

INTRODUCCIÓN

ANTECEDENTES

Generalidades

El locoto es oriundo del Perú data de épocas pre incaicas, su cultivo se remonta a unos 5000 años atrás, encontrándose vestigios de su presencia en tumbas. Su nombre quechua originario es luqutu o rukutu (Colodro, 2017).

Su presencia aparece documentada por los antiguos peruanos de las culturas Paracas, Nazca Mochica y Chimú a través de textiles cerámicas y restos domésticos (Colodro, 2017).

El nombre científico es *Capsicum pubescens*, su nombre comercial es locoto o rocoto perteneciendo a la familia Solanáceas, generalmente las zonas de producción son los valles andinos, la época de siembra es todo el año teniendo como ámbito un clima templado, favoreciendo una temperatura óptima que fluctúa entre los 18 a 20° C con una humedad relativa baja (Colodro ,2017).

Se describen a las plantas del género *Capsicum* como herbácea o arbustiva, de tronco leñoso y ramificación frondosa, con hojas alternadas, lisas y brillantes, excepto *C. pubescens*, que presenta hojas rugosas pubescentes. El color de los frutos puede variar desde el rojo, verde naranja o amarillo. Se comercializa en su estado natural en los mercados mexicanos, bolivianos y peruanos, como también en pasta y en polvo

A lo largo del tiempo, la preservación del locoto por períodos prolongados se convirtió en una necesidad, lo que impulsó el desarrollo de métodos de deshidratación. Este proceso no solo facilitó la conservación, sino que también permitió que el locoto pudiera ser almacenado y transportado de manera más eficiente. La posterior molienda del locoto deshidratado dio origen al locoto en polvo, un producto que combina la intensidad del sabor tradicional con la practicidad para su uso y distribución en diferentes mercados (Colodro,2017).

A continuación, se presentara la figura, que muestra el consumo aparente de ajies y pimientos secos o deshidratados en los países líderes en el comercio de este producto durante el año 2011. Esta información proporciona un contexto relevante sobre la

demandas globales de productos deshidratados, lo que subraya el potencial de la industrialización del locoto deshidratado como una alternativa competitiva en el mercado.

Cuadro 1: Consumo aparente de ajíes y pimientos secos o deshidratados en países líderes (Toneladas métricas)

Nº	País	Consumo (TM)
1	India	1.187.265
2	Pakistán	212.296
3	China	190.887
4	Bangladesh	189.137
5	Tailandia	173.364
6	Birmania	124.066
7	Estados Unidos	105.135
8	Etiopía	95.000
9	Vietnam	88.985

Fuente: Flórez, 2013.

El género *Capsicum* es originario del nuevo mundo y presenta una amplia variedad de especies que han sido domesticadas desde la época precolombina. En la actualidad una de las especies más cultivadas es *Capsicum annum*, pero otras especies presentan grandes potencialidades de producción e incluso de exportación por la calidad de los frutos como *Capsicum pubescens* “Locoto”.

Después de llegada de Cristóbal Colón a América y debido a diversos procesos de difusión y principalmente de hábitos culturales ligados a la gastronomía, el *Capsicum annum* (ajíes, chiles o jalapeños), han tenido un mayor consumo a nivel mundial, principalmente en México, Estados Unidos, India y la China; en cambio el consumo de locoto se ha concentrado en toda Bolivia y parte del Perú y México, llamándose en estos dos últimos como locoto, rocoto, manzano, ciruelo, perón o siete caldos.

La siguiente figura refleja de manera detallada la producción mundial de *Capsicum* cuyo genero comprende a los ajíes (incluido el locoto):

Cuadro 2: Principales productores mundiales de *Capsicum* frescos en miles de toneladas métricas

Ranking 1-10	País	2012	2013	2014	2015	2016
1	China	15.913	16.127	16.454	16.945	17.450
2	México	2.440	2.354	2.793	2.975	3.168
3	Turquía	2.059	2.176	2.144	2.191	2.239
4	Indonesia	1.656	1.726	1.875	1.978	2.086
5	India	1.372	1.560	1.561	1.597	1.635
6	España	976	1.021	1.133	1.138	1.143
7	EE.UU.	907	846	914	908	902
8	Nigeria	797	797	799	802	805
9	Egipto	725	623	655	671	688
10	Argelia	441	497	548	587	630

Fuente: Plan de desarrollo sostenible de especies del género *Capsicum* 2018-2022 (2019)

Todas las especies de *Capsicum* son originarias de América tropical, donde se ha cultivado desde épocas precolombinas. La distribución se extendió desde el borde meridional de Estados Unidos a la zona templada cálida de Sur América. El centro de diversidad del género, donde se localizan la mayor cantidad de especies silvestres y la

mayor diversidad genética fue la región subcentral de Bolivia y Perú. La dispersión se dio en los Andes, Centroamérica y Amazonía por la actividad migratoria de aves, que, atraídas por los frutos, los ingerían y luego los defecaban en otros lugares (Aguirre, Muñoz,2015).

El mayor productor de locoto en el mundo es Perú, país para el cual se proyecta una producción de 360.879 el 2025.

En el cuadro 3 se detallará la producción de rocoto en Perú en toneladas métricas (TM), la superficie cosechada en hectáreas (ha) y rendimiento en toneladas métricas sobre hectáreas (TM/ha).

Cuadro 3: Producción, Superficie y Rendimiento de Rocoto, 2014-2025

Año	Producción (TM)	Superficie cosechada (ha)	Rendimiento (TM/ha)
2018	51,409	2,926	17.5
2019	67,912	3,309	20.5
2020	89,711	3,743	23.9
2021	118,509	4,233	27.9
2022	156,550	4,788	32.6
2023	206,803	5,415	38.1
2024	273,186	6,124	44.5
2025	360,879	6,926	52.0
CAGR	32.1%	13.1%	16.8%

Fuente: Ministerio de Agricultura y Riesgo (MINAGRI) Perú (2019)

Por otro lado, las principales regiones productoras están detalladas en la siguiente tabla donde la producción promedio está expresada en toneladas métricas (TM).

Cuadro 4: Regiones productoras de locoto en Perú

Región	2014	2015	2016	2017	Producción promedio (TM)
Amazonas	254	414	307	294	317
Apurímac	55	38	34	27	39
Cuzco	837	841	611	750	760
Huánuco	644	732	831	1,106	828
Junín	1,551	1,746	2,172	2,695	2,041
La Libertad	1,278	104	84	165	408
Lima	--	--	20	--	20
Pasco	10,981	15,009	21,224	32,233	19,862
Puno	1,055	1,205	1,380	1,383	1,256
Tacna	216	406	425	264	328

Fuente: Ministerio de Agricultura y Riesgo (MINAGRI) Perú (2019)

En la tabla presentada se observa que el principal productor de locoto en toneladas métricas es Pasco, quien lidera con gran diferencia en comparación a otras regiones.

El segundo productor de locoto en el mundo es México que cuenta con la siguiente tasa de producción:

Cuadro 5: México: producción, superficie cosechada y rendimiento de chile manzano (Locoto) entre 2018 y 2025

Año	Producción (TM)	Superficie cosechada (ha)	Rendimiento (t/ha)
2018	51,409	2,926	17.5
2019	67,912	3,309	20.5
2020	89,711	3,743	23.9
2021	118,509	4,233	27.9
2022	156,550	4,788	32.6
2023	206,803	5,415	38.1
2024	273,186	6,124	44.5
2025	360,879	6,926	52.0
CAGR	58.2%	63.8%	-3.4%

Fuente: Ministerio de Agricultura y Riesgo (MINAGRI) Perú (2019)

Cuadro 6: Producción, superficie cosechada y rendimiento de chile manzano (locoto) invernadero entre 2018 y 2025 en México

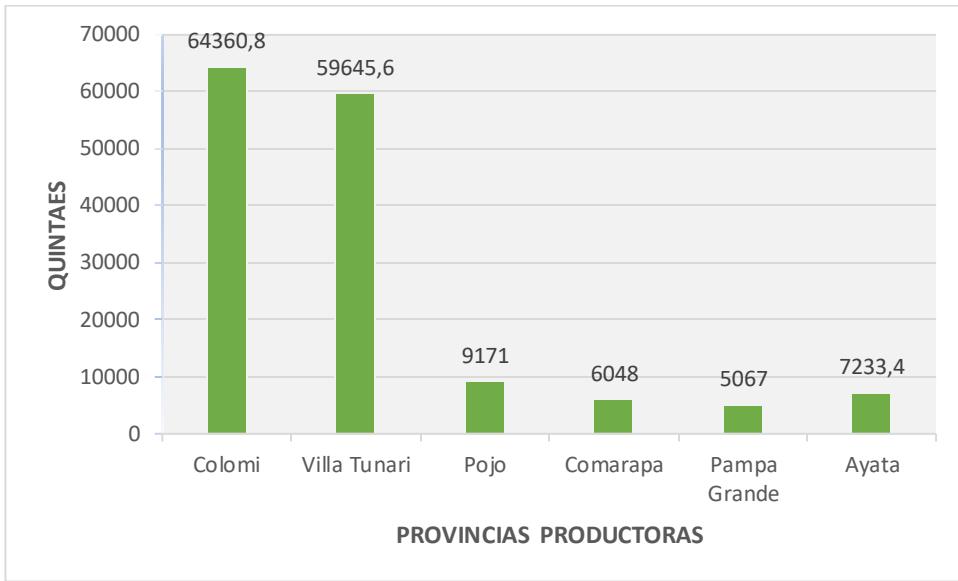
Año	Producción (TM)	Superficie cosechada (ha)	Rendimiento (t/ha)
2018	2629.98	52.85	49.71
2019	2877.19	55.86	51.41
2020	3147.65	59.05	53.15
2021	3443.53	62.41	54.96
2022	3767.22	65.97	56.83
2023	4121.34	69.73	58.76
2024	4508.75	73.70	60.76
2025	4932.57	77.91	62.82
CAGR	9.4%	5.7%	3.4%

Fuente: Ministerio de Agricultura y Riesgo (MINAGRI) Perú (2019)

En términos de producción nacional Colomi es el mayor productor de locoto en Bolivia, según resultados del Censo Agropecuario 2013, en el año agrícola 2012-2013 se cultivaron 483,1 hectáreas de este producto cuya producción fue de 64.360,8 quintales, informó el Instituto Nacional de Estadística (INE), al celebrarse el 72 aniversario del municipio perteneciente a la provincia Chapare.

A nivel nacional, los municipios de Villa Tunari y Pojo en Cochabamba y Comarapa en Santa Cruz, también se destacan por su producción de locoto.

Cuadro 7: Mayores productores de locoto en Bolivia



Fuente: Instituto Nacional de Estadística (2017)

Las estadísticas de producción de Locoto en Bolivia son escasas, de hecho, los pocos antecedentes muestran que las zonas de mayor producción de especies del género *Capsicum* son los valles ubicados entre los 1200 a 2500 m.s.n.m., estimándose que ésta alcanza a unas 20.000 toneladas. De acuerdo a la Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación (FAO,2013), la superficie, ha aumentado desde unas 2.600 hectáreas en el año 2010 a unas 5.500 hectáreas en el año 2013. Las exportaciones son menores, unas 4 toneladas de ají verde y unas 10 a 30 toneladas de ají seco. El tiempo que transcurre desde el momento de la cosecha hasta su llegada al mercado interno es de dos a tres días, en cambio a Buenos Aires, principal ciudad a la que se exporta, es de ocho días en transporte terrestre. El producto se empaca maduro y de color verde y llega "pintón" a los mercados de destino.

Según estudios estadísticos más recientes se tuvieron los siguientes resultados:

Cuadro 8: Superficie, producción y rendimiento por año agrícola en Bolivia

	2017-2018	2018-2019
Superficie (ha)	1586	1604
Producción (TM)	8482	9182
Rendimiento (kg/ha)	5349	5726

Fuente: Ministerio de Desarrollo Rural y Tierras (2019)

Objetivos

Objetivo general

Obtener en forma experimental locoto en polvo (*Capsicum pubescens*).

Objetivos específicos

- Caracterizar la materia prima, para la obtención de locoto en polvo.
- Realizar la descripción de los equipos que serán utilizados en el proceso de obtención de locoto en polvo.
- Definir las variables de proceso y la variable de respuesta que intervendrán en la obtención experimental de locoto en polvo.
- Determinar los costos de la obtención experimental de locoto en polvo.
- Realizar análisis fisicoquímico y microbiológico del producto final.

Justificación tecnológica

El proceso realizado artesanalmente para obtener locoto en polvo tiene muchas limitaciones, tales como la exposición al polvo además del posible contacto con insectos, el cual compromete al producto reduciendo su vida útil.

Con el proceso propuesto se evitarán los inconvenientes mencionados anteriormente, ya que el deshidratado se realizará con aire caliente asegurando un producto final más puro y duradero. El proceso será realizado en el Laboratorio de Operaciones Unitarias de la carrera de Ingeniería Química, perteneciente a la Facultad de Ciencias y Tecnología, dependiente de la Universidad Autónoma “Juan Misael Saracho”.

Justificación económica

El locoto en polvo representa una oportunidad comercial estratégica en el mercado tarijeño, ya que actualmente no se produce en la región. Su elaboración se concentra únicamente en Cochabamba y Santa Cruz, generando una brecha en la oferta local.

Esta carencia en la oferta local brinda una oportunidad para introducir un producto que no solo se alinea con las preferencias de los consumidores, sino que también responde a tendencias globales en el consumo de alimentos funcionales y saludables.

Justificación Social

La producción de locoto en polvo es socialmente relevante porque este ají posee características únicas que lo distinguen de otros ajíes. Su sabor distintivo y su alto nivel de picor le confieren una identidad propia en la gastronomía. Al procesar locoto en polvo, no solo se preserva y se valora esta singularidad culinaria, sino que también se contribuye al fortalecimiento de la identidad cultural.

Justificación ambiental

El locoto será procesado en casi su totalidad, generando únicamente residuos mínimos, como semillas, cáscaras y pedúnculos. Estos subproductos podrán ser reciclados y utilizados como abonos orgánicos, lo que facilitará la implementación de prácticas de gestión sostenible de residuos. Esta estrategia no solo optimiza el aprovechamiento del locoto, sino que también contribuye a la reducción de la contaminación ambiental.

CAPÍTULO I

MARCO TEÓRICO

1. MARCO TEÓRICO

1.1. Descripción del locoto en polvo

El locoto en polvo es un condimento picante elaborado a partir de la deshidratación y pulverización de frutos maduros de las plantas solanáceas, es también llamado locoto o *Capsicum pubescens*.

Este polvo es conocido por su intenso picante y su sabor distintivo, que combina notas afrutadas y ligeramente ahumadas. Su color varía desde el rojo intenso hasta tonalidades naranjas o marrones.

Se utiliza ampliamente en la cocina para sazonar y dar un toque picante a una variedad de platos, incluyendo sopas, guisos, salsas y marinadas. También puede espolvorearse sobre alimentos para intensificar su sabor. Además de su uso culinario, el locoto en polvo ofrece varios beneficios para la salud, como propiedades digestivas, antioxidantes y la capacidad de estimular el metabolismo (Smith, 1979)

1.2. Descripción de la materia prima

El género *Capsicum*, incluye un promedio de 25 especies y tiene su centro de origen en las regiones tropicales y subtropicales de América, probablemente en el área entre Bolivia y Perú, donde se han encontrado semillas de formas ancestrales de más de 7000 años, y desde donde se habría diseminado a toda América.

Es necesario destacar que existen otras especies del género cuyo fruto también es denominado ají. Estas especies de interés más puntual son *Capsicum chinense*, cuyo cultivar "Habanero" produce el ají más picante que se conoce, *Capsicum frutescens*, cuyo cultivar "Tabasco" es muy usado para la elaboración de salsa picante y pickles, *Capsicum baccatum*, cuyo producto es conocido como ají andino y es ampliamente cultivado en las zonas altiplánicas, y *Capsicum pubescens*, cuyo cultivar "Locoto" es muy apreciado por su sabor y picante, donde encontramos diversas coloraciones como el amarillo, rojo, naranja y morado. Oliva (et al.,2019).

1.3. Clasificación o variedades

Las especies del género *Capsicum*, que incluye todas las variedades de ají, tanto dulces (pimiento) como picantes (rocoto), han sufrido diversas modificaciones en su clasificación siendo la más reciente, la aprobada en la Reunión de Consulta sobre recursos fitogenéticos de *Capsicum*, en Costa Rica el año 1980. En ella se determinó que son cinco las especies cultivadas.

1.3.1. *Capsicum annum*

Es el nombre científico de la especie con variantes en cuanto a tamaño, color y picor, de los productos: ají, chile y pimiento. El pimentón es la pulverización del pimiento seco. Esta especie es cultivada mundialmente, siendo originaria de Mesoamérica, donde fue domesticada y donde se encuentran variedades silvestres, como la conocida popularmente con el nombre de chiltepín, chile soltero o chile loco. Es una especie del género *Capsicum* y muestra una piel de diferentes colores: rojo, verde, amarillo, púrpura (Colodro,2017).

1.3.2. *Capsicum chinense*

Es una especie de ají originaria de América, de la cual existen variedades como el ají limo, el ají panca y el ají habanero. El ají habanero (nombrado equivocadamente por la ciudad de La Habana, Cuba), es uno de los ajís con mayor intensidad picante del género *Capsicum*. También hay teorías que mencionan que al creerse que el ají era de origen asiático, se popularizó que también provenían de la isla de Java, y se les denominó "javaneros"; teoría que suele ser más realista dado que en Cuba no se consumía, ni se consume el picante. Los habaneros inmaduros son verdes, pero su color varía en la madurez. Los colores más comunes son anaranjados (semimaduros) y rojos (maduros), pero también existen en colores blancos, marrones, amarillos y rosados. Un habanero maduro es típicamente de 2-6 cm (1-2½ pulgadas) de largo. En México (Yucatán) se cosechan aproximadamente 1.500 toneladas anuales de ají habanero, considerado ya como parte de la cultura tradicional culinaria de Yucatán.

Otras zonas productoras de esta variedad de ají incluyen a Guatemala, Belice, Costa Rica, Panamá, Colombia, y algunos estados de EE.UU. como Texas, Idaho y California. En el Perú se cultivan las variedades de ají panca y ají limo. El ají panca es junto con el ají amarillo (*Capsicum baccatum*) uno de los ajíes más ampliamente usados en la gastronomía peruana. Es más frecuente en los aderezos de la sierra, como en el picante de cuy, también en platos como el anticucho. El ají limo, por otro lado, es una variedad de *Capsicum chinense* con alto contenido de capsaicina, muy apreciada en la gastronomía del Perú para la preparación de cebiches por su aroma frutal (Colodro,2017).

1.3.3. *Capsicum frutescens*

El *Capsicum frutescens* es un arbusto de la familia de las solanáceas, una de las cinco especies cultivadas del género *Capsicum*, que proporciona varias de las variedades cultivares más picantes de ají. En la Amazonía Peruana se conoce a una variedad de *C. frutescens* como ají charapita y es muy apreciado en la gastronomía. A diferencia de las otras especies domésticas de *Capsicum*, no se cuenta con evidencia fósil de *C. frutescens* en los yacimientos arqueológicos americanos, pero se supone que se domesticó en Centroamérica, probablemente en Panamá, difundiéndose paulatinamente por el área del Caribe y el norte de Sudamérica. Es endémica de Centro y Sudamérica, Guyana Francesa, Guyana Surinam, Venezuela, Brasil, Colombia, Ecuador y Perú. Como sucede en general con las solanáceas, la frecuente hibridación de los ejemplares dio lugar a múltiples variedades sumamente diferenciadas. Las más extensamente cultivadas son la brasileña malagueta, el peri-peri africano, el NagaJolokia o BihJolokia asiático y el tabasco, a partir del cual se produce la salsa del mismo nombre. Algunas de éstas rivalizan con el *C. chinense* en intensidad; de acuerdo a algunos informes, el NagaJolokia superaría los 850.000 puntos en la escala de Scoville (Colodro,2017).

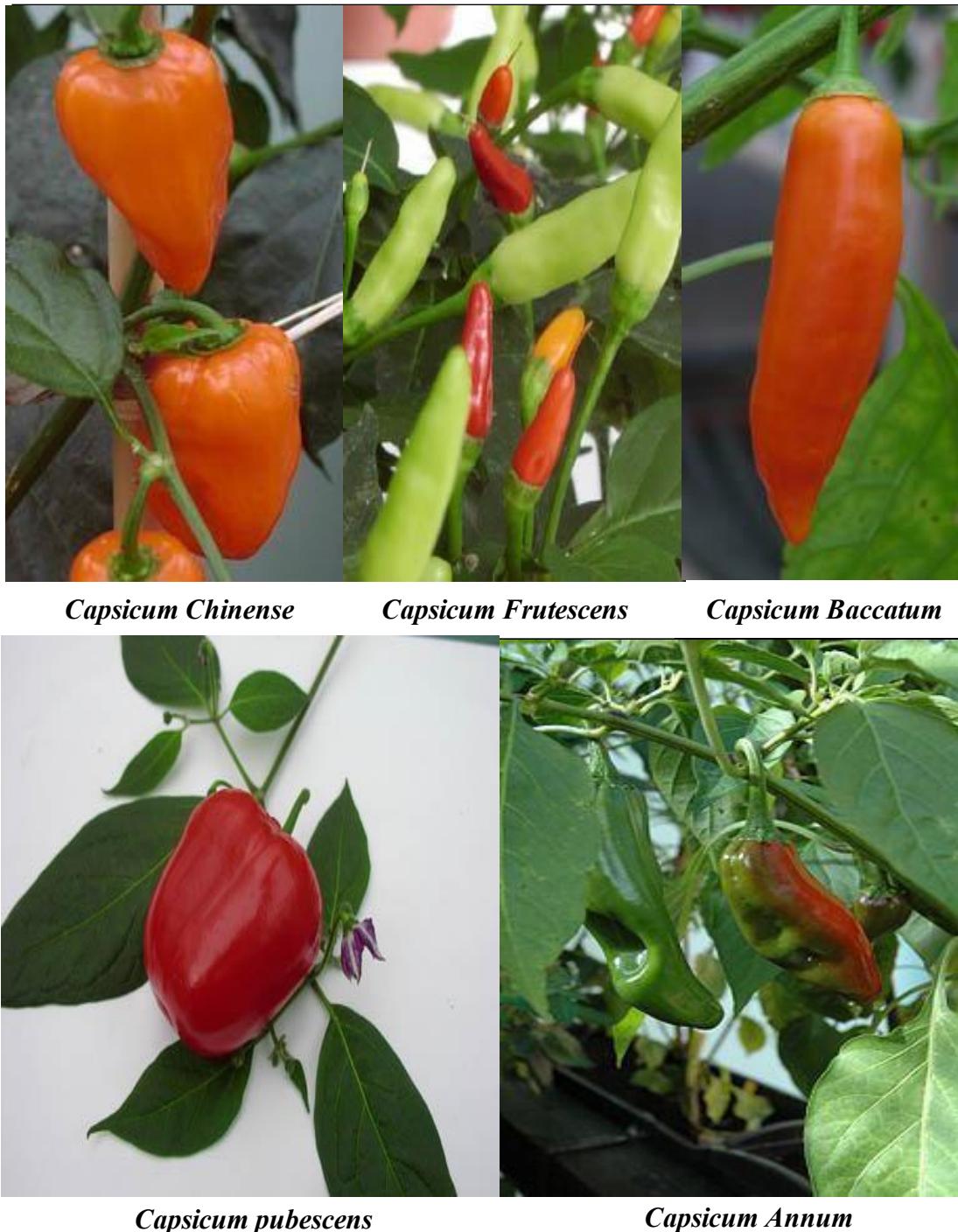
1.3.4. *Capsicum baccatum*

Capsicum baccatum, ají escabeche, ají amarillo es una especie de las Solanáceas, endémica del Perú desde hace 8.500 años a. C, proveniente de la Cueva de Guitarrero, en el Departamento de Ancash de este país. Dependiendo de la cantidad de este ají que se le ponga en un plato de la gastronomía del Perú, va a graduarse el picor, así como la graduación del color, de tal manera que es un saborizante y un colorante a la vez (Colodro,2017).

1.3.5. *Capsicum pubescens*

El locoto se remonta desde épocas preincaicas hasta la actualidad, usado principalmente por su sabor pungente sin que muchas veces se tenga idea del valor alimenticio, específicamente vitamínico y el papel importante que por ello podría estar desempeñando en la dieta diaria nacional, aun cuando sea usado en pequeñas proporciones. Su color puede variar desde el rojo, verde naranjo o amarillo. Se comercializa en su estado natural en los mercados bolivianos y peruanos, como también en pasta y en polvo. El nombre científico *Capsicum pubescens*, su nombre comercial es rocoto perteneciendo a la familia Solanáceas, generalmente las zonas de producción son los valles andinos, la época de siembra es todo el año teniendo como ámbito un clima templado, favoreciendo una temperatura óptima que fluctúa entre los 18 a 20° C con una humedad relativa baja (Colodro,2017).

