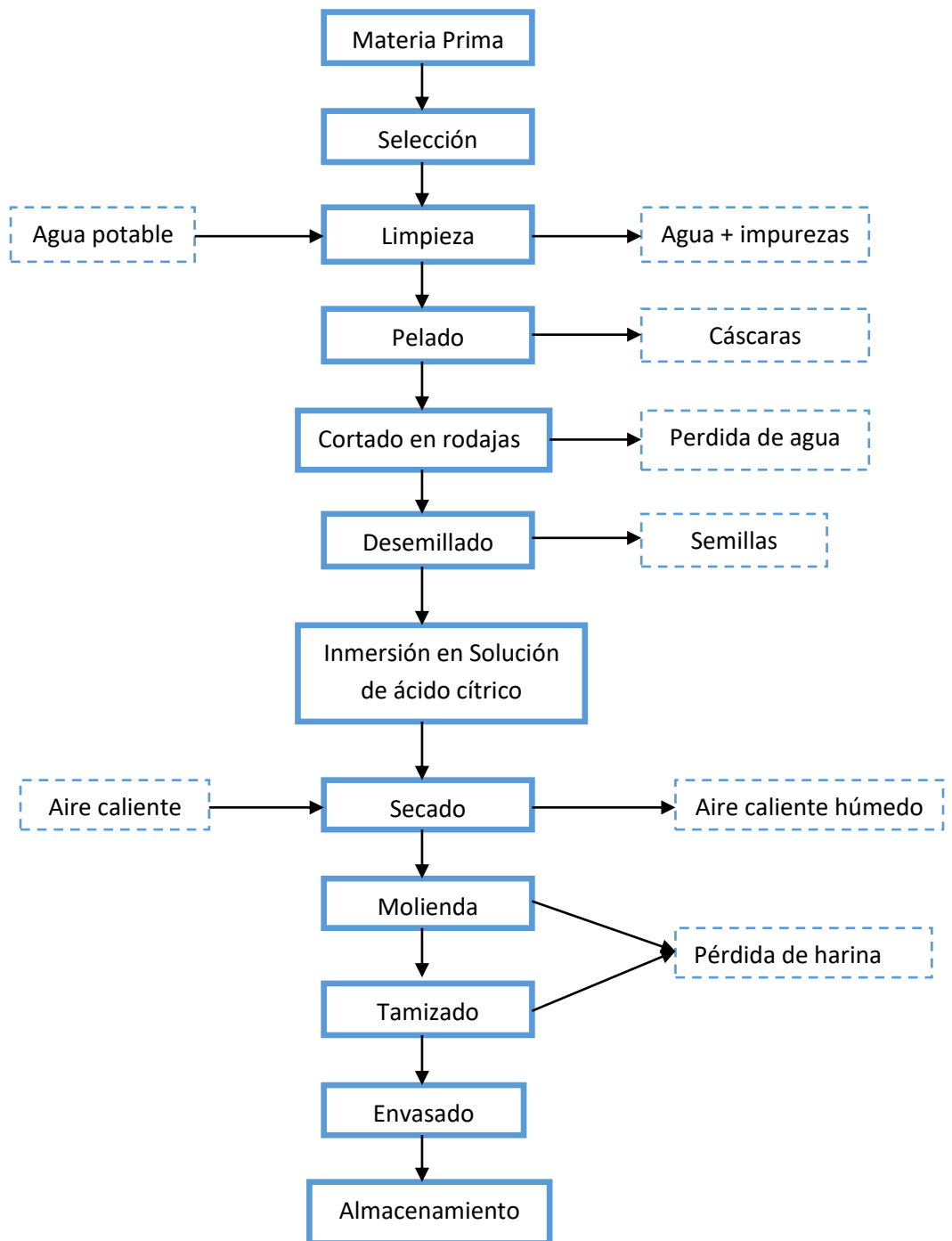
La separación de materiales sólidos por su tamaño es importante para la producción de diferentes productos.

Además de lo anterior, se utiliza para el análisis granulométrico de los productos de los molinos para observar la eficiencia de estos y para el control de molienda de diversos productos o materias primas.

El tamiz consiste de una superficie con perforaciones uniformes por donde pasaparte del material y el resto será retenido por él. (Farmacopea, 2010).

1.5.6 Proceso Seleccionado para la Elaboración de Harina de Tomate

Figura 1.8
Diagrama de bloques para la elaboración de harina de tomate



Fuente: Elaboración propia, 2017

CAPÍTULO II

2.1 Descripción y Análisis de Materia Prima

2.1.1 Materia Prima

La materia prima que se utiliza en la presente investigación es tomate, el cual es producido en el departamento de Tarija en distintas variedades de las cuales las más comunes son Tomate variedad Perita y Tomate variedad Manzano, los cuales son ampliamente producidos en el departamento por su demanda e importancia comercial (Cámara Agropecuaria de Tarija, CAT)

2.1.2 Selección de la variedad de tomate para la “Elaboración de Harina de Tomate”

La variedad de tomate seleccionada es el tomate perita porque es un fruto muy carnoso y de pulpa muy prieta y sabrosa, son los más recomendados para realizar deshidratado, tienen un potente color rojo y una piel gruesa. Son unas de las variedades más tempranas y con una humedad más baja que la del Tomate variedad Manzano. (Elaboración propia, 2018).

En la siguiente **Tabla II-1**, hacemos una comparación entre las variedades Perita y Manzano, según el porcentaje de humedad.

Tabla II-1
Porcentaje de Humedad

Variedad	% humedad
Perita	94,5
Manzano	96,9

Fuente: Elaboración Propia, CEANID 2018

2.1.3 Análisis Físicoquímico del Tomate

Para determinar los parámetros físicoquímicos del tomate variedad Perita, destinado a la Elaboración de Harina de Tomate, las muestras se llevan al CEANID (Centro de Análisis de Investigación y Desarrollo), para el respectivo análisis, los resultados se muestran en las siguientes tablas.

En la siguiente **Tabla II-2** se muestran los análisis físicoquímicos (pH y densidad) del tomate fresco, realizados en el CEANID

Tabla II-2
Propiedades Físicoquímicas del Tomate Perita Fresco

Análisis	Resultados	Unidades
Densidad	0,9525	Kg/m ³
pH	4,06	

Fuente: CEANID, 2018

En la siguiente **Tabla II-3**, se muestra los análisis físicoquímicos completos del tomate fresco realizado en el CEANID,

Tabla II-3
Análisis Físicoquímico de Tomate Variedad Perita Fresco

Componente	Composición	Unidad
Cenizas	0,63	%
Fibra	0,47	%
Materia grasa	0,01	%
Hidratos de carbono	5,48	%
Humedad	92,04	%

Proteína total	8,8	%
Valor energético	334,18	Kcal/100 g

Fuente: CEANID, 2018

Los resultados mostrados en las tablas anteriores fueron producto de un muestreo que se realiza del tomate adquirido del mercado del valle de Concepción; donde el tomate es proveniente de Calamuchita, del Valle de Concepción, La Higuera; lugares pertenecientes a la provincia Avilés del departamento de Tarija.

2.1.4 Porcentaje de Descarte antes de Entrar al Secado

El descarte son las partes del tomate no utilizadas, corresponde a la masa de las semillas y cáscara del tomate. Lo cual nos deja un producto libre de estas dos partes a lo que denominamos pulpa.

Los pesajes se realizaron en una balanza analítica (0,001 g de precisión), cuyas características son las siguientes:

Tabla II-4

Materia Sólida en Tomate Variedad Perita

Variedad	Madurez	Masa tomate fresco	Masa de la cascara	Masa de la semilla	Perdidas por agua	Masa materia solida	Porcentaje de materia solida (%)
perita	Rojo	119,1484	16,1737	16,9907	6,5068	79,477	66,7

Fuente: Elaboración Propia, 2018

2.1.5 Sólidos Solubles Totales del Tomate Variedad Perita

Los sólidos solubles totales nos ayudan a determinar la concentración de azúcares totales de una solución, los sólidos solubles se determinan con el índice de refracción, el cual se expresan con los grados brix (°Brix). Por muestra de un refractómetro.

En la **Tabla II-5**, se muestran los resultados de los análisis de sólidos solubles expresados en Grados Brix del tomate variedad Perita.

Para realizar estos análisis se utiliza el refractómetro digital.

En la Tabla II-5
Sólidos Solubles en Tomate Variedad Perita

Variedad	Madurez	Grados Brix
Perita	Rojo	6,1
	Rojo claro	4,9

Fuente: Elaboración Propia, 2018

En la siguiente **Figura 2.1**, se muestra al tomate variedad perita a diferente madurez utilizado para realizar los análisis

Figura 2.1
Tomate Variedad Perita a Diferente Madurez



Fuente: Elaboración Propia, 2018

2.2 Descripción del Método de Investigación

2.2.1 Selección de Materia Prima

La selección de materia prima se realiza considerando el grado de maduración del tomate variedad perita.

El grado de madurez de la materia prima es importante para controlar la calidad del producto final, así como la eficiencia del proceso.

En cuanto al grado de madurez sobre la eficiencia del proceso, se puede señalar que un exceso de madurez resulta una elevada proporción de sustancias desechadas, deterioro excesivo del producto y destrucción durante el almacenamiento.

La falta de madurez por otro lado, supone rendimientos menores y el producto final es probable que presente un color, gusto y textura inferiores a los requeridos.

Tomando en cuenta con lo descrito anteriormente, se selecciona un tomate de color rojizo no intenso, y no tomate totalmente maduro. Esto nos permite manipularlo con facilidad sin que se dañe, que en la industria es favorable por lo que permite el almacenamiento en galpones hasta ser procesado. Además, se tendrá mayor rendimiento en el proceso gracias a que se tiene un porcentaje de agua menor al totalmente maduro.

2.2.2 Tratamiento previo al Deshidratado de Tomate Variedad Perita

Los tratamientos previos son aquellos procesos físicos o químicos anteriores al deshidratado, que se aplican con la finalidad de evitar o minimizar el deterioro del alimento durante el secado, así como también mejorarla calidad y conservación del producto final.

El acidificado es un método muy empleado en el deshidratado de frutas para neutralizar el oscurecimiento o pardeamiento por oxidación y minimizar la pérdida de

las vitaminas A y C. El pardeamiento es un efecto indeseable que se presenta muy acentuadamente en frutas hortalizas a causa de reacciones enzimáticas. Para impedirlo, se somete a la fruta u hortaliza recién pelada a un baño de una solución de ácido durante 2 a 3 minutos. **Kozioł m. y Jiménez G. (2012)**

2.2.3 Método Seleccionado para el Deshidratado del Tomate variedad Perita

El deshidratado con aire caliente forzado es el método más común para secar productos alimenticios, incluyendo tomates (Doymaz, 2007). En este método, el aire caliente remueve el agua en estado libre de la superficie de los productos (Schiffmann, 1995).

El secado o deshidratación consiste en la extracción del agua contenida en los alimentos por medios físicos hasta que el nivel de agua sea adecuado para su conservación por largos periodos.

Los tomates destinados a la deshidratación deberán estar completamente sanos, maduros (color rojo) y tener consistencia dura.

2.2.4 Molienda de Tomate deshidratado

Para la selección de molienda tomamos en cuenta el tipo de alimento a moler, en este caso actual tenemos tomate deshidratado.

El tipo de molienda seleccionado para el tomate Perita deshidratado es el molino de martillos ya que este es un tipo de molino de impacto lo cual están indicados para los procesos de molienda de productos de dureza media, que no sean muy abrasivos y permitirá obtener un tamaño de partícula fina.

Por otra parte se tiene mayor accesibilidad a este tipo de molino, ya que se cuenta con el mismo en los laboratorios de química y CEANID.

2.2.5 Selección de la Malla del Tamiz

Para realizar el matizado del producto, se utilizará una serie de tamices TYLER, serie de tamices estandarizados usados para la medición del tamaño y distribución de las partículas en un rango muy amplio de tamaño desde 2 mm hasta 0,063 mm

En la **Tabla II-6**, se muestra una serie de tamices estándar TYLER que se encuentra en el Laboratorio de Operaciones Unitarias y se utiliza para realizar la determinación del tamaño de partícula de la harina de tomate.

Tabla II-6
Tamices Estándar

Malla	Abertura de Tamiz (mm)
1	2
2	1.5
3	1
4	0.5
5	0.25
6	0.063

Fuente: elaboración propia, 2018

2.3 Materia Prima y Reactivos

La materia prima y los reactivos que se utilizara en la “Elaboración de Harina de Tomate” son:

- **Materia Prima**

La materia prima que se utiliza en el presente trabajo de investigación es tomate variedad Perita.

- **Reactivos**

Para el presente trabajo de investigación se utiliza los siguientes reactivos:

- Agua destilada.
- Ácido cítrico.

- **Equipos y materiales de vidrio**

Para el presente trabajo de investigación se utiliza los siguientes materiales:

- Balanza analítica marca
- Balanza de determinación de humedad marca
- Estufa marca Binder
- Desecadora marca DURAN
- Refractómetro digital de Abbe “WYA-2S”
- Molino de martillos marca Perten
- Tamiz marca ORTO-ALRESA

2.4 Diseño Factorial

Para determinar el tiempo y temperatura de secado óptimo se utiliza un diseño experimental completamente al azar con un modelo factorial 3^2 . Los factores son tiempo y temperatura con tres niveles cada uno.

Donde las variables del diseño experimental para la presente investigación son:

Temperatura de secado:

$$T_1 = 45\text{ }^\circ\text{C}, \quad T_2 = 50\text{ }^\circ\text{C} \quad \text{y} \quad T_3 = 55\text{ }^\circ\text{C}$$

Tiempo de secado:

$$t_1 = 3\text{ h} \quad t_2 = 4\text{ h} \quad \text{y} \quad t_3 = 5\text{ h}$$

Como variable respuesta tenemos la humedad: % H

En la **Tabla II-7**, se muestran las combinaciones de las variables del diseño experimental para la elaboración del presente trabajo de investigación.

Tabla II.7
Diseño Factorial

Temperatura	Tiempo	% Humedad
-1	-1	%
-1	0	%
-1	1	%
0	-1	%
0	0	%
0	1	%
1	-1	%
1	0	%
1	1	%

Fuente: Elaboración propia, 2017

En la **Tabla II-8**, se muestran los resultados de humedad obtenidos de las combinaciones de las variables del diseño factorial.

Tabla II-8
% de humedad para cada ensayo

Ensayos realizados para la Elaboración de Harina de Tomate				
T °C		t (hora)		%H
45	-1	3	-1	17,36
45	-1	4	0	15,31
45	-1	5	1	15,09
50	0	3	-1	8,62
50	0	4	0	7,83
50	0	5	1	7,16
55	1	3	-1	6,84
55	1	4	0	6,45
55	1	5	1	6,38

Fuente: Elaboración propia, 2018

Observaciones:

Los resultados de los ensayos realizados muestran que los tratamientos para la temperatura de 45°C, la humedad del sólido es alta en comparación a las temperaturas de 50 ° C y 55 ° C. Entre los tratamientos de 50°C y 55°C la diferencia entre cada tratamiento es baja, y presentan el rango de humedad requerido para realizar el siguiente proceso (9%- 12%) de molienda fina; sin embargo, en los ensayos de la temperatura de 55°C se nota un ligero pardeamiento del tomate dando un aspecto más oscuro y con un ligero sabor amargo. Por otro lado, los ensayos realizados con la temperatura de 50°C sí presentan características organolépticas adecuadas, por lo que se escogió el tratamiento de una temperatura media (50°C y 5 horas de secado).

2.4.1 Análisis de varianza univariante

Factores inter-sujetos

		N
temp	-1,00	3
	,00	3
	1,00	3
tiempo	-1,00	3
	,00	3
	1,00	3

Pruebas de los efectos inter-sujetos

Variable dependiente: humedad

Origen	Suma de cuadrados tipo III	gl	Media cuadrática	F	Sig.
Modelo corregido	157,412 ^a	4	39,353	141,382	,000
Intersección	920,920	1	920,920	3308,563	,000
temp	154,199	2	77,100	276,994	,000
tiempo	3,212	2	1,606	5,770	,066
Error	1,113	4	,278		
Total	1079,445	9			
Total corregida	158,525	8			

a. R cuadrado = .993 (R cuadrado corregida = .986)

Regresión

[Conjunto_de_datos0]

Variables introducidas/eliminadas

Modelo	Variables introducidas	Variables eliminadas	Método
1	tiempo, temp ^a	.	Introducir

a. Todas las variables solicitadas introducidas.

