



DIVISIÓN DE ESTUDIOS DE POSGRADO E INVESTIGACION

OPCIÓN I.- TESIS

TRABAJO PROFESIONAL

“EFECTO DE PROCESO DE SECADO SOBRE LAS PROPIEDADES
FUNCIONALES DE HARINA DE PAPA (*OXALIS TUBEROSA*)”

PARA OBTENER EL GRADO DE:

MAESTRO EN CIENCIAS EN INGENIERÍA QUÍMICA

PRESENTA:

I.Q. MARIA SUSANA FLORES BARBA

DIRECTOR DE TESIS:

DRA. GUADALUPE LUNA SOLANO

CODIRECTOR DE TESIS:

DR. DENIS CANTU LOZANO



Orizaba, Veracruz, México

Fecha

Orizaba, Veracruz, **24/octubre/2023**
Dependencia: División de Estudios de
Posgrado e Investigación
Asunto: Autorización de Impresión
OPCION: I

C. MARÍA SUSANA FLORES BARBA
Candidato(a) a Grado de Maestro(a) en:
CIENCIAS EN INGENIERÍA QUÍMICA
P R E S E N T E.-

De acuerdo con el Reglamento de Titulación vigente de los Centros e Institutos Tecnológicos Federales del Tecnológico Nacional de México, de la Secretaría de Educación Pública, y habiendo cumplido con todas las indicaciones que la Comisión Revisora le hizo respecto a su Trabajo Profesional titulado:

“Efecto del proceso de secado sobre las propiedades funcionales de la harina de papa (oxalis tuberosa)”

Comunico a Usted que este Departamento concede su autorización para que proceda a la impresión del mismo.

ATENTAMENTE

Excelencia en Educación Tecnológica®
CIENCIA – TÉCNICA – CULTURA®

Cuahtémoc Sánchez R.

Dr. CUAUHTÉMOC SÁNCHEZ RAMÍREZ

JEFE DE LA DIVISIÓN DE ESTUDIOS
DE POSGRADO E INVESTIGACIÓN



OG-13-F06





EDUCACIÓN



TECNOLÓGICO
NACIONAL DE MÉXICO

Instituto Tecnológico de Orizaba
División de Estudios de Posgrado e Investigación

Orizaba, Veracruz, **19/octubre/2023**
Asunto: Revisión de trabajo escrito

C. CUAUHTÉMOC SÁNCHEZ RAMÍREZ
JEFE DE LA DIVISIÓN DE ESTUDIOS
DE POSGRADO E INVESTIGACIÓN
PRESENTE.-

Los que suscriben, miembros del jurado, han realizado la revisión de la Tesis del (la) C.

MARÍA SUSANA FLORES BARBA

La cual lleva el título de:

**"Efecto del proceso de secado sobre las propiedades funcionales de la harina de papa (*oxalis
tuberosa*)"**

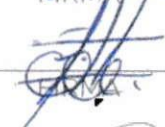
Y concluyen que se acepta.

ATENTAMENTE

Excelencia en Educación Tecnológica®
CIENCIA - TÉCNICA - CULTURA®

PRESIDENTE: DRA. GUADALUPE LUNA SOLANO
SECRETARIO: DR. GALO RAFAEL URREA CARCÍA
VOCAL: DR. EUSEBIO BOLAÑOS REYNOSO
VOCAL SUP.: DR. DENIS CANTÚ LOZANO


FIRMA

FIRMA

FIRMA

FIRMA

TA-09-18



Av. Oriente 9 Núm.852, Colonia Emiliano Zapata. C.P. 94320 Orizaba, Veracruz.
Tel. 01 (272)1105360 e-mail: dir_orizaba@tecnm.mx | tecnm.mx | orizaba.tecnm.mx



2023
**Francisco
VELA**

AGRADECIMIENTOS

A mi Dios, por cada día de fortaleza, inspiración y amor, gracias por siempre escucharme y confortarme.

A mi mami, Gracias por la vida, por tu amor, por tu apoyo, por tu guía, esto es nuestro logro, todo es por ti y para ti, gracias por siempre estar para mí.

A mi esposo, te encontré justo cuando debía, no antes, no después, gracias por tu amor, tu paciencia y por ser el padre más dedicado para nuestra bebita.

A mi bebita, faltan días para conocerte y te amo desde el primer día que supe de ti, eres el ser más esperado por tu familia.

A mi abuelita, tu ejemplo de mujer victoriosa y valiente es mi camino a seguir, gracias por tu consejo y tu valioso tiempo.

A mi abuelito, por ser parte de mi vida, darme tu sabio consejo cuando más lo he necesitado y verme como verdadera familia, gracias.

A mi abuelita Marce, por ser mi ángel de la guarda, y cuidar mis sueños, te llevo en el alma y en el corazón, gracias.

A mi tía, por ser mi mejor amiga y compañera de aventuras, mi gran ejemplo profesional y de vida, por motivarme siempre a seguir mis sueños y nunca desistir, gracias totia.

A mi hermano, eres parte importante de mi vida, tenemos diferencias irremediables, al final del día siempre serás mi hermanito chuchito.

Al CONACYT, por el apoyo a largo de la maestría, no me hubiera sido posible lograrlo sin los recursos.

A la Dra. Lupita, gracias por siempre estar al pendiente del proyecto y por la confianza depositada en el mismo, por su amistad y palabras de aliento.

A la MCIQ, gracias por el apoyo en trámites y dudas, son un excelente equipo de trabajo

RECONOCIMIENTOS

2023	Presentación	“Efecto del proceso de secado sobre las propiedades funcionales de papa (<i>Oxalis tuberosa</i>)” Presentación en el Encuentro Nacional de la AMIDQ, Huatulco, Oax. 30 mayo-01 junio
2023	Presentación	“Efecto del proceso de secado sobre las propiedades funcionales de papa (<i>Oxalis tuberosa</i>)” Presentación en el Congreso Internacional de Investigación Academia Journals, Chetumal, Q.Roo, 25 – 26 mayo

RESUMEN

Elaborado por: I.Q. María Susana Flores Barba

Dirigida por: Dra. Guadalupe Luna Solano

Dr. Denis Cantú Lozano

El objetivo del presente trabajo fue la obtención de harina de papa (*Oxalis tuberosa*) y la evaluación de sus propiedades funcionales mediante el proceso de secado por convección con aire caliente a partir de un diseño de experimentos de forma 3x2x2, así como la caracterización fisicoquímica y proximal del producto.

Se utilizaron dos tipos de muestras en las cuales a una se le aplicó un tratamiento de ácido ascórbico al 1%, lo cual mostró la conservación en los parámetros de color HunterLab con respecto al tiempo obteniendo la curva de degradación de color al final del proceso de secado, observando que no se presentaron cambios significativos en la luminosidad de la muestra.

Se pudo apreciar que el uso del método de secado por charolas fue eficiente para la remoción del agua contenida en la muestra fresca en un lapso aceptable de tiempo, donde se lograron obtener una a_w de 0.33 y 5% de humedad total, aplicando un corte transversal el cual se contrastó con corte longitudinal el cual mostró una a_w de 0.49 y 5.97% de humedad, determinando que la superficie de respuesta influye en el tiempo de deshidratación, ya que este influye en los parámetros de estabilidad deseados.

Se aplicó molienda a la muestra seca a partir de un molino de aspas GRT-20B obteniendo un polvo granulado, se realizó reducción de partícula con tamiz del número 40 (420 μm) lo cual aportó una textura suave y fina, agradable al tacto y con un color rosa característico de la papa (*Oxalis tuberosa*). El análisis de las propiedades funcionales indicaron que presenta una capacidad de absorción de agua ($2.02^{0.1}\text{g/g}$) y aceite ($1.75^{0.35}\text{g/g}$) ideal para la formulación de productos como sopas o salsas, ya que aporta fluidez a la mezcla, la propiedad emulsificante ($50.12^{0.92}\%$) y su estabilidad ($51.47^{1.05}\%$) presentaron resultados favorables para darle la característica de viscosidad, la concentración mínima de gelificación (2%) indica un buen rendimiento, la capacidad de formación de espuma ($26.47^{0.72}\%$).

By: I.Q. Maria Susana Flores Barba

Advisor (s): Dra. Guadalupe Luna Solano

Dr. Denis Cantú Lozano

The objective of this research was to obtain potato flour (*Oxalis tuberosa*) and the evaluation of its functional properties through the hot air convection drying process from 3x2x2 design of experiments, as well as the physicochemical characterization. and proximal to the product.

Two types of samples were used, one of which was applied a 1% ascorbic acid treatment, which showed conservation in the HunterLab color parameters with respect to time, obtaining the color degradation curve at the end of the drying process, observing that there were no significant changes in the luminosity of the sample.