Tabla I-1. Variedades de *Capsicum*.



Fuente: Colodro, 2017.

1.4. Variedades de locoto cultivadas en Bolivia

En el cultivo de *Capsicum pubescens*, actualmente no existe un estudio completo que caracterice las variedades o grupos varietales en las diferentes zonas de producción. No obstante, un análisis técnico ha revelado variaciones significativas en diversos parámetros morfológicos y fisiológicos. Estas incluyen la altura de las plantas, la pigmentación de las flores y de los tallos, así como la morfología y textura foliar. En cuanto a los frutos, se han observado diferencias en el color, la forma y la concentración de capsaicina. Además, se han identificado variaciones en la uniformidad de la maduración, la resistencia al transporte y la susceptibilidad a enfermedades. Algunas comunidades productoras seleccionan variedades específicas o grupos varietales en función de las demandas del mercado y del rendimiento agrícola que estas ofrecen. (Villagómez, Martínez, & González, 1999).

Tabla I-2. Variedades de locoto cultivadas en Bolivia.

GRUPO VARIETALES DE LOCOTO	
GRUPO VARIETAL	FORMA DEL FRUTO
Locoto rojo	<p>a) Redondo liso con 2, 3 y 4 esquinas</p> <p>b) Redondo arrugado con 2, 3, 4 hasta 5 esquinas.</p> <p>c) Alargado con 2 y 3 esquinas.</p>
Locoto amarillo	<p>a) Redondo liso con 2, 3 y 4 esquinas</p> <p>b) Redondo arrugado con 2, 3, 4 hasta 5 esquinas</p> <p>c) Alargado con 2 y 3 esquinas</p>
Viuda Roja (Locoto rojo con manchas negras)	<p>a) Redondo liso con 2, 3 y 4 esquinas</p> <p>b) Redondo arrugado con 2, 3, 4 hasta 5 esquinas</p> <p>c) Alargado con 2 y 3 esquinas</p>
Viuda Amarilla (Locoto amarillo con manchas negras)	<p>a) Redondo liso con 2, 3 y 4 esquinas</p> <p>b) Redondo arrugado con 2, 3, 4 hasta 5 esquinas</p> <p>c) Alargado con 2 y 3 esquinas</p>

Fuente: Villagómez, Martínez, & González, 1999.

Tabla I-3. Variedades de locoto cultivadas en Bolivia.

GRUPO VARIETALES DE LOCOTO	
GRUPO VARIETAL	FORMA DEL FRUTO
Locoto rojo	
Locoto amarillo	
Viuda Roja (Locoto rojo con manchas negras)	
Viuda Amarilla (Locoto amarillo con manchas negras)	

Fuente: Villagómez, Martínez, & González, 1999.

1.5. Taxonomía del locoto

Tabla I-4. Taxonomía del locoto.

REINO	Vegetal
PHYLUM	Telemophytae
DIVISIÓN	Tracheophytae
SUB DIVISIÓN	Anthophyta
CLASE	Angiospermae
SUB CLASE	Dicotyledoneae
GRADO EVOLUTIVO	Polemoniales
GRUPO DE ÓRDENES	Tetraciclicos
ORDEN	Polemoniales
FAMILIA	Solanaceae
NOMBRE CIENTÍFICO	<i>Capsicum pubescens</i> Ruiz & Pav.
NOMBRE COMÚN	Locoto

Fuente: Herbario Universitario (T.B.), 2024

1.6. Descripción botánica del cultivo

Es una planta semiarbustiva perenne, de cultivo anual; ya que disminuye su producción a partir del tercer año, de tal manera se debe renovar el cultivo a partir de la tercera o cuarta cosecha.

La especie tiene caracteres distintos a los demás ajíes, empezando por sus flores moradas, semillas negras y rugosas, su habilidad para tolerar

temperaturas bajas, sus paredes gruesas con alto contenido de humedad, hojas peludas y anteras moradas o violetas. La descripción morfológica y botánica según (Huacachino et al., 2023) es la siguiente:

1.6.1. Raíz

Tiene una raíz pivotante, que luego desarrolla un sistema radicular lateral muy ramificado que puede llegar a cubrir un diámetro de 0.90 a 1.20 m, en los primeros 0.60 m de profundidad del suelo.

1.6.2. Tallo

Puede tener forma cilíndrica o prismática angular, glabro, erecto y con altura variable, según la variedad. Esta planta posee ramas dicotómicas o seudo dicotómicas, siempre una más gruesa que la otra (la zona de unión de las ramificaciones provoca que éstas se rompan con facilidad). Este tipo de ramificación hace que la planta tenga forma umbelífera (de sombrilla).

1.6.3. Hojas

Son simples, alternas, pequeñas, con limbo oval lanceolado de bordes lisos, color verde oscuro, aovadas, enteras, glabras y pecíolos comprimidos.

1.6.4. Flores

Son actinomorfas, hermafroditas, con cáliz de 6 sépalos, Corola color blanco verduzco o blanco amarillento y pedicelos generalmente múltiples, de 6 pétalos y 6 estambres insertos en la garganta de la corola, el estigma generalmente está nivel de las anteras, lo que facilita la autopolinización. La polinización cruzada por los insectos es de un 80 % por lo que las variedades pierden su pureza genética rápidamente. Tiene ovario súpero.

1.6.5. Fruto

Es una baya, con dos a cuatro lóbulos, con una cavidad entre la placenta (tejido al que están unidas las semillas) y la pared del fruto, siendo la parte aprovechable de la planta. Tiene forma globosa, rectangular, cónica o

redonda. Existe una diversidad de formas y tamaños en los frutos, pero generalmente se agrupan en alargados y redondeados y tamaño variable, su color es verde al principio y luego cambia con la madurez a amarillo o rojo púrpura en algunas variedades. La constitución anatómica del fruto está representada básicamente por el pericarpio y la semilla. En casos de polinización insuficiente se obtienen frutos deformes.

Si cortamos el fruto por la mitad podemos observar la estructura interna:

1.6.5.1. Epicarpio: La piel que encierra el sabor

1.6.5.1.1. Variedad de colores: El epicarpio puede presentar una amplia gama de colores, desde el amarillo intenso hasta el rojo brillante, pasando por tonos naranjas y verdes. Estos colores no solo son atractivos visualmente, sino que también pueden indicar el nivel de madurez y, en algunos casos, el grado de picante.

1.6.5.1.2. Textura: La textura del epicarpio puede variar de una variedad a otra. Algunas tienen una piel lisa y brillante, mientras que otras presentan una superficie rugosa o ligeramente arrugada.

1.6.5.1.3. Protección: El epicarpio actúa como una primera barrera protectora para el fruto, resguardándolo de daños externos y de la pérdida de humedad.

1.6.5.2. Mesocarpio: El corazón picante del locoto

1.6.5.2.1. Concentración de capsaicina: La capsaicina es el compuesto químico responsable del sabor picante del locoto. Esta sustancia se encuentra principalmente en las venas y semillas, pero también está presente en la pulpa. La cantidad de capsaicina varía significativamente entre las diferentes variedades, lo que explica por qué algunos locotos son mucho más picantes que otros.

1.6.5.2.2. Humedad y sabor: El mesocarpio también contiene una gran cantidad de agua, lo que le confiere una textura jugosa y un sabor ligeramente dulce en algunas variedades. Esta combinación de agua y capsaicina crea una

experiencia gustativa única y compleja.

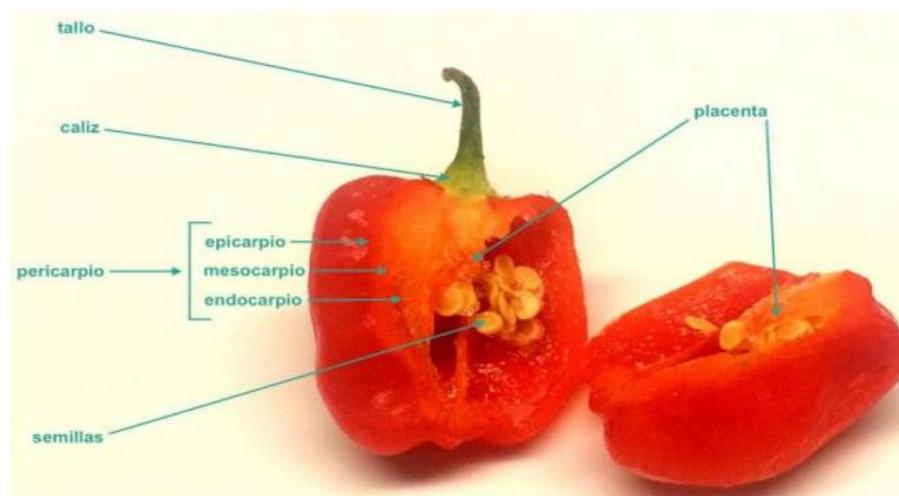
1.6.5.2.3. Semillas: Las semillas del locoto están inmersas en el mesocarpio y suelen ser de color claro y de forma ovalada. Aunque son pequeñas, contienen una alta concentración de capsaicina.

1.6.5.3. Endocarpio: La envoltura de las semillas

1.6.5.3.1 Función protectora: El endocarpio es una membrana delgada y translúcida que rodea cada semilla individualmente. Su función principal es proteger a las semillas de daños mecánicos y de la desecación.

1.6.5.3.2. Textura: La textura del endocarpio puede ser ligeramente viscosa o gelatinosa, lo que facilita la separación de las semillas de la pulpa.

Figura 1-1 Partes del locoto



Fuente: Colodro, 2017

1.7. Etapas de desarrollo del cultivo

En el ciclo del cultivo de locoto se pueden apreciar 4 etapas fenológicas en su desarrollo:

1.7.1. Almacigado

Esta fase se inicia con la germinación, el embrión se abotaña, la cubierta de la semilla se rompe y empieza a crecer la raíz y el tallo, hasta que llega a tener entre 4 y 6 hojas, en este estado se precede a su trasplante al área definitiva para que se lleve a cabo el cultivado, teniendo mucho cuidado con la raíz pivotante. Cualquier daño que ocurra durante este periodo tiene consecuencias fatales y es la etapa en la que se presenta la mortalidad máxima del locoto (Sardón, 2015).

1.7.2. Desarrollo vegetativo

Luego del desarrollo de las hojas cotiledones, inicia el crecimiento de las hojas verdaderas, que son alternas y más pequeñas que las hojas de una planta adulta (Sardón 2015).

Ya pasado el periodo de emergencia ocurrido por el trasplante, la tasa del crecimiento radicular aumenta rápidamente alargándose y profundizando la raíz pivotante, empezando a producir raíces secundarias laterales, a la par empieza a ocurrir el cambio del follaje y el tallo los mismos se empiezan a incrementar en número y tamaño, alcanzando las hojas el máximo tamaño, a medida que la planta crece las ramas se sub ramifican. En este periodo la planta puede tolerar niveles moderados de defoliación. En el botoneo, la planta necesita niveles altos de nitrógeno y potasio (Sardón 2015).

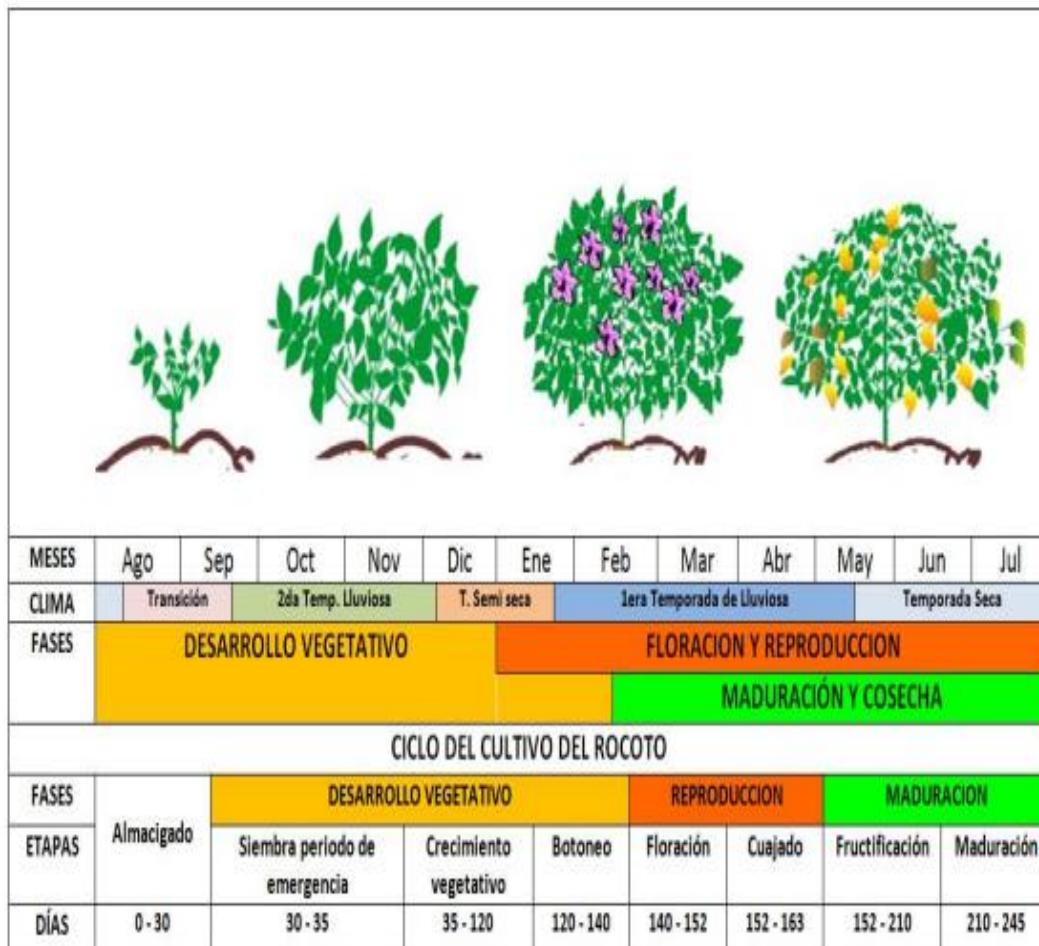
1.7.3. Floración

Al iniciar esta etapa, el locoto produce una gran cantidad flores, en la mayoría de las ramas, aunque debido al tipo de ramificación de la planta, parece que fueran producidas en pares en las axilas de las hojas superiores (Sardón, 2015).

1.7.4. Maduración

Al terminar la etapa de floración empieza la fructificación, de tal forma que cuando los primeros frutos empiezan a madurar, se inicia una fase de crecimiento vegetativos y de producción de flores. De este modo el locoto tiene ciclos de producción de frutos que se sobreponen con los otros ciclos de floración y del desarrollo vegetativo. Este patrón de fructificación da origen a frutos con distintos grados de madurez en las plantas, lo que usualmente permite cosechas semanales o quincenales, los periodos oscilan entre 6 y 15 semanas, dependiendo del manejo que se tenga del cultivo (Sardón, 2015).

Figura 1-2 Etapas de desarrollo del cultivo



Fuente: Sardón, 2015.

1.8. Características agroclimáticas del locoto

1.8.1. Altura

Los cultivos de locoto se ubican entre los 300 y 1900 m.s.n.m., se siembra preferentemente en la parte media y alta de los cerros, por tradición y para obtener mejores rendimientos, la altura óptima el desarrollo del cultivo está entre los 900 y 1200 msnm (Sardón, 2015).

1.8.2. Precipitación

El cultivo requiere una precipitación entre 0 y 1200 mm, de esta manera puede desarrollarse con un manejo de cultivo constante y de esta manera evitar las enfermedades y plagas o un veranillo prolongado en determinada fase de crecimiento puede ser crítica para el cultivo (Sardón, 2015).

1.8.3. Temperatura

El cultivo requiere de temperaturas mayores de 20°C para poder desarrollarse en óptimas condiciones, teniendo como límite máximo los 40°C. A temperaturas menores de 7°C la floración se retarda (Sardón, 2015).

1.8.4. Vientos

Los vientos fríos y secos producen una excesiva evapotranspiración y dan lugar a algunos daños por frio, dependiendo en la etapa en que se encuentre el cultivo, los vientos cálidos hacen que el cultivo se desarrolle con normalidad (Sardón, 2015).

1.8.5. Nubosidad

Los rendimientos del cultivo son mayores cuando hay mayor cantidad de iluminación solar (Sardón, 2015).

1.8.6. Fecha de siembra

La mejor época son los meses de agosto y septiembre debido a su proximidad al periodo de lluvias. Sin embargo, se puede sembrar en cualquier época del año (Sardón, 2015)

1.9. Enfermedades y plagas del locoto

Según Coca, (2012) , en el locoto se dan las siguientes enfermedades y plagas en sus diferentes fases del ciclo vegetativo del locoto.

1.9.1. Enfermedades

1.9.1.1. Amarillento

Es una de las principales enfermedades del locoto, comienza gradualmente desde un color verde pálido hasta llegar al amarillento y posteriormente alcanza su marchitamiento y defoliación completa de la planta, por ende, los frutos quedan reducidos en tamaño. En estas plantas el otro síntoma es la pudrición radicular siendo notable la ausencia de pelos absorbentes; así mismo en un corte a bisel en la base del tallo también se observa una decoloración en marrón oscuro de los vasos conductores.

1.9.1.2. Antracnosis

Es la enfermedad, más importante del locoto que tiene la forma de una papa deshidratada de color oscuro y arrugado. Esta enfermedad afecta a frutos y tallos, pero el principal daño es recibido por el fruto, que es afectado desde el inicio de su formación hasta en la maduración. El síntoma característico en los frutos es la formación de manchas oscuras circulares a irregularidades y hundidos, cuando los frutos están en maduración sobre estas manchas se forman unos puntos de color naranja.

1.9.1.3. Risotonia *Solanacearum*

Esta bacteria que se mueve a través de los vasos conductores, ocasiona amarillamiento y marchitez, ataca a través de la semilla. Una vez detectada se debe eliminar la planta dañada para evitar su propagación.

1.9.1.4. Virus mosaico del Tomate

Ocasiona amarillamiento en las nervaduras y caída de hojas. Los frutos son deformados y se forman estrías amarillas. Son transmitidas por escarabajos, además se disemina por el contacto entre plantas y las semillas provenientes de plantaciones ya infectadas. Se debe eliminar las plantaciones contagiadas y quemarlas.

1.9.1.5. Nematodo nodular de la raíz

El síntoma característico se observa en las raíces hinchadas. Dentro de estas raíces hinchadas se encuentran unos cuerpos globosos de color cristalino y transparente. Visto al microscopio estos tienen una cabeza y un cuerpo globoso que 18 corresponden a las hembras en estado de madurez. Los nemátodos son pequeños animales que tienen la forma de un gusano, conocido como *Meloidogyne spp.* Estos nemátodos son habitantes del suelo por esta razón pueden diseminarse a otros lugares a través del suelo contaminado. Estando el nematodo en el suelo, penetra a las raíces a través de las raicillas causando heridas, pero también por la misma herida pueden ingresar otros hongos como el Fusarium causando pudriciones, ocasionando mayores pérdidas en la producción.

1.9.1.6. Oidiosis

Se manifiesta como un polvo blanco en las hojas, produce desecamiento del follaje, causada por la *Leveillula taurica*.

1.9.1.7. Pudrición de flores y frutos

Los órganos atacados se tornan verde pálido primero, luego se secan y arrugan, haciéndose evidente una pulverulencia gris en la superficie, causada por la *Botrytis cinerea*.

1.9.1.8. Mancha negra o tizón temprano

Las hojas se ven afectadas con manchas necróticas de color oscuro formando círculos concéntricos. Pueden afectar también frutos, causada por la *Alternaria solani*.

1.9.1.9. Marchites bacteriana

Se presenta con un marchitamiento rápido de la planta, amarillamiento y defoliación. Al corte del tallo se observa un flujo blancuzco, causado por la *Ralstonia solanacearum*.

1.9.2. Plagas

1.9.2.1. Ácaros

Se alimentan en el envés de las hojas jóvenes (acaro hialino) y hojas maduras (arañita roja) causando encrespamiento o bronceado y posterior caídas de hojas, causado por el *Poliphagotarsonemus latus* (acaro hialino), *Tetranychus spp.* (arañita roja).

1.9.2.2. Gusano de Tierra

Las larvas cortan plántulas a nivel del cuello, especialmente en almácigos y campos recién sembrados, causado por la *Agrotis spp.*, *Feltia spp.*

1.9.2.3. Mosca blanca

Los adultos y las ninfas se alimentan succionando la savia de las hojas tiernas, posteriormente las ninfas excretan una sustancia azucarada sobre la cual se desarrolla fumagina. Causa debilitamiento en general de la planta y puede transmitir virus.

1.9.2.4. Caracha o mosquilla de los brotes

Las larvas causan deformaciones en brotes y frutos tiernos, causada por el *Prodiplosis longifila*.

1.9.2.5. Pulgones

Los adultos y ninfas succionan la savia, debilitan la planta, causan encrespamiento, desecación, caída de hojas y flores e incluso pueden transmitir virus a favorecer el crecimiento de fumagina, causado por el *Prodiplosis longifila*.

1.9.2.6. Mosca minadora

Las larvas se alimentan dentro de las hojas causando galerías retorcidas o minas que en un inicio son blanquecinas y posteriormente se tornan oscuras, causado por la *Liriomyza huidobrensis*.

1.9.2.7. Comedores de hojas

Las larvas se alimentan de las hojas dejándolas esqueletizadas, causado por la *Spodoptera spp.*, *Copitarsia spp.*, *Pseudoplusia includens*.

1.9.2.8. Comedor de frutos

Las larvas perforan flores y frutos ocasionando la pudrición y caída de estos, causado por *el Heliothis virescens*, *Spodoptera spp.*, *Symmestrichema Capsicum*.

1.9.2.9. Enrollador de hojas

Las larvas esqueletizan las hojas, luego las enrolla para empumar, puede incluso perforar frutos, causado por la *Lineodes integra*.

1.10. Composición química

Tabla I-5. Composición química de locoto

Por 100 g de peso	Mínimo	Máximo
Agua	20.7 g	93.1 g
Hidratos de Carbono	5.3 g	63.8 g
Proteínas	0.8 g	6.7 g
Extracto Etéreo	0.3 g	0.8 g
Fibra	1.4 g	23.2 g
Cenizas	0.6 g	7.1 g
Calcio	7 mg	116 mg
Fósforo	31 mg	200 mg
Hierro	1.3 mg	15.1 mg
Riboflavina	0.07 mg	1.73 mg
Niacina	0.75 mg	3.30 mg
Ácido Ascórbico	14.4 mg	157.5 mg
Calorías	23	233
Capsaicina	150 mg	335 mg por 100g/peso

Herrera Quesquén, O. A., & Seclén Falen, M. S., 2017

1.11. Valor nutricional

El locoto es un excelente protector estomacal, el consumo habitual de locoto se recomienda para el tratamiento de las úlceras, la gastritis, la colitis y en general beneficia al sistema digestivo.

Su principio activo radica en que los jugos gástricos tienen la acidez suficiente para neutralizar su picor, pero, además, la capsaicina que posee el locoto estimula la segregación de jugos gástricos y propicia la acumulación de lípidos y bicarbonatos en la mucosa del estómago, fortaleciéndola y facilitando el proceso digestivo. Además, la salivación extra que produce en la boca contribuye a una mejor digestión en general (Cico y corpei, 2019).

El locoto posee los siguientes beneficios:

1.11.1. El locoto tiene propiedades desinflamatorias y antibióticas

Por ello las semillas del ají se empleaban antiguamente para combatir el dolor de muelas. Sus propiedades desinflamantes combinadas con las digestivas lo convierten en un buen remedio para las hemorroides (Lozano, 2017).

1.11.2. El locoto produce endorfina

La sensación de dolor controlado que el picor del locoto produce en la lengua es equiparable al que sentimos cuando practicamos deporte, como respuesta nuestro organismo produce endorfinas que inhiben ciertas partes del cerebro produciendo una sensación de placer (Lozano, 2017).

1.11.3. El locoto es útil para combatir la neuropatía diabética

Administrado como capsaicina tópica alivia el dolor asociado a la soriasis y artrosis (Lozano, 2017).

1.11.4. El locoto es bueno para la hipertensión

Actúa como dilatador de los vasos sanguíneos, se aconseja para aliviar el malestar y bajar la presión de las personas que sufren este mal (Lozano, 2017).

1.11.5. El locoto es fuente de vitamina C y ayuda para combatir la anemia y excelente Antioxidante

Un locoto posee una cantidad de vitamina C cuatro veces superior al de la naranja y al igual que otros frutos sus propiedades antioxidantes son parte esencial de una dieta sana aconsejada para prevenir el cáncer. Por la combinación de vitamina C con sus efectos desinflamantes y digestivos es ideal para tratamientos de la anemia: la vitamina C ayuda a absorber el hierro, la capsaicina neutraliza los efectos inflamatorios de las cápsulas de hierro en el estómago protegiendo la mucosa estomacal, finalmente sus efectos digestivos y desinflamatorios previenen y combaten los problemas de estreñimiento que produce este tipo de tratamiento.