Resumen del modelo^b

Modelo	R	R cuadrado	R cuadrado corregida	Error típ. de la estimación
1	,921 ^a	,848	,797	2,00379

a. Variables predictoras: (Constante), tiempo, temp

b. Variable dependiente: humedad

ANOVA^b

Modelo		Suma de cuadrados	gl	Media cuadrática	F	Sig.
1	Regresión	134,434	2	67,217	16,741	,004 ^a
	Residual	24,091	6	4,015		
	Total	158,525	8			

a. Variables predictoras: (Constante), tiempo, temp

b. Variable dependiente: humedad

Coefficientes^a

Modelo	Coeficientes no estandarizados		Coeficientes tipificados	t	Sig.	Intervalo de confianza de 95.0% para B	
	B	Error típ.	Beta			Límite inferior	Límite superior
1 (Constante)	10,116	,668		15,145	,000	8,481	11,750
temp	-4,682	,818	-,911	-5,723	,001	-6,683	-2,680
tiempo	-,698	,818	-,136	-,854	,426	-2,700	1,303

a. Variable dependiente: humedad

b.

Fuente: Elaboración Propia, 2018

2.5 Procedimientos y técnicas empleados para la obtención de los resultados

La parte experimental de la investigación para la “Elaboración de Harina de Tomate como Suplemento Alimenticio” se realiza en los predios del Centro de Análisis de Investigación y desarrollo (CEANID), y Laboratorio de Operaciones Unitarias (LOU) de la carrera de Ingeniería Química de U.A.J.M.S.

Los análisis de materia prima y producto final se realizan en el Laboratorio del Centro de Análisis de Investigación y Desarrollo (CEANID), dependiente de la Universidad Autónoma Juan Misael Saracho.

2.5.1 Materia Prima, Tomate Perita

La materia prima tal como se mencionó es Tomate variedad Perita, el cual se adquiere en el Valle de Concepción, y es llevado al Laboratorio del Centro de Análisis de Investigación y Desarrollo para su posterior procesamiento.

2.5.2 Selección de Materia Prima

Los tomates deben ser cuidadosamente seleccionados con un adecuado grado de madurez (firme al tacto, sanos y de color uniforme). Luego de ser cosechado el

transporte se debe realizar de forma inmediata, en pocas cantidades para que no sufran daños.

El grado de madurez es muy importante a la hora de seleccionar el tomate, ya que esta propiedad le dará el color característico (rojo) a la harina de tomate.

En la **Figura 2.2**, se muestra el Tomate variedad Perita con la madurez seleccionada para el proceso de elaboración de harina de tomate.

Figura 2.2

Tomate Variedad Perita con la Madurez Seleccionada



Fuente: Elaboración Propia, 2018

2.5.3 Limpieza

Se lavan los tomates previamente seleccionados para eliminar los restos de tierra o cualquier impureza no deseada. Se utiliza abundante agua potable a temperatura ambiente.

Después del lavado son puestos en reposo en recipientes de madera para eliminar el agua en exceso que queda durante el lavado, para su posterior pesaje para tomar registro de los tomates en buen estado que serán llevados a proceso.

2.5.4 Pelado del Tomate

El pelado se realiza de forma manual, ya que se necesita cantidades pequeñas para realizar los ensayos. Los elementos de corte deben estar afilados y limpios para evitar derrochar pulpa. Los tomates son acumulados en un recipiente para ser pesados nuevamente.

En la **Figura 2.3**, se muestra el procedimiento de pelado del tomate durante la parte experimental del presente trabajo de investigación.

Figura 2.3
Pelado del Tomate



Fuente: Elaboración Propia, 2018

El pelado o descascarado, se realiza principalmente, porque los productores de tomate de la provincia Avilés, en la zona del Valle de Concepción específicamente, utilizan pesticidas para protección de los cultivos, de insectos, malas hierbas y enfermedades, para que no dañen el fruto antes y después de la cosecha. Es en la cáscara donde se encuentra la mayor concentración de pesticidas, ya que esta recubre completamente la pulpa.

2.5.5 Cortado o troceado

El cortado del tomate se realiza de manera uniforme en rodajas, de forma manual, y con un espesor de 3mm. Al igual que en el pelado, en el cortado se utiliza elementos de corte afilados y limpios para evitar daños en las rodajas.

Una vez que se tiene las rodajas es llevado nuevamente a pesado para determinar las perdidas por agua durante el cortado.

En la **Figura 2.4**, se muestra el proceso de cortado de tomate y el tamaño de rodaja que se utiliza en la parte experimental del presente trabajo de investigación.

Figura 2.4
Tamaño de Rodaja del Tomate a Deshidratar



Fuente: Elaboración Propia, 2018

El cortado en rodajas se lo realiza con la finalidad de facilitar el secado, ya que, en rodajas delgadas, tiene una mayor superficie de contacto, para que el secado se produzca de manera más uniforme, y por lo tanto el tiempo de secado es más rápido.

2.5.6. Desemillado del Tomate Perita

La eliminación de las semillas del Tomate Perita se realiza en forma manual y cuidadosamente para evitar daños físicos en el producto ya que una vez desemillado se lo reserva en un recipiente para su posterior pesaje.

En la **Figura 2.5**, se muestra el desemillado de tomate de forma manual en el proceso de elaboración de harina de tomate.

Figura 2.5
Desemillado del Tomate



Fuente: Elaboración Propia, 2018

2.5.7 Inmersión en la Solución de Ácido Cítrico

Los tomates se sumergen en una solución de ácido cítrico por 2 min, para que forme una película de revestimiento en las rodajas con el fin de evitar la oxidación del tomate. Se utiliza inhibidor enzimático ácido cítrico, a una concentración de 0.2 %.

La solución se la prepara utilizando 0,2 gramos de ácido cítrico en un 99,8 ml de agua.

Las rodajas se dejan en reposo sobre mallas durante 15 min para eliminar el exceso de agua a causa de la inmersión en la solución acuosa, para que posteriormente sean llevadas a un nuevo pesado para conocer el peso real que será ingresado al secador.

2.5.8 Análisis de Humedad

Se determina la humedad con el fin de tener datos para realizar los posteriores cálculos necesarios en el presente trabajo de investigación.

Se determina la humedad de las rodajas de cada ensayo. La humedad promedio es de:
 $\%H = 94,5$

2.5.9 Secado

Una vez concluido la preparación y tratamiento previo del tomate, se colocan inmediatamente en bandejas de deshidratado acondicionadas, teniendo en cuenta lo siguiente:

Las rodajas de tomate fresco deben tener el mismo grosor y se debe colocar en una sola capa y evitar que las rodajas queden sobrepuestas unos con otras. También es recomendable dejar un pequeño espacio entre rodaja para facilitar el flujo de aire caliente y tener una mayor superficie de contacto.

El peso total de las rodajas, se divide entre el número de bandejas del secador (dos bandejas) para asegurar un secado homogéneo. Posteriormente se secaron las rodajas

a las temperaturas y tiempos mencionados, después se dejaron enfriar unos 5 min para poder recolectarlas manualmente en bolsas plásticas, almacenarlas hasta tener una masa considerable para realizar molienda de las mismas. (Elaboración propia, 2018)

En la **Figura 2.6**, se muestra el secador utilizado en la elaboración de harina de tomate. El secador se encuentra cargado de las rodajas de tomate listo para iniciar el proceso.

Figura 2.6
Secador por Convección Forzada



Fuente: Elaboración Propia, 2018

2.5.10 Molienda

Una vez que se termina el secado, se retira el tomate deshidratado del secador en un desecador y se deja enfriar completamente para posteriormente colocarlos en bolsas con cierre hermético para evitar que estos vuelvan a adquirir la humedad del ambiente.

Las rodajas de tomate deshidratado son introducidas al molino de martillo. El cual consiste en hojas afiladas de acero inoxidable que rotan rápidamente dentro de un cilindro cerrado y con una apertura cubierta por un tamiz en su parte inferior. Una vez

que el tomate se encuentre dentro del molino, éste opera a una velocidad de 4 pulsaciones, en un tiempo de 2 min., para una masa de 100gde tomate deshidratado. Donde se obtiene un producto totalmente pulverizado.

En la **Figura 2.7**, se muestra el molino de martillo de marca Perten utilizado en la molienda del tomate deshidratado y la harina de tomate.

Figura 2.7
Molino de Martillos y Harina de Tomate



Fuente: Elaboración Propia, 2018

2.5.11 Tamizado

Existe un primer tamizado que se realiza de forma directa en el molino de martillo. Ya que este cuenta con un tamiz en la parte inferior con un numero de malla de 0,5

mm. Este molino realiza una molienda de tipo de fuerza de impacto lo cual deja un producto totalmente pulverizado.

Un segundo tamizado lo llevamos a cabo en un tamiz vibratorio que se encuentra en el Laboratorio de Operaciones Unitarias (LOU). En esta etapa de tamizado determinamos tamaño de partícula realizando una comparación con la sopa instantánea de tomate de la marca KRIS. Pero además cumpliendo con la norma boliviana 39012:2002 para la determinación del tamaño de la partícula o granulometría para harinas de origen vegetal.

En la **Figura 2.8**, se muestra el modelo de tamiz de marca ORTO-ALRESA que se utiliza en la elaboración de harina de tomate.

Figura 2.8
Tamiz



Fuente: Elaboración Propia, 2018

2.5.12 Determinación del tamaño de partícula de la “Harina de Tomate”

Para la determinación de partícula de la “Harina de Tomate” tomamos como referencia la Norma Boliviana 39012:2002 para la determinación del tamaño de la

partícula o granulometría para harinas de origen vegetal y se realiza una comparación con la sopa instantánea preferentemente de tomate de la marca KRIS.

Por otro lado, para determinar el tamaño de partícula, el tamizado del producto obtenido de la molienda se lo realiza en el Laboratorio de Operaciones Unitarias de la carrera de Ingeniería Química. Para ello realizamos el tamizado para ambas muestras a una velocidad de 4 pulsaciones en un tiempo de 25 minutos.

Se realiza el tamizado de la sopa instantánea, y se determina el tamaño de tamiz que se utiliza para el tamizado de la harina de tomate, y de esa manera determinar un tamaño promedio de partícula y luego compararlos.

La comparación de ambas muestras se lleva a cabo a través de la clasificación por tamaños de partícula.

2.5.13 Envasado

El proceso de envasado de la harina de tomate se lo realiza colocando las muestras manualmente en bolsas de polipropileno con cierre hermético, con el fin de conservar las propiedades del producto obtenido y evitar la rehidratación con el medio ambiente.

2.6 Análisis de la Harina de Tomate

Para la evaluación del control de calidad de la “Harina de Tomate” como suplemento alimenticio se realiza una evaluación sensorial y análisis fisicoquímicos.

2.6.1 Evaluación Sensorial

Para realizar el análisis sensorial, se utiliza la tipología de análisis del consumidor.

Este tipo de análisis suele denominar también test hedónico y se trata de evaluar si el producto agrada o no, este caso trata de evaluadores no entrenados, las pruebas deben ser lo más espontaneas posibles.(Edna Elizabeth González Díaz, 2007).

La prueba sensorial se lleva a cabo en dos etapas, una inicial para la evaluación de la harina en estado puro, en este caso se llevan a cabo pruebas de tomate deshidratado, para seleccionar la muestra más aceptable por el consumidor y posteriormente llevarla al proceso de molienda. La segunda parte que se evalúa las aplicaciones realizadas con dicha harina previamente seleccionada.(Edna Elizabeth González Díaz, 2007).

Para realizar la evaluación sensorial, se selecciona 10 jueces al azar, los cuales evaluarán a la harina en su estado puro tomando en cuenta el aspecto, aroma, sabor y color, y también se evaluará a cada una de las aplicaciones donde se utiliza la harina de tomate como ingrediente principal.

Para la selección de la harina se utiliza la prueba sensorial convencional donde el participante cuenta con posibles respuestas correspondientes a cada característica que se evalúa de la “Harina de Tomate”.

El grado de aceptabilidad se registrará según la siguiente escala hedónica de Likert, ésta escala consiste en una lista ordenada de posibles respuestas correspondientes a distintos grados de satisfacción equilibrada alrededor de un punto neutro. El consumidor marca la respuesta que mejor le refleja su opinión sobre el producto. (Edna Elizabeth González Díaz, 2007).

2.6.2 Análisis Físicoquímico

El análisis de las propiedades físicoquímicas de la “Harina de Tomate”, es uno de los aspectos principales en el aseguramiento de su calidad. Cumple un papel importante en la determinación del valor nutricional del producto final.

En la **Tabla II-9**, se muestra los análisis físicoquímicos de la harina de tomate realizados en el CEANID.

Tabla II-9
Análisis Fisicoquímicos de la Harina de Tomate

Componente	Composición	Unidades
Cenizas	0,63	%
Fibra	0,47	%
Materia grasa	0,01	%
Hidratos de carbono	5,48	%
Humedad	92,04	%
Proteína total	8,8	%
Valor energético	334,18	Kcal/100g

Fuente: CEANID, 2018.

CAPITULO III

3.1 Resultados obtenidos de la parte Experimental de ‘‘Elaboración de Harina de Tomate como Suplemento Alimenticio’’

3.1.1 Variación de la masa en peso con el tiempo

En la **Tabla III.1**, se muestra la variación de la masa de materia prima con respecto al tiempo de secado.

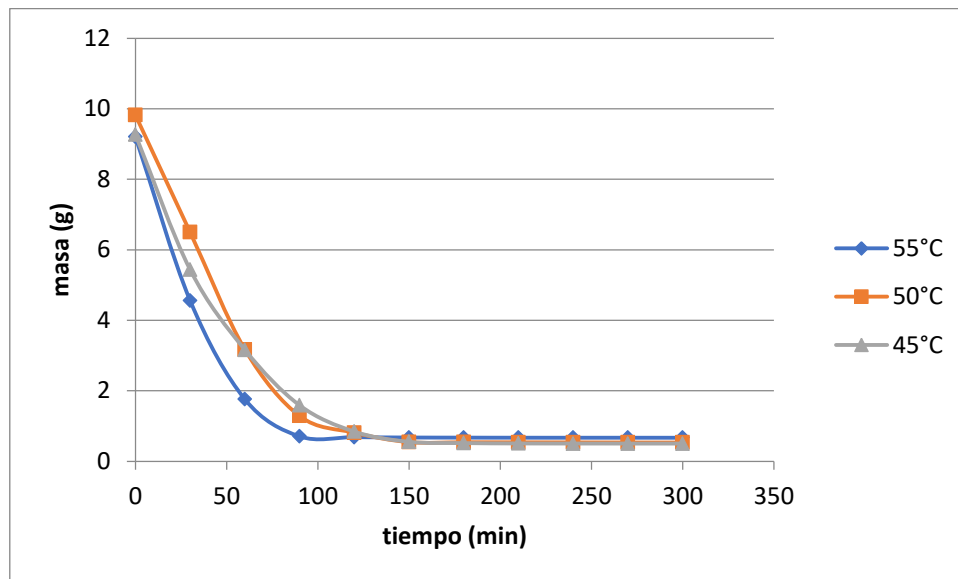
Tabla III-1
Variación de la Masa con Respecto al Tiempo

Tiempo (min)	Masa (g) para una T=55°C	Masa (g) para una T=50°C	Masa (g) para una T=45°C
0	9,2055	9,8212	9,2685
30	4,5594	6,4974	5,4361
60	1,7606	3,1726	3,1631
90	0,7066	1,2852	1,5881
120	0,6849	0,8111	0,8417
150	0,6745	0,5433	0,5525
180	0,671	0,5406	0,516
210	0,6686	0,5382	0,5059
240	0,6682	0,536	0,5035
270	0,6679	0,5327	0,5028
300	0,6677	0,5321	0,5022

Fuente: Elaboración Propia, 2018

En la **Figura 3.1** se muestra la variación de la masa en peso con relación al tiempo.