In this study it was possible to appreciate that the use of the drying method by trays was efficient for the removal of the water contained in the fresh sample in an acceptable period of time, where it was possible to obtain an a_w of 0.33 and 5% of total humidity, applying a cross section which was contrasted with a longitudinal cut which showed an a_w of 0.49 and 5.97% humidity, concluding that the response surface influences the dehydration time since this influences the desired stability parameters.

Grinding was applied to the dry sample from a GRT-20B blade mill, obtaining a granulated powder, particle reduction was carried out with a 40 number sieve (420 μm) which provided a smooth and fine texture, pleasant to the touch and with a characteristic pink color of the potato (*Oxalis tuberosa*).

The analysis of the functional properties indicated that it has an ideal absorption capacity for water ($2.02^{0.1}\text{g/g}$) and oil ($1.75^{0.35}\text{g/g}$) for the formulation of products such as soups or sauces, since it provides fluidity to the mixture, the emulsifying property ($50.12^{0.92}\%$) and its stability ($51.47^{1.05}\%$) presented favorable results to give it the characteristic of viscosity, the minimum gelling concentration (2%) indicates a good performance, the foam formation capacity ($26.47^{0.72}\%$).

i. INDICE

AGRADECIMIENTOS.....	4
RECONOCIMIENTOS	6
RESUMEN	7
i. INDICE	9
ii. LISTA DE FIGURAS.....	13
iii. LISTA DE TABLAS	15
1. INTRODUCCION	16
JUSTIFICACION	17
OBJETIVOS	18
OBJETIVO GENERAL	18
OBJETIVOS ESPECIFICOS	18
CAPITULO 1. FUNDAMENTOS TEORICOS.....	20
1.1 Generalidades de la papa extranjera (<i>Oxalis tuberosa</i>).....	20
1.1.1 Variedades de <i>Oxalis tuberosa</i>	21
1.1.2 Morfología de la <i>Oxalis tuberosa</i>	22
1.2 Contenido nutricional de la <i>Oxalis tuberosa</i>	23
1.3 Vitamina C.....	25
1.4 Proceso de secado.....	25
1.4.1 Métodos de secado de alimentos.....	26
1.4.2 Tipos de secado.....	27
1.5 Propiedades fisicoquímicas de los alimentos	28
1.5.1 Actividad de agua (a_w)	28
1.5.2 Contenido de Humedad.....	31
1.5.3 Color	33
1.5.4 Parámetros de color.....	33
Escala b: Azul vs amarillo, los valores negativos indican tonalidades azules y los valores	

positivos indican tonalidades amarillas.	34
1.6 Valor nutricional.....	34
1.7 Secado por charolas.....	34
1.7.1 Curvas de secado con respecto al tiempo	35
1.7.2 Curva de velocidad de secado.....	37
1.7.3 Transferencia de calor.....	38
1.7.4 Transferencia de masa.....	39
1.7.5 Efecto de la temperatura	39
1.8 Diseño de experimentos	40
1.9 Harina	40
1.10 Propiedades funcionales	40
1.11 Capacidad de absorción de agua y aceite.....	41
1.11.1 Propiedad gelificante	41
1.11.2 Propiedad emulsificante.....	42
1.11.3 Propiedad espumante	42
1.12 Análisis proximal	42
1.12.1 Cenizas.....	43
1.12.2 Grasas.....	43
1.12.3 Proteínas.....	43
1.12.4 Fibra	43
1.12.5 Carbohidratos	44
ANTECEDENTES	45
MATERIALES Y MÉTODOS.....	48
2.1 Metodología general.....	48
2.2 Obtención de la materia prima	49

2.3 Acondicionamiento de la muestra (selección, lavado y corte)	49
2.4 Pretratamiento.....	50
2.5 Diseño de experimentos	51
2.6 Análisis fisicoquímico	51
2.6.1 Actividad de agua	52
2.6.2 Contenido de humedad	52
2.6.3 Análisis de color	53
2.7 Secado por lecho fijo	53
2.8 Obtención de muestra seca	54
2.9 Molienda.....	55
2.10 Obtención de harina.....	56
2.11 Análisis de las propiedades funcionales	56
2.11.1 Capacidad de absorción de agua	56
2.11.2 Capacidad de absorción de aceite	57
2.11.3 Propiedad gelificante	58
2.11.4 Propiedad emulsificante.....	58
2.11.5 Propiedad espumante	59
2.13 Análisis proximal	59
2.13.1 Cenizas.....	60
2.13.2 Grasas.....	60
2.13.3 Proteínas.....	61
2.13.4 Fibra dietética total	61
2.13.5 Carbohidratos.....	61
3.1 Caracterización fisicoquímica de la papa (<i>Oxalis tuberosa</i>).....	64

3.2 Secado por charolas de papa extranjera <i>Oxalis tuberosa</i>	64
3.3 Contenido de humedad	64
3.3.1 Curvas representativas del cambio de la humedad con respecto al tiempo	66
3.4 Actividad de agua durante el proceso de secado por charolas	68
3.4.1 Curvas representativas de la actividad de agua con respecto al tiempo	69
3.5 Análisis de color durante el proceso de secado por charolas	70
3.5.1 Curvas representativas de la evolución del parámetro de color L respecto al tiempo	71
3.5.2 Curvas representativas de la evolución del parámetro de color a respecto al tiempo	74
3.5.3 Curvas representativas de la evolución del parámetro de color b respecto al tiempo	76
3.5.4 Curvas representativas de la evolución del parámetro de color ΔE respecto al tiempo	78
3.5 Molienda y obtención de la harina de papa extranjera <i>Oxalis tuberosa</i>	79
3.6 Análisis de las propiedades funcionales de harina de papa (<i>Oxalis tuberosa</i>).....	80
3.6.1 Capacidad de absorción de agua (CCA)	81
3.6.2 Capacidad de absorción de grasa (CAG)	82
3.6.3 Propiedad gelificante	83
3.6.4 Propiedad emulsificante (AE) y estabilidad de la emulsión (EE).....	84
3.6.5 Propiedad espumante (FC) y estabilidad de la espuma (FS)	86
3.7 Análisis proximal.....	86
CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	88
REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS	90

ii. LISTA DE FIGURAS

Figura	Nombre	Página
1.1	Especies de <i>Oxalis tuberosa</i>	23
1.2	Morfología de <i>Oxalis tuberosa</i>	24
1.3	Estructura molecular el ácido ascórbico	25
1.4	Esquema de las fases alimento-fluido entre las que se produce el transporte de agua durante la deshidratación debido a un gradiente de a_w	26
1.5	Cambios que ocurren en los alimentos en función a la a_w .	29
1.6	Diagrama Hunter L, a, b	33
1.7	Curva de secado respecto al tiempo	36
1.8	Contenido de humedad en materiales	37
2.1	Metodología general de la evaluación del efecto del proceso de secado sobre las propiedades funcionales de harina de papa (<i>Oxalis tuberosa</i>).	47
2.2	Muestra de <i>Oxalis tuberosa</i> recolectada	48
2.3	Corte longitudinal	48
2.4	Corte transversal	49
2.5	Balanza AE ADAM CB Max 3000gx 1g con 100 g de corte transversal y longitudinal	49
2.6	Medidor de actividad de agua marca Aqualab serie 3 modelo Te, USA	51
2.7	Termobalanza de halógeno marca Santorius, modelo MA35	52
2.8	Miniscan XE plus, HunterLab, EUA	52
2.9	Secador de charolas para plantas piloto marca Polinox modelo SEM-2 México	53
2.10	Cambios en el proceso de secado a través del tiempo en corte transversal.	54
2.11	Cambios en el proceso de secado a través del tiempo en corte longitudinal.	54
2.12	Pulverizador modelo GRT-20B	54

2.13	Tamiz 420 micrones	55
2.14	vortex Science Med MX-S	56
2.15	Centrifuga VELAB CBC series	56
3.1	Evolución del contenido de humedad durante el proceso de secado a 50°C, 60°C y 70°C	64
3.2	Evolución de la actividad de agua durante el proceso de secado a 50°C, 60°C y 70°C	67
3.3	Evolución del parámetro de color L durante el proceso de secado a 50°C, 60°C y 70°C	70
3.4	Evolución del parámetro de color a durante el proceso de secado a 50°, 60°C y 70°C	72
3.5	Evolución del parámetro de color b durante el proceso de secado a 50°, 60°C y 70°C	74
3.6	Evolución del parámetro de color ΔE durante el proceso de secado a 50°, 60°C y 70°C	76
3.7	Muestra seca dentro del molino de aspas modelo GRT-20B	77
3.8	Harina de papa extranjera (<i>Oxalis tuberosa</i>) posterior al tamizado	78
3.9	Capacidad de absorción de agua (CCA) de la harina de papa (<i>Oxalis tuberosa</i>)	80
3.10	Capacidad de absorción de grasa (CAG) de la harina de papa (<i>Oxalis tuberosa</i>)	81
3.11	Capacidad gelificante de la harina de papa (<i>Oxalis tuberosa</i>)	82
3.12	Capacidad emulsificante de la harina de papa (<i>Oxalis tuberosa</i>)	83
3.13	Estabilidad de la emulsión de la harina de papa (<i>Oxalis tuberosa</i>)	83

iii. LISTA DE TABLAS

Tabla	Nombre	Página
1.1	Valor nutricional de <i>Oxalis tuberosa</i>	21
1.2	Contenido de antioxidantes de <i>Oxalis tuberosa</i>	22
1.3	Relación de a_w con el crecimiento de microorganismos en alimentos	28
1.4	Composición nutricional de granos de cereales (valor promedio).	34
1.5	Interacción entre las propiedades funcionales	40
2.1	Diseño de experimentos	50
2.2	Parámetros a través del tiempo	51
3.1	Caracterización fisicoquímica de papa extranjera (<i>Oxalis tuberosa</i>)	62
3.2	Valores experimentales para el contenido de humedad	63
3.3	Valores experimentales para la actividad de agua	66
3.4	Valor promedio (y desviación estándar) de las propiedades funcionales de la harina de papa extranjera <i>Oxalis tuberosa</i>	79
3.5	Composición proximal* de la harina de papa (<i>Oxalis tuberosa</i>) obtenida	84