1.11.6. El locoto ayuda a curar quemaduras

Detiene la infección y ampollas por quemaduras regenerando la piel. Para poder sometido a procesos y utilizado como crema o en cápsulas. Su contacto directo en estos casos ocasionaría mayor picazón (Lozano, 2017).

El potencial de compuestos naturales que ofrece el género *Capsicum* es impresionante, sin embargo en nuestro país muy poco se ha investigado para utilizar estas ventajas comparativas, competitivas, ya que las tendencias actuales a nivel mundial, consideran prioritarias la búsqueda de nuevos compuestos bioactivos, ingredientes, sabores, aromas naturales de matrices vegetales, para utilizarlos como alimentos saludables y nutritivos que orienten a mejores oportunidades de comercialización para posesionarse en mercados verdes de alimentos funcionales, nutracéuticos, cosmecéuticos, productos orgánicos e insumos exclusivos. Además de estos usos, los frutos se utilizan procesados o en fresco y bajo diferentes formas para la preparación y aliño de los alimentos. La calidad de los frutos del ají y de sus subproductos depende del color, el aroma y la pungencia (Lozano, 2017).

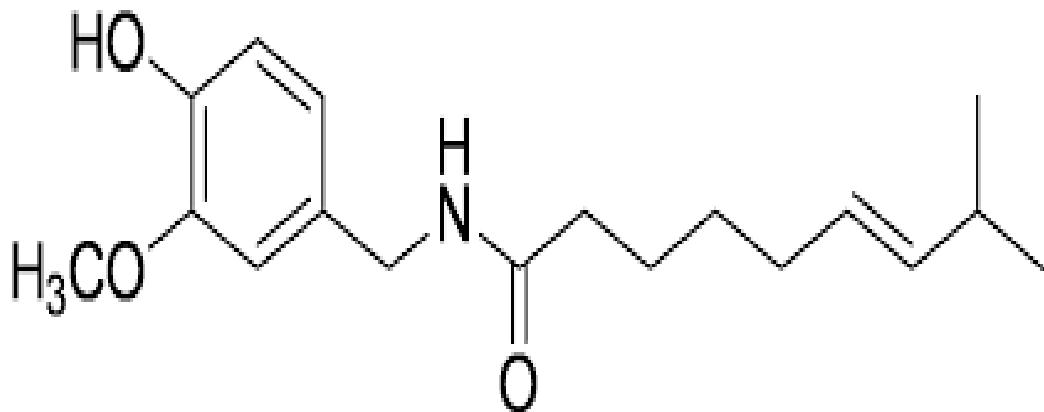
1.12. Capsaicina

El compuesto químico capsaicina, capscina, o capsaicina (8-metil-N-vanillil-6-nonenamida), es una Oleorresina, componente activo de los pimientos picantes

(*Capsicum*). Es irritante para los mamíferos; produce una fuerte sensación de ardor (pungencia) en la boca. La capsaicina y otras sustancias relacionadas se denominan capsaicinoides y se producen como un metabolito secundario en diversas especies de plantas del género *Capsicum*, de esta manera se les hace imposible consumirla a los animales herbívoros. Las aves en general no son sensibles a los capsaicinoides. La capsaicina pura es un compuesto lipofílico, inodoro, incoloro, parecido a la cera (Fojo, 2017).

A pesar de que no tiene sabor es uno de los compuestos más pungentes conocidos, detectable al paladar en diluciones de 1 a 70 millones. Es poco soluble en agua, pero muy soluble en alcohol, grasas y aceites.

Figura 1-3 Fórmula química de la Capsaicina



Fuente: Revista de química PUCP,2013

El contenido en capsaicina es mayor en la placenta y en el septo, en donde representa un 2.5% de la materia seca, mientras que el contenido medio del fruto es del 0.6%, el de las semillas del 0.7% y el del pericarpio del 0.03% Herrera et al. (2017).

Tabla I-6. Capsaicina contenida en 100 g de *Capsicum*.

	Por 100 g de ají	Masa de capsaicina	mg de capsaicina/mg Ají	% Capsaicina
Pericarpio	38	0.2204	2.204	51.80
Placenta	2	0.154	1.54	36.20
Semilla	56	0.051072	0.51072	12.00
Tallo	4	0	0	0

Fuente: Mosoeunyane, 2003.

Este compuesto que se encuentra en los ajíes picantes como el locoto, tiene propiedades antimicrobianas que pueden ser útiles como conservante natural en alimentos

1.12.1. Propiedades Antimicrobianas

1.12.1.1. Efectividad Contra Patógenos: La capsaicina ha demostrado ser efectiva contra una amplia gama de bacterias, hongos y otros microorganismos patógenos, incluyendo *Escherichia coli*, *Salmonella spp.*, *Listeria monocytogenes*, y *Staphylococcus aureus*.

Se cree que la capsaicina interfiere con la membrana celular de los microorganismos, causando daño estructural y funcional que conduce a la muerte celular.

1.12.1.2. Aplicaciones en Conservación de Alimentos

1.12.1.2.1. Carnes y Productos Lácteos: La capsaicina puede usarse para prolongar la vida útil de carnes frescas y productos lácteos al inhibir el crecimiento de bacterias patógenas y de descomposición.

1.12.1.2.2. Frutas y Verduras: Puede aplicarse en el recubrimiento de frutas y verduras para retardar el crecimiento de moho y bacterias, ayudando a mantener la frescura y calidad.

1.12.1.2.3. Productos Procesados: En alimentos procesados, la capsaicina puede usarse como aditivo para prevenir la contaminación y prolongar la vida útil del producto.

1.12.2. Ventajas del Uso de Capsaicina como Conservante

1.12.2.1. Naturalidad: Es un compuesto natural y puede ser preferido por los consumidores que buscan productos libres de conservantes químicos.

1.12.2.2. Salud: Además de sus propiedades antimicrobianas, la capsaicina tiene beneficios para la salud, como propiedades antioxidantes y antiinflamatorias.

1.12.2.3. Seguridad: Generalmente es seguro para el consumo en las concentraciones utilizadas para conservación, aunque el nivel de picor debe manejarse cuidadosamente.

1.12.3. Estudios y Evidencia Científica

1.12.3.1. Investigaciones Recientes: Estudios han demostrado que la capsaicina tiene un efecto inhibidor significativo sobre varios patógenos alimentarios. Por ejemplo, un estudio publicado en el *Journal of Food Protection* encontró que la capsaicina puede inhibir el crecimiento de **Listeria monocytogenes** en productos cárnicos.

1.12.3.2. Eficiencia Comparativa: La capsaicina ha sido comparada con otros conservantes naturales y sintéticos, mostrando una eficiencia comparable o incluso superior en algunos casos.

Como podemos deducir después de la revisión bibliográfica el alto contenido de capsaicina del fruto ayudará a su conservación y podrá inhibir los diversos microorganismos que puedan llegar a presentarse. Con la adecuada conservación el producto podría durar hasta 2 años.

1.13. Escala de Scoville

Wilbur Scoville desarrolló, en 1912, el famoso método de clasificación de los ajíes según el grado relativo del picante. En aquella época y sin la tecnología actual, Scoville basó su investigación en pruebas subjetivas del gusto. Diluyó diferentes pimientos hasta que la lengua dejaba de notarlos. Cuanto más fuerte era el picor, más disolución requería. Esas pruebas originaron la famosa Unidad Scoville, por la que se clasifican los diversos picantes según su intensidad (Colodro, 2017)

Según los datos publicados (Ahumada y Condori 2019) los resultados del análisis de pungencia por el método SCOVILLE realizado al locoto fresco y polvo dieron como resultado 14925 y 15000 respectivamente.

1.14. Selección y Descripción del proceso para la obtención experimental de locoto en polvo

Para el tratamiento de alimentos, es esencial considerar los atributos de las materias primas, ya que estos impactan directamente en la calidad del producto final. Los atributos críticos a evaluar incluyen el color, la forma, maduración, etc. Por tanto, la selección debe realizarse conforme a las siguientes directrices técnicas:

1.14.1. Color

Elegir entre locoto maduro o verde para preparar polvo puede ser un desafío, ya que las propiedades del producto final varían según la madurez del fruto. Esta tabla comparativa tiene como objetivo facilitar la toma de decisiones al presentar las características clave de cada tipo de locoto en relación con su uso para la elaboración de polvo.

Tabla I-7. Tabla de comparación entre locoto verde y maduro.

Característica	Locoto maduro	Locoto verde
Compuestos químicos	Mayor contenido de carotenoides y azúcares	Menor contenido de carotenoides y azúcares
Propiedades físicas	Más blando	Más firme
Humedad	Menor contenido de humedad	Mayor contenido de humedad
Sabor	Mas picante, sabor más afrutado	Menos picante, sabor más herbal
Aroma	Aroma más intenso y afrutado	Aroma menos intenso y más herbal

Fuente: Trauco, 2019

1.14.2. Selección del Locoto Adecuado

La elección entre locoto maduro o verde depende de diversos factores:

- **Variedad:** Cada variedad de locoto posee un perfil único de compuestos químicos, incluyendo carotenoides, capsaicinoides y aceites esenciales, que influyen en el color, aroma, sabor y picor del polvo.
- **Propiedades deseadas:** Las propiedades fisicoquímicas del polvo final, como el contenido de humedad, color, aroma y sabor, deben considerarse en función de la aplicación prevista.
- **Tipo de producto:** El tipo de producto que se desea obtener, ya sea un colorante natural, un condimento picante o un ingrediente para salsas, guiará la selección del tipo de locoto.
- **Perfil de sabor:** El perfil de sabor deseado para el producto final es un factor crucial. Si se busca un sabor más suave y afrutado, el locoto maduro puede ser

la mejor opción. En cambio, para un sabor más picante y herbal, el locoto verde es recomendable.

1.14.2.1. Forma

Para tener un secado adecuado el tamaño y dimensión del locoto deben ser semejantes entre sí, para que de esta manera obtengamos un secado uniforme.

1.14.2.2. Maduración

Como el proyecto está enfocado a la obtención de locoto en polvo, se optará por el fruto maduro.

Como vimos en la tabla comparativa en la Tabla I-7, el fruto maduro es el indicado para la elaboración del locoto en polvo ya que en sus principales características se encuentra:

1.14.2.2.1. Sabor intenso y afrutado: El locoto maduro tiene un sabor más complejo y dulce en comparación con su versión verde. Aporta notas afrutadas que pueden recordar a los pimientos rojos maduros.

1.14.2.2.2. Picante intenso: El locoto maduro es conocido por su nivel alto de capsaicina, lo que le confiere un picante intenso y persistente. Este picante es característico de los ajíes de la especie *Capsicum pubescens*. Su concentración tiende a incrementarse a medida que el fruto madura (De Witte, C., et al. 2021).

1.14.3. Pelado

1.14.3.1. Pelado químico:

Es una fase previa de preparación para conservar frutas y hortalizas. Las soluciones de soda cáustica actúan como agente activo en el pelado químico, teniendo un efecto disolvente sobre las hemicelulosas que forman el tejido de unión entre la dermis y la epidermis de la fruta a pelar. Las diversas operaciones del pelado químico son:

1.14.3.1.1. Prelavado

Con el fin de reducir la contaminación con tierra y otras materias extrañas, se recomienda un lavado previo de los productos a pelar.

1.14.3.1.2. Pelado

Consiste en sumergir el fruto en un recipiente con una solución de hidróxido de sodio. Los parámetros clave que influyen en un pelado óptimo incluyen la concentración de hidróxido de sodio, la temperatura de la solución y el tiempo de exposición. Estos parámetros deben ajustarse según el tipo de producto y su grado de madurez. Además, se debe evitar el uso de utensilios y recipientes de aluminio, zinc, cobre y latón, ya que estos materiales son susceptibles a la corrosión por el hidróxido de sodio.

1.14.3.1.3. Lavado

Tras el tratamiento con hidróxido de sodio, el producto debe ser sometido a un lavado exhaustivo con agua corriente. Este lavado tiene como objetivo eliminar completamente los residuos de sosa cáustica y cualquier resto de piel desprendida. La acción del chorro de agua facilita el desprendimiento de la epidermis, asegura la eliminación de cualquier traza de alcalinidad residual y deja las frutas y hortalizas limpias y suavizadas, preparadas para etapas posteriores del proceso.

1.14.3.1.4. Neutralización

Para garantizar la eliminación completa de residuos de hidróxido de sodio en la superficie pelada, se recomienda sumergirlas, tras el lavado, en un baño de neutralización que contenga entre 3 y 5 gramos de ácido cítrico por litro de agua. Este tratamiento ácido asegura la completa neutralización de la sosa cáustica (Muñoz, 2014).

Según lo planteado el pelado químico tiene las siguientes ventajas y desventajas:

Tabla I-8. Ventajas y desventajas del pelado químico.

Ventajas	Desventajas
<ul style="list-style-type: none"> • Alta calidad • Alto rendimiento • Bajo costo • Manejo rápido • Adaptable a gran escala • Desprendimiento de la piel mediante enjuague o fricción suave. • Preservación de la textura interna y propiedades organolépticas del locoto. • Reducción significativa de la pérdida de pulpa. • Mejora de la inocuidad del fruto al eliminar contaminantes superficiales. • Contribuye a eliminar microorganismos superficiales. 	<ul style="list-style-type: none"> • No se puede utilizar la piel • Contaminación de efluentes • Uso de productos químicos corrosivos.

Fuente: Muñoz,2014

1.14.3.2. Pelado por escaldado

El escaldado es un tratamiento térmico corto que involucra la exposición de los tejidos vegetales a alguna forma de calor. El propósito del escaldado es preparar a los productos vegetales para la siguiente etapa de los procesos de congelación, deshidratación y elaboración de conservas. Este proceso consiste en elevar la temperatura de la materia prima, exponiéndola a un medio calórico húmedo (generalmente entre 70°C - 100°C), mantener dicha temperatura por un tiempo determinado y luego enfriar el producto rápidamente a una temperatura cercana a la

ambiental, para así evitar que el producto alcance la pre-cocción y en algunos casos la cocción:

El escaldado consiste en someter el alimento (materia prima) a alguno de los siguientes procesos, dependiendo del alimento a tratar:

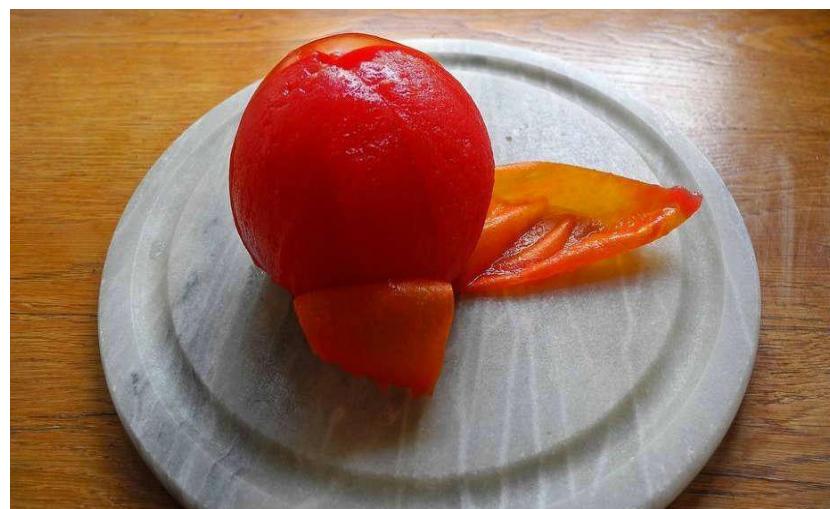
1.14.3.2.1. Escaldado con agua caliente

Se somete al alimento a una inmersión en agua caliente. Esta forma es muy eficiente y uniforme, ya que el proceso se puede controlar adecuadamente. Las desventajas que presenta es el gran volumen de agua requerido y el riesgo de lixiviación (extracción) de algunas vitaminas y minerales importantes.

1.14.3.2.2. Escaldado por vapor

Se expone el alimento al vapor vivo. Con este método los productos retienen su valor nutricional. Su mayor desventaja es que resulta menos eficiente, ya que requiere mayor tiempo para la inactivación de enzimas. Además, es más complicado controlar el tiempo y temperatura, ocasionando daños al producto.

Figura 1-4. Escaldado por vapor



Fuente: Gonzalez, 2023

1.14.3.2.3. Escaldado químico. Se utiliza cuando los dos métodos anteriores provocan daños graves al alimento, como en el caso del higo o la fresa ya que éstos son muy delicados. Se realiza mediante la adición de un químico, utilizando compuestos como dióxido de azufre, sulfitos que reaccionan con compuestos fenólicos, inactivando enzimas (Flores, 2018).

Tabla I-9. Ventajas y desventajas del escaldado

Ventajas	Desventajas
<ul style="list-style-type: none"> • Reduce parcialmente la presencia de bacterias en los alimentos al ser limpiados, desecados o congelados. • Inhibe la acción enzimática. • Abla la piel de los alimentos para ser pelados. • Mejora la manipulación y envasado de los productos. • Evita la corrosión y prolonga la conservación de los alimentos. 	<ul style="list-style-type: none"> • Reduce los nutrientes. • Dependiendo el tipo de escaldado, se requiere un elevado volumen de agua. • Genera grandes cantidades de aguas residuales. • Se corre el riesgo de contaminación con microorganismos. • Puede producir pérdida de peso en los productos.

Fuente: Flores, 2018

1.14.3.3. Pelado por flameado

Consiste en una rotación del producto sobre flama o encima de parrillas que irradian calor. Al terminar el tratamiento se sumerge el producto en agua fría y se eliminan las pieles chamuscadas. Se necesita una exposición a temperaturas de 350°C a 1100°C en tiempos cortos, lo que propicia la formación de ampollas en la piel que se eliminan con agua a alta presión.

Tabla I-10. Ventajas y desventajas del pelado por flameado

Ventajas	Desventajas
<ul style="list-style-type: none"> • Eficiencia y rapidez: Permite pelar grandes volúmenes de productos en poco tiempo. • Mínimo uso de agua: Aunque se utiliza agua para eliminar la piel quemada, el consumo es menor en comparación con otros métodos de pelado. • Mejor conservación del sabor y color: El contacto rápido con altas temperaturas minimiza la cocción del producto, ayudando a conservar su color, sabor y textura originales. • Versatilidad: Es adecuado para una amplia gama de productos vegetales con piel delgada, como pimientos, tomates, cebollas y berenjenas. • Desinfección parcial: Las altas temperaturas pueden eliminar algunas bacterias superficiales, mejorando la higiene del producto 	<ul style="list-style-type: none"> • Pérdida de producto: Puede haber pérdidas principalmente debido a la eliminación de la piel y partes superficiales quemadas. • Costo energético: Requiere una considerable cantidad de energía para mantener las altas temperaturas necesarias para el flameado. • Generación de residuos: La piel quemada y los restos deben ser manejados adecuadamente, lo que puede generar costos adicionales de tratamiento de residuos. • Control de calidad: Es crucial un control preciso de la temperatura y el tiempo de exposición; de lo contrario, el producto puede quemarse • Riesgo de alteración del sabor: Si no se controla bien, el sabor del producto puede verse alterado.

Fuente: Universidad del Sagrado Corazón, 2024

1.14.4. Secado

El secado es uno de los procesos para la conservación de alimentos más antiguos y conocidos que existen, cuyo objetivo principal es reducir el contenido de humedad con lo cual se reduce la actividad enzimática y la capacidad de los microorganismos para desarrollarse sobre el alimento. Del mismo modo, la deshidratación de alimentos permite transformar materias primas en nuevos productos como ser el caso de las sopas deshidratadas, cereales para desayuno y harinas. Otro concepto establecido por (Miralbés, 2019), señala que: el secado es la separación parcial o total del líquido que le acompaña, por medios térmicos. El secado difiere de la evaporación ya que, en esta, el líquido se elimina por ebullición, mientras que aquí el líquido es arrastrado por el aire en forma de vapor, a temperatura generalmente inferior a la ebullición. Las mezclas tratadas a ebullición suelen contener más líquido que sólido, mientras que en el secado sucede lo contrario.

La deshidratación en la industria alimentaria está definida, como el proceso de secado artificial, por lo tanto, la deshidratación implica el control sobre las condiciones climáticas dentro de una cámara de secado por bandejas mediante un aire caliente circulante.

La fragmentación de los alimentos determina una reducción de peso y de volumen, por unidad de valor alimenticio, con lo que se alarga el tiempo de vida útil de los productos deshidratados en comparación con los frescos. Esto debido a que la composición o degradación de un alimento se debe a dos tipos de fuerzas, "Las fuerzas químicas y las biológicas," el hombre puede controlar las fuerzas químicas en el alimento deshidratado con el empaque y ciertos aditivos químicos, las fuerzas biológicas son controladas reduciendo el contenido de agua libre, con lo que permanecen los microorganismos en estado latente en periodos prolongados de tiempo, dependiendo esto del contenido total de agua restante en el alimento (Choque, 2003).

Uno de los criterios de clasificación de tipos de secadores se basa en la manera de transmitir el calor, fundamentalmente, por convección, conducción y radiación. Los

distintos mecanismos de transporte de calor implicados en el secado repercuten en la cinética del proceso y por tanto en los costes totales.

En el proceso de deshidratación de alimentos se utilizan diversos métodos, la selección del equipo se encuentran en función a la naturaleza del producto que va ser secado, la forma deseada del producto terminado, la economía, las condiciones de operación y otros.

1.14.4.1. Secado natural

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

Una de sus ventajas radica en que el proceso barato con niveles de contaminación mínimas al medio ambiente.

Lamentablemente los productos obtenidos con este tipo de secado tienen calidad media, además que es dependiente de las condiciones climáticas y el control de higiene del medio que rodea al producto, otra desventaja es que toma muchos días y esto puede ocasionar la contaminación en el producto final. (Calderon, 2010).

1.14.4.2. Secado al vacío

Es un proceso de secado para materiales térmicamente sensativos como son las industrias farmacéuticas, químicas, así como los productos alimenticios y de biotecnología. Este proceso de secado trabaja con presiones por debajo de la presión normal, creando espacios vacíos sin materia, condiciones ideales para que la presión de vapor internamente se equilibre más rápidamente con la presión de vapor externa, dando como resultado la reducción del punto de ebullición de los líquidos que se encuentran dentro del alimento a más bajas temperaturas. La rapidez del secado dependerá de la capacidad del equipo, así como de la influencia de la presión, a menores presiones habrá mayor remoción de vapor de agua en los alimentos. (Calderon, 2010). Este secado es ideal para alimentos que pueden ser dañados a altas

temperaturas, previene la oxidación, pero una de sus grandes desventajas es que consume mucha energía.

1.14.4.3. Secado por aire forzado

El deshidratado con aire caliente forzado es el método más común para secar productos alimenticios. En este método, el aire caliente remueve el agua en estado libre de la superficie de los productos. 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. aire del exterior necesario para la renovación, obligando a un flujo forzado de aire (Tolaba,2023).

1.14.4.4. Secado por congelación

Uno de los métodos más estudiados y exitosos es la liofilización que es básicamente una técnica para eliminar agua a bajas temperaturas y presiones (el proceso puede describirse en tres pasos) en el que inicialmente el producto se congela (donde se separa el agua de los otros componentes al disminuir la temperatura para que se forme hielo) a condiciones atmosféricas y (segundo paso, un secado primario donde se retira el agua congelada por sublimación), posteriormente el hielo se sublima. El tercer paso, consiste en eliminar otras cantidades de agua que no se hayan congelado, llamado secado secundario, esta parte del proceso se realiza a altas temperaturas y baja presión. (Calderon, 2010)

1.14.4.5. Secado por 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. 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. 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. 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. Con este método el tiempo de secado se reduce significativamente y se obtienen grandes ahorros de energía.

1.14.4.6. Secadores adiabáticos

El calor es llevado dentro del secador por un gas caliente. El gas cede el calor al agua en el alimento y lleva hacia afuera el vapor de agua producido, el gas caliente puede ser producto de combustión o aire calentado (Calderon, 2010)

1.14.4.7. Secadores túnel

Estos secadores son usados para la deshidratación de frutas y hortalizas. Consisten de túneles de 30 a 50 pies de longitud con vagonetas en su interior que contienen las charolas donde es colocado el alimento. El aire caliente es impelido a través de las charolas. La producción es programada de tal manera que cuando es sacada de un extremo del secador una vagoneta con producto terminado y en el otro extremo una vagoneta con producto fresco es puesta. El movimiento del aire puede ser en la misma dirección que el movimiento del producto (flujo paralelo).

Esto tiene la ventaja de que el aire más caliente entra en contacto con el producto más húmedo, por lo tanto, puede utilizarse aire más caliente. Por otra parte, el aire en el extremo de salida se vuelve más frío y más cargado de humedad y el producto final puede no estar seco.