Figura 3.1
Masa vs Tiempo



Fuente: Elaboración propia, 2018

3.1.2 Variación de la Humedad de la Materia Prima con el Tiempo

Para el cálculo de la humedad del sólido en cada intervalo de tiempo se hace uso de las siguientes ecuaciones extraídas del libro Ocon y Tojo "Problemas de Ingeniería Química tomo II"

$$H = \frac{m_0 - m_{ss}}{m_{ss}} * 100\% \quad (\text{Ec.: 3.1})$$

Dónde:

%H: porcentaje de humedad.

m_o : masa inicial del sólido.

m_{ss} : masa del sólido seco.

Realizamos los cálculos correspondientes para los ensayos realizados en la parte experimental.

Para el ensayo 1 (45°C) y un tiempo t_0 , tenemos:

$$H = \frac{9,2685 - 0,4264}{9,2685} * 100\% = 95,39\%$$

Para el ensayo 1 (45°C) y un tiempo t_1 , tenemos:

$$H = \frac{5,4361 - 0,4264}{5,4361} * 100\% = 92,1561\%$$

Se realiza el mismo procedimiento para todos los intervalos de tiempo de todos los ensayos.

De esta manera se conoce la humedad de los ensayos a distintas temperaturas y con los diferentes intervalos de tiempo.

En la **Tabla III-2** se muestran las distintas combinaciones de temperatura y tiempo para los 9 ensayos.

Tabla III-2**Ensayos realizados en la elaboración de harina de tomate**

Número de ensayos	Temperatura (°C)	Tiempo (hora)
1	45	3
2	45	4
3	45	5
4	50	3
5	50	4
6	50	5
7	55	3
8	55	4
9	55	5

Fuente: Elaboración propia, 2018

En la **Tabla III-3** se muestra la variación de la humedad con relación a los intervalos de tiempo propuestos en la parte experimental para la “elaboración de harina de tomate como suplemento alimenticio”.

Tabla III-3**Variación de la Humedad vs tiempo**

Numero de ensayos	Temperatura (°C)	tiempo (hora)	Humedad
1	45	3	17,3643
2	45	4	15,3128
3	45	5	15,094
4	50	3	8,6201
5	50	4	7,8358
6	50	5	7,1603

7	55	33	6,8405
8	55	4	6,4500
9	55	5	6,3801

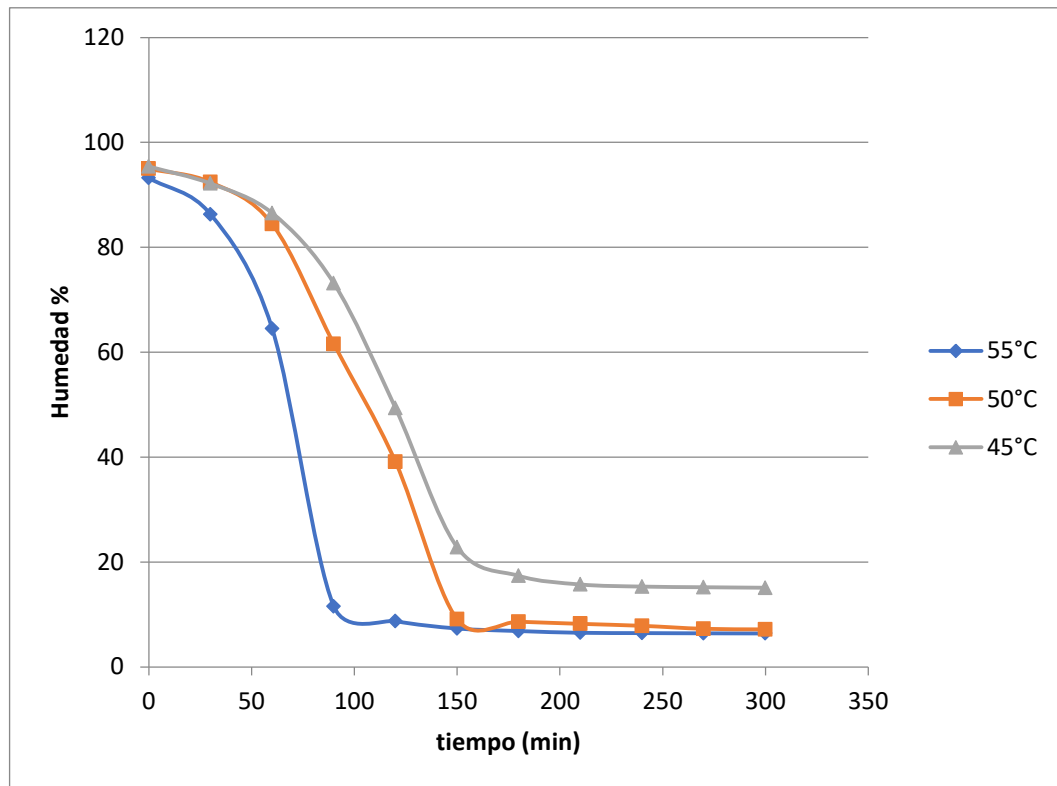
Fuente: Elaboración propia, 2018

En la anterior tabla se observa que los rangos de humedad del tomate deshidratado idóneos para realizar el proceso de molienda para la elaboración de harina de tomate se encuentran en las temperaturas de 50°C y 55°C, tal como se muestra en la teoría de humedad de harinas en el Capítulo I.

Se realiza un mejor análisis de los distintos ensayos experimentales con la construcción de la curva de variación de la humedad con relación al tiempo (H vs tiempo):

En la **Figura3.2** se muestra la variación de la humedad con respecto al tiempo para los ensayos realizados en la parte experimental del proyecto.

Figura3.2
Humedad vs tiempo



Fuente: Elaboración propia, 2018

3.1.3 Contenido de Humedad en Base Seca

En los cálculos de secado resulta más conveniente referir la humedad a base seca, debido a que ésta permanece constante a lo largo del proceso de secado. Por tanto, entendemos por humedad de un sólido al peso de agua que acompaña a la unidad de peso de sólido seco (Ocon y Tojo, 1970).

Para realizar el cálculo del contenido de humedad en base seca se hace uso de la siguiente ecuación 3.2, también extraída del libro de Problemas de Ingeniería Química, Ocon y Tojo Tomo II.

$$X = \frac{m_o - m_{ss}}{m_{ss}} \text{ (Ec.: 3.2)}$$

Dónde:

X: es el contenido de humedad en base seca (Kg de agua / Kg de sólido seco)

m_o : masa inicial

m_{ss} : masa del sólido seco

En la **Tabla III-4**, se muestra la variación de la humedad en base seca con respecto al tiempo de secado de cada ensayo.

Tabla III-4
Variación de la Humedad en Base Seca Vs tiempo

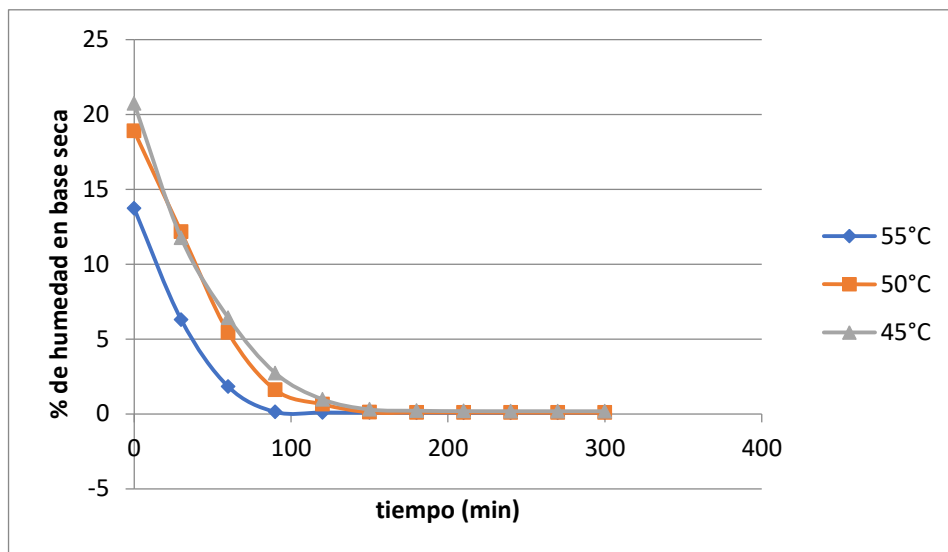
Numero de ensayos	Temperatura (°C)	tiempo (hora)	Masa (g)	Humedad base seca (Kg de agua/kg de ss.)
1	45	3	0,516	0,2101
2	45	4	0,5035	0,1808
3	45	5	0,5022	0,1778
4	50	3	0,5406	0,0943
5	50	4	0,536	0,085
6	50	5	0,5321	0,0771

7	55	3	0,671	0,0734
8	55	4	0,6682	0,0689
9	55	5	0,6677	0,0681

Fuente: Elaboración propia, 2018

Para un mejor análisis de datos con la construcción de la **Figura 3.3**, se muestra la variación de la humedad en base seca con respecto al tiempo de secado.

Figura 3.3
Humedad En Base Seca vs tiempo



Fuente:

Elaboración propia, 2018

Se concluye que el menor porcentaje de humedad en base seca se encuentra en los ensayos a las temperaturas de 50°C y 55°C, lo cual son las más favorables para la construcción de la cinética de secado.

Con las pruebas sensoriales que se realizan para seleccionar un producto, el ensayo seleccionado para su posterior estudio es el ensayo número 5 a temperatura de 50°C y tiempo de secado de 4 horas.

Con respecto a los datos obtenidos en los ensayos y que se encuentran tabulados en anteriores **Tablas III-2 y Tabla III-3**, se ve que a mayor temperatura, menor es el tiempo que se necesita para el secado.

3.2 Cálculo de la Cinética de Secado para el Proceso de Elaboración de Harina de Tomate

Como base para el suplemento es necesario obtener harina de tomate con las características físicas y organolépticas ideales para la posterior mezcla con otros ingredientes.

Para determinar el tiempo y temperatura de secado óptimo se realiza un diseño experimental completamente al azar con modelo factorial 3^2 .

Después del secado se analiza la humedad final de cada tratamiento. El rango de humedad experimental de las rodajas necesario para el posterior procesamiento es de 7 % a 9% ya que a esta humedad las rodajas poseen características organolépticas deseadas como tonalidades brillantes en pulpa, además de sabor y olor agradable a tomate.

Las pruebas organolépticas del producto permiten advertir diferencias entre los productos probados. La temperatura y tiempo de secado influyen en la humedad final del tratamiento.

Tabla III-5
Humedad de los Tratamientos

Tratamientos	% Humedad	
1	45°C	17,3643
2	45°C	15,3128
3	45°C	15,094
4	50°C	8,6201
5	50°C	7,8358
6	50°C	7,1603
7	55°C	6,8405
8	55°C	6,4500
9	55°C	6,3801

Fuente: Elaboración Propia, 2018

Donde el ensayo seleccionado por las pruebas organolépticas es el 5 con una temperatura de 50°C y tiempo de secado de 4 horas. Que además se encuentra entre el porcentaje de humedad requerido por bibliografía para la harina.

Por ello es que todos los cálculos de la cinética de secado se mostrarán en función del ensayo 5.

Se define la velocidad de secado por la pérdida de humedad del sólido húmedo en la unidad de tiempo, y más exactamente por el cociente diferencial $-\frac{dX}{d\theta}$ operando en condiciones constantes de secado, es decir con aire cuyas condiciones temperatura, presión, humedad y velocidad permanecen constantes con el tiempo (Ocon J. y Tojo G., 1980).

Analíticamente, la velocidad de secado se refiere a la unidad de área de superficie de secado, de acuerdo con la ecuación:

$$w = \frac{S}{A} \left(-\frac{dX}{d\theta} \right) \quad (\text{Ec.: 3.3})$$

Donde:

w = velocidad de secado.

S = peso de sólido seco.

A = área de la superficie expuesta.

El contenido de humedad de un sólido puede expresarse sobre base seca y base húmeda. En los cálculos de secado resulta más conveniente referir la humedad a base seca, debido a que ésta permanece constante a lo largo del proceso de secado (Ocon J. y Tojo G., 1980).

Por lo tanto, para los siguientes cálculos en el presente proyecto, se utiliza los datos de humedad en base seca para el cálculo de la cinética de secado.

3.2.1 Método de los Tres Puntos

El presente método analítico de los tres puntos es empleado para encontrar la pendiente en los puntos de una curva, el cual basa su análisis en la agrupación de tres puntos equidistantes.

Para realizar el cálculo de la cinética de secado por el método ya mencionado, se hace el uso de tres ecuaciones fundamentales:

$$Y'_0 = \frac{-3Y_0 + 4Y_1 - Y_2}{2h} \quad (\text{Ec.: 3.4})$$

$$Y'_1 = \frac{-Y_0 + Y_2}{2h} \quad (\text{Ec.: 3.5})$$

$$Y'_2 = \frac{Y_0 - 4Y_1 + 3Y_2}{2h} \quad (\text{Ec.: 3.6})$$

Donde:

Y_0^l, Y_1^l y Y_2^l , son datos que se obtienen en el ensayo los cuales son representados por los distintos puntos de X para su respectivo cálculo.

Se plantea un modelo potencial para la representación de la humedad en función del tiempo, en el cual se relaciona la humedad de secado con la humedad del sólido en la siguiente ecuación:

$$y = ax^n \quad (\text{Ec.: 3.7})$$

Para determinar la velocidad de secado en base de los datos obtenidos en la práctica de humedad vs tiempo se toma como base que la pendiente del cambio de humedad es:

$$y = -\frac{dx}{dt} \quad (\text{Ec.: 3.8})$$

Ya con los datos obtenidos en la práctica de laboratorio, se utiliza el método de los tres puntos para determinar la cinética de secado del tomate variedad perita con la siguiente ecuación:

$$y = -\frac{dx}{dt} = kX^n \quad (\text{Ec.: 3.9})$$

Donde:

k = constante para la cinética

n = orden de la cinética

Como se menciona anteriormente los cálculos se realizan en función al ensayo F, por lo tanto, se reemplaza los datos del ensayo en las tres ecuaciones fundamentales del método de los tres puntos.

En la **Tabla III-6**, se muestra los resultados del cálculo realizado del ensayo F con el método de los tres puntos para el cálculo de la cinética de secado.

Tabla III-6
Resultados Obtenidos con el Uso de las Ecuaciones Fundamentales de los Tres Puntos

tiempo (hora)	X _{hbs}	Y ¹ = dx/dt	Y ¹ = -dx/dt	LnX _{hbs}	Ln(Y ¹ = -dx/dt)
0	18,881	-13,45	13,45	2,94	2,60
0,5	12,1526	-13,45	13,45	2,50	2,60
1	5,4223	-10,52	10,52	1,69	2,53
1,5	1,6016	-4,78	4,78	0,47	1,56
2	0,6419	-1,56	1,56	-0,44	0,45
2,5	0,0998	-0,61	0,61	-2,31	-0,49
3	0,0943	-0,01	0,01	-2,36	-4,61

3,5	0,0895	-0,008	0,008	-2,41	-4,83
4	0,085				
4,5	0,0784				
5	0,0771	-0,002	0,002	-2,56	-6,21

Fuente: Elaboración propia, 2018

Los cálculos más detallados correspondientes a este método se encuentran en el Anexo G.