1. INTRODUCCION

La papa extranjera (*Oxalis tuberosa*) se originó dentro de una familia conocida como “*Oxalis tuberosa alliance*”, que es un grupo de variadas especies morfológicamente similares en su estructura encontradas a través de la región de los Andes centrales (Emshewiller, 2002). Gracias a la investigación sobre su origen se encuentra que ha sido domesticado en el centro del Perú, donde se encuentra la mayor diversidad de especies cultivadas.

La deshidratación es una de las técnicas más ampliamente utilizadas para la conservación de los alimentos. Desde el periodo paleolítico, hace aproximadamente 400,000 años, se secaban al sol alimentos como frutas, granos, vegetales, carnes y pescados, para la supervivencia y prevalencia de los mismos, para conseguir una posibilidad de subsistencia en épocas de escasez de alimentos, no solo necesarios para sobrevivir, sino que también nutritivos (Barboza, 2000). Para ello se pueden utilizar varios métodos de deshidratación o combinación de los mismos, tales como secado solar, aire caliente, microondas, liofilización, atomización, deshidratación osmótica, entre otros (Vega, 2006).

Algunas de las de las aplicaciones industriales de la comercialización de alimentos como la papa extranjera son: papas empaquetadas, puré de papas deshidratadas con energía solar, las papas precocinadas envasadas al vacío y dulces de papa, Oca glaseada, entre otros (Cruz, 2013). En los últimos años, se han llevado a cabo investigaciones y recopilación de información para descubrir otros métodos de secado, los cuales buscan producir alimentos de calidad Premium sin dar como resultado residuos nocivos o un mayor deterioro en sus propiedades organolépticas, el secado mediante el flujo de aire caliente, es uno de los métodos más comúnmente utilizados y que se caracteriza por tener costos de producción relativamente bajos y con resultados satisfactorios. Para elegir un método de secado apropiado se deben tener presente factores importantes como, el preservar los componentes bioactivos, las propiedades funcionales y nutricionales relacionadas con el almidón como en este caso, así como su capacidad antioxidante (Cruz, 2013). Comúnmente para obtener un producto de calidad en forma de harina es incluido un proceso de secado aplicado para preservar las propiedades nutricionales y físicas.

Por lo tanto, la finalidad del presente trabajo es formular una harina a partir de papa extranjera (*Oxalis tuberosa*) con los parámetros idóneos para su conservación y óptimas características organolépticas y funcionales.

JUSTIFICACION

El tubérculo *Oxalis tuberosa*, mayormente conocido como papa extranjera en México, es un producto el cual no es utilizado como alimento de consumo popular, se caracteriza por su sabor agri dulce, consistencia jugosa y crujiente así como sus variedades de color, además de contar con una buena fuente de vitaminas, minerales y antioxidantes naturales, entre los cuales destacan los compuestos fenólicos y complejo B, por lo que se considera a este tubérculo un alimento con un sabor agradable y variados usos gastronómicos, muy nutritivo y completo.

La harina es el medio más comúnmente conocido y eficiente para el almacenamiento a largo plazo de semillas y tubérculos ya que es fácil y simple, así como con resultados favorecedores en cuanto a conservación nutricional en las propiedades características de la fécula, además, la harina cuenta con numerosas aplicaciones alimentarias para la elaboración de diversos productos, en este sentido conocer y estudiar las propiedades funcionales y termodinámicas de estas es información muy valiosa para orientar la aplicación del producto y su manejo.

La base de la alimentación en todo el mundo son las harinas, uno de los más importantes, nutritivos y necesarios en el desarrollo adecuado de los seres humanos durante toda la vida, presentes en la elaboración de muchos productos alimenticios, que, además, son accesibles para todos en comparación a algunos otros que pudieran escasear estacionalmente ya que se considera un método de conservación para semillas y tubérculos.

Debido a la escasa información que se tiene sobre el estudio de la *Oxalis tuberosa* y considerando los trabajos de investigación que se han encontrado para el proceso de la obtención de harina de diferentes tipos de papas y tubérculos, y que ninguno está relacionado directamente con la harina de papa extranjera (*Oxalis tuberosa*) se busca con este proyecto fomentar su cultivo, así como proponer nuevas tecnologías de procesamiento.

OBJETIVOS

OBJETIVO GENERAL

Evaluar el efecto de las condiciones del proceso de secado en lecho fijo sobre las propiedades funcionales y termodinámicas de la harina de papa.

OBJETIVOS ESPECIFICOS

- Caracterizar fisicoquímicamente la papa (*Oxalis tuberosa*).
- Establecer un diseño de experimentos que permita evaluar el efecto de las variables del proceso de secado sobre las propiedades fisicoquímicas de la papa (*Oxalis tuberosa*) y la harina obtenida.
- Obtener las curvas del proceso de secado por charolas de la papa (*Oxalis tuberosa*).
- Evaluar las propiedades funcionales de la harina de papa (*Oxalis tuberosa*).

CAPÍTULO I

FUNDAMENTOS TEÓRICOS

CAPITULO 1. FUNDAMENTOS TEORICOS

1.1 Generalidades de la papa extranjera (*Oxalis tuberosa*)

La papa extranjera (*Oxalis tuberosa*) es un arbusto que se siembra y cosecha en la región de los Andes centrales entre los 2,500 y los 3,900 msnm, la cual pertenece al grupo de los tubérculos comestibles encontrándose grandes cantidades de almidón. La papa extranjera forma parte de la producción tradicional y de abastecimiento de la región andina como alternativa del consumo de la papa blanca convencional. Aunque se demora un poco más en alcanzar la etapa de maduración, y por consecuencia se reduce a una temporada de menor aprovechamiento, la papa extranjera presenta una resistencia mayor a las plagas por lo que la producción es estable.

En cuanto a su morfología, la *Oxalis tuberosa* es un arbusto herbáceo, caracterizada por su tallo alto que presenta en las primeras 2 fases de su desarrollo que posteriormente pasa a postrarse conforme avanza su ciclo. Se produce debido a la característico sabor agrisado y húmeda raíz comestible, en donde se almacena el almidón durante el invierno. La proliferación de la papa extranjera se da por medio de esquejes o a través de la siembra de sus tubérculos. Los tubérculos presentan una forma elíptica o tipo cilíndrica y pueden ser de diversos colores tales como el color blanco, amarillo, rojo y púrpura. Su longitud puede variar entre 5 y 7.6 cm y su diámetro, entre 2.6 y 3.76 cm.

La papa extranjera en nuestro país se cultiva en la región de los bosques de niebla de la sierra de Zongolica, en el estado de Veracruz ya que el clima de las arboledas es frío y con neblina por lo que favorece su cultivo y desarrollo. El sabor que caracteriza a este tubérculo es ligeramente ácido con toques dulces; según el tiempo de cocción o bien si se consume en su estado natural, el gusto puede ser crujiente, como la de la zanahoria, o porosa, como la papa blanca cuando está en su máximo punto de cocción la cual podría formar una especie de puré.

Las hojas tiernas de la planta también pueden llegar a consumirse a manera de ensaladas o acompañamientos en platillos. El sabor ácido de la papa extranjera se debe a la existencia de ácido oxálico, mayormente en la parte superficial del tubérculo, específicamente en las escamas que presenta.

1.1.1 Variedades de *Oxalis tuberosa*

Existen 3 tipos de papas *Oxalis tuberosa*: las rojas y las moradas que se cultivan en temperaturas y condiciones adversos en términos de frío y regiones altas, y las amarillas, que se dan principalmente en los valles. Las dos primeras presentan un sabor un poco más ácido, aún tras ser expuestas al sol, lo cual la hace que la temperatura degrade el ácido oxálico; las moradas al contrario se caracterizan por un sabor dulce, pero de tamaño más pequeño.