Estos secaderos se clasifican de acuerdo con las direcciones relativas del movimiento fluido sólido en secaderos en paralelo y secaderos en contracorriente.

1.14.4.8. Secado por liofilización

Son secadores de bandeja al vacío en los cuales se dan tres etapas: Congelación a bajas temperaturas, secado por sublimación del hielo, generalmente a baja presión, almacenamiento del producto seco en condiciones controladas. Sus ventajas son: los alimentos obtenidos por este método conservan las características organolépticas, la 41

rehidratación de estos productos es más rápida que por otros métodos. Las desventajas vienen a ser: altos costos y tiempo empleado en el proceso de secado (Tolaba,2023).

1.14.4.9. Secadores de cabina o bandeja

El aire es impelido por un ventilador y pasa por un calentador y después a través de las bandejas charolas del material que está secando ((Calderon, 2010)

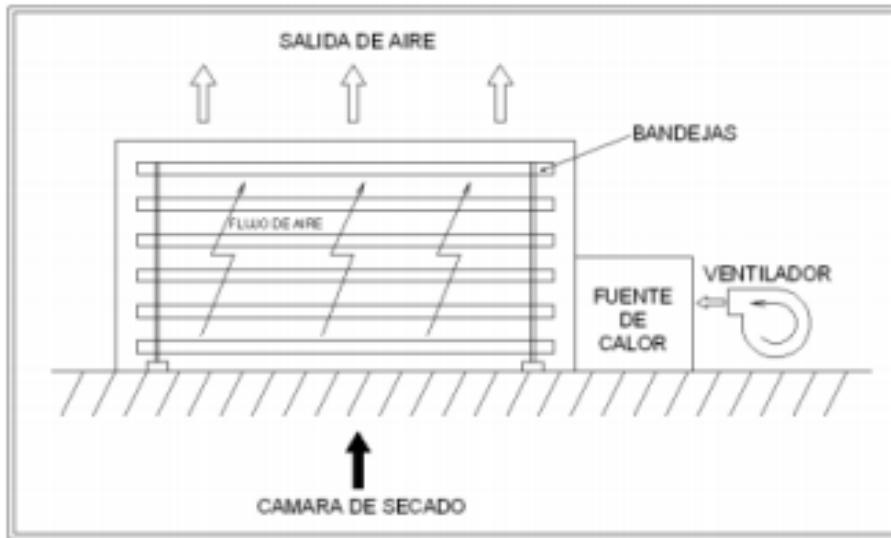
El secador de bandeja es por lo general menos costoso de construir, fácil de mantener y bastante polivalente. Comúnmente es usado para estudios de laboratorio en la deshidratación de hortalizas y frutas y en comerciales de pequeña escala y temporales (Calderon, 2010)

Esencialmente consiste en una o más cámaras o compartimiento donde se ubican las bandejas que contienen el material a secar. Generalmente las bandejas se colocan sobre bastidores que pueden moverse como unidades para colocarlos en la cámara o ser retirado de ella (Calderon, 2010)

El secado se realiza con aire caliente (u otro gas) soplando sobre las bandejas mediante uno o varios ventiladores. En algunos casos, las bandejas están perforadas y el aire de secado pasa a través del material que ésta sobre ellas. A veces circula el aire por convección natural siendo necesario utilizar diferentes dispositivos para su distribución y recirculación (Calderon, 2010)

Un secador de cabina o bandeja, esquemáticamente, por las diferentes que se detallan a continuación:

Figura 1-5 Esquema del secador de bandejas



Fuente: Calle & Aparicio, 2011

1.14.5. Humedad

Es el peso del agua que acompaña a la unidad de peso de sólido. La mayoría de materiales sólidos están constituidos de materia seca y agua, por lo que, se puede establecer que la masa total m_h es igual a la suma de masa seca m_s y de su masa de agua m_{H2O} . (Céspedes, 2021)

$$m_h = m_s + m_{H2O} \quad \text{Ecuación 1-1}$$

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

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

$$X_{bs} = \frac{m_h - m_s}{m_s} * 100 \quad \text{Ecuación 1-2}$$

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

$$\%X_{bh} = \frac{m_h - m_s}{m_h} * 100 \quad \text{Ecuación 1-3}$$

1.14.6. Molienda

La molienda es una operación unitaria física 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. Por lo general la granulometría del locoto en polvo se encuentra desde los 0,2 hasta los 0,5 mm. Para llevar a cabo el proceso existe distintos tipos de molinos, estos son los siguientes:

1.14.6.1. 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.

1.14.6.2. 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.

1.14.6.3. 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 cascaras se desprendan del grano. Un rodillo está 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.

1.14.6.4. 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 atracción: 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.

1.14.7. Tamizado

El tamizado es un método de separación de partículas basado exclusivamente en el tamaño de las mismas. En el tamizado industrial, los sólidos se colocan sobre la superficie del tamiz. Las partículas de menor tamaño, o finos, pasan a través de las aberturas del tamiz; mientras que las de mayor tamaño, o colas, no pasan. (McCabe et al., 2007, p.1049)

El producto una vez haya pasado por la molienda se debe separar por tamaño de partículas, en este caso, los tamaños de partículas generalmente se encuentran en el rango de 0,25-1 mm.

1.14.8. Envasado al vacío

El envasado al vacío es una excelente manera de conservar el polvo de locoto y prolongar su vida útil. Al eliminar el aire del envase, se inhibe el crecimiento de bacterias y hongos que pueden causar que el polvo se eche a perder y pierda su sabor.

1.14.9. Almacenamiento

Se debe almacenar en un lugar seco libre de humedad y donde el sol no llegue.

La temperatura optima de almacenamiento para preservar el sabor y textura ronda los 4°C y 10°C.

1.15. Selección de los equipos

Como se mencionó anteriormente el proceso de elaboración solo se diferencia en el uso de equipos, para ser más exacto en los equipos de secado y molienda. Para ello se realiza una comparativa: En primer lugar, según bibliografía se recomienda el uso de un secador tipo bandeja para el secado de frutos.

Tabla I-11. Productos y el tipo de secador a usar

Producto	Tipo de Secador
Hortalizas, frutas, confitería	Bandejas y túnel
Hortalizas, frutas	Bandejas, aire caliente forzado (experimental)
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: Tolaba, 2023.

En segundo lugar, se debe considerar las ventajas y desventajas en el uso de métodos para el secado de frutos.

En la Tabla I-12 se muestra las ventajas y desventajas de cada tipo de secado.

Tabla I-12. Ventajas y desventajas de los diversos tipos de secado

Tipo de secado	Ventaja	Desventaja
Deshidratación solar	<ul style="list-style-type: none"> • Altamente económico. • Fácil montaje. 	<ul style="list-style-type: none"> • Expone a la materia prima a contaminación.
Deshidratación osmótica.	<ul style="list-style-type: none"> • Preserva de manera más eficiente las propiedades organolépticas y el perfil nutricional del producto. 	<ul style="list-style-type: none"> • Puede quedar residuos de la solución al final del proceso.
Deshidratado por microondas.	<ul style="list-style-type: none"> • Evita pérdida de calidad del producto. 	<ul style="list-style-type: none"> • La materia prima puede quemarse de los costados y otras permanecen sin procesar. • No contamos con el equipo.
Deshidratado por liofilización.	<ul style="list-style-type: none"> • Conserva las propiedades organolépticas • La rehidratación es más fácil 	<ul style="list-style-type: none"> • Altos costos • Tiempos elevados • No contamos con el equipo.
Deshidratación por aire caliente forzado.	<ul style="list-style-type: none"> • Fácil de controlar humedad del producto • Disponible en el laboratorio 	<ul style="list-style-type: none"> • Tiempos elevados para materias primas duras.
Secador de bandejas.	<ul style="list-style-type: none"> • Económicos y fáciles de usar. • Control de temperatura constante. 	<ul style="list-style-type: none"> • Solo se puede usar en plantas piloto. • No disponible en el laboratorio.

Fuente: Tolaba (2023)

Analizando los puntos mencionados y teniendo en cuenta la disponibilidad de equipos en el Laboratorio de Operaciones Unitarias, se optó por usar el secador por aire caliente forzado debido a la recomendación bibliográfica, disponibilidad del equipo y su fácil uso con control de temperatura.

Para el uso del molino en primer lugar se recomienda en bibliografía el uso del molino de martillos para la molienda de verduras y frutas deshidratadas.

En la Tabla I-13 se muestra los tipos de molino y los productos en los que son usados.

Tabla I-13. Tipo de molinos y productos en los que se emplean

Tipo de molino	Fuerza aplicada	Productos en los que se emplea
De Bolas	Impacto y Cizalla	Harina de pescado, colorantes
De Martillo	Impacto	Frutas y 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, especies.

Fuente: Tolaba, 2023

En segundo lugar, resulta imprescindible llevar a cabo un análisis detallado del tipo de granulometría presentado en la Tabla I-14.

Tabla I-14. Tipo de granulometría

Equipo	Tipo de tamaño de partícula
Molino de martillos	Polvo fino de granulometría pequeña
Molino de bolas	Partículas de mayor tamaño
Molino de discos	Partículas de tamaño grueso
Molino de rodillos	Partículas tipo hojuelas

Fuente: Elaboración propia, 2024.

Tabla I-15. Ventajas y desventajas de los molinos

Equipo	Ventajas	Desventajas
Molino de martillos	<ul style="list-style-type: none"> • Proceso rápido. • Se obtiene granulometría adecuada para harinas. • Disponible en el laboratorio. 	<ul style="list-style-type: none"> • No se puede usar por tiempos elevados
Molino de bolas	<ul style="list-style-type: none"> • Operación continua. • Disponible en laboratorio. 	<ul style="list-style-type: none"> • Verduras y frutas con cierta humedad forma una pasta. • Polvo muy fino.
Molino de discos	<ul style="list-style-type: none"> • Alto grado de trituración. • Disponible en laboratorio. 	<ul style="list-style-type: none"> • Produce contaminación del producto final
Molino de rodillos	<ul style="list-style-type: none"> • Alta capacidad de producción • Disponible en laboratorio. 	<ul style="list-style-type: none"> • No produce un polvo fino y homogéneo.

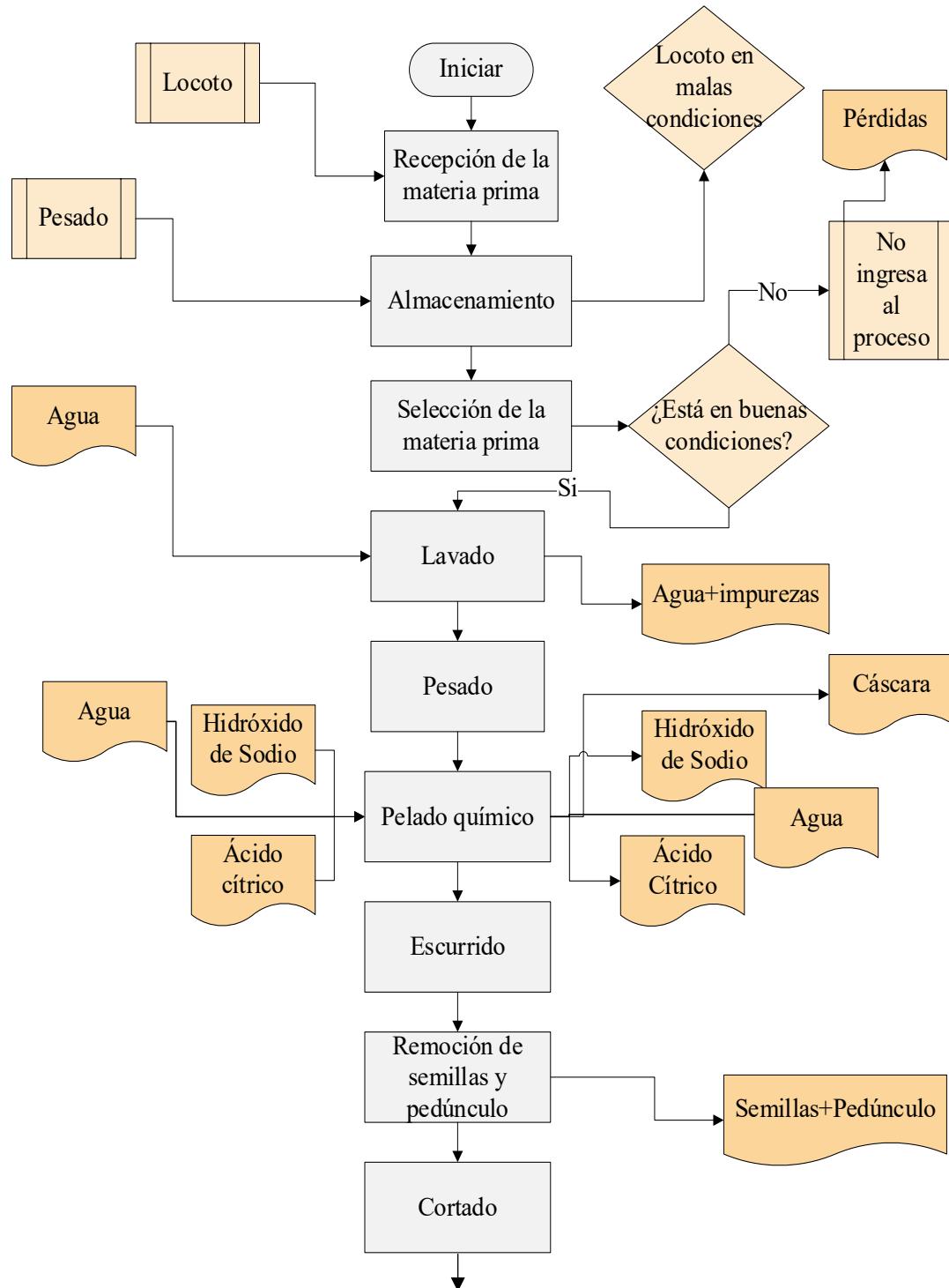
Fuente: Elaboración propia, 2024.

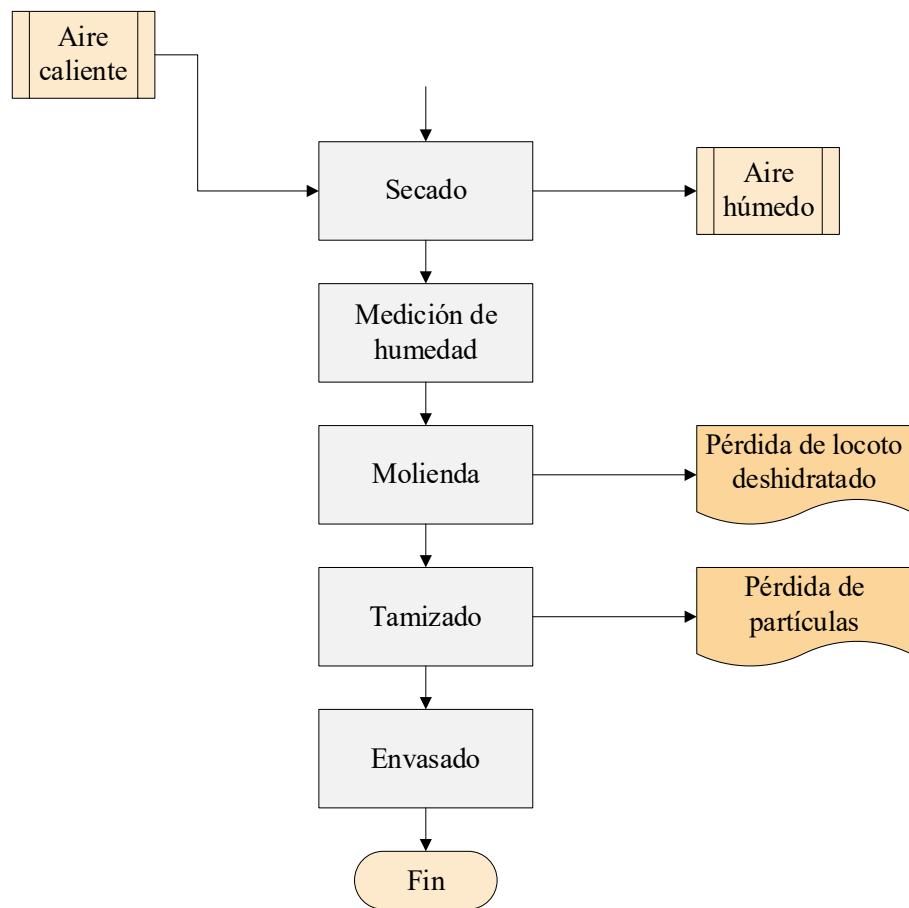
CAPÍTULO II

PARTE EXPERIMENTAL

2. PARTE EXPERIMENTAL

Figura 2-1: Descripción del proceso para obtener de manera experimental locoto en polvo.





Fuente: Elaboración propia.

2.1. Metodología del trabajo en laboratorio

2.1.1. Selección de la materia prima

Para la selección de la materia prima se va a considerar diversos aspectos, tales como el grado de maduración del fruto, color, forma.

Uno de los factores más importantes es el grado de madurez, ya que si este cumple con los parámetros óptimos tendremos un producto final con características apropiadas.

La materia prima al no cumplir con los estándares requeridos (grado de madurez) afectara significativamente en el color, tendrá un gusto más amargo y herbal, el rendimiento será menor (un locoto no maduro tiene mayor contenido de agua).

Los locotos que presenten signos de podredumbre avanzada serán destinados a disposición controlada mediante incorporación directa al suelo como abono orgánico, procediendo a su enterrado en fosas o zanjas previamente acondicionadas, con el fin de favorecer su descomposición natural y el aporte de materia orgánica.

2.1.2. Análisis fisicoquímico del locoto

Para determinar los parámetros fisicoquímicos del locoto destinado a la elaboración de locoto en polvo, las muestras se envían al Centro de Análisis de Investigación y Desarrollo (CEANID), dependiente de la Facultad de Ciencias y Tecnología, perteneciente a la Universidad Autónoma “Juan Misael Saracho” de Tarija - Bolivia para su análisis. El resultado obtenido se expresa en la siguiente tabla:

Tabla II-1. Análisis fisicoquímico del locoto

Parámetro	Unidad	Resultado
Ceniza	%	0,43
Fibra	%	0,46
Grasa	%	0,11
Hidratos de carbono	%	7,12
Humedad	%	90,76
Proteína total	%	1,06
Valor energético	Kcal/100g	33,71

Fuente: CEANID,2022.

2.1.3. Pelado

El método seleccionado para la extracción de la cáscara es el pelado químico, dado que cumple con las características y ventajas técnicas requeridas para el proceso que se menciona en la Tabla I-8. Este método destaca por su eficiencia en el procesamiento de locoto, empleando reactivos accesibles y de bajo costo, como el hidróxido de sodio (sosa cáustica), que permite una remoción rápida, homogénea y efectiva de la epidermis. Posteriormente, se utilizará ácido cítrico como agente neutralizante para eliminar los residuos alcalinos y restablecer el pH superficial del fruto.

Para la ejecución del proceso se empleará una olla de acero inoxidable, material que garantiza resistencia a la corrosión y seguridad durante la manipulación de soluciones cáusticas. Adicionalmente, se utilizará una espátula resistente al calor para agitar y facilitar la exposición uniforme de los frutos al agente químico, asegurando así la eficacia del tratamiento. Asimismo, el pelado químico reduce considerablemente los tiempos de procesamiento en comparación con métodos mecánicos o manuales, mejorando la productividad sin comprometer la integridad física ni las propiedades organolépticas del producto final.

2.1.4. Método Seleccionado para el Deshidratado

El método recomendado para la deshidratación de frutas es por secador de tiro forzado Bermúdez Fermín, J. L., & Maíz Erices, V. (2004). La materia prima será introducida en el secador luego de que se hayan completado los pasos previos (Selección, pelado químico y cortado). Es crucial garantizar en todo momento que la materia prima no presente daños, ni defectos porque podrían comprometer el producto final.

2.1.5. Método seleccionado para la molienda

La elección del equipo de molienda es fundamental para la determinación de la granulometría de las partículas obtenidas. Para este propósito, se utilizará el tipo de molino que mejor se adapte a las propiedades de la materia prima. En este caso, se empleará un molino de martillos para alcanzar la granulometría deseada, teniendo en cuenta que el diámetro de las partículas para el locoto en polvo debe situarse alrededor de 1mm y 0,25 mm, con un máximo permitido.

2.2. Materia prima y reactivos

La materia prima y los reactivos que se utilizará para la “Obtención experimental de locoto en polvo” son:

- **Materia prima**

La materia prima empleada en el presente estudio de investigación es el locoto (*Capsicum pubescens*).

- **Reactivos**

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

- Hidróxido de sodio.
- Ácido cítrico.
- Fenolftaleína.

2.3. Equipos y materiales

Para la presente investigación se utiliza los siguientes materiales:

Tabla II-2. Equipos y materiales utilizados en el proceso

Nº	Equipos y materiales	Aplicación en el proceso
1	Olla de acero inoxidable	Se empleó dicho recipiente para la preparación de las distintas soluciones, tanto de hidróxido de sodio (NaOH) como de ácido cítrico ($C_6H_8O_7$). Asimismo, en este se efectuó el proceso de inmersión de las muestras, como etapa previa a su pelado posterior.
2	Espátula	Se utilizó este instrumento para agitar y facilitar el movimiento de los locotos durante su inmersión en las distintas soluciones previamente mencionadas, asegurando así una adecuada exposición y contacto uniforme con los reactivos.
3	Colador	Se empleó este elemento para llevar a cabo el enjuague de los frutos, con el objetivo de eliminar posibles residuos de las soluciones utilizadas en etapas previas del proceso. Adicionalmente, se utilizó para permitir el escurrido del exceso de líquido posterior al lavado.
4	Vidrio reloj	Se utilizó este dispositivo para la determinación gravimétrica de las masas correspondientes tanto al hidróxido de sodio (NaOH) como al ácido cítrico ($C_6H_8O_7$), garantizando precisión en la dosificación de los reactivos empleados en la preparación de las soluciones .

5	Máscara antipolvo	Se empleará la máscara antipolvo como elemento de protección personal durante la etapa de molienda, con el propósito de prevenir la inhalación de partículas sólidas en suspensión y resguardar las vías respiratorias.
6	Gafas de protección	Las gafas de seguridad serán utilizadas de manera continua a lo largo de todo el procedimiento, con la finalidad de proteger los ojos del operador contra posibles salpicaduras de soluciones químicas, partículas sólidas y cualquier otro agente que represente riesgo durante las distintas etapas del proceso.
7	Balanza analítica	Se empleará este instrumento para efectuar los pesajes correspondientes en las distintas etapas del proceso, según lo requiera cada procedimiento, asegurando precisión y exactitud en la determinación de las masas involucradas.
8	Secador de tiro forzado	Este equipo será utilizado para efectuar el proceso de deshidratación del locoto, mediante la aplicación controlada de temperatura y circulación de aire, con el objetivo de reducir el contenido de humedad del fruto hasta alcanzar los niveles establecidos según las especificaciones del procedimiento.
9	Balanza infrarroja para la determinación de humedad	Una vez que el locoto ha completado la fase de secado, se procederá a medir el contenido de humedad utilizando el equipo correspondiente, con el fin de verificar que los niveles de humedad del producto final se ajusten a los parámetros establecidos en las especificaciones del proceso.

10	Desecador	Se utilizará para evitar que el fruto deshidratado recupere humedad del ambiente, manteniendo condiciones controladas de temperatura y humedad relativa. Además, permitirá el enfriamiento del producto deshidratado, lo cual es esencial para preservar sus propiedades y facilitar su posterior proceso de molienda
11	Molino de martillos	Se utilizará para la pulverización del fruto seco, mediante la aplicación de fuerzas mecánicas específicas que permitirán reducir el tamaño de las partículas del fruto hasta obtener un polvo de textura fina, adecuado para su uso en las siguientes etapas del proceso.
12	Tamiz vibratorio	Este equipo se empleará con el propósito de realizar una clasificación de partículas, separando las más grandes de las finas mediante un proceso de tamizado, asegurando la homogeneidad del producto y cumpliendo con los criterios establecidos para las características granulométricas deseadas.
13	Selladora al vacío	Se utilizará para el envasado del polvo de locoto previamente tamizado, con el objetivo de garantizar su conservación adecuada, protegiéndolo de factores externos como la humedad, y el aire asegurando su estabilidad y calidad durante el almacenamiento.

Fuente: Elaboración propia

2.4. Diseño factorial

Para determinar el tiempo, grosor del corte y temperatura optima, se utiliza un diseño experimental con un modelo factorial de 2^3 , donde:

$$\text{Nº variables} = 3$$

$$\text{Niveles} = 2$$

$$\text{Nº experimentos} = 2^3 = 8$$

Se realizará dos repeticiones.

$$\text{Nº experimentos} = 8 * 2 = 16 \text{ experimentos}$$

Los factores son tiempo, temperatura y grosor de corte; con 2 niveles cada uno.