En el cálculo de la cinética de secado las pendientes deben correlacionarse con la variación de la humedad, linealizando la ecuación potencial planteada de la siguiente manera:

$$\ln\left(-\frac{dx}{dt}\right) = \ln k + n \ln x$$

$$y = a + bx$$

Donde:

$$n = B$$

$$A = \ln k$$

$$k = e^A$$

Reemplazando los resultados tenemos:

$$A = 1,179$$

$$B = 0,46$$

$$k = e^A$$

$$k = 3,25$$

$$B = n = 0,46$$

$$\ln y = A + B X$$

$$\ln \left(-\frac{dx}{dt}\right) = \ln k + n \ln X$$

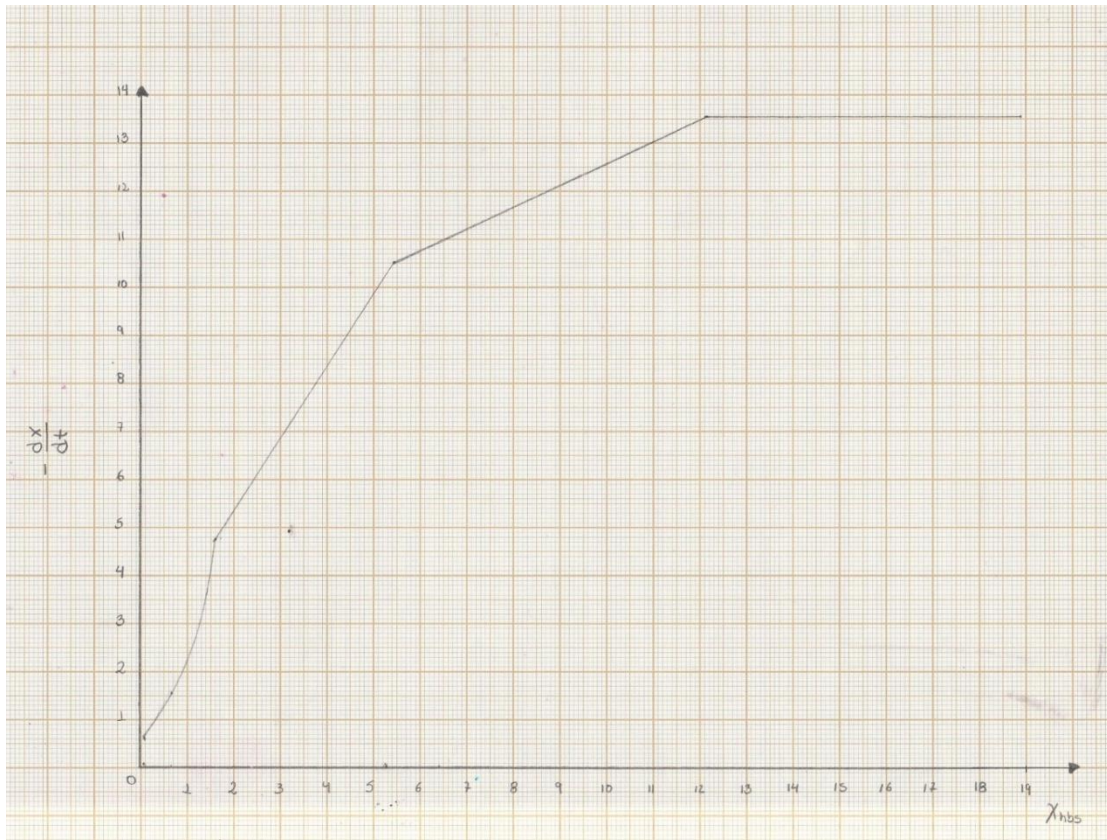
$$\left(-\frac{dx}{dt}\right) = k X^n$$

$$\left(-\frac{dx}{dt}\right) = 3,25 X^{0,46} \text{kg}/(\text{m}^2 \text{min}) \text{ (Ec.: 3.10)}$$

3.3 Cálculo del tiempo de secado

En la **Figura 3.4**, se muestra la curva de velocidad de secado $\text{kg}/(\text{m}^2 \text{min})$ vs el contenido de humedad en el tomate X , (kg/kg).

Figura 3.4

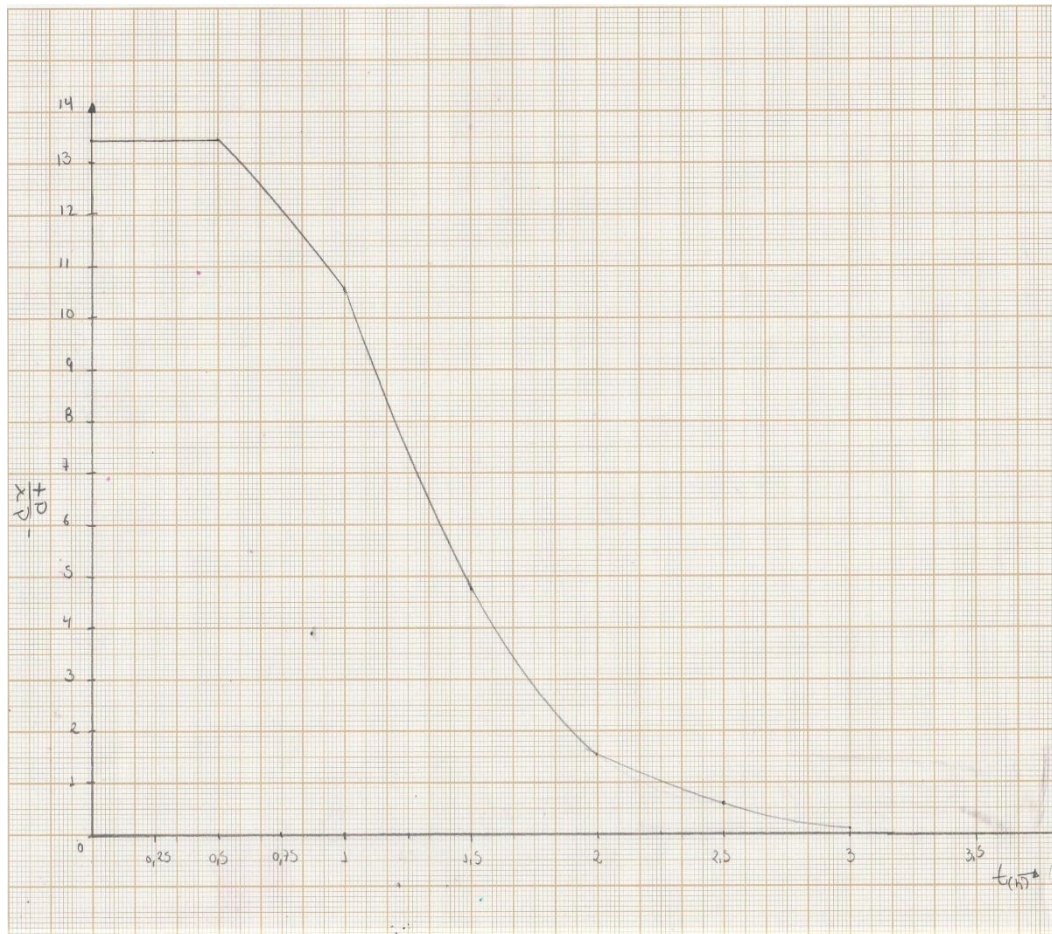


Velocidad de secado vs Humedad %

Fuente: Elaboración propia, 2018

En la **Figura 3.5**, se muestra la curva de velocidad de secado $\text{kg}/(\text{m}^2 \text{ min})$ vs el tiempo de secado del tomate t (h).

Figura 3.5
Velocidad de secado vs tiempo



Fuente: Elaboración propia, 2018.

Para el cálculo del tiempo de secado se emplea la ecuación 3.10, que se obtiene de la cinética de secado, que reemplazando valores se tiene lo siguiente:

$$\left(-\frac{dx}{dt}\right) = k X^n$$

$$\left(-\frac{dx}{dt}\right) = 3,25 X^{0,46} \text{kg/ (m}^2 \text{ min)}$$

$$dt = -\frac{dx}{kX^n} \quad \Rightarrow \quad t = -\int_{x_0}^{x_f} \frac{dx}{kx^n}$$

Donde:

x_f = fracción de contenido de humedad en base seca final.

x_0 = fracción de contenido de humedad en base seca inicial.

t = tiempo óptimo de secado

$$t = -\frac{1}{k} \int_{x_0}^{x_f} \frac{dx}{x^n} \quad \Rightarrow \quad t = -\frac{1}{(3,25 \times 0,54)} (0,0784^{0,54} - 18,881^{0,54})$$

$$t = 2,64 \text{ h}$$

3.4 Evaluación Sensorial

La escala hedónica es un método que permite medir el nivel de agrado o desagrado por un producto. Un aspecto importante de este método es que por su sencillez puede ser aplicado a consumidores en general. La muestra es presentada y se le pide al juez que la evalúe mediante la escala que se le presenta. (Chambers y Baker, 1996).

Las escalas hedónicas siempre deben contener un número impar de puntos y se debe incluir el punto "ni me gusta, ni me disgusta". La escala puede ampliarse a 5, 7 o 9 puntos simplemente añadiendo diversos grados de gusto o disgusto. (Anzaldúa-Morales, 1983).

Los valores numéricos obtenidos pueden ser tratados como cualquier dimensión física y, por lo tanto, graficados, promediados o sometidos a análisis de varianza, análisis de regresión. (Anzaldúa-Morales, 1983).

3.4.1 Metodología

La prueba de degustación se desarrolla en el ambiente del Laboratorio de Operaciones Unitarias LOU de la carrera de Ingeniería Química de la Facultad de Ciencias y Tecnología U.A.J.M.S.

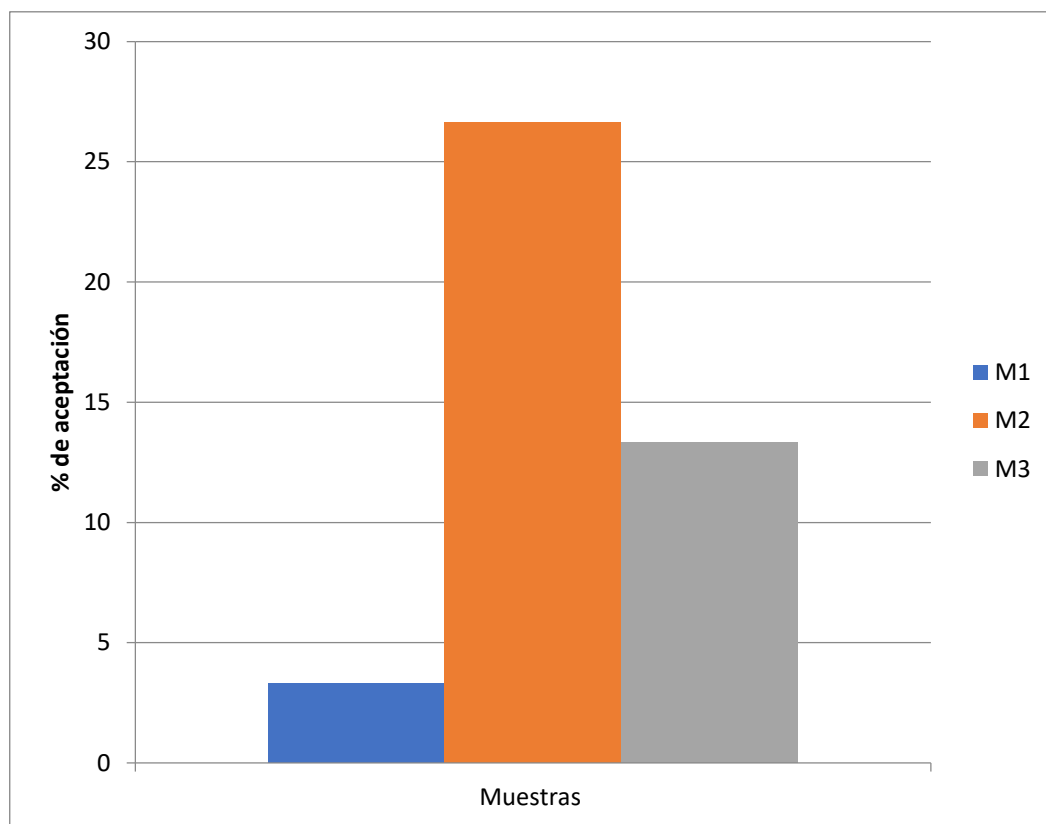
Se evaluaron tres muestras que consistían en tomates deshidratados que se encontraban con la humedad aceptable para su posterior procesamiento, las muestras fueron evaluadas en sabor, color y olor.

3.4.2 Evaluación del Color

En la evaluación del color tiene un porcentaje de 33,33% en importancia dentro de las propiedades características del tomate deshidratado evaluadas. Donde la muestra con mayor grado de aceptación es la muestra M2 con un 26,5 %.

En la siguiente **Figura3.6**, se muestran los promedios obtenidos de la evaluación del color de cada muestra.

Figura 3.6
Evaluación del color del “tomate deshidratado”



Fuente: Elaboración Propia, 2018

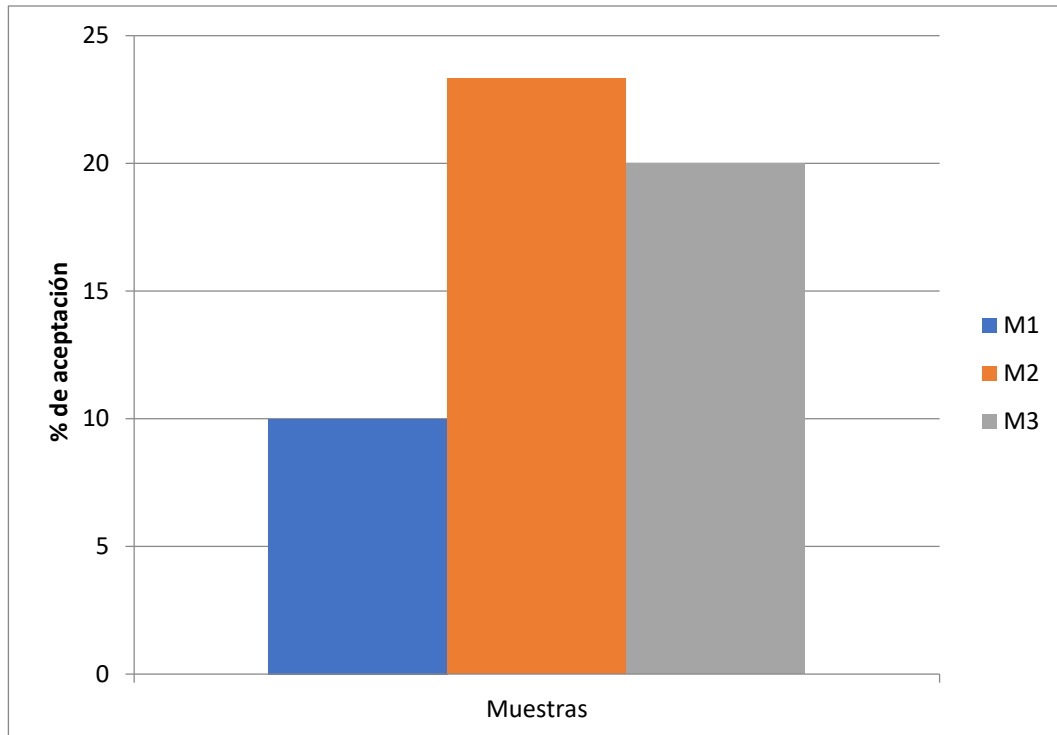
3.4.3 Evaluación del Olor

En la evaluación de olor tiene un porcentaje de 33,33% en la importancia dentro de las propiedades características del tomate deshidratado evaluadas. donde la muestra con mayor grado de aceptación es la muestra M2 con un porcentaje de 23 %.

En la **Figura 3.7** se muestran los promedios obtenidos de la evaluación del olor de cada muestra.