En cuanto a características especiales, presentan un bajo contenido de grasa, contienen una cantidad considerable de fibra y brinda una fuente de carbohidratos fácilmente digeribles. Los contenidos de antioxidantes de estos tipos de tubérculos son considerablemente más elevados que los de otras fuentes conocidas de antioxidantes naturales, como los cítricos, arándanos o similares a productos estudiados.



Figura 1.1. Especies de *Oxalis tuberosa*

Se han reportado al menos 50 variedades de tubérculos andinos, pero se pueden reconocer tres formas: alba, flava y rosa violáceo a negra, cultivados y cosechados, así como comercializados alrededor del mundo, fungiendo una parte muy importante en la alimentación del ser humano

1.1.2 Morfología de la *Oxalis tuberosa*

El arbusto de la papa extranjera *Oxalis tuberosa* presenta hojas alternas y tipo trifoliadas, similares a las del trébol. Características como la forma, largo y grosor, las hacen particularmente eficientes para realizar de manera exitosa el proceso de la fotosíntesis y lograr un crecimiento óptimo. Los tubérculos de papa extranjera tienen una forma ovalada alargada, donde el sabor puede ser dulce o amargo dependiendo de la especie y tiempo de maduración. Presentan numerosos tipos de círculos o cortes tipo escamas en la capa exterior, y colores diversos como el blanco, amarillo, rosado, anaranjado, rojo y morado. Cuentan con un núcleo interno, cilindro vascular, una médula, seguida por un córtex que se refiere a la capa que recubre la médula, así como la piel donde se encuentran las escamas y la presencia del ácido oxálico que dan la forma característica de la papa extranjera, estas características se pueden observar en la Figura 1.2.

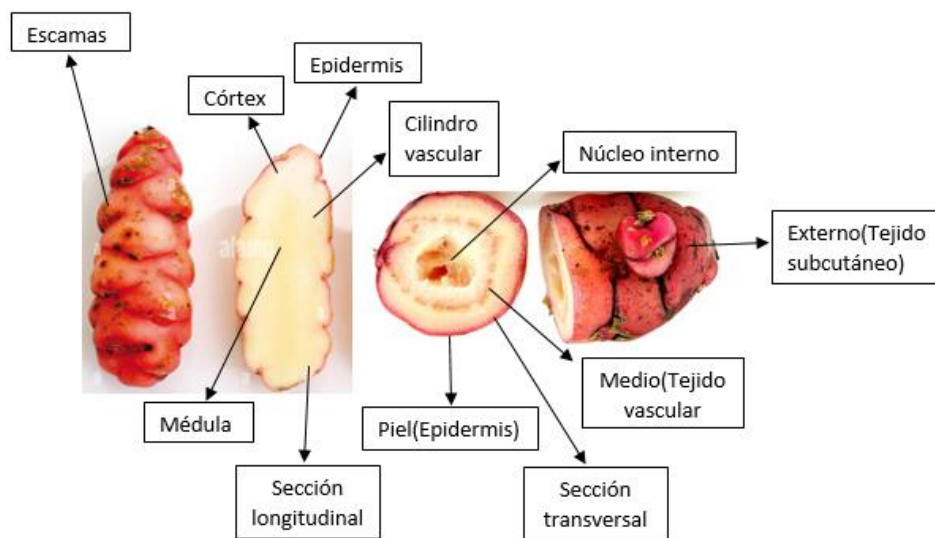


Figura 1.2. Morfología de *Oxalis tuberosa*

1.2 Contenido nutricional de la *Oxalis tuberosa*

De acuerdo a un estudio realizado por el Consejo Nacional de Investigación de EE. UU, la *Oxalis tuberosa* contiene porcentajes nutricionales muy completos y variados mostrados sus valores en la Tabla 1.1. Aproximadamente el 14% de su contenido se atribuye a la presencia de carbohidratos, principalmente azúcar lo que provoca su sabor agridulce debido a la concentración de oxalatos, también presenta una cantidad de hierro, calcio, así como complejo B. En cuanto a actividad anti radical la principal responsable es la vitamina C. Los valores de vitamina C encontrados muestran que las papas extranjeras podrían aportar cantidades significativas de esta vitamina si se incluyera en una dieta diaria pudiendo ingerirla cruda o cocida. (Van Sumere, 1985). Estos valores se muestran en la Tabla 1.1 a continuación.

Tabla 1.1. Valor nutricional de *Oxalis tuberosa*.

Componente	<i>Oxalis tuberosa</i>
Hierro	12.5 mg
Vitamina C	39.7 mg
Agua	87%
Carbohidratos	3.5%
Fibra	32%
Vitamina B1 (tiamina)	0.05 mg
Vitamina B2 (riboflamina)	0.94 mg
Vitamina B3 (niacina)	1.09 mg
Fosforo	28.2 mg
Zinc	1.8 mg
Calcio	17.2 mg

(Fuente: Ramos, 2014)

Esta papa ayuda al cuerpo a combatir algunos tipos de infecciones y prevenir enfermedades por sus tantas propiedades, así como también fomenta el desarrollo de células sanas, y previene los efectos del envejecimiento prematuro que se le atribuye al alto contenido de vitamina C, que es la oxidación de celular al paso del tiempo.

Sus micronutrientes como zinc y fósforo ayudan en el desarrollo y correcto crecimiento de los huesos y recubrimientos de calcio en los niños y los adolescentes.

Generalmente, la papa *Oxalis tuberosa* también se caracteriza por presentar cualidades antibacterianas y fungicidas, dadas por su principal proteína llamada ocatín, esta es muy importante ya que representa del 40% al 60% de las proteínas solubles totales del tubérculo de oca y ofrece un amplio perfil antioxidante. Esta proteína parece encontrarse sólo en los tubérculos y se acumula sólo dentro de las células de las capas de la médula y la epidermis del tubérculo a medida que se desarrolla. La ocatín inhibe el crecimiento de varias bacterias fitopatógenas y hongos.

La ocatín muestra una similitud sustancial en la secuencia de aminoácidos con un grupo ampliamente distribuido de proteínas intracelulares relacionadas con la patogénesis con una función biológica debido a su contenido de ácidos fenólicos, flavonas y antocianinas (Antolovich, 2002), tal como se muestra en el Tabla 1.2 comparando la especie de color rosa y la de color morado con tendencia a negro.

Tabla 1.2. Contenido de antioxidantes de *Oxalis tuberosa*

Compuesto	Rosa	Purpura oscuro (morado)
Polifenoles (ácido gálico mg/100g)	241.7	505.4
Flavonoides (catequina mg/100g)	65.7	131.4
Antocianinas (mg/100g)	55.5	213.8

1.3 Vitamina C

La vitamina C, también llamada ácido ascórbico, es una propiedad hidrosoluble que se puede encontrar en diversos tipos de alimentos. Actúa como antioxidante en el cuerpo, ayudando a proteger las células de los daños causados por la exposición prolongada a los radicales libres. Toda la población está expuesta a los radicales libres presentes en el día a día debido a la generación de humo, la contaminación del aire y la radiación solar ultravioleta.

Además, de que el cuerpo por sí sólo, necesita vitamina C para la producción de colágeno, la cual, es una proteína necesaria para la buena cicatrización de las heridas así mantenimiento de la piel y músculos. La vitamina C también ayuda a mejorar y agilizar la absorción del hierro contenido en los alimentos vegetales y ayuda al buen funcionamiento del sistema inmunitario, el cual brinda la protección al cuerpo de las enfermedades.

El ácido ascórbico es ampliamente utilizado como conservante y para aplicarlo en tratamiento a diferentes frutas y verduras como antioxidante, conservando así su color y sabor.

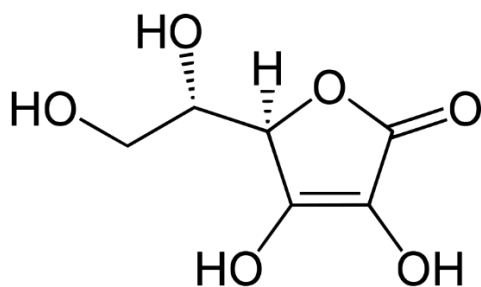


Figura 1.3 Estructura molecular del ácido ascórbico

1.4 Proceso de secado

El proceso de secado se refiere a la remoción de porcentajes significativos de agua disponible de algún tipo de alimento en específico. En la deshidratación, el agua se transforma en vapor mediante el flujo de aire caliente. En casos particulares, el agua puede ser removida de los alimentos a través de procesos mecánicos, ya sea mediante prensado, centrifugas, hornos y otros, el secado habitualmente es la etapa final del proceso previo al empaquetado y distribución de productos y alimentos como la harina.

La mayor parte de las enzimas que son responsables de los cambios químicos en los alimentos perecederos no pueden llevar a cabo su función sin la presencia de agua disponible, por lo que los microorganismos no son útiles cuando el contenido de agua llega a un nivel por debajo del 10%, no obstante, es necesario llegar a reducir hasta aproximadamente un 5% para preservar características como sabor y valor nutricional sin riesgos de alteración.