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

Tabla II-3. Valores asignados para los niveles del diseño factorial.

Factores	Nivel	
	Bajo	Alto
Temperatura (°C)	45	50
Grosor de corte(cm)	0,5	1
Tiempo de secado (horas)	8	14

Fuente: Elaboración propia, 2024.

Como variable respuesta tenemos el rendimiento (η).

A continuación, en la tabla II-4 se muestran las combinaciones de las variables del diseño experimental para la elaboración del presente trabajo de investigación:

Tabla II-4. Matriz del diseño factorial codificada.

Nº	Tiempo(h)	Temperatura (°C)	Grosor (cm)
1	-1	-1	-1
2	+1	-1	-1
3	-1	+1	-1
4	+1	+1	-1
5	-1	-1	+1
6	+1	-1	+1
7	-1	+1	+1
8	+1	+1	+1

Fuente: Elaboración propia, 2024.

La Tabla II-5, muestra el diseño factorial, ahora bien, la matriz de diseño para el estudio se concreta sustituyendo los valores +1 y -1 de los factores por los valores reales, para la obtención de las variables respuestas ganancia en cada experimento (codificado como η):

Tabla II-5. Matriz del diseño factorial codificada.

Nº	Tiempo (h)	Temperatura(°C)	Grosor	Rendimiento
1	8	45	0,5	η
2	14	45	0,5	η
3	8	50	0,5	η
4	14	50	0,5	η
5	8	45	1	η
6	14	50	1	η
7	8	50	1	η
8	14	50	1	η

Fuente: Elaboración propia, 2024.

2.5. Procedimientos y técnicas empleados para la obtención de los resultados

La parte experimental de la investigación para la “Obtención experimental de locoto en polvo” se realiza en los predios del Centro de Análisis de Investigación y desarrollo (CEANID) donde se realizarán los análisis de materia prima y producto final, mientras

que la parte experimental se desarrollará en el Laboratorio de Operaciones Unitarias de la carrera de Ingeniería Química, perteneciente a la Facultad de Ciencias y Tecnología, dependiente de la Universidad Autónoma “Juan Misael Saracho”.

2.5.1. Materia prima

El locoto, mencionado y descrito anteriormente se encuentra disponible en la zona del “Mercado Campesino” del departamento de Tarija, y es llevado al Laboratorio del Centro de Análisis de Investigación y Desarrollo para su posterior procesamiento.

Recepción de la materia prima

El locoto al ser comercializado lo venden en sus diversas fases de maduración abarcando desde el estado inmaduro (verde) y semimaduro (amarillo y "pintón") hasta el estado maduro (rojo).

Almacenamiento

Una vez recepcionada la materia prima, se procede a una inspección preliminar para identificar y eliminar cualquier fruto con signos de descomposición, a fin de prevenir la contaminación cruzada, posteriormente se almacenan a temperatura ambiente en un lugar sin humedad para evitar su descomposición. Se sugiere que la temperatura se encuentre entre 15°C y 25°C.

El almacenamiento del locoto debe ser limitado a un máximo de 10 días para prevenir la aparición de características indeseables que deterioran la calidad del fruto. Este periodo puede variar dependiendo del grado de madurez del locoto al momento de la compra.

2.5.2. Selección de la materia prima

La selección del locoto debe realizarse con un control riguroso sobre el grado de madurez, asegurándose de que los frutos presenten una firmeza adecuada al tacto, estén en óptimas condiciones sanitarias y exhiban un color uniforme. Tras el almacenamiento se debe seleccionar los locotos que tengan un mayor índice de maduración.

Los frutos de locoto que no cumplan con los estándares de calidad establecidos para la producción de locoto en polvo como se mencionó anteriormente serán destinados a su uso como abono orgánico. Por otro lado, aquellos frutos que presenten buenas condiciones podrán ser aprovechados para la obtención de semillas, previa selección y tratamiento adecuado.

El grado de madurez es un parámetro crítico en la selección del locoto, ya que influye directamente en las propiedades organolépticas y en la estabilidad del color característico que se busca. Por lo tanto, se procederá a pesar 500 g de locoto en estado de madurez plena, los cuales serán sometidos a la siguiente fase del proceso.

2.5.3. Lavado

Los locotos previamente seleccionados son sometidos a un proceso de lavado para la remoción de partículas sólidas adheridas, como restos de tierra y otras impurezas superficiales no deseadas. Este proceso se realiza utilizando un flujo continuo de agua potable a temperatura ambiente.

2.5.4. Pelado químico

El pelado químico del locoto es el proceso con el cual se eliminará la piel de la fruta mediante el uso de una solución química. Esta técnica consta de tres pasos:

Inmersión en Hidróxido de sodio (NaOH)

El locoto es sumergido en una solución alcalina de hidróxido de sodio (NaOH), comúnmente denominada "sosa cáustica", para promover la desintegración gradual de la epidermis, lo que facilita el pelado del fruto. Posteriormente, el locoto pelado se somete a un proceso de lavado con abundante agua corriente, con el fin de eliminar cualquier residuo de NaOH presente en la superficie.

Para la preparación de la solución alcalina al 2% en masa, se procede a disolver 40 gramos de hidróxido de sodio (NaOH) en 2 litros de agua. Posteriormente, la solución debe ser llevada a una temperatura de 90°C bajo agitación constante para asegurar la homogeneidad.

Este proceso asegura una concentración adecuada para lograr una efectiva remoción de la piel del locoto sin comprometer la integridad del fruto.

Una vez alcanzada la temperatura requerida, se realiza la inmersión del fruto en la solución alcalina, permitiendo que el tratamiento térmico y químico facilite el proceso. La inmersión debe llevarse a cabo hasta que se observe un desprendimiento significativo de la epidermis del fruto, lo cual indicará que el proceso ha alcanzado el punto óptimo. En este estado, se procede con la eliminación manual de la piel residual para completar el pelado de manera eficiente.

Figura 2-2. Inmersión en Hidróxido de sodio



Fuente: Elaboración propia, 2024.

Lavado

El fruto tratado se transferirá a un colador, donde se procederá a su enjuague con abundante agua potable para eliminar cualquier exceso de hidróxido de sodio residual. Este paso es crucial para asegurar la completa remoción de agentes alcalinos, garantizando la seguridad y calidad del producto final.

Figura 2-3: Lavado con agua corriente.



Fuente: Elaboración propia, 2024.

Neutralización con ácido cítrico ($C_6H_8O_7$)

Después del enjuague con agua potable, el fruto se someterá a un proceso de neutralización para asegurar la eliminación completa de cualquier residuo de hidróxido de sodio. Para ello, se preparará una solución de ácido cítrico al 0.3% en masa, disolviendo 3 gramos de ácido cítrico por cada litro de agua, la misma estará a

temperatura ambiente (25°C). El fruto será sumergido en esta solución por 3 minutos, permitiendo que la neutralización ocurra de manera efectiva, garantizando que el pH del producto sea restaurado a un nivel seguro y adecuado para su posterior procesamiento.

Prueba con fenolftaleína

Para asegurar la completa neutralización del hidróxido de sodio residual, se realizará una prueba utilizando fenolftaleína como indicador. La fenolftaleína se añadirá a varios frutos tratados seleccionados al azar, y la aparición de un color rosa o magenta indicará la presencia de exceso de hidróxido de sodio. Si el color se manifiesta, se requerirá un enjuague adicional o una mayor inmersión en la solución de ácido cítrico hasta que la prueba con fenolftaleína indique la ausencia de alcalinidad residual.

Figura 2-4. Prueba con fenolftaleína



Fuente: Elaboración propia, 2024.

2.5.5. Escurrido

Luego de haber completado la etapa de pelado se procede a escurrir el locoto, para esto se utiliza un colador de acero inoxidable, material que garantiza la inocuidad alimentaria y facilita la limpieza. El escurrido se realiza sobre una olla del mismo material, asegurando así la higiene del producto y evitando la contaminación cruzada.

2.5.6. Remoción de semillas y pedúnculo

Con el locoto previamente pelado, se procede a la extracción del pedúnculo de cada fruto. A continuación, se realiza la remoción de las semillas mediante la inserción de un cuchillo fino en el interior del locoto, efectuando un corte circular preciso que no comprometa la integridad estructural del mismo. Durante esta operación, se extraen tanto las semillas como la placenta, dado que esta última, debido a su alta concentración de capsaicina, presenta tonalidades amargas que podrían afectar negativamente las características organolépticas del producto final, comprometiendo así su calidad.

2.5.7. Pesado

Después de la eliminación de semillas y pedúnculo, se procede a pesar ambos componentes junto con la cáscara extraída durante el pelado químico. Esta masa total se utiliza para realizar una diferencia, determinando así la cantidad neta de locoto que será sometida al proceso de corte.

2.5.8. Cortado

Con el cuchillo ya sanitizado se procede a realizar el corte del fruto en rodajas con un espesor controlado entre 0,5 y 1 cm. Es fundamental utilizar un cuchillo de filo agudo, dado que el locoto presenta una textura quebradiza en determinadas condiciones. Un corte deficiente podría resultar en la ruptura de las rodajas, comprometiendo así la uniformidad del secado y, en consecuencia, la calidad del producto final.

2.5.9. Secado

El proceso de secado se llevó a cabo utilizando un secador con circulación de aire forzado, siguiendo las recomendaciones bibliográficas. La materia prima fue sometida

a 45-50°C, con un tiempo de secado de 8 a 14 horas respectivamente. Durante este periodo, se realizó un monitoreo continuo de la temperatura interna para garantizar que no ocurriera un sobrecalentamiento, de esta manera, se asegura un secado uniforme y óptimo de la materia prima, y no se vean afectadas propiedades físicas y organolépticas del locoto. Este control preciso del proceso es esencial para garantizar que el producto final mantenga su calidad, sabor y color característicos, además de facilitar su posterior molienda.

Se recomienda distribuir uniformemente las rodajas de locoto en las bandejas del secador, asegurando un pequeño espacio entre cada una. Esto facilita el flujo de aire caliente alrededor de las rodajas y maximiza la superficie de contacto, lo que contribuye a un secado más eficiente y homogéneo.

2.5.10. Medición de la humedad

Una vez completado el tiempo de secado, se procede a medir el contenido de humedad en una muestra aleatoria utilizando un secador infrarrojo. Se toma una muestra de aproximadamente 5 gramos, la cual se somete a una temperatura de 105°C hasta alcanzar un peso constante. El objetivo es verificar que el porcentaje de humedad esté en el rango de 4 %- 9 % (Si la muestra cumple con este criterio, el locoto está listo para el proceso de molienda, garantizando así una textura adecuada y la estabilidad del producto final).

2.5.11. Molienda

Una vez finalizado el proceso de secado, se retira el locoto deshidratado del secador y se coloca en un desecador para permitir un enfriamiento completo. Posteriormente, se traslada en bolsas con cierre hermético para prevenir la reabsorción de humedad ambiental, y de esta manera pueda pasar al tamiz vibratorio.

El molino utilizado en la experimentación realiza la molienda por impacto, utilizando martillos rotatorios que operan mediante un movimiento oscilatorio inverso al del rotor. Este mecanismo asegura la función primaria del equipo, que consiste en someter el material seco a impactos repetidos dentro de la cámara de trituración. Estos golpes

permiten desintegrar el material hasta alcanzar el tamaño de partícula deseado, permitiendo su paso a través de la rejilla inferior de la maquinaria. Es importante destacar que las partículas liberadas de la cámara presentan variabilidad en cuanto a su tamaño y forma.

2.5.12. Tamizado

Luego de una exhaustiva búsqueda de normas que regulen el tamaño de partícula pudimos recabar la siguiente información:

La norma ISO 972 establece lineamientos generales para especias en polvo, aunque en términos generales, el tamaño puede ser adaptado para cumplir con especificaciones internas de la empresa o del cliente ISO 972(1997).

Aunque no define tamaños específicos de partículas, el Codex establece estándares de calidad para especias y condimentos deshidratados. En la práctica, el tamaño de partícula debe cumplir con los requisitos de homogeneidad y de funcionalidad en aplicaciones de procesamiento de alimentos (Codex alimentarius, 2022).

Por lo tanto, una vez completada la molienda, el polvo de locoto se debe pasar a través de un tamiz. Para ello, se emplearán diferentes tamaños de malla, que varían entre 0,063 y 1 mm. El polvo que pasa a través de las mallas de 0,25 mm y 0,5 mm se considera de mayor calidad, ya que tienen mejor textura, y tienen una mayor superficie de contacto al mezclarse con otros ingredientes.

2.5.13. Envasado

Posteriormente, el locoto pulverizado se envasa al vacío para su conservación óptima. Este método de envasado reduce la exposición al oxígeno y la humedad, lo que contribuye a prolongar la vida útil del producto y preservar sus propiedades organolépticas y nutricionales. Al eliminar el aire del envase, se minimiza el riesgo de deterioro y contaminación, garantizando que el locoto en polvo mantenga su calidad.

2.6.1. Análisis del locoto en polvo

Para el control de calidad del locoto en polvo, se lleva a cabo una evaluación sensorial,

junto con análisis fisicoquímicos y microbiológicos.

2.6.1.1. Análisis sensorial

La evaluación sensorial resulta un parámetro importante para la aceptación del producto en el mercado, basado únicamente en la degustación de personas al azar. Las cuales probaran las muestras obtenidas juzgándolas por ciertos parámetros. La evaluación para estos parámetros consiste en una escala que va de uno a cinco donde:

1 = No me gusta nada.

2 = Me disgusta un poco.

3 = Ni me gusta, ni me disgusta.

4 = Me gusta poco.

5 = Me gusta mucho.

2.6.1.1.1. Metodología

La prueba de degustación se desarrolla en distintos puntos de la ciudad de Tarija, escogiendo diez personas no calificadas que estén dispuestas a probar locoto en polvo, a dicho panel se les entrega una encuesta en donde calificarán los atributos (olor, color, sabor, picor).

Para esta prueba se realizaron tres aderezos diferentes a las cuales se le añadieron el locoto en polvo (mayonesa picante, ají con agua, y llajua).

El objetivo primordial de este ensayo fue determinar si existían diferencias significativas en la aceptabilidad sensorial entre las distintas muestras de locoto en polvo. A través de un análisis, se buscó identificar si alguna de las muestras presentaba un perfil organoléptico que la diferenciara significativamente del resto.

Mediante pruebas de comparación múltiple, se procedió a evaluar atributos sensoriales. Esta metodología permitió no solo detectar variaciones en la aceptabilidad global, sino también discriminar entre las muestras en función de sus perfiles sensoriales específicos.

Los resultados obtenidos proporcionan información valiosa sobre la percepción del panel evaluador respecto a las cualidades organolépticas de cada muestra, permitiendo así identificar la muestra de locoto en polvo con el perfil sensorial más favorable y con mayor potencial de aceptación en el mercado.

2.6.2. Análisis fisicoquímico

El análisis de las propiedades fisicoquímicas del locoto en polvo es fundamental para asegurar su calidad, desempeñando un papel crucial en la determinación de su valor nutricional como producto final. En la Tabla II-5 se presentan los resultados de los análisis fisicoquímicos del locoto en polvo, realizados en el Centro de Análisis e Investigación de Alimentos (CEANID), los cuales incluyen parámetros como el contenido de humedad, cenizas, y composición de macronutrientes, entre otros indicadores relevantes para la calidad del producto.

Tabla II-6. Análisis fisicoquímico del locoto en polvo

Parámetro	Unidad	Resultado
Ceniza	%	7,87
Fibra	%	11,13
Grasa	%	1,17
Hidratos de carbono	%	57,53
Humedad	%	10,20
Proteína total	%	11,10
Valor energético	Kcal/100g	285,05

Fuente: CEANID, 2022.

2.6.3. Análisis microbiológico

Se realizaron diversos análisis microbiológicos al locoto en polvo con el fin de garantizar su seguridad y calidad para el consumo. Los análisis incluyeron la detección y cuantificación de *Coliformes fecales*, *Coliformes totales*, *Escherichia coli*, *Levaduras* y *Mohos*.

A continuación, en la Tabla II-6 se mostrarán los resultados del análisis microbiológico:

Tabla II-7. Análisis microbiológico

Parámetro	Unidad	Resultado	Norma
<i>Coliformes totales</i>	UFC/g	<1,0*10 ¹ (*)	NB:32005:02
<i>Coliformes fecales</i>	UFC/g	<1,0*10 ¹ (*)	NB:32005:02
<i>Echerichia coli</i>	UFC/g	<1,0*10 ¹ (*)	NB:32005:02
<i>Mohos y levaduras</i>	UFC/g	2*10 ¹	NB:32005:02
UFC/g: Unidades Formadoras de Colonias por gramo.			
(*) No se observa desarrollo de colonias.			
NB: Norma Boliviana			

Fuente: CEANID, 2022.

Según la norma boliviana NB/318022:2008 y la norma de la Comunidad Europea CE 2073/2005 los límites permisibles son los siguientes:

Tabla II-8. Límites máximos y mínimos permitidos.

Parámetro	Unidad	Mínimo	Máximo	Norma
<i>Coliformes totales</i>	UFC/g	-	10 ³	CE 2073/2005
<i>Coliformes fecales</i>	UFC/g	-	<100	CE 2073/2005
<i>Echerichia coli</i>	UFC/g	Ausencia	Ausencia	NB/32020:2005
<i>Mohos y levaduras</i>	UFC/g	-	10 ⁴	NB/32015:2005
CE: Comunidad Europea.				
NB: Norma Boliviana.				
UFC/g: Unidades Formadoras de Colonias por gramo.				

Fuente: Elaboración propia, 2024.

CAPÍTULO III

RESULTADOS

3. RESULTADOS

3.1 Resultados obtenidos de la parte experimental

3.2. Porcentaje de pérdida por muestra

En el proceso se realizó el pelado del fruto y la extracción del pedúnculo y semillas.

Tabla III-1. Determinación de pérdidas de locoto

Nº	Locoto Fresco (g)	Semillas (g)	Pedúnculo (g)	Cáscara (g)	Peso total (g)	Porcentaje de pérdida (%)
1	600	65,268	24,12	10,492	99,88	16,647
2	600	67,08	24,214	11,456	102,75	17,125
3	600	61,468	23,778	13,416	98,662	16,444
4	600	63,781	24,178	12,787	100,746	16,791
5	600	63,757	25,12	14,339	103,216	17,203
6	600	59,424	24,124	14,698	98,246	16,374
7	600	62,115	26,001	11,784	99,9	16,650
8	600	61,570	26,237	13,457	101,264	16,877
9	600	62,107	24,47	11,914	98,491	16,415
10	600	61,681	25,35	12,337	99,368	16,561
11	600	61,007	24,835	13,417	99,259	16,543
12	600	62,478	25,915	13,971	102,364	17,061
13	600	68,226	24,285	11,365	103,876	17,313
14	600	68,132	20,78	12,943	101,855	16,976
15	600	63,957	25,334	13,112	102,403	17,067
16	600	57,30	26,364	14,654	98,318	16,386
Promedio	600	63,084	24,694	12,884	100,66	16,777

Fuente: Elaboración propia, 2024.

Tabla III-2. Pérdida de agua y obtención de locoto deshidratado.

Nº	Locoto deshidratado (g)
1	36,35
2	28,14
3	37,21
4	29,45
5	146,13
6	37,91
7	113,84
8	37,96
9	38,18
10	28,46
11	37,13
12	29,63
13	147,11
14	36,74
15	114,64
16	38,24

Fuente: Elaboración propia, 2024.

En la Tabla III-2, se observa que los ensayos números cinco, siete, trece y quince no alcanzaron un estado de deshidratación completo debido a un tiempo de procesamiento insuficiente. Por lo tanto, dichas muestras no se consideran en los cálculos futuros, ya que no cumplen con los criterios de representatividad requeridos para un análisis estadístico confiable.

3.3. Variación de la masa en función al tiempo

Para la ejecución del análisis, se seleccionarán los experimentos más representativos (experimento tres, seis, nueve y dieciséis), con el fin de garantizar un conjunto de datos que permitan un análisis estadístico preciso. Esta metodología optimizará la validez de los resultados obtenidos, asegurando una interpretación confiable.

Para el cálculo de la variación de masa en función del tiempo, se aumentó la duración del secado de las muestras con el objetivo de obtener datos más precisos para los cálculos. Es importante señalar que, mientras que los resultados experimentales se ajustan al diseño factorial previamente planteado, las condiciones experimentales pueden diferir de los valores teóricos debido a la complejidad propia de los procesos de secado. En este contexto, las muestras fueron sometidas a un tiempo de secado adicional, incrementando una hora en el nivel bajo y dos horas en el nivel alto. Con el objetivo de alcanzar la humedad final especificada, dentro del rango del 5% al 6% según lo documentado por Herrera Quesquén y Seclén Falen (2017), se implementaron protocolos técnicos orientados al control preciso de los parámetros de deshidratación, asegurando la conformidad con los criterios establecidos en la bibliografía.

El incremento en las horas de secado también permite realizar los cálculos de la humedad en base seca y base húmeda de manera más precisa, dado que prolongar el tiempo de secado contribuye a alcanzar una masa constante en las muestras, favoreciendo la estabilización del contenido de agua. Esto se logra mediante la reducción progresiva de la humedad en el producto.

Este enfoque metodológico es coherente con estudios que señalan que la prolongación del tiempo de secado permite una mayor consistencia en los valores de humedad, lo que facilita la obtención de resultados confiables en la medición de contenido de agua en la materia prima deshidratada.

El registro del tiempo de secado de la muestra y el registro de la variación de la masa se muestran a continuación, considerando como ejemplo los siguientes experimentos:

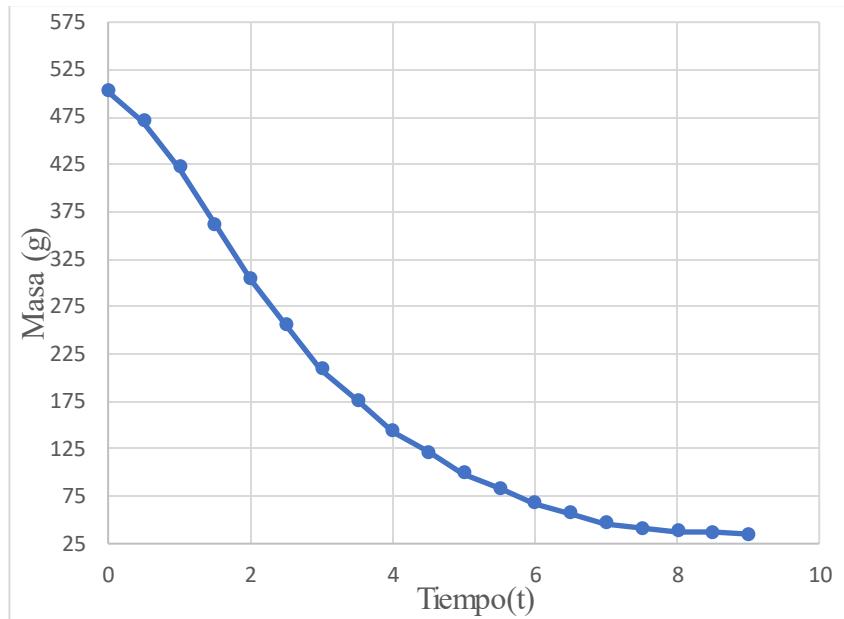
Tabla III-3. Variación de la masa respecto al tiempo a un grosor de 0.5 cm temperatura de 45°C y 9 horas.

Nº	Tiempo (h)	Masa(g)
1	0,0	501,51
2	0,5	470,5
3	1,0	422,13
4	1,5	361,91
5	2,0	303,3
6	2,5	255,96
7	3,0	208,61
8	3,5	176,04
9	4,0	143,47
10	4,5	121,08
11	5,0	98,68
12	5,5	83,28
13	6,0	67,87
14	6,5	57,28
15	7,0	46,68
16	7,5	41,22
17	8,0	38,18
18	8.5	37,09
19	9,0	35,12

Fuente: Elaboración Propia, 2024.

A continuación, se presenta la curva de variación de masa durante el proceso de secado en función del tiempo con las variables de 0.5 cm temperatura de 45°C y 8 horas.