Figura 3.7

Evaluación del olor del “tomate deshidratado”



Fuente: Elaboración Propia, 2018

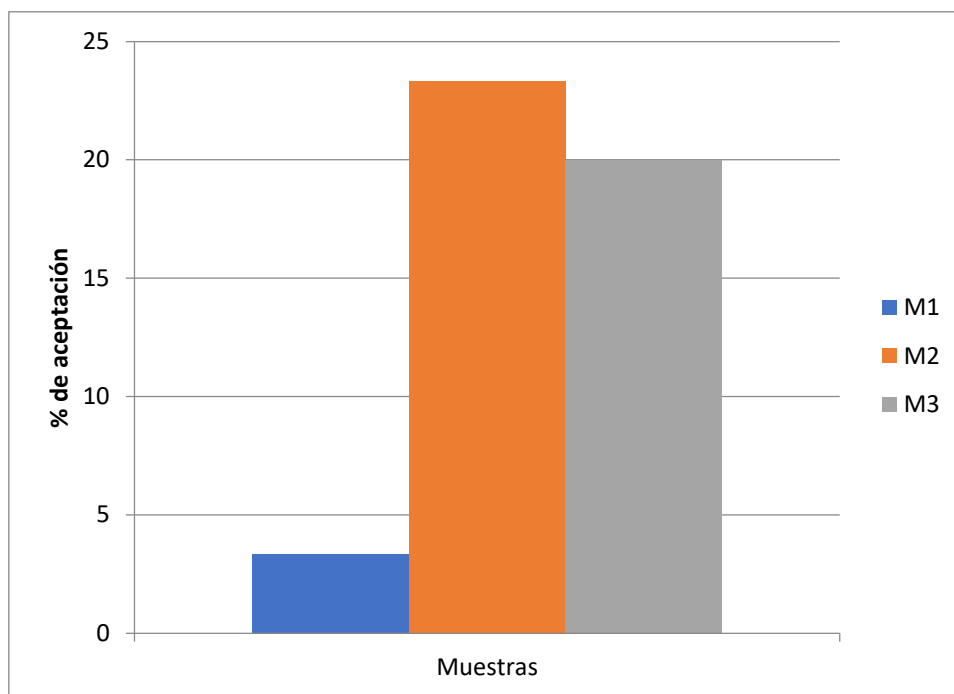
3.4.4 Evaluación del Sabor

En la evaluación del sabor tiene un porcentaje de 33,33% en la importancia dentro de las propiedades características del tomate deshidratado evaluadas. Dónde la muestra con mayor grado de aceptabilidad es la muestra M2 con un porcentaje de 23%.

En la **Figura 3.8** se muestran los promedios obtenidos de la evaluación del sabor de cada muestra.

Figura 3.8

Evaluación del Sabor del tomate deshidratado



Fuente: Elaboración Propia, 2018

3.5 Determinación del tamaño de partícula de la “Harina de Tomate”

3.5.1 Molienda

En la **Tabla III-7**, se puede observar que, en la molienda por martillos, se obtiene un rendimiento de 98,31 % y una pérdida de 1,69 % de materia prima. Se obtiene una harina de Tomate color rojo característico del mismo y un tamaño de partícula muy fina. Las pérdidas por molienda, se deben a que, al momento de realizar el proceso; existen partículas en suspensión ocasionadas probablemente por el fuerte impacto que se tiene de los martillos al tomate deshidratado. Lo cual ocasiona una migración de partículas al ambiente, y por ende convirtiéndose en pérdidas.

Tabla III-7
Porcentaje de Pérdidas en Molienda

Masa de Tomate deshidratado (g)	Tiempo de molienda (min)	Masa de Harina de Tomate (g)	Pérdidas en Molienda (g)	Pérdidas en Molienda %
100	1	98,31	1,69	1,69

Fuente: Elaboración Propia, 2018

Sin embargo, para obtener una harina fina, como la de tomate, se debe a que se elimina la cáscara del mismo antes de realizar el deshidratado.

Ya que en molienda de tomate deshidratado con cáscara no se logra una granulometría tan fina, esto se debe a que la cáscara de tomate tiene una estructura como una lámina plástica y esto hace que la molienda en el molino de martillos tenga una textura como de escamas, y no así de polvo.

Otra razón muy importante por la cual se elimina la cáscara de tomate, es que es ahí donde se encuentra la mayor concentración de pesticidas utilizados. (Pesticidas, Sept 2014 CM395).

3.5.2 Tamizado

El tamizado es muy importante al momento de determinar tamaño de partícula, ya que es en este proceso donde se logra una comparación directa con un patrón de referencia, cumpliendo con la norma boliviana (NB) 39012:2002 que determina el tamaño de partículas o granulometría para Harinas de origen vegetal.

También se estableció una comparación con la crema instantánea de tomate de la marca KRIS, comparando el tamaño de granulometría predominante en ambos productos.

En la **Tabla III-8**, se muestra la clasificación granulométrica en masa y porcentajes de tamizado de la sopa instantánea, según el número de malla de tamiz. Se puede observar que la mayor cantidad de masa se encuentra en la malla de 0,5mm., y a la

vez podemos decir que hay una mejor distribución de masa con un porcentaje de 73,56 % entre las mallas de 1mm y 0,5mm.

Tabla III-8

Clasificación granulométrica de la “Sopa Instantánea de Tomate”

Sopa instantánea de Tomate	Masa inicial	N° de Malla de Tamiz				Pérdidas en el tamizado	Rendimiento en el tamizado
		1 mm	0,5 mm	0,25 mm	0,063mm		
Masa (g)	50	14,35	21,90	9,711	3,315	0,724	
%	100	28,7	43,8	19,422	6,63	1,448	98,552

Fuente: Elaboración Propia, 2018

En la **Tabla III-9**, se muestra la clasificación granulométrica de la harina de tomate según el número de malla de tamiz. Donde se tiene una mayor cantidad de masa de harina en el número de malla 0,25mm.

Tabla III-9

Clasificación granulométrica de la “Harina de Tomate”

Harina de tomate	Inicial	N° de Malla de Tamiz				Pérdidas en el tamizado	Rendimiento en el tamizado
		1 mm	0,5 mm	0,25 mm	0,063mm		
Masa(g)	50	0	7,926	32,966	8,276	0,832	
%	100	0	15,852	65,932	16,552	1,664	98,336

Fuente: Elaboración Propia, 2018

En la **Tabla III-9** se muestra la comparación de porcentajes de la sopa instantánea y harina de tomate, que se logra determinar en el tamizado. También se puede observar que la sopa instantánea tiene una mayor distribución de partícula en dos mallas 1mm.

y 05mm., que, comparando con la harina de tomate, ésta solo tiene una contundente cantidad de muestra en una sola malla: 0,25mm.

En la **Figura 3.7**, se muestran los tamaños de partícula de la sopa instantánea y de la harina de tomate que se obtienen del proceso de tamizado.

Figura 3.9

Tamaño de Partícula de la Sopa Instantánea y de la Harina de Tomate



Fuente: Elaboración Propia, 2018

Tabla III-10
Harina de Tomate Vs Sopa Instantánea de Tomate

Masa (g)	N° de Malla de Tamiz				Pérdidas en el tamizado (g)
	1 mm	0,5 mm	0,25 mm	0,063mm	
Harina de tomate		7,96	32,966	8,276	0,8832
Sopa instantánea	14,35	21,90	9,711	3,315	0,724

Fuente: Elaboración Propia, 2018

En la **Tabla III-9** se marcaron el contenido de masa más alta en su respectiva malla de tamiz, lo cual nos muestra que en la harina de tomate su porcentaje más alto se encuentra en el número de malla 0,25 mm, y el porcentaje mayor de la sopa instantánea se encuentra en el número de malla 0,5mm. Esto nos muestra que se logra tener un tamaño de partícula de harina de tomate más fina y homogénea por la cantidad significativa que se encuentra en este número de malla ya mencionada, que de la sopa instantánea, esto se debe al tipo de molino que se utiliza, ya que el molino de martillos logra una pulverización del tomate deshidratado.

En la siguiente **Figura 3-8**, se muestran los tamaños de partícula predominantes en la determinación de tamaño de partícula de la sopa instantánea y de la harina de tomate.

Figura 3.10

Tamaño de partícula de la “sopa instantánea” y de la “harina de tomate”



Fuente: Elaboración Propia, 2018

Esta diferencia también se debe a que la sopa instantánea se elabora con la adición de otros productos deshidratados, que aparentemente no fueron deshidratados en las mismas condiciones que el tomate, y otra posibilidad es que utiliza otro tipo de molino, y no así el de martillos como se lo hizo en el proceso de molienda del tomate deshidratado.

Si nos enfocamos en tamaño de partícula de ambas muestras, tener un menor tamaño de partícula la harina de tomate garantiza mayor disolución del producto en agua o en cualquier solución acuosa, de manera que sea de fácil preparación para el consumidor. Además, que la harina de tomate en su estado puro no necesita cocción, lo que facilita más aún al consumidor.

En la **Figura 3.9**, se muestra la disolución de la sopa instantánea y de la harina de tomate, y la comparación de color de las mismas.

Figura 3.11

Disolución de la “sopa instantánea” y de la “harina de tomate”



Fuente: Elaboración Propia, 2018

El consumo de harina de tomate se simplifica a un consumo directo o con la agregación de otros productos, ya sean deshidratados o frescos.

Si se realiza una comparación más amplia de las muestras, vemos que la sopa instantánea de tomate no conserva el color característico del ingrediente principal (tomate), a diferencia que la harina de Tomate conserva su color rojo característico. Esto probablemente se debe a que se le agrega otros productos a la sopa que hacen que el color rojizo se disperse.

En la **Figura 3.10**, se muestra la diferencia de colores entre la sopa instantánea y la harina de tomate. La harina de tomate conserva el color característico de la materia prima (tomate).

Figura 3.12**Comparación de color entre la “sopa instantánea” y la “harina de tomate”**

Fuente: Elaboración Propia, 2018

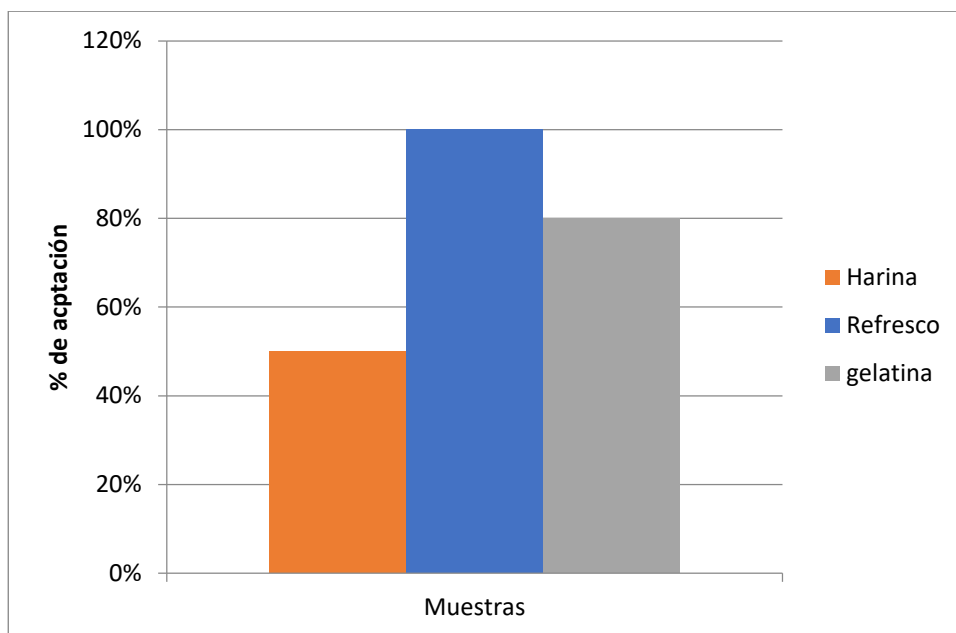
3.6 Análisis Sensorial de Productos Elaborados a base de “Harina de Tomate”

En el presente trabajo para el análisis sensorial se utiliza la prueba hedónica evaluándose la aceptación de un producto nuevo a partir de la harina de tomate elaborada de investigación.

A partir de la harina de tomate, se elabora gelatina y refresco, que son evaluados por jueces seleccionados al azar. Para este análisis se utilizó una escala hedónica de 5 puntos. La encuesta utilizada se encuentra detallada en el **ANEXO J**

En la **Figura 3.13** se muestra el grado de aceptación de cada muestra que fueron expuestas a la evaluación sensorial.

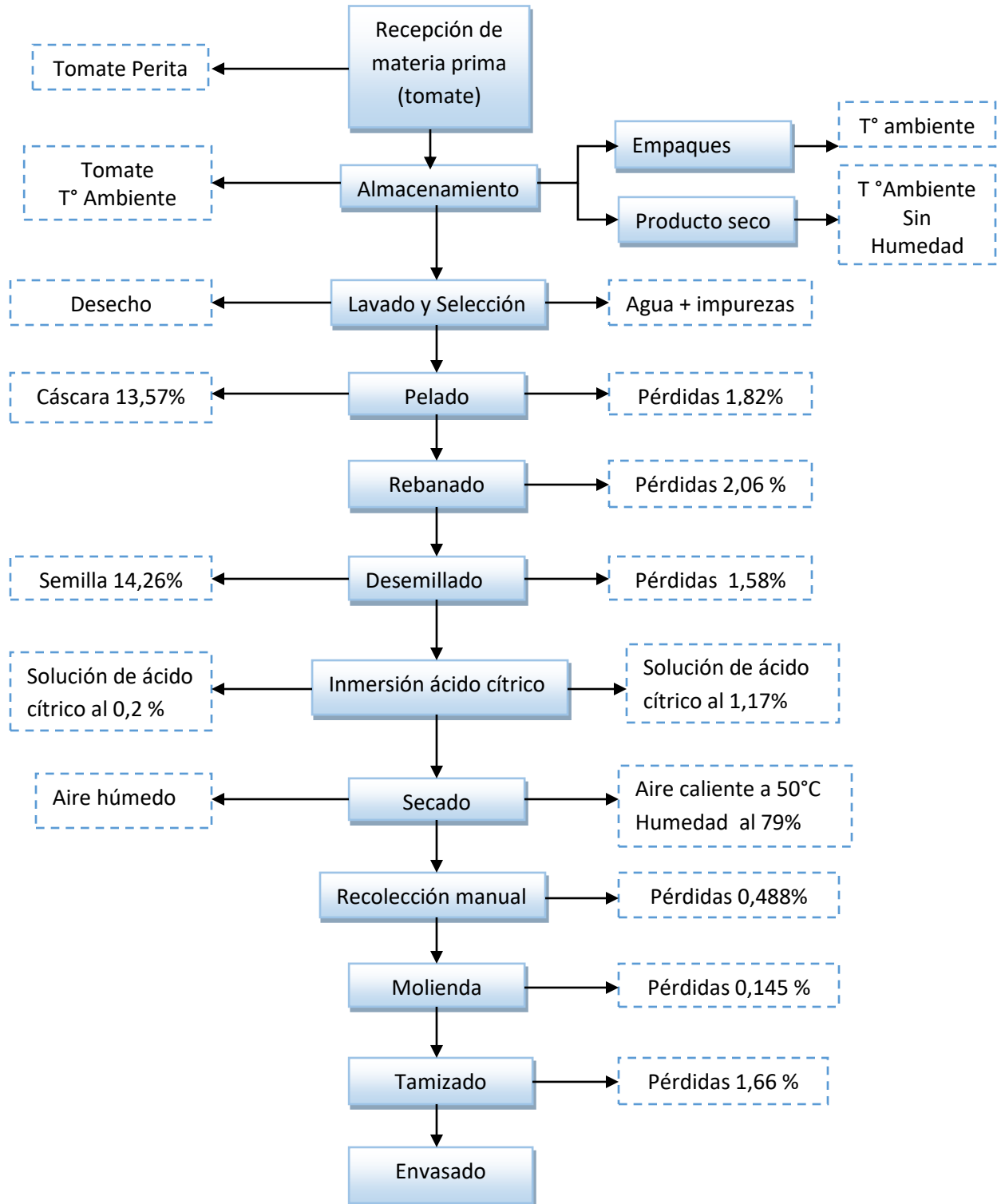
Figura 3.13
Aceptación de Muestras



Fuente: Elaboración Propia, 2018

3.7 Diseño final del proceso de “Elaboración de Harina de Tomate”

Figura 3.14
Etapas en la Elaboración de Harina de Tomate



Fuente: Elaboración Propia, 2018

3.7.1 Descripción del Proceso de “Elaboración de Harina de Tomate como Suplemento Alimenticio”

3.7.1.1 Recepción de la Materia Prima (tomate Perita)

El tomate es recibido a temperatura ambiente en cajas de madera de aproximadamente 15 Kg.

En la recepción se realiza una preselección, y se rechazan los tomates que no estén en buen estado de madurez y color.

3.7.1.2 Almacenamiento de tomate Perita

Posterior al muestreo y aceptado el tomate, es almacenado a temperatura ambiente en cajas de madera hasta el momento de su procesamiento.

El almacenamiento debe ser dentro de un lapso de 72 a 96 horas a temperatura ambiente luego de la cosecha. Si se requiere conservarlos por más tiempo se recomienda almacenarlos en una cámara frigorífica.