1.4.1 Métodos de secado de alimentos

La deshidratación es una de los procesos de conservación de alimentos más antiguamente utilizado a lo largo de la historia. La exposición solar de frutas, granos, vegetales, carnes y pescados para la remoción de humedad ha sido muy empleada desde que se tiene registro de la humanidad dando al hombre en sí, una alternativa para la subsistencia en tiempos de escases. Hoy en día, el mundo del procesamiento de alimentos secos es un sector importante dentro de la industria de producción alimenticia alrededor del mundo.

El proceso de deshidratación mejora la estabilidad de los alimentos, ya que reduce la actividad del agua considerablemente y minimiza alteraciones físicas que pudiera sufrir el alimento a través del proceso, químicas y microbiológicas durante almacenamiento (Hatamipour, 2007). La eliminación de agua es la tarea principal en la preservación de los alimentos, reduciendo el contenido de humedad a un nivel que permita su almacenamiento seguro por un período prolongado de tiempo (Lenart, 2007).

La mayoría de productos agroalimentarios son sólidos por lo que se define mejor la deshidratación como la operación básica por la que el agua que contiene un sólido o una disolución (generalmente concentrada) se transfiere a la fase fluida que lo rodea debido a los gradientes de actividad de agua (a_w) entre ambas fases (Figura 1.4).

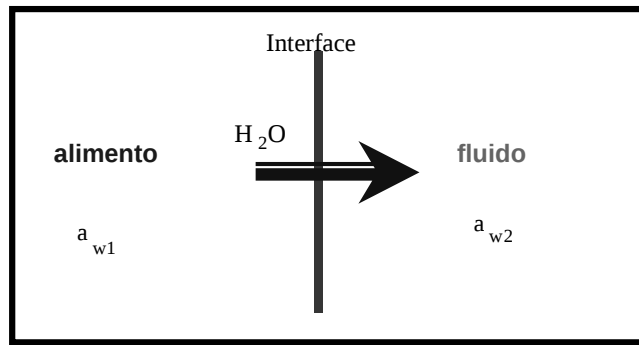


Figura 1.4 Esquema de las fases alimento-fluido entre las que se produce el transporte de agua durante la deshidratación debido a un gradiente de a_w

1.4.2 Tipos de secado

Los procesos de secado tienen clasificaciones diferentes; se distribuyen en procesos de porciones cuando los componentes se introducen en la máquina de secado y el avance se va verificando a través de periodos determinados de tiempo fijados en un diseño de experimentos.

Los tipos de procesos de secado se pueden clasificar también de por las condiciones fisicoquímicas aplicadas para adicionar y determinar la temperatura en la que se llevará a cabo la extracción del vapor de agua:

- Nivel de calor añadido por circulación de aire directa; mediante el cual el agua es eliminada por el mismo aire y expulsada por un conducto de salida o ventilación.
- Remoción de humedad al vacío; donde la eliminación de agua se realiza de manera más rápida a presión baja y el calor es añadido indirectamente por el contacto con paredes metálicas o mediante radiación.
- Liofilización; el agua se elimina directamente del alimento previamente congelado, en el cual se conservan en cierta parte propiedades como el sabor y aroma de los alimentos o cualquier material biológico sometido a este tipo de secado.

1.5 Propiedades fisicoquímicas de los alimentos

A través de los procesos de secado, intervienen propiedades fisicoquímicas cambiantes presentes en los alimentos, las cuales pueden llegar a sufrir alteraciones, por lo que se deben estudiar para poder llevar un control y así evaluar al final las características de los productos secos, ya que los resultados finales de estos definirán el tiempo de almacenamiento y precio del producto, así como el aspecto final que debe de ser agradable a la vista de los consumidores.

1.5.1 Actividad de agua (a_w)

Se entiende como parámetro actividad de agua (a_w), a la humedad equilibrada de un alimento o producto, dada por la presión parcial del vapor de agua en la superficie (Barth, 2007). Es un factor determinante en las características de calidad, como la textura, intensidad de sabor, el color, el gusto, porcentaje nutricional (por la degradación en la exposición de calor) del producto y su tiempo de anaquel.

La actividad del agua comprende valores de entre 1 y 0 siendo un parámetro adimensional. Entre menor es el dato obtenido de la actividad del agua de un producto, mayor es su tiempo de vida en anaquel, esto porque deja un porcentaje muy bajo de agua disponible para que los microorganismos proliferen.

El parámetro a_w delimita el rango de principio y detención o anulación del crecimiento de algunos tipos de microorganismos, incluyendo las bacterias de tipo patógenas, las cuales requieren un valor de a_w arriba de 0.96 para poder proliferarse, a niveles de 0.99-0.98 la multiplicación se da mucho más rápido y fácil.

Cuando los valores reportados son menores de 0.60 indica que el crecimiento microbiano se da en menor cantidad, pero si están presentes, aunque no producen un deterioro por periodos largos de tiempo. En términos generales, se tiene la relación de los valores de a_w con la proliferación bacteriana en la Tabla 1.3.

Tabla 1.3 Relación de a_w con el crecimiento de microorganismos en alimentos

a_w	Microorganismos proliferantes	Alimentos más susceptibles
0.98	Pueden crecer casi todos los microorganismos patógenos y dar lugar a alteraciones del alimento y toxiinfecciones alimentarias.	Carne o pescado y frutas o verduras frescas.
0.93/0.98	Pueden formarse un gran número de microorganismos patógenos.	Embutidos fermentados o cocidos, quesos de corta maduración, carnes crudas enlatadas, productos cárnicos o pescado ligeramente salados, pan, etc.
0.85/0.93	Como bacteria, sólo crece <i>S. aureus</i> , que puede provocar toxiinfección alimentaria. Los hongos también pueden crecer.	Embutidos curados y madurados, el jamón serrano o la leche condensada.
0.60/0.85	Las bacterias ya no pueden crecer.	Frutos secos, cereales o quesos curados.
<0.60	No hay crecimiento microbiano, pero sí puede haber microorganismos residentes durante largos periodos de tiempo.	Chocolate, miel, galletas o dulces.

En todo el ramo del proceso y producción de los alimentos, los niveles estándares habitualmente se definen como la presión de vapor parcial del agua a una misma temperatura. Productos o alimentos con un menor a_w llegan a soportar menos microorganismos que deterioren.

Los grados de libertad de agua en un producto se entiende como la relación entre la presión parcial del agua del producto (p) y la presión de vapor del agua (p_0) a una misma temperatura, como se muestra en la ecuación 1.1

$$a_w = \frac{p}{p_0} = \frac{\%HRE}{100} \quad (1.1)$$

Debido a la gran movilidad de las moléculas líquidas reactivas, favorece la interacción para reaccionar, es decir, mientras mayor sea a_w , más perecedero será el alimento, y, por lo tanto, el agua se puede prestar en mayor cantidad para el crecimiento de bacterias y microorganismos.

Los productos alimenticios que presentan un bajo nivel de a_w se pueden conservar en mejores condiciones durante un mayor lapso de tiempo, al contrario de los que arrojan una actividad de agua elevada, su proceso de almacenamiento debe tener condiciones de cuidado y manejo diferentes y más complejas. Debido a esto, los alimentos propensos a deteriorarse en menor tiempo utilizan técnicas de conservación, los cuales controlan los niveles de la a_w , algunos de estos son la evaporación, la deshidratación, la liofilización o la cristalización mediante la agregación de sal o azúcar, para conservar propiedades organolépticas deseables.

En la Figura 1.5 se pueden observar los diferentes cambios que se dan en los alimentos relacionados con la a_w , tales como: a) oxidación de lípidos, b) reacciones hidrolíticas, c) oscurecimiento no enzimático, d) isoterma de adsorción, e) actividad enzimática, f) crecimiento de hongos, g) crecimiento de levaduras, y h) crecimiento de bacterias.

Al bajar el agua disponible en el alimento se inhibe el crecimiento de bacterias y por ende la degradación, pero al mismo tiempo se incrementa la resistencia térmica de las bacterias, de manera general, para su crecimiento, los microorganismos necesitan condiciones propicias de pH, de nutrimentos, oxígeno, presión, temperatura y de a_w , donde esta última debe de ser en mayor medida para que los parámetros se vuelvan menos favorables.