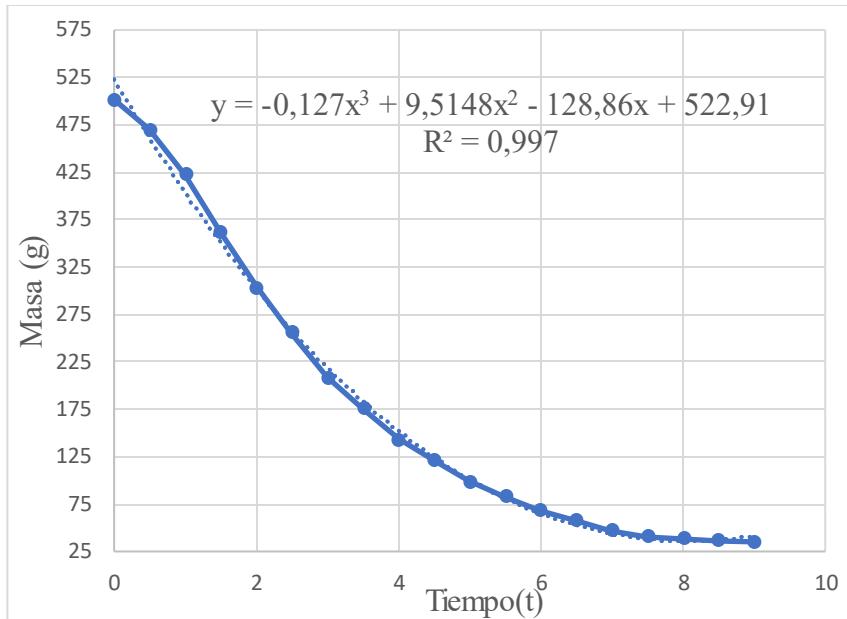
Figura 3-1. Curva de variación de la masa respecto al tiempo a un grosor de 0.5 cm temperatura de 45°C y 9 horas



Fuente: Elaboración propia, 2024.

Para encontrar la ecuación que represente la variación de la masa en respecto al tiempo se debe tomar un modelo matemático que se ajuste a la Figura 3-1; en este sentido, se proyecta una curva de tendencia que se ajuste a los datos obtenidos, a fin de hallar la ecuación resultante a la variación respecto al tiempo:

Figura 3-2. Ajuste de la curva (Figura 3-1)



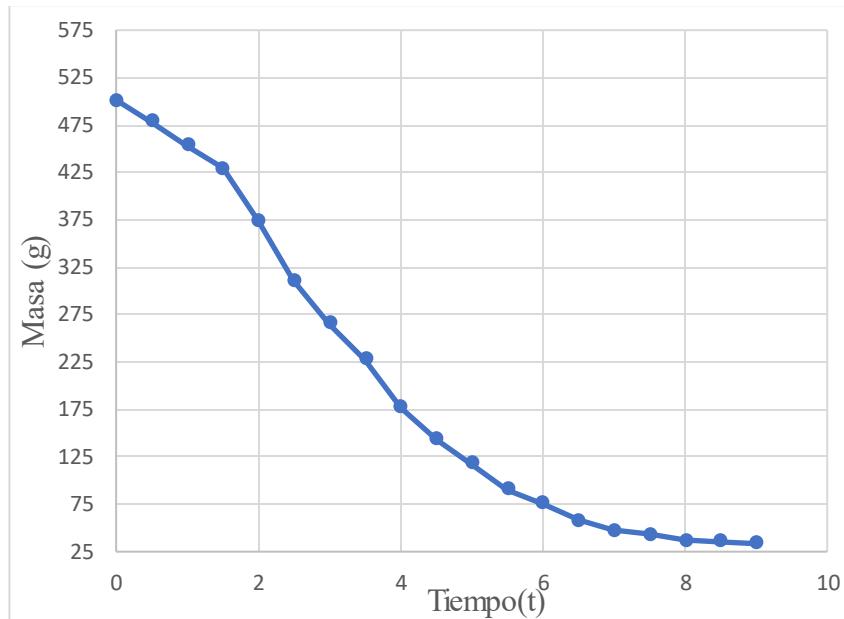
Fuente: Elaboración propia, 2024.

Tabla III-4. Variación de la masa respecto al tiempo a un grosor de 0.5 cm temperatura de 50°C y 9 horas

Nº	Tiempo (h)	Masa(g)
1	0,0	501,34
2	0,5	478,24
3	1,0	453,11
4	1,5	429,33
5	2,0	373,14
6	2,5	311,45
7	3,0	265,22
8	3,5	227,32
9	4,0	177,24
10	4,5	143,44
11	5,0	118,44
12	5,5	90,44
13	6,0	75,54
14	6,5	58,21
15	7,0	47
16	7,5	42,58
17	8,0	37,21
18	8,5	35,27
19	9,0	33,44

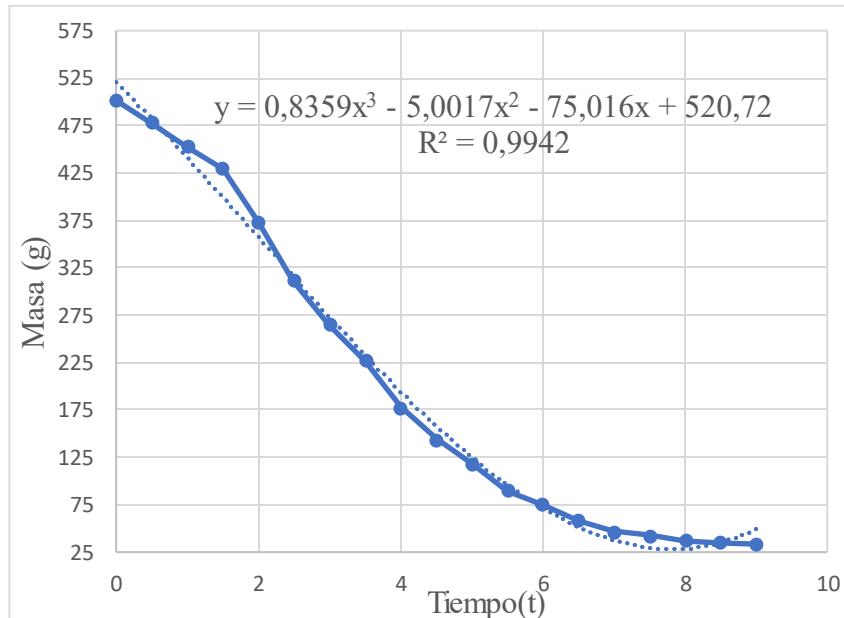
Fuente: Elaboración propia, 2024.

Figura 3-3. Curva de variación de la masa respecto al tiempo a un grosor de 0.5 cm temperatura de 50°C y 9 horas



Fuente: Elaboración propia, 2024.

Figura 3-4. Ajuste de la curva (Figura 3-3)



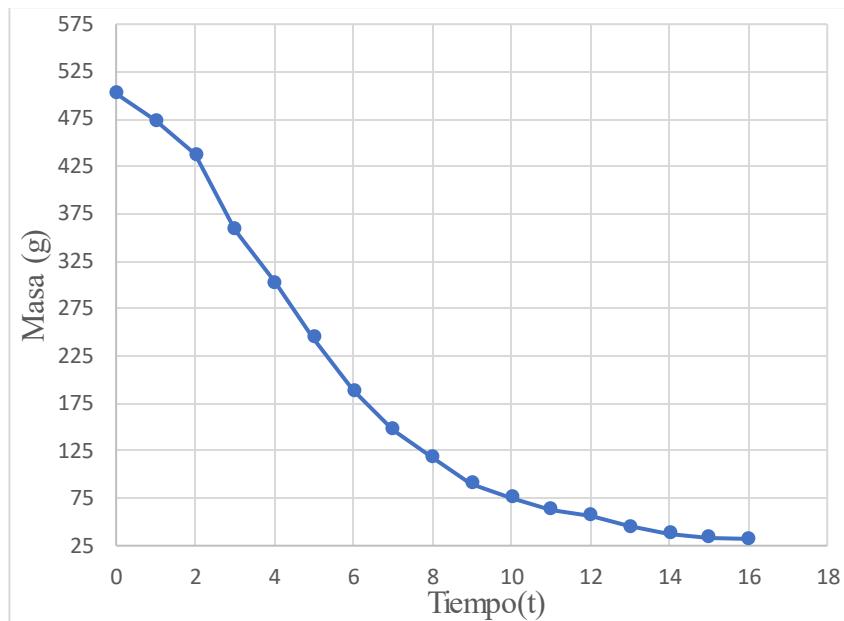
Fuente: Elaboración propia, 2024.

Tabla III-5. Variación de la masa respecto al tiempo a un grosor de 1 cm temperatura de 45°C y 16 horas

Nº	Tiempo(h)	Masa(g)
1	0,0	501,75
2	1,0	473,11
3	2,0	437,8
4	3,0	358,44
5	4,0	302,91
6	5,0	244,66
7	6,0	188,35
8	7,0	147,25
9	8,0	118,32
10	9,0	90,21
11	10,0	76,24
12	11,0	62,74
13	12,0	56,66
14	13,0	44,94
15	14,0	37,91
16	15,0	33,94
17	16,0	32,12

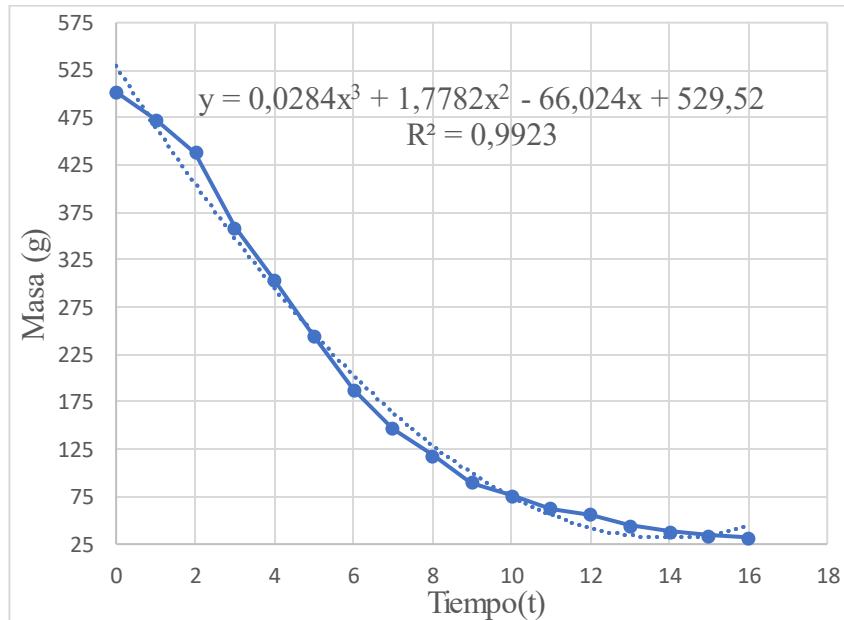
Fuente: Elaboración propia, 2024.

Figura 3-5. Variación de la masa respecto al tiempo a un grosor de 1 cm temperatura de 50°C y 16 horas



Fuente: Elaboración propia, 2024.

Figura 3-6: Ajuste de la curva (Figura 3-5)



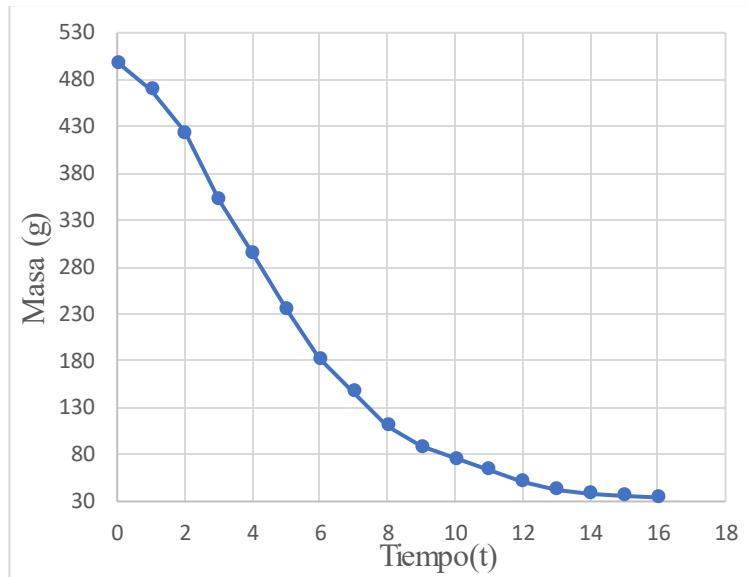
Fuente: Elaboración propia, 2024.

Tabla III-6. Variación de la masa respecto al tiempo a un grosor de 1 cm temperatura de 55°C y 16 horas

Nº	Tiempo(h)	Masa(g)
1	0,0	498,742
2	1,0	469,47
3	2,0	423,12
4	3,0	352,33
5	4,0	294,76
6	5,0	234,45
7	6,0	182,55
8	7,0	147,22
9	8,0	111,28
10	9,0	88,71
11	10,0	76,28
12	11,0	64,22
13	12,0	51,27
14	13,0	42,44
15	14,0	38,24
16	15,0	36,12
17	16,0	34,21

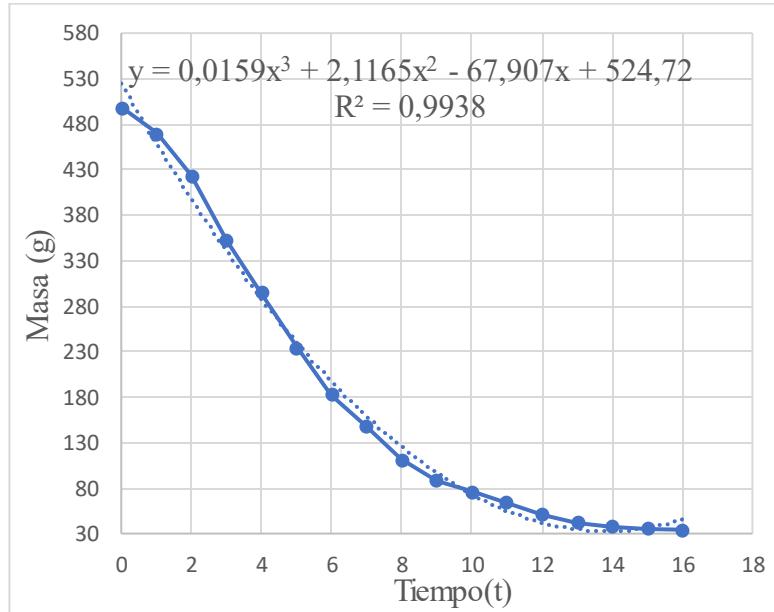
Fuente: Elaboración propia, 2024.

Figura 3-7. Variación de la masa respecto al tiempo a un grosor de 1 cm temperatura de 55°C y 16 horas



Fuente: Elaboración propia, 2024.

Figura 3-8. Ajuste de la curva (Figura 3-7)



Fuente: Elaboración propia, 2024.

Como podemos observar la ecuación que más se ajusta a los datos se encuentra en la Figura 3-2:

$$y = -0,127x^3 + 9,5148x^2 - 128,86x + 522,91 \quad \text{Ecuación 3 - 1}$$

$$R^2 = 0,997$$

Al ser los datos y curva más representativa será ocupada para análisis futuros relacionados con la humedad.

3.4. Determinación de la humedad en base seca

Para conocer el contenido de humedad expresada en base seca se sigue la fórmula expuesta en el apartado 1.14.5. Humedad Expresada en Base Seca (Céspedes, 2021) entonces para el primer valor se tiene:

$$X_{bs} = \frac{m_h - m_s}{m_s} * 100$$

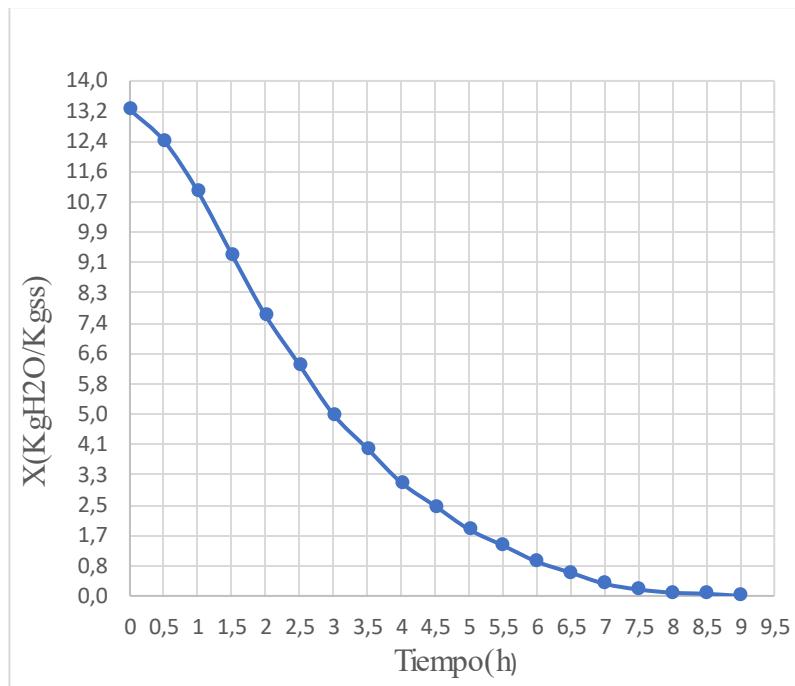
$$X_{bs} = \frac{501,51g - 35,12g}{35,12g}$$

Tabla III-7 Variación de la humedad expresada en base seca del secado de locoto a 45°C, 1 cm, y 9 horas de secado.

Nº	Tiempo (h)	Masa(g)	X(KgH ₂ O/Kg ss)
1	0,0	501,51	13,280
2	0,5	470,5	12,397
3	1,0	422,13	11,020
4	1,5	361,91	9,305
5	2,0	303,3	7,636
6	2,5	255,96	6,288
7	3,0	208,61	4,940
8	3,5	176,04	4,013
9	4,0	143,47	3,085
10	4,5	121,08	2,448
11	5,0	98,68	1,810
12	5,5	83,28	1,371
13	6,0	67,87	0,933
14	6,5	57,28	0,631
15	7,0	46,68	0,329
16	7,5	41,22	0,174
17	8,0	38,18	0,087
18	8.5	37,09	0,056
19	9,0	35,12	0,000

Fuente: Elaboración propia, 2024.

Figura 3-9. Curva de variación de la humedad expresada en base seca del secado de locoto a 45°C, 1 cm, y 9 horas de secado.



Fuente: Elaboración propia, 2024.

3.5. Determinación de la humedad en base húmeda

Por otro lado, para expresar el contenido de humedad durante el proceso de secado en base húmeda se considera la fórmula expresada en el apartado 1.14.5. Humedad Expresada en Base Húmeda (Céspedes, 2021) siendo para el primer valor:

$$\%X_{bh} = \frac{m_h - m_s}{m_h} * 100$$

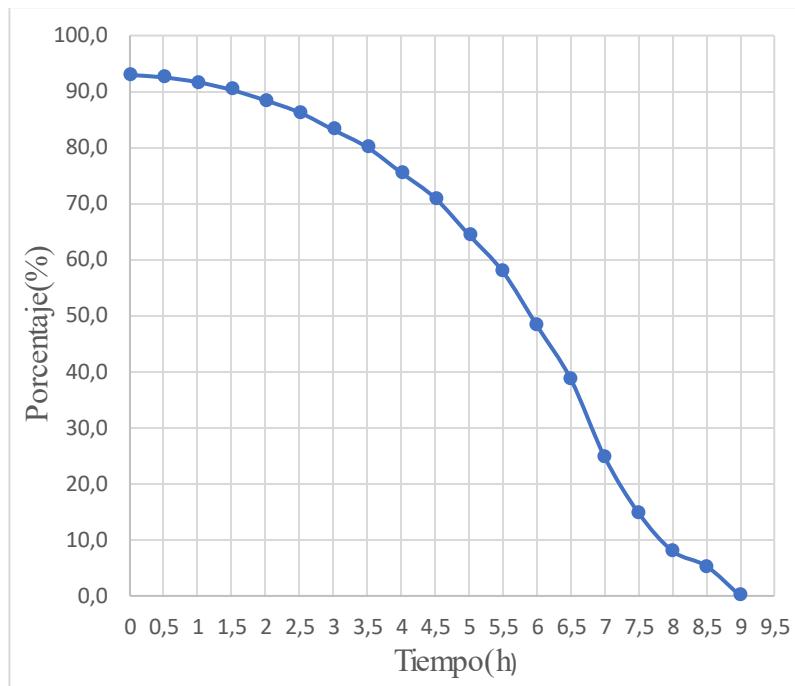
$$\%X_{bh} = \frac{501,5 \text{ g} - 35,12 \text{ g}}{501,51 \text{ g}}$$

Tabla III-8. Variación de la humedad expresada en base húmeda del secado de locoto a 45°C, 1 cm, y 9 horas de secado.

Nº	Tiempo (h)	Masa(g)	X(KgH2O/Kg sh)	Porcentaje%
1	0,0	501,51	0,930	93,00
2	0,5	470,5	0,925	92,54
3	1,0	422,13	0,917	91,68
4	1,5	361,91	0,903	90,30
5	2,0	303,3	0,884	88,42
6	2,5	255,96	0,863	86,28
7	3,0	208,61	0,832	83,16
8	3,5	176,04	0,800	80,05
9	4,0	143,47	0,755	75,52
10	4,5	121,08	0,710	70,99
11	5,0	98,68	0,644	64,41
12	5,5	83,28	0,578	57,83
13	6,0	67,87	0,483	48,25
14	6,5	57,28	0,387	38,69
15	7,0	46,68	0,248	24,76
16	7,5	41,22	0,148	14,80
17	8,0	38,18	0,080	8,01
18	8.5	37,09	0,053	5,31
19	9,0	35,12	0,000	-

Fuente: Elaboración propia, 2024.

Figura 3-10. Curva de variación de la humedad expresada en base seca del secado de locoto a 45°C, 1 cm, y 9 horas de secado.



Fuente: Elaboración propia, 2024.

3.6. Determinación de la cinética de secado

Para poder realizar el cálculo de la cinética de secado se emplea en primer lugar el método de los tres puntos. El presente método analítico 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:

$$Y_0 = \frac{-3y_0 + 4y_1 - y_2}{2h} \quad (\text{Ecuación 3-2})$$

$$Y_1 = \frac{-y_0 + y_2}{2h} \quad (\text{Ecuación 3-3})$$

$$Y_2 = \frac{y_0 - 4y_1 + 3y_2}{h} \quad (\text{Ecuación 3-4})$$

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:

$$y = ax^n \quad (\text{Ecuación 3 - 5})$$

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:

$$y = -\frac{dx}{dt} \quad (\text{Ecuación 3 - 6})$$

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 locoto con la siguiente ecuación:

$$y = -\frac{dx}{dt} = kx^n \quad (\text{Ecuación 3 - 7})$$

Donde: k = Constante para la cinética n = Orden de la cinética

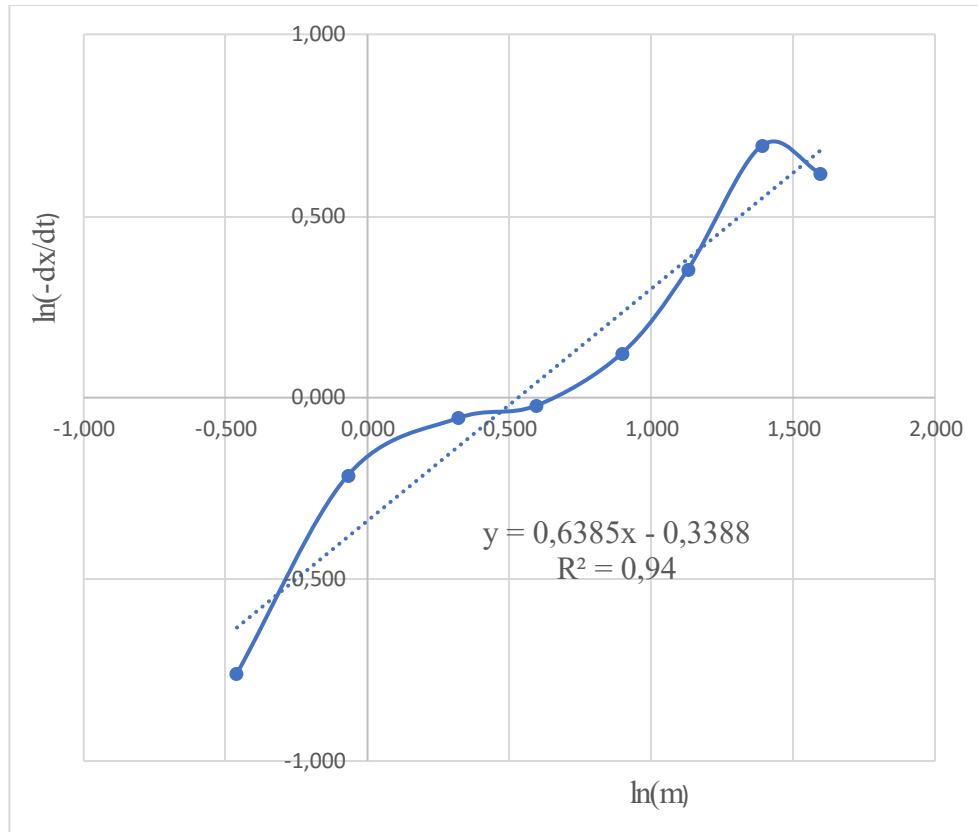
Como se menciona anteriormente los cálculos se realizan en función al ensayo, por lo tanto, se reemplaza los datos del ensayo en las tres ecuaciones fundamentales del método de los tres puntos.