3.7.1.3 Lavado y Selección del tomate Perita

Los tomates se lavan con abundante agua potable, durante el lavado se rechazan los tomates que no estén aptos para el proceso por medio de una selección, tomando en cuenta los aspectos importantes como color y madurez al momento de una selección detallada en el contenido del presente trabajo.

3.7.1.4 Pelado de los Tomates

Los tomates son pelados de forma manual, utilizando elementos de corte limpios y afilados.

3.7.1.5 Rebanado de Tomates

Los tomates son rebanados manualmente con un espesor de rodaja de 3 mm con elementos de corte limpio, afilado y puesto en recipientes.

3.7.1.6 Desemillado del Tomate

Las rodajas de tomate son desemillados manualmente cuidando de que no exista mucho desperdicio del producto. (Elaboración propia, 2018).

3.7.1.7 Inmersión en solución de ácido cítrico

Las rodajas son sumergidas en una solución de ácido cítrico al 0,2% por un tiempo de 2 minutos. Una vez transcurrido el tiempo de inmersión las rodajas son colocadas en mallas dentro del secador de bandejas del laboratorio del CEANID para la eliminación del exceso de agua para ser puestas al secador. (Elaboración propia, 2018).

3.7.1.8 Colocación de las rodajas de tomate en mallas para el secado

Las rodajas de tomate son colocadas en mallas, cuidando que las mismas no estén unas encima de otras. (Elaboración propia, 2018).

3.7.1.9 Colocación de bandejas en el Secador y secado de las rodajas de tomate

Las mallas con las rodajas de tomate son colocadas en las bandejas del secador previamente caliente y se procede al proceso de secado durante 2,62 horas a una temperatura de 50°C. (Elaboración propia, 2018).

3.7.1.10 Recolección de Rodajas Secas

Las Rodajas de tomate una vez secas se recolectan en recipientes plásticos. La recolección se realiza de forma manual y cuidando de no generar mayores pérdidas por recolección. (Elaboración propia, 2018).

3.7.1.11 Molienda de las rodajas de tomate deshidratado

Las rodajas son sometidas a un molino rápido en un molido de martillos en el laboratorio del CEANID dejándolas totalmente pulverizadas. (Elaboración propia, 2018).

3.7.1.12 Tamizado de la Harina de Tomate

El tamizado de la harina de tomate se lo realiza en un tamizador vibratorio marca ORTO - ALRESA, el tamaño de partícula de la harina es de 0,25mm. (Elaboración propia, 2018).

3.7.1.13 Análisis Físicoquímico

Se realiza los análisis físicoquímicos de la harina de tomate en el Centro de Análisis de Investigación y Desarrollo (CEANID) de la Facultad de Ciencia y Tecnología U.A.J.M.S.

3.7.1.14 Envasado

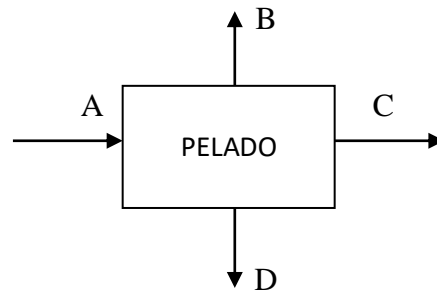
La harina de tomate es envasada en bolsas con cierre hermético para evitar su rehidratación por el contacto con el ambiente. (Elaboración propia, 2018).

3.8 Balance de Materia y Energía en el proceso de “Elaboración de Harina de Tomate”

Los balances de materia y energía son una de las herramientas más importantes con las que cuenta la Ingeniería de los procesos y se utilizan para contabilizar los flujos de materia y energía en un determinado proceso industrial.

3.8.1 Balance de Materia en el “proceso de Elaboración de Harina de Tomate”

3.8.1.1 Balance de Materia en el bloque 1: pelado del tomate



(Tomate apto para pelado) – (desecho de rebanado) – (pérdidas) = (tomate sin piel)

$$A - D - B = C \text{ (Ec.: 3.11)}$$

$$10000 \text{ g} - 1357 \text{ g} - 182 \text{ g} = 8461 \text{ g}$$

Donde:

A = masa de materia prima.

B = pérdidas por agua.

C = masa de tomate sin cáscara.

D = masa de la semilla.

=> Tenemos:

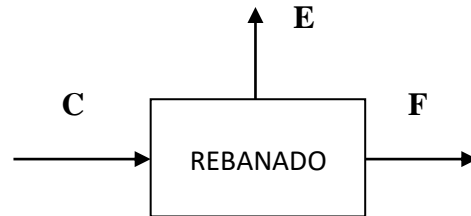
A = 10000 g.

B = 182 g.

C = 8461 g.

$$D = 1357 \text{ g.}$$

3.8.1.2 Balance de Materia en el bloque 2: rebanado del tomate



(Tomate apto para rebanado) - (pérdidas) = rodajas de tomate

$$C - E = F \quad (\text{Ec.: 3.12})$$

$$8461 \text{ g} - 206 \text{ g} = 8255 \text{ g}$$

Donde:

E = pérdidas por agua.

F = masa de tomate rebanado.

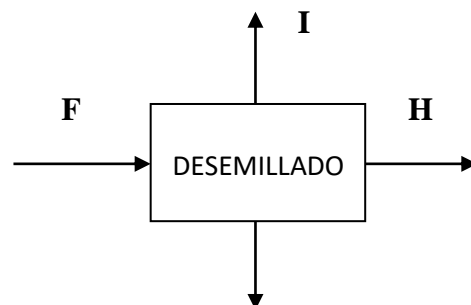
=> Tenemos.

$$C = 8461 \text{ g.}$$

$$E = 206 \text{ g.}$$

$$F = 8255 \text{ g.}$$

3.8.1.3 Balance de Materia en el bloque 3: desemillado del tomate



G

(Tomate apto para desemillado) – (Desecho) - (pérdidas) = rodajas de tomate

$$F - G - I = H \text{ (Ec.: 3.13)}$$

$$8255\text{g} - 158\text{g} - 1426\text{g} = 6671\text{g}$$

Donde:

G = pérdidas por agua.

H = masa del tomate sin semilla.

I = masa de la semilla.

=> Tenemos

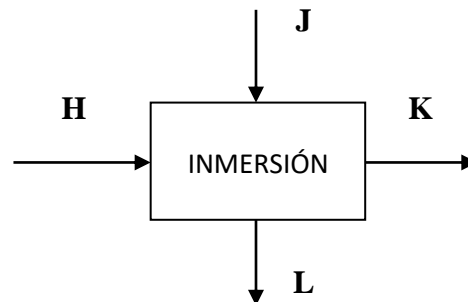
$$F = 8255\text{g.}$$

$$G = 158\text{g.}$$

$$H = 6671\text{g.}$$

$$I = 1426\text{g.}$$

3.8.1.4 Balance de Materia en el bloque 4: inmersión en ácido cítrico



(Tomate apto para inmersión) + (Ácido cítrico) = rodajas tratadas

$$H + J - L = K \quad (\text{Ec.: 3.14})$$

Donde:

H = masa del tomate sin semilla.

J = solución de ácido cítrico al 0,2%.

L = solución de ácido cítrico al 0,17%.

K = rodajas tratadas.

=> Tenemos

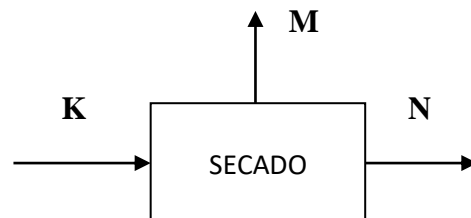
H = 6671g.

J = 4000 g.

L = 3998,8 g.

K = 6672,2g.

3.8.1.5 Balance de Materia en el bloque 5: secado del tomate



(Tomate apto para secado) – (pérdida de agua) = rodajas de tomate deshidratado

$$K - M = N \quad (\text{Ec.: 3.15})$$

$$6672,2\text{g} - 5811,164\text{g} = 861,2\text{g}$$

Donde:

K = rodajas de tomate tratadas.

M = masa del agua eliminada en el proceso de secado.

N = masa del tomate deshidratado.

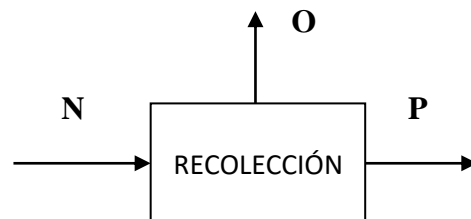
=> Tenemos

K = 6672,2g.

M = 5811,164g.

N = 861,036g.

3.8.1.6 Balance de Materia en el bloque 6: recolección de rodajas deshidratadas



(Rodajas deshidratado) - (pérdidas) = rodajas deshidratadas

$$N - O = P \quad (\text{Ec.: 3.16})$$

$$861,036\text{g} - 4,206\text{g} = 856,83\text{g}$$

Donde:

N = rodajas deshidratadas.

O = pérdidas por recolección.

P = rodajas deshidratadas.

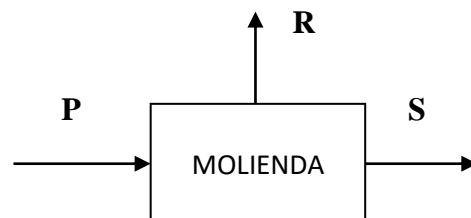
=> Tenemos

$$N = 861,036\text{g.}$$

$$O = 4,206 \text{ g.}$$

$$P = 856,83\text{g.}$$

3.8.1.7 Balance de Materia en el bloque 7: molienda del tomate deshidratado



(Tomate apto para molienda) - (pérdidas) = harina de tomate

$$P - R = S \quad (\text{Ec.: 3.16})$$

$$856,83\text{g} - 14,55\text{g} = 842,28\text{g}$$

Dónde:

P = rodajas deshidratadas.

R = pérdidas en molienda.

S = harina de tomate.

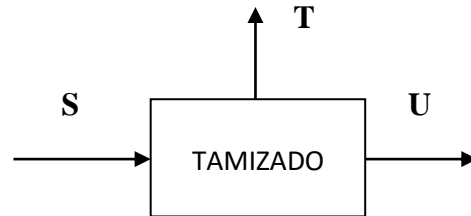
=> Tenemos

$$P = 856,83\text{g.}$$

$$R = 14,55\text{g.}$$

$$S = 842,28\text{g.}$$

3.8.1.8 Balance de Materia en el bloque 8: tamizado de la harina de tomate



(Harina de tomate apta para tamizado) - (pérdidas) = harina de tomate

$$S - T = U \quad (\text{Ec.: 3.17})$$

Dónde:

S = harina de tomate.

T = pérdidas por tamizado.

U = producto final.

=> Tenemos

S = 842,18g.

T = 14,01g.

U = 828,17g.

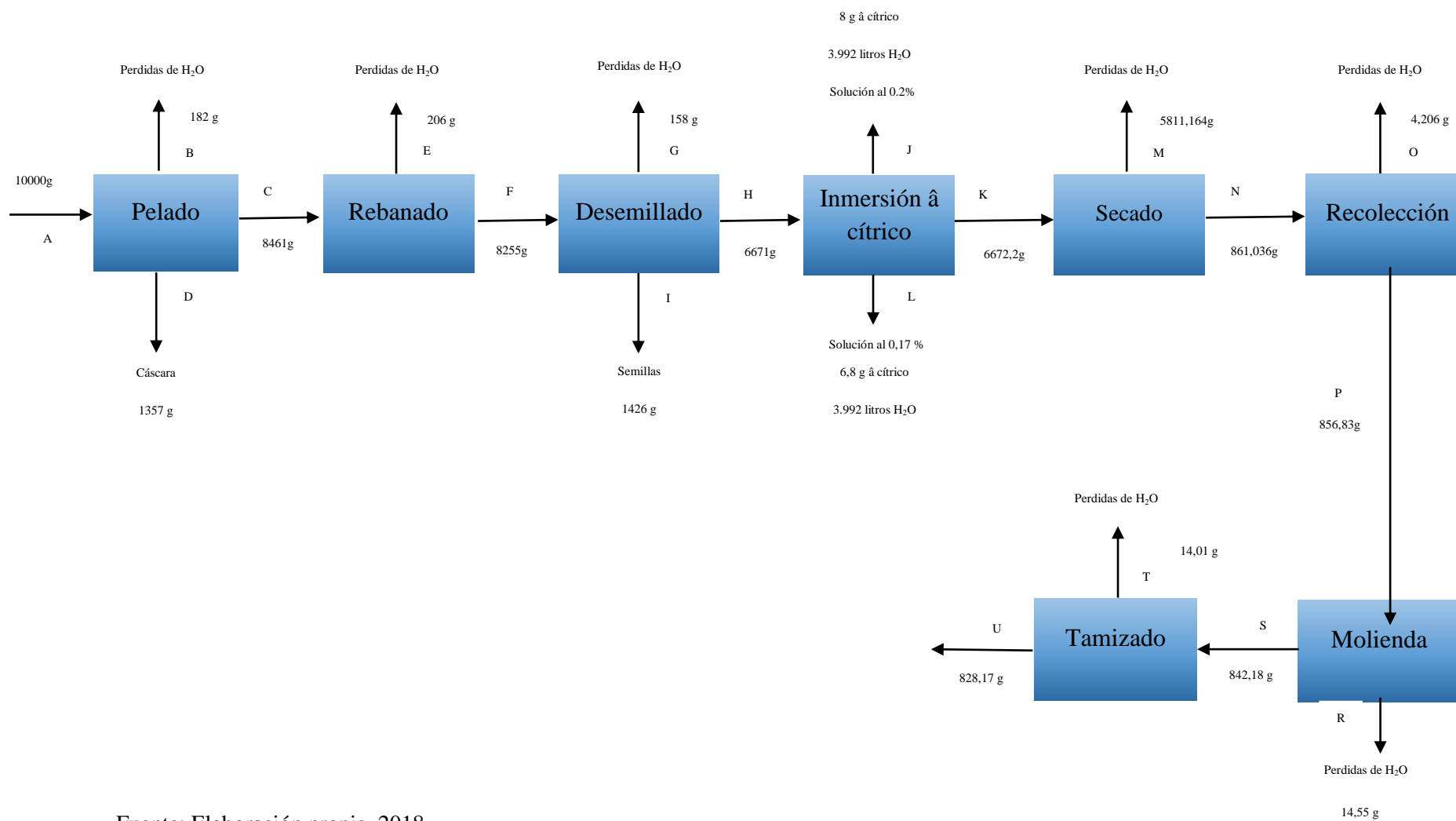
3.8.1.9 Balance de Materia Global en el “Proceso de Elaboración de Harina de Tomate”

$$m_A + m_J = m_B + m_D + m_E + m_G + m_I + m_L + m_M + m_O + m_R + m_T + m_S$$

$$10000 \text{ g} + 40000 \text{ g} = 182 \text{ g} + 1357 \text{ g} + 206 \text{ g} + 158 \text{ g} + 1426 \text{ g} + 3998,8 \text{ g} + 5811,164 \text{ g} + \\ 4,206 \text{ g} + 14,55 \text{ g} + 14,01 \text{ g} + 828,17 \text{ g}$$

$$14000 \text{ g} = 14000 \text{ g}$$

Balance de materia



Fuente: Elaboración propia, 2018

3.8.2 Balance de Energía en el Secado de Tomate

3.8.2.1 Cálculo del calor sensible:

Para el balance de energía se toma en cuenta la cantidad de tomate por lote que entra al secador.

Base de cálculo para 30 kg de rodajas de tomate apto para el secado

Datos:

$$T_{op} = 50 \text{ }^{\circ}\text{C}.$$

$$T_{amb} = 21 \text{ }^{\circ}\text{C}.$$

$$m_T = 2,351 \text{ kg}.$$

$$C_{PT} = 3,98 \text{ KJ/Kg}^{\circ}\text{C} = 0,95 \text{ kcal/Kg}^{\circ}\text{C}$$

$$Q_s = m_T * C_{PT} * (T_{OP} - T_{amb}) \quad (\text{Ec.: 3.18})$$

Donde:

Q_s = Calor sensible.

m_T = masa del tomate con el 7,83 % de humedad.

C_{PT} = Calor específico del tomate.