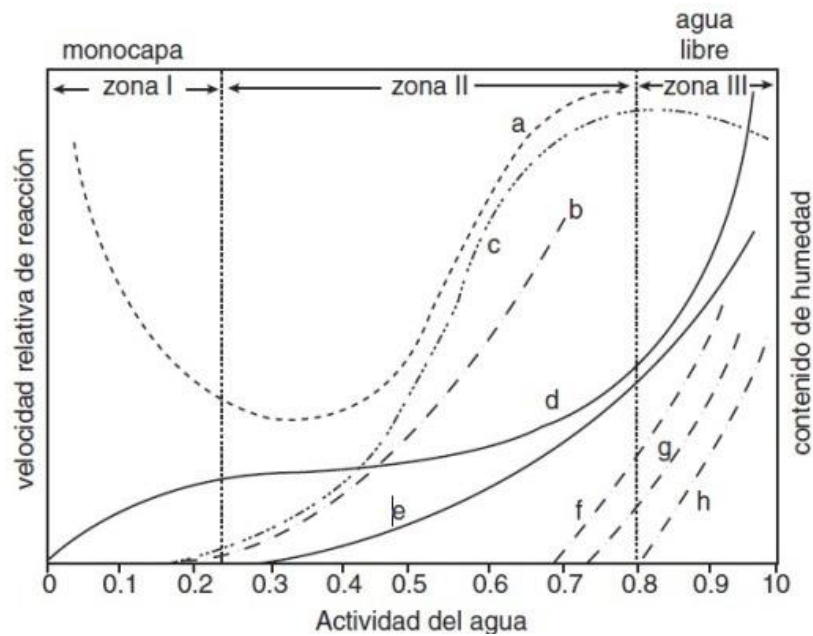


Figura 1.5 Cambios que ocurren en los alimentos en función a la a_w .

1.5.2 Contenido de Humedad

La técnica de determinación de humedad es una de las más importantes y mayormente utilizadas en el proceso, control y almacenamiento de los productos alimenticios. La humedad contenida en un alimento es, habitualmente, un indicador de la estabilidad del producto final. El control de la humedad es un dato determinante en varios procesos industriales, como la molienda de semillas o tubérculos para la obtención de harinas.

En general, el secado de sólidos consiste en dispersar ciertas cantidades de agua u algún otro líquido de un producto sólido con la finalidad de disminuir el porcentaje de líquido contenido hasta el valor deseado que permita su conserva. El propósito de secar productos alimenticios es permitir períodos más largos de almacenamiento con requisitos de empaque minimizados y pesos de envío reducidos.

La calidad del producto y su costo están muy influenciados por la operación de secado, esto por el método utilizado y el tiempo que conlleva el proceso. La calidad de un producto alimenticio se juzga por la cantidad de degradación física y bioquímica que ocurre durante el proceso de deshidratación (Hendrick, 1992).

Aunque el contenido en humedad de un alimento puede ser un factor indicativo de su propensión al deterioro, también se ha observado que diferentes alimentos con el mismo contenido de humedad pueden ser muy diferentes en su estabilidad por lo que el concepto de contenido en humedad es insuficiente para indicar lo perecedero que es un alimento, al no tener en cuenta las interacciones del agua con otros componentes del mismo (Alam, 2013).

El contenido de humedad tiene gran importancia en el procesamiento de alimentos, por ejemplo:

- a) Es un indicador de calidad en la preservación de la mayoría de productos y determina su estabilidad.
- b) La humedad reducida se utiliza para la conveniencia en el empaquetado o transporte de algunos alimentos.
- c) Útil para cálculos de valor nutricional.

Por este motivo, la meta principal del proceso de secado es aumentar la estabilidad del alimento y se define en términos de depresión de la actividad de agua (a_w) y no en términos de disminución del contenido en humedad, puesto que la a_w puede ser considerada una medida indirecta del agua que está disponible en un producto para participar en las reacciones de deterioro.

La máxima reducción de volumen es la que se puede obtener al transformar los alimentos de consistencia líquida en polvo, cuando este polvo se puede prensar en bloques o tabletas se vuelve mucho más útil.

Cualquier producto alimenticio que sea del tipo procesado, tienen agua en mayor o menor porcentaje, variando entre un 90-95% en verduras y menos de un 5% en alimentos secos tales como harinas o galletas.

1.5.3 Color

La incidencia del color en el mundo de los alimentos es importante y hasta decisiva, ya que puede producir la aceptación o el rechazo de estos por parte del consumidor (Antolovich, 2002).

El color se define como una propiedad que se aprecia por el sentido de la vista característico cuando le estimula la luz reflejada por un alimento, que contiene sustancias con grupos cromóferos capaces de absorber parte de sus radiaciones luminosas, dentro de unas determinadas longitudes de onda (Bello Perez, 2009).

Los parámetros de color son propiedades físicas que se le atribuyen de la apariencia de los alimentos que determinan la aceptación visual por el consumidor.

1.5.4 Parámetros de color

Un procedimiento fundamental para medir el color es el método instrumental, que abarca la aplicación de procedimientos que miden la reflectancia o transmitancia que presenta la muestra.

Los sistemas de orden de color utilizan equipos como espectrofotómetros o colorímetros, se basan en arreglos tridimensionales de color de acuerdo a la apreciación visual. La escala de color HunterLab (Figura 1.7) se basa en la teoría de los colores opuestos, este sistema es el más empleado en el campo de los alimentos. El parámetro o escala L indican la luminosidad y la escala a y b indican la cromaticidad los cuales, se describen a continuación:

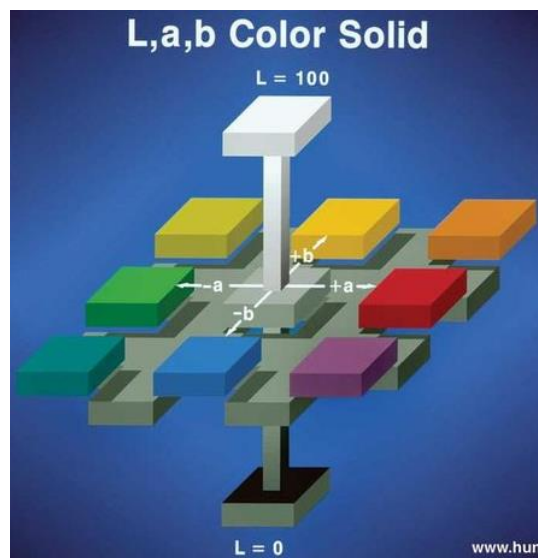


Figura 1.6 Diagrama Hunter L, a, b.

- **Escala L:** Negro vs Blanco, donde los valores bajos (0-50) indican colores oscuros y los valores altos (51-100) indican colores claros.
- **Escala a:** Verde vs rojo, lo cual indica que los valores negativos son tonalidades verdes y los valores positivos indican tonalidades rojas.

Escala b: Azul vs amarillo, los valores negativos indican tonalidades azules y los valores positivos indican tonalidades amarillas.

1.6 Valor nutricional

El valor nutricional se compone de macronutrientes esenciales: proteínas, grasas e hidratos de carbono, de micronutrientes como vitaminas y minerales y de los valores energéticos que nos aporta el alimento. Un ejemplo se muestra en la Tabla 1.4 con la composición de algunos cereales.

Tabla 1.4. Composición nutricional de granos de cereales (valor promedio).

(g/100g)	Trigo	Centeno	Maíz	Cebada	Avena	Arroz	Mijo
Humedad	12.6	13.6	11.3	12.1	13.1	13.0	12.0
Proteína	11.3	9.4	8.8	11.1	10.8	7.7	10.5
Lípidos	1.8	1.7	3.8	2.1	7.2	2.2	3.9
Carbohidratos	59.4	60.3	65.0	62.7	56.2	73.7	68.2
Fibra	13.2	13.1	9.8	9.7	9.8	2.2	3.8
Minerales	1.7	1.9	1.3	2.3	2.9	1.2	1.6

1.7 Secado por charolas

El secado por charolas o bandejas, habitualmente funciona sobre un régimen intermitente. Consiste en una cámara echa de metal con forma de rectángulo que cuenta con unos soportes en los que se apoyan bastidores. Cada uno de los bastidores cargan un número de charolas con poca profundidad, apiladas unas sobre otras dejando una separación entre ellas.

A través del tubo de ventilación se sale continuamente el aire cargado de humedad removido del alimento, a diferencia del tubo de alimentación de entrada en donde fluye aire. Al final del proceso, habitualmente con un tiempo largo, se extrae el producto de la cámara con todo y las charolas para llevar a cabo la descarga del producto final ya deshidratado y volverlo a cargar.

Dentro de las numerosas ventajas que ofrece este tipo de proceso de secado se encuentran:

- Disminuye el peso del alimento.
- Se obtiene un alimento con una mayor concentración en cuanto a contenido nutricional.
- Se anula o minimiza la posibilidad de crecimiento bacteriano.
- Se reduce el volumen del alimento.

El secado con aire caliente es un proceso poco costoso y la muestra se seca rápidamente en condiciones de calentamiento seleccionadas como temperatura, tasa de flujo de aire y humedad (Ahmed, 2015). Es importante destacar que cualquier tipo de proceso de conservación de alimentos presenta una variación en las características organolépticas del alimento.

1.7.1 Curvas de secado con respecto al tiempo

Un proceso de secado habitualmente se describe con diagramas dados por los siguientes puntos.