Tabla III-9. Método de tres puntos para el locoto

t (h)	m (g)	Y'1	Y'2	Y'3	Y'4	Y'5	Y'6	-dx/dt	ln(m)	ln(-dx/dt)
3	4,940	-1,853						1,853	1,597	0,617
3,5	4,013	-1,855	-2,147					2,001	1,390	0,694
4	3,085	-1,857	-1,565	-1,273				1,419	1,127	0,350
4,5	2,448		-0,983	-1,275	-1,475			1,129	0,895	0,121
5	1,81			-1,277	-1,077	-0,879		0,978	0,593	-0,022
5,5	1,371				-0,679	-0,877	-1,012	0,945	0,316	-0,057
6	0,933					-0,875	-0,74	0,808	-0,069	-0,214
6,5	0,631						-0,468	0,468	-0,460	-0,759

Fuente: Elaboración propia, 2024.

Figura 3-11. Método de los tres puntos



Fuente: Elaboración propia, 2024.

El porcentaje de exactitud es bajo con un modelo lineal planteado, sin embargo, plantea una aproximación del valor real por este método.

Ahora para encontrar “K y n”, vamos a linealizar la ecuación (3-6): $y = -\frac{dx}{dt} = kx^n$

La ecuación obtenida se interpreta de la siguiente manera:

$$\ln\left(-\frac{dx}{dt}\right) = \ln(k) + n \ln(x) \quad (\text{Ecuación 3-8})$$

Donde:

$$n = b$$

$$a = \ln k$$

$$k = e^A$$

$$k = 0,713$$

$$n = 0,6385$$

$$y = a + bx$$

$$y = -0,3388 + 0,6385x$$

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

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

$$y = -\frac{dx}{dt}$$

$$y = kx^n$$

Finalmente, la ecuación de la cinética de secado del locoto queda de la siguiente manera:

$$y = 0,713 * x^{0,6385} \frac{kg}{m^2 h} \quad (\text{Ecuación 3 - 9})$$

Realizando el análisis con la ecuación obtenida se tiene que n es igual a 0,6385 y a= ln(k) es igual a -0,3388, por tanto, el valor de k es igual a 0,713.

3.7. Cálculo del tiempo de secado

Partiendo de la ecuación de la cinética de secado se determina el tiempo de secado, aplicando la siguiente fórmula:

$$t = - \int_{x_0}^{x_f} \frac{dx}{kx^n} \quad (\text{Ecuación 3 - 10})$$

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

$$\left(-\frac{dx}{dt} \right) = kx^n \quad (\text{Ecuación 3 - 11})$$

$$dt = -\frac{dx}{kx^n}$$

$$t = -\frac{1}{k} \int_{x_0}^{x_f} \frac{dx}{x^n} = -\frac{1}{0,713} * \int_{13,237}^{0,087} \frac{dx}{x^{0,6385}} =$$

$$t = \frac{1}{0,713 * (-0,3615)} * (0,087^{0,3615} - 13,237^{0,3615}) = 8,265 \text{ h} = 8 \text{ h y } 16 \text{ min}$$

3.8. Características del secador utilizado en la parte experimental

Para la etapa experimental del presente estudio se empleó un secador de bandejas de marca Binder, modelo FD 53, ubicado en el Laboratorio de Operaciones Unitarias. Es importante señalar que este equipo no cuenta con un sistema propio de circulación de aire ni control automático de temperatura; por tal motivo, se adaptó su funcionamiento incorporando un calentador de aire tipo caloventor, el cual actuó como fuente de calor y generador de flujo de aire forzado dentro de la cámara de secado, permitiendo de esta manera realizar el proceso de deshidratación del locoto bajo condiciones controladas de tiro forzado.

Figura 3-12: Secador de marca Binder (modelo FD 53)



Fuente: Elaboración propia, 2024

3.8.1 Selección del calentador de aire

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 las cantidades de materia prima aptas para el secado, la potencia requerida del calentador de aire es:

$$Potencia = \frac{Energía}{Tiempo} = \frac{156,18 \text{ kcal}}{16 \text{ h}} \quad (\text{Ecuación 3 - 12})$$

$$Potencia = 9,76 \frac{\text{kcal}}{\text{h}} = 0,0114 \text{ kW}$$

De acuerdo con las especificaciones del fabricante, la eficiencia del calentador es del 70%, la potencia final requerida por el motor puede determinarse mediante la siguiente ecuación:

$$\eta = \frac{P_R}{P_f} \quad (\text{Ecuación 3 - 13})$$

η = Eficiencia del motor.

P_R = Potencia requerida para el proceso.

P_f = Potencia final.

$$P_f = \frac{P_R}{\eta} = \frac{0,0114}{0,7} = 0,0163 \text{ kW}$$

3.8.2 Cálculo de la cantidad de aire necesario para el secado

Utilizando los datos de la humedad inicial de la materia prima:

%Humedad inicial en base seca = 13,579 kg H₂O/kg sólido seco (w₁)

%Humedad final en base seca = 0,056 kg H₂O/kg sólido seco (w₂)

Aire que entra al secador = 50°C, 20% HR (W₁)

Aire que sale del secador = 21°C, 80 % HR (W₂)

Tiempo de secado = 16 h

Con los datos obtenidos revisamos el diagrama psicrométrico y tenemos:

W₁ = 0,019 kg H₂O/kg aire seco

W₂ = 0,015 kg H₂O/kg aire seco

Aplicando la siguiente fórmula se determina la cantidad de aire necesario:

$$\left(\frac{ma}{mp}\right) * W_2 + w_1 = \left(\frac{ma}{mp}\right) * W_1 + w_2$$

$$\left(\frac{ma}{mp}\right) * 0,015 + 13,579 = \left(\frac{ma}{mp}\right) * 0,019 + 0,056$$

$$0,015 * \left(\frac{ma}{mp}\right) + 13,579 = 0,019 \left(\frac{ma}{mp}\right) + 0,056$$

$$13,579 - 0,056 = 0,019 \left(\frac{ma}{mp}\right) - 0,015 \left(\frac{ma}{mp}\right)$$

$$\left(\frac{ma}{mp} \right) = \frac{13,523}{0,004} = 3380,75 \frac{\text{kg aire seco}}{\text{kg sólido}}$$

Para el cálculo de caudal de aire necesario, se debe calcular el volumen de aire y para ello se utiliza la Ecuación 3 – 14:

Donde:

ρ = Densidad del aire

m = Masa del aire

v = Volumen de aire

t = Tiempo

$$\rho = \frac{m}{v}$$

$$v = \frac{m}{\rho} = \frac{4507,67 \text{ kg}}{1,23 \text{ m}^3} = 3664,77 \text{ m}^3 \quad (\text{Ecuación 3 - 14})$$

$$Q = \frac{v}{t} = \frac{3664,77 \text{ m}^3}{16 \text{ h}} = 229,048 \frac{\text{m}^3 \text{ aire}}{\text{h}}$$

$$Q = 229,048 \frac{\text{m}^3 \text{ aire}}{\text{h}} * \frac{1\text{h}}{3600 \text{ s}} = 0,064 \frac{\text{m}^3 \text{ aire}}{\text{seg}}$$

3.9. Molienda

La molienda fue realizada con un molino de martillos. Durante la operación, se produce un polvo fino y un exceso de partículas en suspensión que se liberan en el ambiente. Para un funcionamiento óptimo, el equipo requiere que la materia prima esté completamente deshidratada antes del proceso de molienda.

A continuación, se presenta en la Tabla III-10 las pérdidas observadas, que se atribuyen al impacto significativo de los martillos sobre el producto deshidratado, lo que genera la dispersión de partículas finas en el aire. Esta situación provoca una migración de material particulado fuera del sistema, resultando en pérdidas de producto.

Tabla III-10. Pérdida de locoto deshidratado en la molienda.

Nº	Locoto deshidratado (g)	Pérdidas (g)	Locoto en polvo (g)
1	36,35	7,31	29,04
2	28,14	7,24	20,9
3	37,21	7,28	29,93
4	29,45	7,44	22,01
5	-	-	-
6	37,91	7,41	30,5
7	-	-	-
8	37,96	7,09	31,09
9	38,18	8,02	30,16
10	28,46	7,65	20,81
11	37,13	7,04	30,09
12	29,63	6,95	22,68
13	-	-	-
14	36,74	7,11	29,63
15	-	-	-
16	38,24	7,45	30,79

Fuente: Elaboración propia, 2024.

3.10. Tamizado

Posterior a la molienda el polvo de locoto pasa por el tamiz con aberturas de 1 mm, 0,5 mm, 0,25 mm y 0,063 mm.

El polvo que pasa a través de la malla de 0,063 mm se combinará con el locoto que se encuentra retenido en la malla de 0,25 mm, dado que este último presenta una granulometría fina. De esta manera, se logrará una homogeneización de la mezcla, ya que la incorporación de partículas de tamaño reducido optimiza la distribución y

la uniformidad de la textura, mejorando la consistencia del producto final. Este proceso asegura una distribución homogénea de las fracciones más finas y más gruesas, resultando en un polvo con una granulometría equilibrada.

En la Tabla III-11 se detalla la distribución de partículas retenidas en los distintos tamices utilizados:

Tabla III-11. Tamizado de locoto molido

Nº	Locoto en polvo (g)	Nº de malla			
		1mm	0,5mm	0,25mm	0,063mm
1	29,04	8,33	12,66	4,63	3,42
2	20,9	6,23	9,4	2,25	3,02
3	29,93	8,44	12,34	4,22	4,93
4	22,01	6,97	8,87	3,21	2,96
5	-	-	-	-	-
6	30,5	8,87	13,03	4,47	4,13
7	-	-	-	-	-
8	31,09	8,91	13,05	4,56	4,57
9	30,16	8,84	13,01	4,43	3,88
10	20,81	6,93	8,94	2,6	2,34
11	30,09	8,02	12,63	5,11	4,33
12	22,68	8,24	8,53	3,88	2,03
13	-	-	-	-	-
14	29,63	8,97	12,82	5,35	2,49
15	-	-	-	-	-
16	30,79	8,91	12,67	5,71	3,5

Fuente: Elaboración propia, 2024.

3.11. Cálculo de rendimiento del proceso

En base a los datos obtenidos el rendimiento es calculado con la Ecuación 3 - 15:

$$\eta = \frac{m_p}{m_c} * 100 \quad (\text{Ecuación 3 - 15})$$

Donde:

m_p = Masa del producto final obtenido

m_c = Masa de la materia prima utilizado

En la Tabla III-12 se muestra el cálculo del rendimiento para el locoto en polvo:

Tabla III-12. Cálculo del rendimiento para locoto en polvo

Nº	Locoto fresco (g)	Rendimiento(η)
1	600	4,8400
2	600	3,4833
3	600	4,9883
4	600	3,6683
5	-	-
6	600	5,0833
7	-	-
8	600	5,1817
9	600	5,0267
10	600	3,4683
11	600	5,0150
12	600	3,7800
13	-	-
14	600	4,9383
15	-	-
16	600	5,1317

Fuente: Elaboración propia, 2024.

A continuación, en la Tabla III-13 se presentará el cálculo del porcentaje de pérdidas conforme a los datos obtenidos durante su ejecución. Para dicho cálculo se tomara en cuenta los datos de la Tabla III-1 donde se especifica el peso total obtenido tras la extracción de semillas, pedúnculo y cáscara (Pérdidas del locoto fresco) así como también se tomará en cuenta las perdidas producidas en cada una de las etapas del proceso.

Tabla III-13: Pérdidas en el proceso de obtención experimental de locoto en polvo.

Nº	Locoto fresco (g)	Pérdidas del locoto fresco (g)	Pérdidas en Molienda (g)	Pérdidas totales (g)	Porcentaje de pérdida (%)
1	600	99,88	7,31	107,19	17,87
2	600	102,75	7,24	109,99	18,33
3	600	98,662	7,28	105,942	17,66
4	600	100,746	7,44	108,186	18,03
5	600	103,216	-	-	-
6	600	98,246	7,41	105,656	17,61
7	600	99,9	-	-	-
8	600	101,264	7,09	108,354	18,06
9	600	98,491	8,02	106,511	17,75
10	600	99,368	7,65	107,018	17,84
11	600	99,259	7,04	106,299	17,72
12	600	102,364	6,95	109,314	18,22
13	600	103,876	-	-	-
14	600	101,855	7,11	108,965	18,16
15	600	102,403	-	-	-
16	600	98,318	7,45	105,768	17,63

Fuente: Elaboración propia.

3.12. Resultados del análisis estadístico de experimentos

En la Tabla III-14 se muestra los resultados del diseño factorial realizado en el programa SPSS:

Tabla III-14. Resultados del diseño factorial

Factores inter-sujetos		
		N
Tiempo	-1,00	4
	1,00	8
Temperatura	-1,00	6
	1,00	6
Grosor	-1,00	8
	1,00	4

Pruebas de efectos inter-sujetos					
Variable dependiente: Rendimiento					
Origen	Tipo III de suma de cuadrados	gl	Media cuadrática	F	Sig.
Modelo corregido	5,535 ^a	5	1,107	185,009	,000
Intersección	244,534	1	244,534	40871,16	,000
Tiempo	3,740	1	3,740	625,140	,000
Temperatura	,023	1	,023	3,834	,098
Grosor	4,403	1	4,403	735,941	,000
Tiempo * Temperatura	,016	1	,016	2,709	,151
Temperatura * Grosor	,005	1	,005	,877	,385
Tiempo * Grosor	,000	0			
Error	,036	6	,006		
Total	254,045	12			
Total corregido	5,570	11			

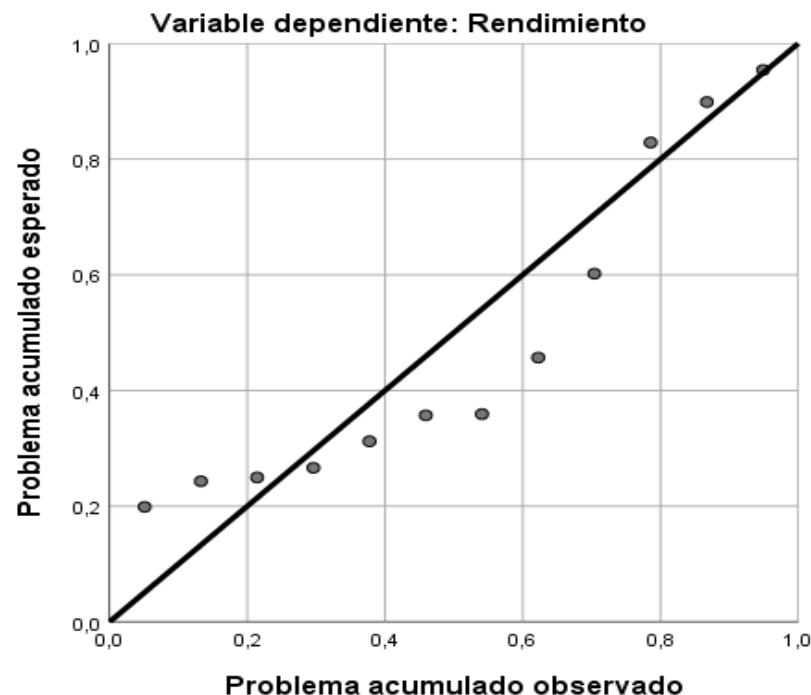
a. R al cuadrado = ,994 (R al cuadrado ajustada = ,988)

Variables entradas/eliminadas ^a			
Modelo	Variables entradas	Variables eliminadas	Método
1	Grosor, Temperatura, Tiempo ^b	.	Introducir

Resumen del modelo ^b				
Modelo	R	R cuadrado	R cuadrado ajustado	Error estándar de la estimación
1	,995 ^a	,991	,987	,8079

ANOVA ^a						
Modelo		Suma de cuadrados	gl	Media cuadrática	F	Sig.
1	Regresión	5,518	3	1,839	281,849	,000 ^b
	Residuo	,052	8	,007		
	Total	5,570	11			

Coeficientes ^a							
Modelo	Coeficientes No estandarizados		Coeficientes estandariza dos	t	Sig.	Límite inferior	Límite superior
	B	Error típ					
1 (Constante)	5,026	,029		175,955	,000	4,960	5,091
Tiempo	-,684	,029	-,946	-23,940	,000	-,750	-,618
Temperatura	,077	,023	,113	3,306	,011	-,023	,131
Grosor	,742	,029	1,027	25,975	,000	,676	,808

Gráfico P-P normal de regresión Residuo estandarizado

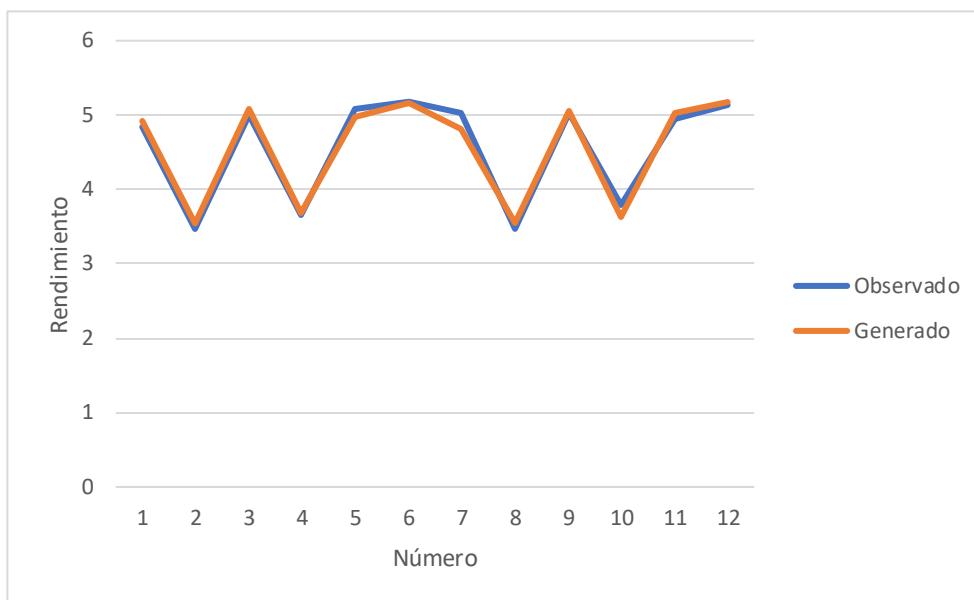
Durante la ejecución de la parte experimental, se observaron desviaciones significativas en los datos obtenidos de las muestras 5, 7, 13 y 15. Estas muestras no alcanzaron los niveles óptimos de humedad debido a su grosor, lo que resultó en una textura excesivamente blanda. La insuficiencia del tiempo de secado (8 horas) impidió la obtención de datos confiables, generando sesgos en los resultados. Dada la imposibilidad de alcanzar las condiciones experimentales establecidas para estas muestras, se decidió excluirlas del análisis estadístico en SPSS. A continuación, se presenta el error entre los valores del rendimiento observado respecto a los valores del rendimiento generado:

Tabla III-15. Comparación del diseño observado y el generado.

Nº	Rendimiento Observado	Rendimiento generado	Error (%)
1	4,84	4,91561	-0,0756
2	3,48	3,54268	-0,0593
3	4,99	5,07274	-0,0844
4	3,67	3,68145	-0,0131
5	-	-	-
6	5,08	4,96834	0,1150
7	-	-	-
8	5,18	5,15041	0,0313
9	5,03	4,82226	0,2044
10	3,47	3,55017	-0,0818
11	5,02	5,05939	-0,0444
12	3,78	3,62560	0,1544
13	-	-	-
14	4,94	5,04084	-0,1025
15	-	-	-
16	5,13	5,17541	-0,0437

Fuente: Elaboración propia, 2024.

Figura 3-13. Valores observados vs valores ajustados al modelo



Fuente: Elaboración propia, 2024.

3.13. Balance de materia

El balance de materia se realizará con el experimento número dieciocho.

Donde:

A = Alimentación

EH = Entrada de solución de hidróxido de sodio.

EA = Entrada de solución de ácido cítrico.

SH = Salida de solución de hidróxido de sodio.

SA = Salida de solución de ácido cítrico.

P = Piel.

LSP = Locoto sin piel.

EHA = Exceso de solución de hidróxido de sodio y ácido cítrico

LE = Locoto escurrido.

S = Semillas.

PD = Pedúnculo.

LPD = Locoto para deshidratar.

PA = Pérdida de agua.

LD = Locoto deshidratado.

PM = Pérdidas de molienda.

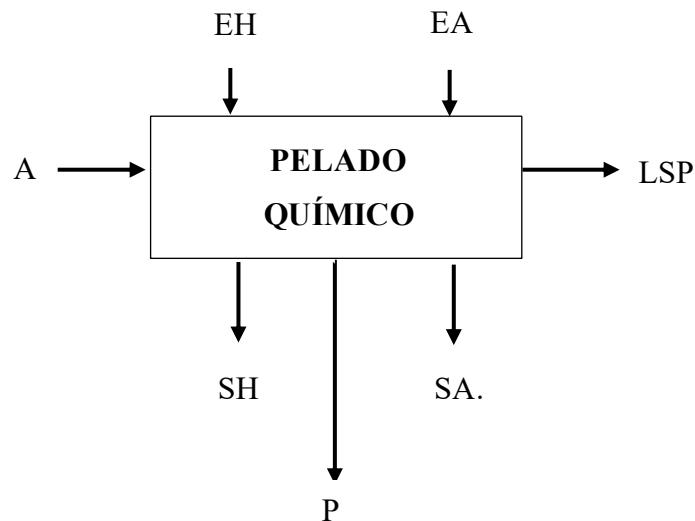
LM = Locoto molido.

PT = Pérdidas de tamizado

LT = Locoto tamizado.