T_{OP} = Temperatura de operación bulbo seco.

T_{amb} = Temperatura ambiente.

$$Q_s = 2,351 \text{ kg} * 0,95 \text{ Kcal/Kg} * (50 \text{ }^{\circ}\text{C} - 21 \text{ }^{\circ}\text{C})$$

$$Q_s = 64,77 \text{ Kcal}$$

3.8.2.2 Cálculo del calor latente:

Datos:

$$m_v = 27,649 \text{ kg}$$

$$h_{fg} = 309,305 \text{ kcal/kg}$$

$$Q_L = m_v * h_{fg} \quad (\text{Ec.: 3.19})$$

Donde:

Q_L = calor latente.

m_v = masa de agua que se evapora.

h_{fg} = calor latente de vaporización del agua a 50 °C.

$$Q_L = 27,649 \text{ kg} * 309,305 \text{ Kcal/kg}$$

$$Q_L = 8551,97 \text{ Kcal}$$

Cálculo del calor total para secar 30 kg de tomate:

$$Q_T = Q_S + Q_L$$

$$Q_T = 64,77 \text{ Kcal} + 8551,97 \text{ Kcal}$$

$$Q_T = 8616,74 \text{ Kcal}$$

3.9 Escalamiento del Secador de Bandejas para la Producción Anual de Tomate en la Provincia Avilés del Departamento de Tarija

Los secadores de bandejas son muy conocidos y utilizados en la industria para el secado de una amplia gama de materiales y productos.

En el presente trabajo se propone un dimensionamiento de un Secador de Bandejas para el secado de tomate fresco el mismo que debe alcanzar una temperatura de 55°C partiendo de 25°C que es la temperatura ambiente.

El dimensionamiento del secador se realiza tomando en cuenta las escalas del Secador de Bandejas utilizado en la parte experimental del presente trabajo.

Características del Secador de Bandejas utilizado en la parte experimental

El secador usado en la parte experimental del presente trabajo es el Secador de Bandejas de marca Binder (modelo FD 53), que se encuentra en el Laboratorio del CEANID. Y tiene las siguientes características:

Tabla III-11
Características del Secador de Bandeja Utilizado en la Experiencia

Marca	Binder (modelo FD 53)
Rango de temperatura	0°C – 300°C
Tensión	220 – 230 V
Potencia total	1,2 KW
Capacidad	5 bandejas
Medidas externas	m
Alto (L_{SE})	0,62
Ancho (A_{SE})	0,635
Profundidad	0,575
Medidas internas	m
Alto (L_{iSE})	0,4
Ancho (A_{iSE})	0,4
Profundidad (P_{iSE})	0,33

Fuente: Manual Binder, 2018

3.9.1 Escalamiento del Secador

Para el Escalamiento del Secador, se toma en cuenta la producción de tomate anual en la provincia Avilés del Departamento de Tarija.

La producción anual es de 3020 toneladas/año. Como no existen datos estadísticos del porcentaje de la producción de las variedades más comunes de tomate en Tarija, vamos a suponer que un 40% de la producción total es de Tomate Variedad Perita. Y de esta manera calcular la cantidad de tomate que se procesa al día.

Para el cálculo de producción anual de tomate Perita utilizamos la siguiente ecuación:

$$P_{TP} = \frac{P_t * 40}{100} \quad (\text{Ec.: 3.20})$$

Donde:

P_t = producción total de tomate

P_{TP} = producción de tomate perita

$$P_{TP} = \frac{3020 \text{ ton/año} * 40}{100} = 1208 \text{ ton/año}$$

$P_{TP} = 1208 \text{ ton/año}$

Una vez realizado el cálculo de la cantidad de tomate perita total por año, se procede al cálculo de la cantidad de tomate que será destinado a la producción de harina. La cual es un 3% de la cantidad total de producción anual.

$$TP_A = \frac{P_{TP} * 3}{100} \quad (\text{Ec.: 3.21})$$

Donde:

TP_A = Tomate variedad Perita destinado al proceso por año

$$TP_A = \frac{1208 \text{ ton/año} * 3}{100} = 36,24 \text{ ton/año}$$

$TP_A = 36,24 \text{ ton/año} = 36.240 \text{ Kg/año}$

Una vez calculado la cantidad anual de tomate que se destina al proceso se realiza el cálculo de la cantidad de tomate que se procesa al mes y al día.

$$TP_M = \frac{TP_A}{12} \quad (\text{Ec.: 3.22})$$

Donde:

TP_M = tomate que se procesa al mes

$$TP_M = \frac{36.240 \text{ kg}}{12 \text{ mes}} = 3020 \text{ kg/mes}$$

Calculo de tomate que se procesa al día:

$$TP_D = \frac{TP_M}{22} \quad (\text{Ec.: 3.23})$$

Donde:

TP_D = cantidad de tomate que se procesa al día

$$TP_D = \frac{3.020 \text{ Kg}}{22 \text{ dias}} = 137,273 \text{ kg/día}$$

3.9.1.1 Tamaño de las Bandejas del Secador

Para realizar el escalamiento del secador utilizado en la parte experimental empezamos por el dimensionamiento de las bandejas, ya que es la parte más importante porque es donde alojaremos la cantidad de tomate que se procesa por día.

La cantidad de tomate que se procesa al día es de 137,273 Kg/día, lo que se divide en tres partes, esto implica que son tres lotes de tomate al día.

$$TP_L = \frac{TP_D}{3} \quad (\text{Ec.: 3.24})$$

Donde:

TP_L = tomate que se procesa por lote

$$TP_L = \frac{137,273 \text{ Kg}}{3 \text{ lotes}} = 45,758 \text{ Kg/lote}$$

$TP_L = 42$ Kg/lote, considerando pérdidas

Para el cálculo de las bandejas tomaremos en cuenta las dimensiones utilizadas experimentalmente del secador de bandejas del CEANID.

El área de la bandeja utilizada para la experiencia es $A_{be} = 1150 \text{ cm}^2$, donde su capacidad es de 430 g de pulpa de tomate. Según estos datos se dimensiona la nueva bandeja.

Se propone calcular una bandeja de capacidad de 4 kilogramos, para eso utilizamos los datos de la bandeja experimental y para ello se calcula un factor de escalamiento utilizando la capacidad de la bandeja experimental.

$$\alpha = \frac{m_{ts}}{m_{te}} \quad (\text{Ec.: 3.25})$$

Donde:

m_{ts} = masa del tomate fresco a secar

m_{te} = masa del tomate en la experiencia

$$\alpha = \frac{4 \text{ kg}}{0,43 \text{ kg}} = 9,3 \approx 10$$

Una vez calculado el factor de escalamiento, se procede al escalamiento de la nueva bandeja:

$$a_b = \alpha * a_{be} \quad (\text{Ec.: 3.26})$$

Donde:

a_b = ancho de la bandeja

α = factor de escalamiento

a_{be} = ancho de la bandeja de la experiencia

$$a_b = 10 * 0,4m = 4 m$$

Para el cálculo de la profundidad tenemos:

$$p_b = \alpha * p_{be} \quad (\text{Ec.: 3.27})$$

Donde:

p_b = profundidad de la bandeja a escalar

p_{be} = profundidad de la bandeja de la experiencia

$$p_b = 10 * 0,33 m = 3,3 m$$

Calculo del área:

$$A_{bd} = a_b * p_b \quad (\text{Ec.: 3.28})$$

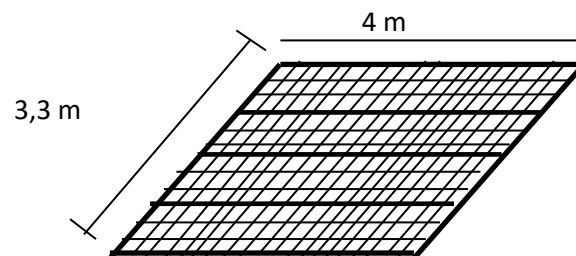
Donde:

A_{bd} = área de la nueva bandeja

$$A_{bd} = 4 m * 3,3 m = 13,2 m^2$$

En la **Figura 3.13**, se muestra la estructura de la bandeja dimensionada.

Figura 3.15
Estructura de la Bandeja



Fuente: Elaboracion Propia, 2018

Para el cálculo del número de bandejas utilizamos la siguiente ecuación:

$$NB = \frac{TP_L}{m_{TxB}} \quad (\text{Ec.: 3.29})$$

Donde:

TP_L = masa de tomate fresco a procesar por lote

m_{TxB} = masa de tomate por bandeja

NB = número de bandejas

Para el siguiente cálculo tomamos en cuenta que el tomate fresco tiene un rendimiento en pulpa de 67 %, lo cual se calcula una nueva masa por lote considerando las pérdidas.

$$TP_L = 42 \text{ Kg} * 0,67 = 28,14 \text{ Kg}$$

$$TP_L = 28 \text{ Kg/lote}$$

Con este dato volvemos a la ecuación anterior y se calcula el número de bandejas

$$NB = \frac{28 \text{ Kg}}{4 \text{ Kg}} = 7 \text{ bandejas}$$

3.9.1.2 Dimensionamiento de la estructura interna y externa del secador

Para el cálculo de las dimensiones de la estructura interna del secador también tomamos como dato el factor de escalamiento $\alpha=10$. Entonces tenemos:

$$a_{is} = \alpha * a_{se} \quad (\text{Ec.: 3.30})$$

Donde:

a_{is} = ancho del secador a escalar

a_{se} = ancho del secador de la experiencia

$$a_{is} = 10 * 0,4 m = 4 m$$

Calculo de la altura interna del secador

$$h_{is} = \alpha * h_{se} \quad (\text{Ec.: 3.31})$$

Donde:

h_{is} = altura interna del secador

h_{se} = altura interna del secador de la experiencia

$$h_{is} = 10 * 0,4m = 4 m$$

Calculo de la profundidad

$$p_{is} = \alpha * p_{se} \quad (\text{Ec.: 3.32})$$

Donde:

p_{is} = profundidad interna del secador

p_{se} = profundidad del secador de la experiencia

$$p_{is} = 10 * 0,33 m = 3,3 m$$

Cálculo de la separación entre bandejas

$$T_s = \frac{h_{is}}{NB} \quad (\text{Ec.: 3.33})$$

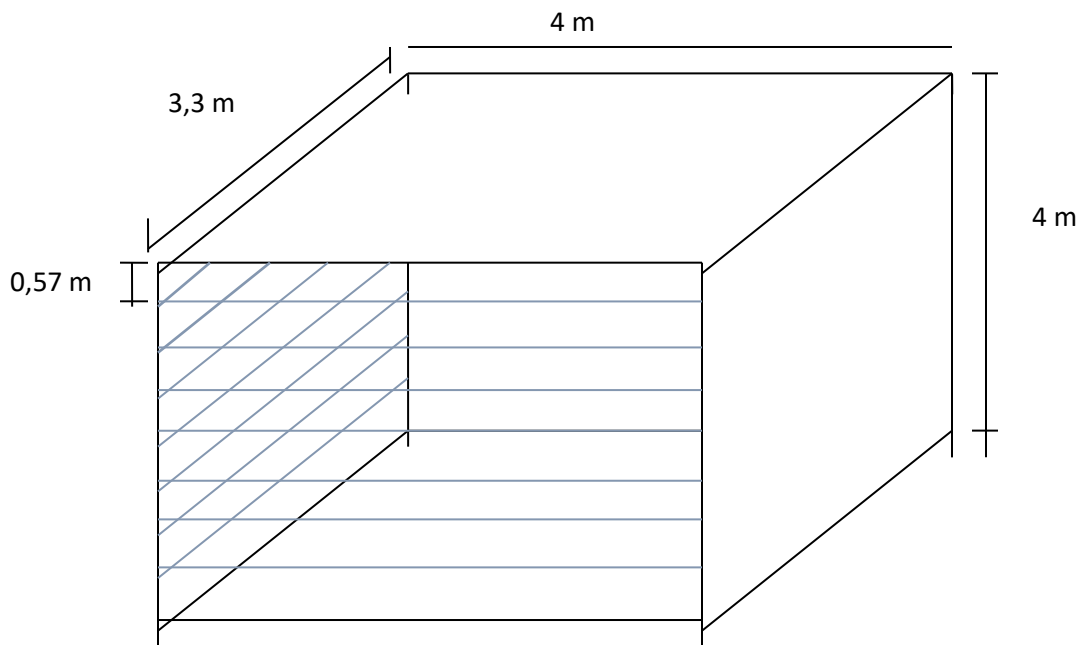
Donde:

T_s = separación entre bandejas

$$T_s = \frac{4 \text{ m}}{7} = 0,57 \text{ m}$$

En la **Figura 3.14**, se muestra la estructura interna del secador de bandejas ya dimensionada.

Figura 3.16
Estructura Interna del Secador



Fuente: Elaboración Propia, 2018

Escalamiento de la estructura externa del secador

Para la profundidad de la estructura externa tenemos que:

$$p_{es} = \alpha * p_e \quad (\text{Ec.: 3.34})$$

Donde:

p_{es} = profundidad externa del secador a escalar

α = factor de escalamiento

p_e = profundidad externa del secador de la experiencia

$$p_{es} = 10 * 0,575 \text{ m} = 5,75 \text{ m}$$

Para la altura de la estructura externa del secador tenemos que:

$$h_{es} = \alpha * h_e \quad (\text{Ec.: 3.35})$$

Donde:

h_{es} = es la altura de la estructura externa del secador a escalar

h_e = altura externa del secador de la experiencia

$$h_{es} = 10 * 0,62 \text{ m} = 6,2 \text{ m}$$

Para el cálculo del ancho externo del secador tenemos:

$$a_{es} = \alpha * a_e \quad (\text{Ec.: 3.36})$$

Donde:

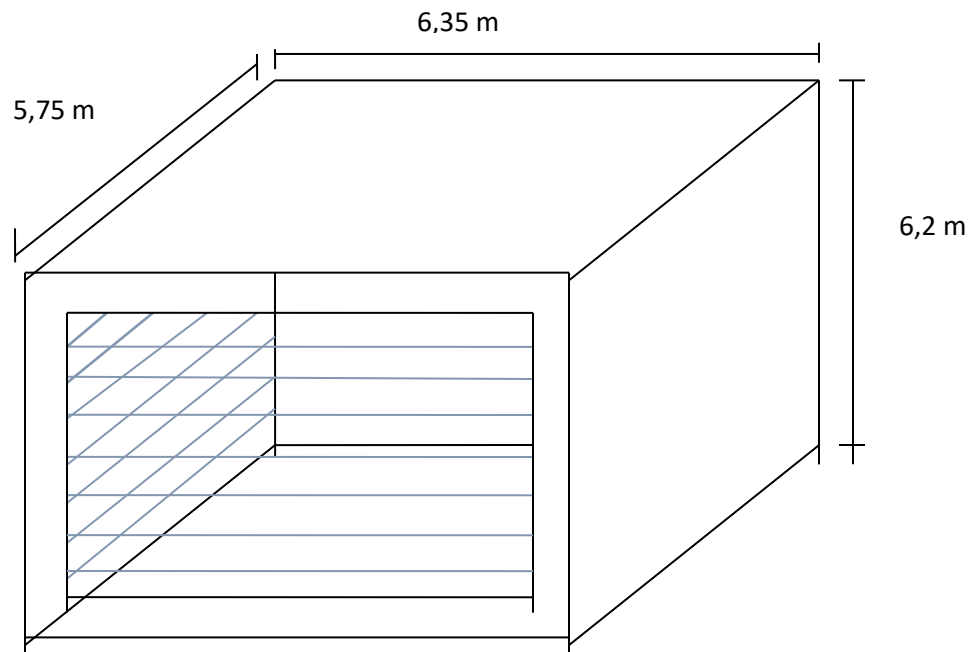
a_{es} = ancho de la bandeja a escalar

a_e = ancho de la bandeja de la experiencia

$$a_{es} = 10 * 0,635 \text{ m} = 6,35 \text{ m}$$

En la **Figura 3.15**, se muestra el revestimiento del secador de bandejas ya diseñado con sus dimensiones correspondientes.

Figura 3.17
Estructura Externa del Secador



Fuente: Elaboración Propia, 2018.