1. Contenido de humedad del material contra tiempo de secado (curva de secado).
2. Velocidad de secado contra contenido de humedad del material (curva de velocidad del secado).
3. Temperatura del material contra contenido de humedad (curva de temperatura).

Estos parámetros son arrojados mediante condiciones de laboratorio donde se miden cambios de masa y temperatura con respecto al tiempo. La letra Y se refiere al porcentaje de humedad contenido de masa presente en el aire.

$$Y = \frac{m_A}{m_B} = \frac{\text{Kg de vapor de agua}}{\text{Kg de aire seco}} \quad (1.3)$$

Este tipo de curva indica el porcentaje de humedad removido al paso del tiempo durante el proceso de secado. En la primera etapa del proceso, la remoción de humedad en el material está indicado en la curva A-B (Figura 1.7). Cuando finaliza el primer periodo el secado se torna en forma lineal de manera $X=f(t)$, en esta etapa el flujo de secado se estabiliza a una forma constante (recta B-C).

El secado se mantiene igual por un periodo de tiempo hasta que llega a un punto crítico (punto C) donde la línea recta tiene a curvarse y a formar una asíntota con el contenido de humedad (X_{eq}) donde es el valor mínimo de humedad en el proceso de secado esto quiere decir que el punto E jamás es tocado.

La recta (B-C) es llamado el periodo de velocidad de secado constante, y al siguiente periodo de secado se conoce como el periodo de caída de velocidad del secado. Uno ejemplo de estas curvas se presentan a continuación en la Figura 1.7.

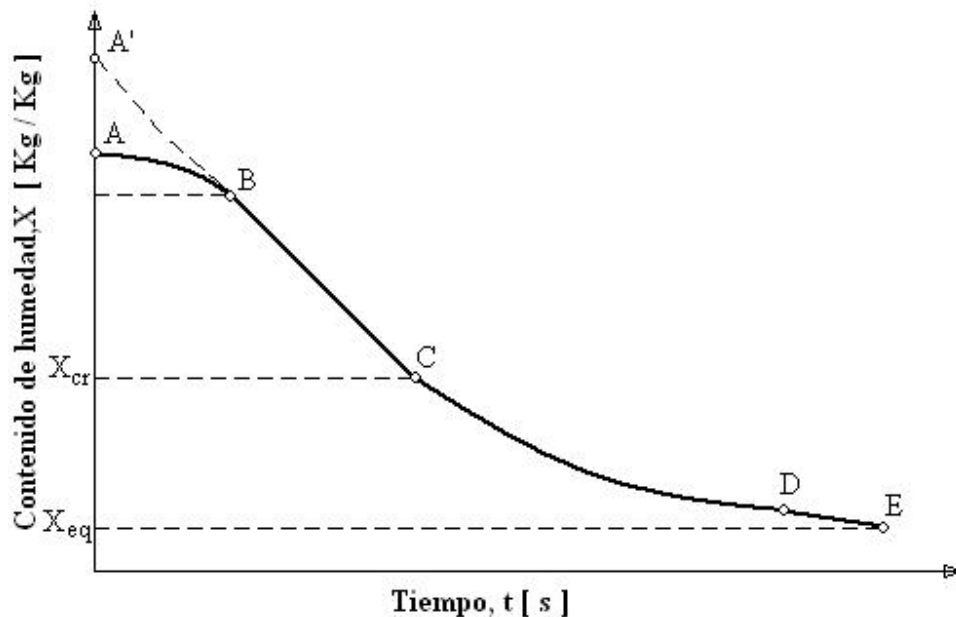


Figura 1.7 Curva de secado respecto al tiempo

1.7.2 Curva de velocidad de secado

Estas curvas se refieren a qué velocidad se seca el material. El diagrama mostrado resulta útil para calcular y determinar puntos del secado. El diagrama mostrado en la Figura 1.8 cumple la función $w_D = f(X)$, en la cual se explica la cantidad de humedad que se elimina del material tratado a través del tiempo por la cantidad de superficie secada.

Por lo tanto, la velocidad de la remoción de la humedad puede explicarse como el coeficiente de transferencia de masa y conjunto al de la humedad contenida en el aire.

$$w_D = k_g (Y_s - Y) \quad (1.4)$$

Donde Y y Y_s son la humedad del ambiente circulante. El coeficiente de transferencia de masa k_g para una velocidad de gas constante en relación con el material, permanecerá constante. La humedad Y_s corresponde a las condiciones de saturación en la temperatura de la capa de líquido (T_s).

Como la evaporación de la humedad requiere de la misma cantidad de calor latente de evaporación, la superficie del líquido después de algún tiempo alcanzará una temperatura de equilibrio (periodo inicial de secado), así la cantidad de calor proveída hacia la superficie desde el aire circulante será igual al calor necesario para el cambio de fase. La humedad Y_s permanece constante. Como resultado de los parámetros constantes del proceso, la humedad del aire Y no cambia.

El tiempo transcurrido por la remoción de humedad entre los puntos B y C se torna estable. Este valor es igual equivalente a la velocidad de secado en una superficie estudiada. El tiempo que se demora el proceso de evaporación entre los puntos B y C es constante igual a w_D .

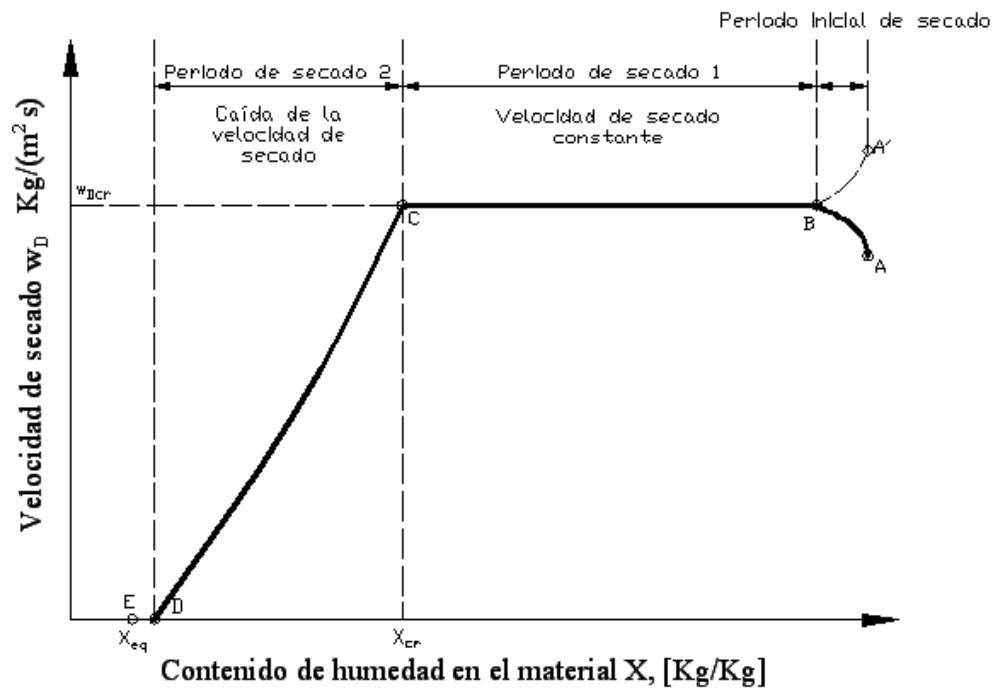


Figura 1.8 Contenido de humedad en materiales.

1.7.3 Transferencia de calor

Dentro del estudio del secado existe la transferencia de calor donde se realiza el análisis mediante la siguiente expresión:

$$Q = h_s A (T_f - T_{sup}) \quad (1.5)$$

Donde:

Q = velocidad de transmisión del calor.

h_s = coeficiente de convección.

A = área a través de la cual tiene lugar el flujo de calor.

T_g = temperatura del aire.

T_{sup} = temperatura de la superficie.

1.7.4 Transferencia de masa

La transferencia de masa se refiere a la pérdida de la humedad de la muestra al cederla al ambiente donde se puede medir a través de la siguiente ecuación:

$$\frac{dw}{dt} = K_g A \Delta W \quad (1.6)$$

Donde:

dw / dt = tasa de transferencia de masa.

A = área a través de la transmisión.

K_g = coeficiente de transferencia de masa.

$A\Delta$ = diferencia de humedades.

1.7.5 Efecto de la temperatura

La influencia que tiene la temperatura sobre los alimentos es de suma importancia ya que los alimentos no están compuestos por mezclas homogéneas y la a_w difiere conforme a la temperatura.

Cuando la temperatura sube, con una a_w estable, da como resultado una disminución en el porcentaje de agua adsorbido. Aplican ciertas excepciones a algunos tipos de azúcares y constituyentes alimenticios de bajo peso molecular lo que provoca que se disuelvan en agua a temperaturas altas. Por otro lado, la reactividad química y microbiológica se ve afectada por la relación temperatura-contenido de humedad, porque un aumento de temperatura da como resultado un aumento de la actividad del agua con un contenido de humedad constante (Barboza Vega, 2000).