Pelado químico

Soluciones para el pelado químico	Masa(g)	Volumen(ml)	Concentración (%)	Masa de solución (g)
Solución de hidróxido de sodio	40	2000	2	2000
Solución de ácido cítrico	3	1000	0,3	1000



$$A + EH + EA = (SH + SA) + LSP$$

$$LSP = (A + EH + EA) - (SH + SA)$$

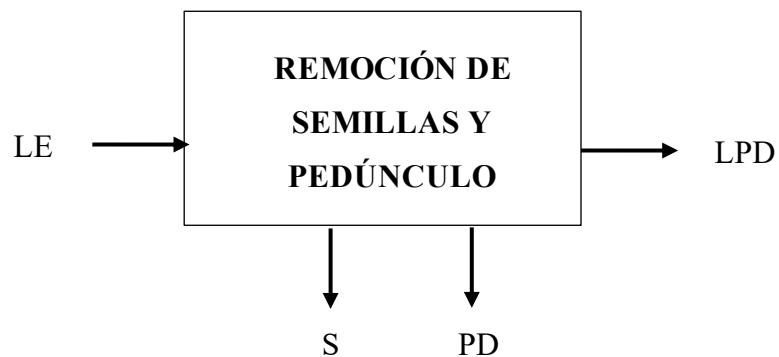
A (g)	EH (g)	SH (g)	EA (g)	SA (g)	P (g)	LSP (g)
600	2000	1998,8	1000	997,8	14,654	588.746

Escurrido

$$LSP = LE + EHA$$

$$EHA = LSP - LE$$

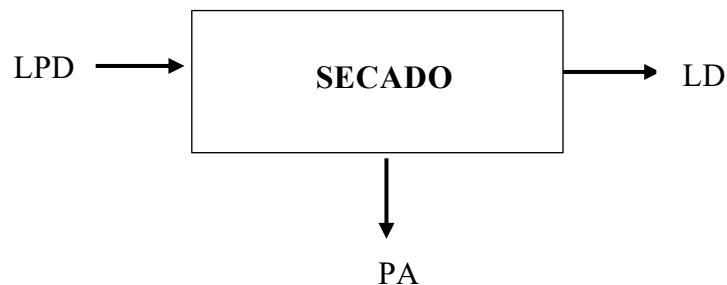
LSP (g)	EHA (g)	LE (g)
588,746	6,34	582,406

Remoción de semillas y pedúnculo

$$LE = S + PD + LPD$$

$$LPD = LE - S - PD$$

LE (g)	S (g)	PD (g)	LPD (g)
582,406	57,30	26,364	498,742

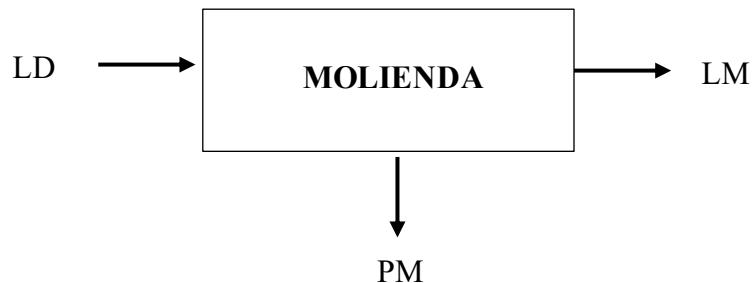
Secado:

$$\text{LPD} = \text{PA} + \text{LD}$$

$$\text{LD} = \text{LPD} - \text{PA}$$

$$\text{PA} = \text{LPD} - \text{LD}$$

LPD (g)	PA (g)	LD (g)
498,742	460,502	38,24

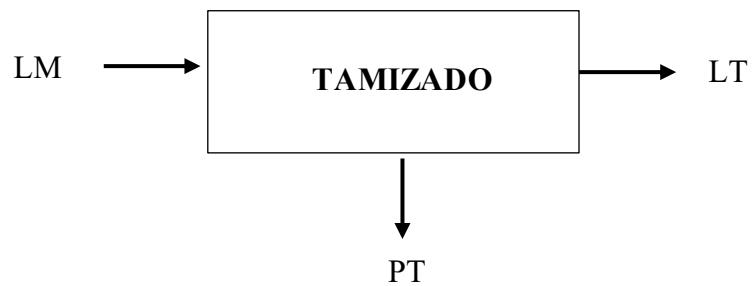
Molienda

LD (g)	PM (g)	LM (g)
38,24	7,45	30,79

$$LD = LM + PM$$

$$PM = LD - LM$$

Tamizado

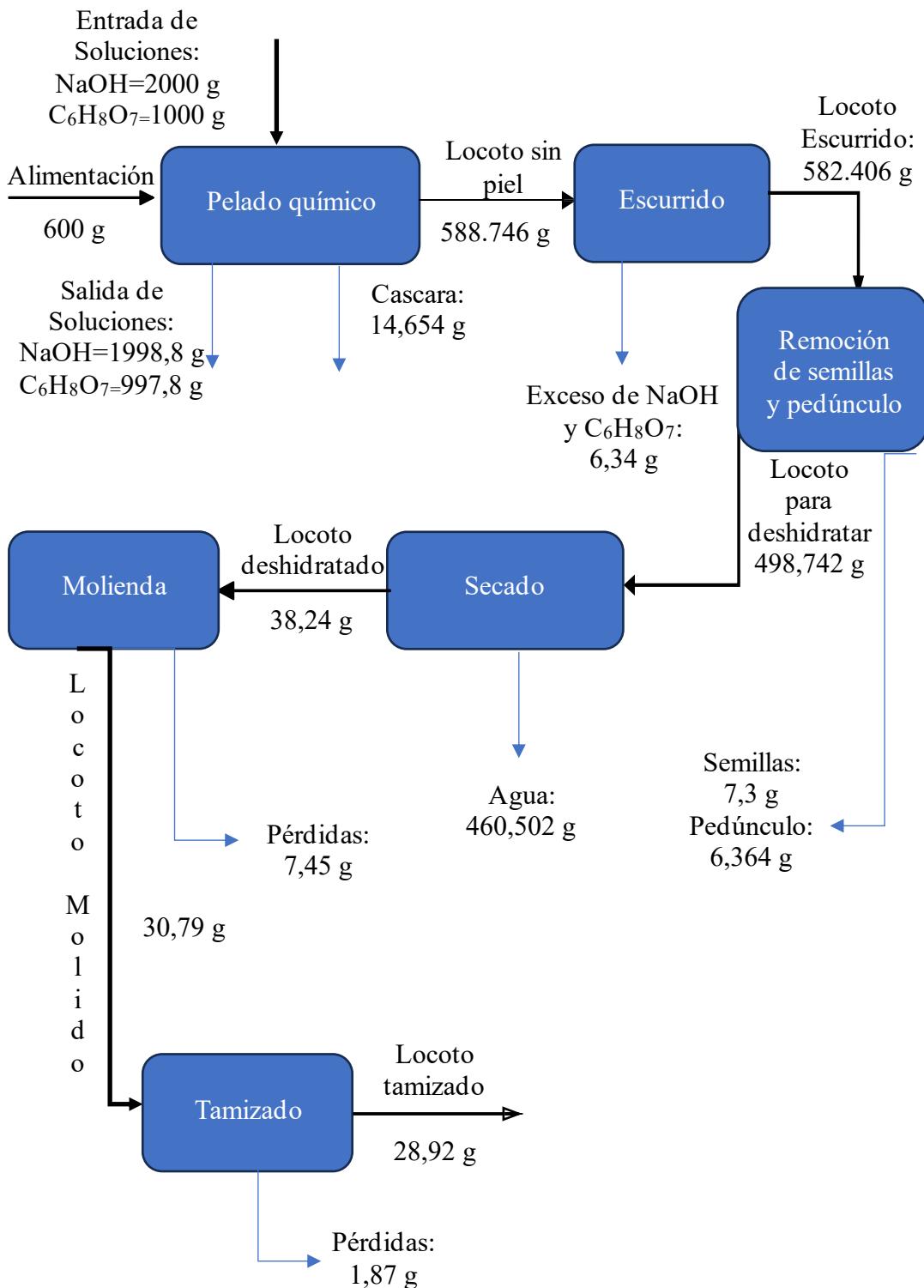


LM (g)	PT (g)	LT (g)
30,79	1,87	28,92

$$LM = PT + LT$$

$$PT = LM - LT$$

3.13.1. Balance global de materia



3.14. Balance de energía

3.14.1. Calor sensible

Para el cálculo de la energía requerida se emplea la Ecuación 3-16:

$$Q_s = m_T c_p (T_{op} - T_{amb}) \quad (\text{Ecuación 3-16})$$

Q_s = Calor sensible.

m_T = masa total del producto.

c_p = Calor específico.

T_{op} = Temperatura de operación bulbo seco.

T_{amb} = Temperatura ambiente.

$m_T = 498,742 \text{ g} = 0,4987 \text{ kg}$

$c_p = 3,94 \text{ kJ/kg}^{\circ}\text{C} = 0,94 \text{ kcal/kg}^{\circ}\text{C}$

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

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

$$Q_s = m_T c_p (T_{op} - T_{amb}) \quad (\text{Ecuación 3-17})$$

$$Q_s = 0,4987 \text{ kg} * 0,94 \frac{\text{kcal}}{\text{kg}}^{\circ}\text{C} * (50 - 21)^{\circ}\text{C}$$

$$Q_s = 13,59 \text{ kcal}$$

3.14.2. Calor latente

Para el cálculo del calor latente se emplea la siguiente ecuación:

Q_L = Calor latente.

m_v = Masa de agua que se evapora.

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

$$m_v = 460,502 \text{ g} = 0,461 \text{ kg}$$

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

$$Q_L = m_v * h_{fg} \quad (\text{Ecuación 3 - 18})$$

$$Q_L = 0,461 \text{ kg} * 309,305 \text{ kcal/kg} = 142,59 \text{ kcal}$$

3.14.3 Cálculo del calor total

$$Q = Q_S + Q_L \quad (\text{Ecuación 3 - 19})$$

$$Q = 13,59 \text{ kcal} + 142,59 = 156,18 \text{ kcal}$$

3.15. Condiciones de operación en el secado, molienda, tamizado

Es fundamental calcular el consumo de energía de cada equipo utilizado durante la fase experimental, ya que esto permite determinar el costo operativo. Sabiendo esto se procede a calcular la potencia con la Ecuación 3 – 20 :

$$P = I * V \quad (\text{Ecuación 3 - 20})$$

P = Potencia eléctrica (W)

I = Intensidad de la corriente (A)

V = Diferencia de potencial (V)

Ahora bien, basándose en la ecuación anterior se puede tener la fórmula para calcular la energía eléctrica expresada en la Ecuación 3 – 21 :

$$E = P * t \quad (\text{Ecuación 3 - 21})$$

E = Energía eléctrica.

P = Potencia.

t = Tiempo

A continuación, se presentan las condiciones de operación en las que se hace uso de cada equipo. Las características son adquiridas de las placas de información de cada uno.

Tabla III-16. Condiciones de operación en el secado, molienda y tamizado

Equipo	Potencia(P)	Tiempo de operación	Energía eléctrica
Secador de tiro forzado	1,2 kW	16 h	13,44 kWh
Molino de martillos	1 kW	0,15 h	0,15 kWh
Tamiz vibratorio	0,92 kW	0,15 h	0,138 kWh

Fuente: Elaboración propia, 2024.

3.16. Resultados del análisis sensorial

Con la finalidad de evaluar el nivel de aceptabilidad del locoto en polvo elaborado en el presente proyecto, se llevó a cabo un análisis sensorial utilizando un panel conformado por 9 jueces no entrenados. A cada juez se le proporcionó una ficha de evaluación estructurada que contempló los atributos de olor, sabor, color y picor, correspondientes a tres muestras diferentes de locoto en polvo. La evaluación se realizó mediante una escala hedónica de 5 puntos.

Asimismo, se realizó otro ensayo que tuvo como objetivo comparar la muestra elaborada en el proyecto con dos marcas comerciales de locoto en polvo disponibles en el mercado. De este modo, se buscó determinar si el producto desarrollado cumple con las características organolépticas adecuadas y si presenta un nivel de aceptación competitivo respecto a los productos existentes en el mercado.

Los resultados obtenidos en este análisis se detallan en el Anexo 2, donde se presentan las valoraciones individuales de cada atributo para las muestras evaluadas.

3.17. Costos del proyecto

3.17.1 Estudio económico

El análisis económico de los diversos costos de producción se presenta a continuación:

3.17.2. Costo de la materia prima

Para establecer el presupuesto del presente proyecto de investigación, se llevó a cabo una evaluación detallada de los costos asociados con la ejecución integral del proyecto.

Tabla III-17: Materia prima e insumos necesarios

Nº	Materia prima e insumos	Precio unitario (Bs)	Unidad	Cantidad	Costo (Bs)
1	Locoto	13	kg	13	169
2	Hidróxido de sodio	100	kg	0,75	75
3	Ácido cítrico	40	kg	0,060	2,4
4	Fenolftaleína	10	ml	10	10
					256,4

Fuente: Elaboración propia, 2024.

Tabla III-18. Costo de materiales

Nº	Material	Precio unitario (Bs)	Unidad	Cantidad	Costo (Bs)
1	Guantes de nitrilo	30	Caja	1	30
2	Bolsa al vacío	0,90	Pza.	20	18
3	Filtros de máscara	15	Pza.	2	30
4	Gafas de seguridad	15	Pza.	1	15
5	Malla de fibra de vidrio	14	m	1	14
					107

Fuente: Elaboración propia, 2024.

Tabla III-19. Detalle de energía eléctrica

Nº	Detalle	Potencia (kW)	Tiempo(h)	Energía consumida(kWh)	Costo unitario (Bs)	Costo total (Bs)
1	Secado	1,2	208	249,6	0,9	224,64
2	Molienda	1	3	3		2,7
3	Tamizado	0,92	3	2,76		2,48
4	Selladora al vacío	0,1	0,15	0,015		0.0135
						229,83

Fuente: Elaboración propia, 2024.

Tabla III-20. Detalle de otros servicios

Nº	Detalle	Precio unitario (Bs)	Unidad	Cantidad	Costo (Bs)
1	Gas	0,6	m ³ .	5	3
2	Agua	6,4	m ³ .	1	6,4
					9,4

Fuente: Elaboración propia, 2024.

El resto de los materiales necesarios para la realización de la parte experimental y análisis, fueron proporcionados por el Laboratorio de Operaciones Unitarias de la carrera de Ingeniería Química. Adicionalmente, se utilizaron cierto utensilios y recipientes que eran de mi propiedad.

Los análisis realizados se aplica el descuento del 70 % para estudiantes de la Facultad de Ciencias y Tecnología de la Universidad Autónoma Juan Misael Saracho. Estos se detallan en la tabla siguiente:

Tabla III-21. Costos de análisis de laboratorio

Nº	Detalle	Unidad	Cantidad	Costo unitario (Bs)	Costo total (Bs)
1	Humedad	Análisis	2	40	80
2	Proteína	Análisis	2	100	200
3	Cenizas	Análisis	2	70	140
4	Fibra	Análisis	2	70	140
5	Grasa	Análisis	2	90	180
6	Valor energético	Análisis	2	20	40
7	Hidratos de carbono	Análisis	2	40	80
8	Coliformes fecales	Análisis	1	100	100
9	Coliformes totales	Análisis	1	100	100
10	Mohos y levaduras	Análisis	1	120	100
TOTAL				Descuento = 70% Costo Real = 30% (1160 Bs*0.3) =Bs.348	

Fuente: Elaboración propia, 2024.

Tabla III-22. Detalle de costos totales

Materia prima e insumos necesarios	256,4
Costo de materiales	107
Detalle de otros servicios	9,4
Costo de energía eléctrica	229,83
Costo de análisis de laboratorio	348
Costos totales en la parte experimental	Bs. 950,63

Fuente: Elaboración propia, 2024.

Tabla III-23. Detalle de costos por cada ensayo

Materia prima e insumos necesarios	11.8
Costo de materiales	5,94
Detalle de otros servicios	0,52
Costo de energía eléctrica	12,77
Costos totales por cada ensayo	Bs. 31,03

Fuente: Elaboración propia, 2024

Cabe recalcar que la reutilización de las soluciones de Hidróxido de sodio y ácido cítrico en el proceso de pelado químico del locoto habría sido una estrategia viable para reducir los costos de producción. Sin embargo, esto no se llevó a cabo debido a la metodología experimental aplicada, en la que los ensayos se realizaban en días distintos. Esto implicaba la necesidad de preparar nuevas soluciones para cada experimento, asegurando condiciones iniciales uniformes y fiables en cada jornada.

Según lo reportado por Muñoz (2014), las soluciones empleadas en el proceso de pelado químico pueden ser reutilizadas hasta un máximo de cinco veces, dependiendo de las condiciones del proceso y la eficiencia de la solución. Con base en el volumen de solución preparado y la proporción de uso por cantidad de fruto, se estima que las soluciones disponibles permitirán el procesamiento de aproximadamente 6 kilogramos de locoto.

A partir del tercer ciclo de uso, se recomienda realizar un monitoreo del estado químico de las soluciones para verificar si conservan sus propiedades alcalinas o ácidas necesarias para un pelado eficaz. Esta verificación debe llevarse a cabo mediante la adición de gotas de fenolftaleína a una muestra de la solución:

- Si la solución presenta un color rosado intenso o tenue, indica que el pH aún se encuentra dentro del rango alcalino, y, por tanto, la solución conserva su efectividad.

- En caso de que la solución permanezca incolora, se interpreta que ha perdido su capacidad alcalina (o ácida, según corresponda), y debe ser desechara o reemplazada para garantizar un proceso de pelado eficiente y seguro.

3.18. Análisis de costos de producción del locoto en polvo bajo modalidad artesanal y pequeña escala

Considerando un proceso de producción a escala artesanal, y teniendo en cuenta que contamos con un secador de capacidad de 50 kg, donde el productor asume todas las funciones operativas (sin costo de mano de obra adicional) y dispone del equipamiento y material de bioseguridad necesario, se detalla a continuación el costo directo estimado para procesar 46 kg de locoto fresco, con una conversión final de aproximadamente:

Tabla III-24: Producción de locoto en polvo a partir de 46 kg de materia prima

Materia prima:	550
Reactivos	43
Costo de materiales	100
Detalle de otros servicios	10
Costo de energía eléctrica	13
Costo de mano de obra propia	120
Costos totales por cada ensayo	Bs 836

Fuente: Elaboración propia, 2024

A partir del procesamiento de 46 kg de locoto fresco, se obtiene un total aproximado de 2,3 kg de locoto en polvo. En función de esta cantidad, se realiza la proyección de su comercialización, considerando presentaciones de 30 gramos por unidad, lo que permite disponer de aproximadamente 76 bolsas para su venta.

De acuerdo con los precios de mercado vigentes, donde el valor de una bolsa de 30 gramos de locoto en polvo oscila entre 13 y 15 Bs, se ha definido, para efectos de este análisis, un precio estimado de venta de 14 Bs por unidad. Bajo este supuesto, se

procede a realizar el cálculo aproximado de los ingresos generados por la venta del lote producido.

Tabla III-25: Resumen de Costos, Producción y Rentabilidad de un Lote de Locoto en Polvo para 46 kg de fruto fresco

Concepto	Unidad	Monto/ Dato
Inversión en un lote de locoto en polvo.	Bs	836
Cantidad obtenida	g	2300
Presentación en venta	G	30
Cantidad de unidades vendibles	u	76
Costo unitario	Bs	11
Precio de venta propuesto	Bs	14
Ganancia unitaria	Bs	4,58
Margen de ganancia	%	27,27
Ganancia total por lote	Bs	228

Fuente: Elaboración propia.

Para la obtención del producto a menor escala, se efectuará el siguiente cálculo, considerando una cantidad de 5 kg de locoto fresco como materia prima inicial:

Tabla III-26: Producción de locoto en polvo a partir de 5 kg de materia prima.

Materia prima:	60
Reactivos	5
Costo de materiales	11
Detalle de otros servicios	0,5
Costo de energía eléctrica	13
Costos totales	Bs 89,5

Fuente: Elaboración propia.

Considerando un rendimiento aproximado de 250 gramos de locoto en polvo, derivados del procesamiento de locoto fresco, y previendo su comercialización en presentaciones de 30 gramos por unidad, se estima una disponibilidad de aproximadamente 8 bolsas para la venta.

A continuación, se detallan los costos directos e indirectos asociados a la producción y envasado del lote correspondiente, así como el costo total de venta, incluyendo todos los gastos operativos involucrados en el proceso hasta la comercialización del producto final.

Tabla III-27: Resumen de Costos, Producción y Rentabilidad de un Lote de Locoto en Polvo para 5 kg de fruto fresco.

Concepto	Unidad	Monto/ Dato
Inversión en un lote de locoto en polvo.	Bs	89,5
Cantidad obtenida	g	250
Presentación en venta	g	30
Cantidad de unidades vendibles	u	8
Costo unitario	Bs	11.19
Precio de venta propuesto	Bs	14
Ganancia unitaria	Bs	2.81
Margen de ganancia	%	25,1
Ganancia por lote	Bs	22,48

Fuente: Elaboración propia.

3.19. Análisis de rentabilidad del proyecto en escala artesanal y pequeña escala

El análisis detallado de los costos directos, indirectos, producción, envasado y comercialización, tanto a gran escala como a pequeña escala, demuestra que el proyecto es financieramente viable y rentable en ambas modalidades. Si bien la rentabilidad a menor escala es menor debido a economías de escala limitadas, se obtiene una ganancia positiva que aumenta de forma significativa al incrementar el volumen de producción.

4. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

4.1. Conclusiones

La obtención experimental de locoto en polvo (*Capsicum pubescens*) permitió estandarizar un proceso, garantizando la calidad sensorial, fisicoquímica y microbiológica del producto final cumpliendo con lo programado.

De acuerdo con la totalidad de los procedimientos ejecutados en el presente proyecto de investigación enfocado en la obtención experimental de locoto en polvo, y considerando los objetivos específicos planteados junto con los resultados obtenidos, se presentan las conclusiones siguientes:

- Se llevó a cabo una caracterización detallada del locoto fresco (*Capsicum pubescens*), realizando un análisis proximal en el Centro de Análisis, Investigación y Desarrollo (CEANID) donde se determinó las propiedades fisicoquímicas del mismo.
- Se seleccionó y puso en marcha un sistema de procesamiento conformado por un secador de tiro forzado y un molino de martillos, los mismos servirán para optimizar la obtención de un polvo de locoto de alta calidad. El secador de tiro forzado, con un rango de temperatura controlada entre 45 y 50°C, aseguró una deshidratación homogénea del producto, minimizando la degradación de sus componentes termolábiles. Posteriormente, el molino de martillos, diseñado para una granulometría fina, redujo el tamaño de partícula a menos de 1 mm, lo que facilitó el tamizado.
- Los estudios cinéticos de secado indicaron que la temperatura óptima para la deshidratación del locoto se sitúa en torno a los 45 °C independientemente del espesor de la muestra. Esta temperatura resultó óptima para garantizar un equilibrio entre la tasa de evaporación y la preservación de las características organolépticas del locoto, minimizando la degradación térmica de compuestos volátiles.
- La fase experimental concluyó con éxito, logrando un locoto en polvo con características deseables en cuanto a color, aroma y picor. El uso de un secador

de tiro forzado y un molino de martillos fue eficaz para obtener un producto final que cumple con los estándares de calidad para condimentos naturales, demostrando la viabilidad técnica del proceso propuesto.

- El alto contenido de humedad del locoto fresco fluctuando entre 90 – 95%, influyeron negativamente en el rendimiento global del proceso. Además, las pérdidas por dispersión durante la molienda, atribuibles a la fragilidad del material seco y a la acción mecánica de los martillos.
- Los balances de materia y energía reflejaron los resultados obtenidos a lo largo de la experimentación, utilizando datos promedios derivados de múltiples ensayos para la obtención de locoto en polvo. El balance másico mostró estabilidad durante el procesamiento, indicando la ausencia de reacciones químicas no deseadas en la transformación del locoto fresco a su forma deshidratada. En cuanto al balance energético, se registraron datos significativos respecto a la energía térmica requerida para el proceso de secado. En promedio, el locoto demandó una energía de aproximadamente 156,18 kcal para reducir su contenido de humedad desde un 90-94% inicial hasta un nivel adecuado para su conservación en polvo. Estos resultados subrayan la eficiencia del secado con aire caliente, optimizando el uso de recursos energéticos sin comprometer la calidad del producto final.
- En la obtención experimental de locoto en polvo, los costos principales se concentran en los insumos químicos utilizados durante el pelado y en el consumo energético asociado al proceso de secado.

La implementación de estrategias de reciclaje y reutilización de las soluciones químicas puede disminuir significativamente los costos recurrentes, siempre bajo un control estricto de la calidad. Asimismo, la documentación detallada de cada etapa del procedimiento experimental es fundamental para generar información reproducible y escalable, facilitando la transición a un nivel industrial con mayor viabilidad técnica y económica.

- El locoto en polvo obtenido cumple con los estándares fisicoquímicos y microbiológicos requeridos, consolidándose como un producto seguro, estable

y de alta calidad. Estas características no solo aseguran su funcionalidad y valor sensorial, sino también su potencial competitivo en el mercado de condimentos naturales, este análisis fue desarrollado en el Centro de Análisis, Investigación y Desarrollo (CEANID).

El producto analizado se encuentra en estricto cumplimiento con los parámetros fisicoquímicos establecidos en el Codex Alimentarius, así como con los requisitos microbiológicos definidos en la norma boliviana NB/318022:2008.

- El análisis sensorial, utilizando una escala hedónica de 5 puntos con un panel de 9 jueces no entrenados, fue fundamental para optimizar las condiciones de secado (temperatura, tiempo y grosor de corte) del locoto en polvo desarrollado en el proyecto. Los resultados de esta evaluación, que incluyeron la comparación con dos marcas comerciales, demostraron consistentemente que la muestra final elaborada en el proyecto superó a los productos comerciales en todos los atributos organolépticos evaluados: olor, sabor, color y picor.

Esta mayor aceptabilidad y preferencia por nuestro producto final confirman que se cumplieron las características sensoriales deseadas y que el locoto en polvo desarrollado posee ventajas competitivas claras frente a las opciones existentes en el mercado.

4.2. Recomendaciones

- Realizar estudios experimentales adicionales para determinar las condiciones de secado óptimas que permitan reducir el contenido de humedad del locoto en polvo, sin comprometer la integridad de sus propiedades funcionales, como el color, aroma y contenido de capsaicina.
- Se recomienda a los estudiantes de Ingeniería Química desarrollar un proyecto de investigación enfocado en evaluar la estabilidad del locoto en polvo (*Capsicum pubescens*) bajo diversas condiciones de almacenamiento. Este estudio podría incluir la evaluación de factores como el tipo de empaque, la humedad relativa y la temperatura, con el objetivo de determinar su influencia en la conservación de las propiedades fisicoquímicas, sensoriales y funcionales.

del producto. Se sugiere especialmente investigar el uso de empaques herméticos con propiedades de barrera a la humedad, oxígeno y luz, para prolongar la vida útil del locoto en polvo. Este enfoque permitiría generar un nuevo proyecto de grado con aplicaciones en el diseño de estrategias de conservación y valorización de productos deshidratados.

- Realizar un estudio de costos y rentabilidad (Estudio de Prefactibilidad) para la producción industrial de locoto en polvo, considerando la implementación de tecnologías más avanzadas como secado por microondas o liofilización para productos de alta calidad.
- Diseñar estrategias para introducir el locoto en polvo en mercados locales e internacionales, destacando sus propiedades funcionales, nutricionales y su potencial como ingrediente de alimentos saludables y gourmet, destacando, así como sus características organolépticas únicas, entre las que destacan un aroma frutal, sabor complejo y un picor equilibrado.
- Implementar un análisis del impacto ambiental del proceso completo, recomendando el uso de energías renovables para el funcionamiento de los equipos de secado y promoviendo prácticas sostenibles en todas las etapas de la producción.