3.9.1.3 Cálculos de la cantidad de aire necesario para el Secado de Tomate

Los datos de entrada y de salida que se muestran a continuación se obtienen con el anemómetro digital del Laboratorio de Operaciones Unitarias de la Universidad Juan Misael Saracho.

Humedad inicial del producto en base seca = 1889% = 18,89kg H₂O/kg sólido seco (w1)

Humedad final del tomate en base seca = 8,5 % = 0,85 kg H₂O/kg sólido seco (w2)

Aire que entra al secador = 21°C, 80% HR

Aire que sale del secador = 50°C, 22 % HR

(m_a/m_p) = masa de aire seco (kg) / masa de rodajas de tomate (kg)

Tiempo de secado = 2,64 horas

Base de cálculo 30 kg

Con los datos obtenidos vamos al diagrama psicrométrico y tenemos:

W1 salida = 0,0168 kg H₂O / kg aire seco

W2 entrada = 0,0133 kg H₂O / kg aire seco

Método

Las necesidades de aire pueden calcularse mediante la siguiente ecuación:

$$(m_a/m_p) W_2 + w_1 = (m_a/m_p) W_1 + w_2 \text{ (Ec.: 3.37)}$$

$$(m_a/m_p) * (0,0133 \text{ kg H}_2\text{O} / \text{kg aire seco}) + (18,89 \text{ kg H}_2\text{O} / \text{kg sólido}) = \\ (m_a/m_p) * (0,0168 \text{ kg H}_2\text{O} / \text{kg aire seco}) + (0,85 \text{ kg H}_2\text{O} / \text{kg sólido})$$

$$(18,89 \text{ kg H}_2\text{O} / \text{kg sólido}) - (0,85 \text{ kg H}_2\text{O} / \text{kg sólido}) = (m_a/m_p) * (0,0168 \text{ kg H}_2\text{O} / \text{kg} \\ \text{aire seco}) - (m_a/m_p) * (0,0133 \text{ kg H}_2\text{O} / \text{kg aire seco})$$

$$(18,04 \text{ kg H}_2\text{O} / \text{kg sólido}) = (m_a/m_p) * (0,0035 \text{ kg H}_2\text{O} / \text{kg aire seco})$$

$$(m_a/m_p) = 5154,3 \text{ kg aire seco} / \text{kg sólido}$$

Para el cálculo de caudal de aire necesario, se debe calcular el volumen de aire y para ello se utiliza la siguiente ecuación:

$$\rho_{\text{Aire}} = 1,188 \text{ kg/m}^3$$

$$\rho = \frac{m}{v} \quad \text{(Ec.: 3.38)}$$

Donde:

ρ = densidad del aire

m = masa del aire

v = volumen de aire

$$v_{aire} = \frac{m}{\rho} = \frac{5154,3 \text{ kg}}{1,188 \text{ kg/m}^3} = 4338,64 \text{ m}^3$$

Calculando el caudal de aire tenemos:

$$Q = \frac{v_A}{t} \quad (\text{Ec.: 3.39})$$

Donde:

Q = caudal del aire

v_A = volumen de aire

t = tiempo de secado

$$Q = \frac{4338,64 \text{ m}^3}{2,64 \text{ h}} = 1643,424 \text{ m}^3/\text{h}$$

Una vez que se calcula el volumen de aire, se procede con el cálculo de la velocidad del aire, y para ello utilizamos la siguiente ecuación:

$$V = \frac{Q}{A} \quad (\text{Ec.: 3.40})$$

Donde:

V = velocidad del aire

A = área del equipo dimensionado

$$V = \frac{1643,424 \text{ m}^3/h}{39,37 \text{ m}^2} = 41,74 \text{ m/h}$$

$$V = 41,74 \frac{\text{m}}{\text{h}} * \frac{1 \text{ h}}{3600 \text{ s}} = 0,0116 \text{ m/s}$$

3.9.1.4 Selección del calentador del aire para el equipo de secado ya Dimensionado

El calentador de aire se selecciona de acuerdo al calor o potencia requerida para calcular el flujo de aire a una temperatura de 50°C.

De acuerdo al balance de energía para 30 kilogramos de rodajas de tomate aptas para el secado, la potencia requerida del calentador de aire es:

$$Potencia = \frac{Energia}{tiempo} = \frac{8616,74 \text{ Kcal}}{2,64 \text{ h}} = 3263,916 \frac{\text{Kcal}}{\text{h}} = 3,793 \text{ kW/h}$$

Se elige la calefacción eléctrica como medio para proporcionar al aire la temperatura de secado necesaria (Amador P., 2014)

Mediante los cálculos anteriores se requiere una potencia de 3,793 kW, pero asumiendo que la eficacia del calentador es del 70% se calcula la potencia final requerida del motor (Villarrol D., 2000)

$$\eta = \frac{P_R}{P_f} \quad (\text{Ec.: 3.41})$$

Donde:

η = eficiencia del motor

P_R = potencia requerida para el proceso

P_f = potencia final

$$P_f = \frac{P_R}{\eta} = \frac{3,793 \text{ kW}}{0,7} = 5,418 \text{ kW} \approx 6 \text{ kW}$$

3.9.1.5 Selección del Ventilador de Aire

Para la selección del ventilador utilizamos el caudal de aire necesario para el proceso

$$Q = 1643,424 \frac{\text{m}^3}{\text{h}} = 0,456 \frac{\text{m}^3}{\text{s}}$$

A partir del caudal y la velocidad de aire se calcula el área transversal para la entrada de aire al secador de bandejas dimensionado. Para ello utilizamos la siguiente ecuación:

Para el cálculo del área se propone una velocidad de 2,5 m/h del aire de secado, ya que es la más usada en este tipo de secadores industriales, sin embargo necesitamos temperaturas bajas de secado, lo que proponemos un forzador adicional de aire de la misma velocidad de 2,5 m/s, entonces ahora tenemos una velocidad de aire de 5 m/s. por tanto:

$$A = \frac{Q_{\text{caudal de aire}}}{V_{\text{velocidad de aire}}} \quad (\text{Ec.: 3.42})$$

Donde:

A= área de salida de aire del nuevo secador

$$A = \frac{0,282 \text{ m}^3/\text{s}}{5 \text{ m/s}} = 0,0564 \text{ m}^2$$

Una vez calculada el área, se calcula el diámetro de la entrada de aire al secador mediante la siguiente ecuación:

$$A = \frac{\pi}{4} d^2 \quad (\text{Ec.: 3.43})$$

Donde:

d = diámetro del orificio de salida del aire del nuevo secador

$$d = \sqrt{\frac{4 * A}{\pi}} = \sqrt{\frac{4 * 0,0564m^2}{\pi}} = 0,2679 m = 26,79 cm$$

Cálculo de la velocidad de aire en el secador de la experiencia

Cálculo del área de salida de aire, donde los datos obtenidos fueron extraídos del secador de la experiencia

$$A_{se} = \pi * r^2 \quad (\text{Ec.: 3.44})$$

Donde:

A_{se} = área de salida de aire del secador de la experiencia

r^2 = radio del tubo de salida de aire del secador

$$A_{se} = \pi * 0,025^2 = 0,00196 m^2$$

Calculo de la velocidad del aire del secador:

$$A_1 * V_1 = A_2 * V_2 \quad (\text{Ec.: 3.45})$$

Donde:

A_1 = área de la salida de aire del secador de la experiencia

V_1 = velocidad de aire a la salida del secador de la experiencia

A_2 = área del secador de la experiencia

V_2 = velocidad de aire en el secador de la experiencia

$$0,00196m^2 * 0,000694 m/s = 0,16m^2 * V_2$$

$$V_2 = 0,0000085 m/s$$

Cálculo del caudal de aire en el secador:

$$Q_{se} = A_{se} * V_{se} \quad (\text{Ec.: 3.46})$$

Donde:

Q_{se} = caudal de aire en el secador de la experiencia

$$Q_{se} = 0,16m^2 * 0,0000085 \frac{m}{s} = 1,36x10^{-6}m^3/s$$

3.10 EstudioEconómico

El estudio económico de los diferentes costos de producción se detalla a continuación:

3.10.1 Costo de la Materia Prima

Se realizo el cálculo del costo de producción de un lote de 30 kilogramos de tomate fresco, la cantidad de tomate que se procesa por día.

En la **Tabla III-11**, se muestra el costo de materia prima (tomate fresco), para la producción de un lote de “Harina de Tomate” de 2484g.

Tabla III-12
Costo de Materia Prima para la Producción de un Lote de 2485g de Harina de
Tomate

Material directo	Detalle	Precio Unitario (Bs)	Cantidad necesaria	Costo (Bs)
Tomate Pera	Kg	4	30 kg	120
Ácido cítrico	g	3	1 g	3
Agua	m ³	1,3	0,8 m ³	1,04
Empaque	Unidad	0,54	25	13,5
Costo total				137,54

Fuente: Elaboración Propia, 2018.

3.10.2 Costo de Producción

En la **Tabla III-12**, nos muestra el costo de algunos factores que intervienen en la producción de harina de tomate, tales:

Tabla III-13
Costos por uso de factores por día

Detalle	Unidad	Precio (Bs)	Horas de Uso	Costo (Bs)
Uso del Secador	Hora	10	5	50
Mesas de Trabajo	Hora	2	8	16

Molino de Martillos	Hora	10	1	10
Utensilios	Hora	2	8	16
Total				92

Fuente: Elaboración propia, 2018

En la **Tabla III-13**, se muestra el costo de energía eléctrica necesario para el proceso de elaboración de “Harina de Tomate”.

Tabla III-14
Costo de Energía Eléctrica Utilizada

Operación	Equipo	Requerimiento Energético	Horas de Operación	Energía Necesario	Costo (Bs)
Pesado	Balanza	0,0035kw	1	0,0035	0,0037
Secado	Secador	0,33kw	2,62	0,8646	0,911
Molienda	Molino de martillos	0,24kw	1	0,24	0,252
Total				1,1081	1,1667

Fuente: Elaboración Propia, 2018

3.10.3 Costo Total de la Producción de “Harina de Tomate” por día

En la siguiente **Tabla III-14**, se muestra los costos totales de operación por día durante la experiencia en el Laboratorio del CEANID U.A.J.M.J.

Tabla III-15
Costo total de operación

Etapas Operativas	Costo (Bs)
--------------------------	-------------------

Uso de Materiales	92
Materia Prima	6,25
Mano de Obra	75
Energía Eléctrica	1,1667
Total	174,4167

Fuente: Elaboración Propia, 2018

3.10.4 Costo de Montaje de Secador de Bandejas

La estructura y revestimiento del secador de bandejas escalado a tamaño industrial es cotizado en el taller metalúrgico PRESI, donde se obtuvo los datos de costo total del mismo, incluyendo las bandejas de acero inoxidable y el soporte del secador.

En la **Tabla III-15**, se muestran los costos estimados por partes del secador de bandejas.

Tabla III-16
Costo del Secador de Bandejas

Descripción	Material	Cantidad	Precio Unitario (Bs)	Total (Bs)
Estructura del secador	Metálico	1	2000	2000
Bandejas	Acero inoxidable	7	500	3500
Base para soporte	Metálico	1	1500	1500

Soplador industrial		1	2100	2100
				9100

Fuente: construcciones y metalúrgica, PRESI, 2018

CAPITULO IV

4.1 Conclusiones

Al revisar los objetivos propuestos se pudo concluir que la harina de tomate como suplemento alimenticio cumple con los mismos:

- Se realizó la caracterización de tomate fresco variedad perita en el Centro de Análisis, Investigación y Desarrollo (CEANID) donde se determinó las propiedades fisicoquímicas del mismo.

Análisis Fisicoquímico de Tomate Variedad Perita Fresco

Componente	Composición	Unidad
Cenizas	0,63	%
Fibra	0,47	%
Materia grasa	0,01	%
Hidratos de carbono	5,48	%
Humedad	92,04	%
Proteína total	8,8	%
Valor energético	334,18	Kcal/100 g

- Se determinó el tiempo y temperatura de secado óptimo para obtener una humedad final de las rodajas que permita realizar operaciones posteriores como la de molienda. El tipo de secado utilizado es de aire caliente por convección forzada, el tiempo de secado óptimo es de 2,62 horas a una temperatura de 50°C. y un espesor de 3mm.

- Gracias a una pulverización que se logró con la molienda de las rodajas de tomate deshidratado en el molino de martillos, se determinó el tamaño de partícula de la harina de tomate, donde se estableció un tamaño de partícula es 0,25 mm. Cumpliendo con la Norma Boliviana 39012:2002 para la determinación del tamaño de la partícula o granulometría para harinas de origen vegetal
- Se seleccionó el diseño final del proceso para la elaboración de harina de tomate, además de un dimensionamiento de un secador a escala industrial tomando en cuenta la producción anual de tomate Perita en la provincia Avilés del departamento de Tarija.

Con una capacidad el secador igual a 52,8 m³.

- Las propiedades fisicoquímicas de la harina de tomate como suplemento alimenticio, fueron determinadas mediante métodos de laboratorio en el Centro de Análisis, Investigación y Desarrollo (CEANID), las cuales se observa que las concentraciones de fibra, grasa, hidratos de carbono aumentan su valor porcentual, donde el más sobresaliente son los hidratos de carbono con un valor de 5,48 a 72,45. El valor energético y pH se mantienen constantes tanto en el tomate fresco como en la harina.

Análisis Fisicoquímico de Tomate Variedad Perita Fresco

Componente	Composición	Unidad
Cenizas	0,63	%
Fibra	0,47	%
Materia grasa	0,01	%
Hidratos de carbono	5,48	%
Humedad	92,04	%
Proteína total	8,8	%
Valor	334,18	Kcal/100 g

Análisis Fisicoquímicos de la Harina de Tomate

Componente	Composición	Unidades
Cenizas	7,01	%
Fibra	5,91	%
Materia grasa	1,02	%
Hidratos de carbono	72,45	%
Humedad	4,81	%
Proteína total	8,8	%
Valor energético	334,18	Kcal/100g

energético		
------------	--	--

- Con base al proceso de elaboración de harina de tomate se determino un porcentaje de rendimiento de 8,2817 %.
- Se realizo el análisis sensorial de la harina de tomate y de los productos elaborados a partir de la harina de tomate, lo cual tuvo una gran aceptación ante los jueces elegidos al azar. Done la muestra seleccionada es la muestra M2 con:

Muestra	Características	Porcentaje de aceptación
M2	Color	26,5 %
M2	Olor	23 %
M2	Sabor	23 %

- A partir de la harina de tomate se elaboraron dos productos, gelatina y refresco, que contienen harina de tomate como ingrediente principal y se realizó análisis sensorial ante jueces elegidos al azar donde se obtuvo una gran aceptación de los mismos.

4.2 Recomendaciones

- Para elaborar este tipo de productos en polvo, es necesario tecnificar su proceso para poder tener una producción más eficiente. Por lo tanto, se recomienda optimizar el proceso con otros tipos de secadores para poder tener un proceso más rápido y eficiente, y con un bajo consumo de energía frente al secador de bandejas.
- El contenido de sólidos en el tomate, es un factor muy importante al momento del deshidratado, ya que entre más sólidos contenga el tomate, más cantidad de materia seca obtendremos. En este caso se recomienda el tomate variedad perita, ya que entre las variedades más comunes de tomate en el departamento es el que contiene mayor cantidad de sólidos.

- El contenido de licopeno en un producto de tomate deshidratado es uno de los factores más llamativos. Es recomendable realizar un análisis de contenido de licopeno para fortalecer los beneficios nutricionales del producto.
- Es importante que la temperatura utilizada en el secado del tomate sea menor a 60 °C para evitar el desdoblamiento de las vitaminas, lo cual se recomienda hacer un estudio de análisis de comportamiento de las vitaminas en el proceso de secado realizado en el presente trabajo de investigación.
- Se recomienda utilizar envases plásticos con cierres herméticos para conservar la harina de tomate y así evitar que adquieran humedad del ambiente.
- Se recomienda también como en toda elaboración de alimentos para el consumo humano se debe observar y cumplir todas las normas de higiene e inocuidad que nos exige la protección de la salud de los consumidores sobre todo en productos tan estables como los deshidratados cuya presencia microbiana no se detecta fácilmente.