1.8 Diseño de experimentos

El diseño de experimentos se entiende como la forma más eficiente de llevar a cabo la experimentación. El diseño de experimentos consiste en determinar cuáles pruebas se deben realizar y de qué manera, para obtener datos que, al ser analizados estadísticamente, proporcionen evidencias objetivas que permitan responder las interrogantes planteadas, y de esa manera clarificar los aspectos inciertos de un proceso, resolver un problema o lograr mejoras (Goodwin, 2009).

1.9 Harina

La harina a simple vista tiene un aspecto de polvo fino, que se obtiene sometiendo a molienda diversos tipos de granos o tubérculos como el garbanzo o la papa, dando como resultado un polvo con alto contenido de almidón.

La harina, siendo la base de la pirámide alimenticia, es utilizada para la preparación de variados tipos de platillos ya sean salados o dulces, también aporta cualidades y texturas, como la viscosidad, glutinosidad y volumen, también figura en el proceso de alimentos para niños como papillas.

La harina es el método más utilizado para la conservación por largos periodos de tiempo de tubérculos, el proceso de este polvo es más fácil que si se aplicara la extracción convencional de almidón, ya que solamente se utiliza la molienda y el tamizado. Un punto importante de la harina es que el contenido de nutrientes presentes en los tubérculos se mantiene.

Conocer las propiedades funcionales y fisicoquímicas contenidas en harinas es muy importante para saber su manejo y orientar su uso.

1.10 Propiedades funcionales

Además de su aporte nutricional en los alimentos, las proteínas tienen una función muy importante en las propiedades funcionales que (Gálvez AV, 2009), las define como las características que proporcionan información del comportamiento físico-químico de las proteínas, estas son necesarias para conocer el modo de preparación de alimento, tiempo de vida y almacenamiento, y modo de preparación en caso de ser parte de algún proceso. Por tal motivo, la calidad y el procesado del alimento es importante el análisis de las propiedades funcionales de los alimentos.

Estas propiedades se pueden dividir en tres grupos diferentes como se muestra en la tabla 1.5, de acuerdo al comportamiento que presentan las moléculas proteicas en presencia de agua.

Tabla 1.5 Interacción entre las propiedades funcionales

Tipo de interacción	Propiedad
Propiedades dependientes de interacciones proteína-agua	Retención de agua, solubilidad, viscosidad
Propiedades dependientes de interacciones proteína-proteína	Gelificación, precipitación
Propiedades dependientes de la interacción proteína-interface	Emulsión, espuma.

1.11 Capacidad de absorción de agua y aceite

La capacidad de absorción de agua (CAAG) y la capacidad de absorción de aceite (CAAC) expresan el mayor porcentaje de líquido que puede ser retenida por gramo de material seco en presencia de un determinado volumen de agua o aceite y después con ayuda de la acción centrífuga.

Este parámetro es importante para conocer los niveles y cantidades de ambos materiales que se deben designar para la preparación de alimentos, es decir en la receta, por tal motivo es esencial la evaluación de esta propiedad.

1.11.1 Propiedad gelificante

En un punto fisicoquímico los geles son sistemas multicomponentes que contienen una mayor fase líquida, pero a su vez un comportamiento sólido (Alam, 2013). Esta sustancia denominada gel, se obtienen mediante la gelificación donde se involucra el cambio de estado denominado “transición” del estado completamente líquido al gel. El proceso de gelificación en alimentos normalmente se lleva a cabo en varios pasos que incluyen cambios conformacionales de las proteínas que contienen los alimentos, su agregación y la formación de una red de tres dimensiones estructurales.

Los geles se forman gracias a la agregación de calor a una determinada concentración de proteínas y cuando tiene interacción con otros componentes presentes en el alimento en este caso de una harina.

1.11.2 Propiedad emulsificante

Se comprende como emulsión a un sistema heterogéneo, formado por lo menos por un líquido inmiscible disperso, es decir que no pueden formar una mezcla homogénea, íntimamente en otro en forma de gotas cuyo diámetro está comprendido entre aproximadamente 0.1 a 100 μm (Benzie, 1996). El proceso de formación de una emulsión es realizado bajo condiciones de inestabilidad termodinámica debido a que dos líquidos inmiscibles, tienden a permanecer en fases separadas, proceso este que es termodinámicamente favorable.

1.11.3 Propiedad espumante

Las espumas se pueden considerar como dispersiones de burbujas de gas en una fase continua que puede ser líquida o semisólida; la función de las proteínas, al igual que en las emulsiones, es reducir la tensión interfacial orientando sus grupos hidrofílicos hacia el exterior de la burbuja en contacto con el agua, y los hidrofóbicos hacia el interior, con el aire (Moyer, 2002). El tamaño de las burbujas y volumen también es de gran importancia para las propiedades de las espumas, ya que influyen en la textura y estabilidad de los productos aireados (Barth, 2007), este tipo de productos se refieren al tipo de repostería y cualquiera que necesite ser batido o mezclado.

1.12 Análisis proximal

El análisis proximal de los alimentos consiste en una serie de métodos aplicados los cuales estudian los alimentos y como se componen, estos estudios consisten en determinar los valores de los macronutrientes presentes tales como cantidades de grasa, proteína, carbohidratos, humedad, residuos orgánicos entre otros.

Aspectos importantes que proporcionan el análisis proximal son:

- Conocer los valores nutricionales de los productos, formulando así las dietas y requerimientos nutricionales de acuerdo a las necesidades de cada persona.
- Corroborar que las formulaciones de alimentos procesados estén dentro de la legalidad.

1.12.1 Cenizas

Todos los alimentos tienen dentro de su composición, partículas minerales, que se constituyen a partir de elementos orgánicos e inorgánicos. Al llevar a incinerar muestras de alimentos, permite la remoción del contenido orgánico, cambiando así su naturaleza. En términos generales, las cenizas están compuestas a partir de carbonos contenidos en los materiales orgánicos.

1.12.2 Grasas

Las grasas contenidas en los alimentos de procedencia natural son un elemento nutricional que se deriva de la alimentación, estos brindan ácidos grasos esenciales, se les conoce como "esenciales" ya que el cuerpo no los produce por sí mismo y sin ellos existiría deficiencia en el funcionamiento normal del cuerpo.

La presencia de grasas en los alimentos es un parámetro de importancia desde el punto de vista económico y de calidad, las cuales aportan cualidades organolépticas para la aceptación y retención del sabor (CM, 1999).

1.12.3 Proteínas

Las proteínas son las moléculas formadas por aminoácidos que están unidas por enlaces peptídicos los cuales son esenciales para el crecimiento y desarrollo del cuerpo, esto por su contenido de nitrógeno, también proporcionan mantenimiento a tejidos y componentes del cuerpo.

Las moléculas de tipo proteico están presentes en enzimas, hormonas, proteínas de almacenamiento, proteína de transporte como la hemoglobina, proteína de contráctiles como en los músculos, inmunoglobulinas en los anticuerpos, proteína de membranas entre otros (Helena, 1991).

1.12.4 Fibra

La fibra es un derivado vegetal, en la que se encuentran polisacáridos y lignina, estas dos son altamente resistentes a la digestión humana, es por esto que la fermentación de la fibra tiene un papel fundamental en el buen funcionamiento de la flora microbiana intestinal, además de ayudar a disminuir el congestionamiento, así como regular la diabetes, sobrepeso o tipos de cáncer. Existen dos tipos de fermentaciones que se llevan a cabo tras la ingesta de fibra en el organismo:

- Fermentación sacarolítica: la más beneficiosa para el organismo y produce principalmente los ácidos grasos de cadenas cortas los cuales se generan por la oxidación de la glucosa.
- Fermentación proteolítica: esta produce derivados nitrogenados como aminos y compuestos fenólicos, lo cual contiene valor energético.

1.12.5 Carbohidratos

Los carbohidratos son uno de los tres macronutrientes esenciales junto a las proteínas y grasas, este tipo de nutriente aporta la energía necesaria al cuerpo para realizar las actividades diarias.

Existen cuatro tipos de carbohidratos en función a su estructura química:

- Monosacáridos: conformados por una molécula individual, lo que los vuelve en una fuente prioritaria de energía para el cuerpo.
- Disacáridos: constituidos por dos moléculas monosacáridas que pueden hidrolizarse para formar dos monosacáridos libres, un ejemplo es la sacarosa, la lactosa, y maltosa.
- Oligosacáridos: no tienen estructura definida y pueden ser formadas de tres a nueve moléculas monosacáridas unidas por puentes que se liberan a partir de la hidrólisis.
- Polisacáridos: cadenas de más de diez monosacáridos, las cuales cumplen en el organismo con tareas de estructura o almacenamiento, tales como el almidón, amilosa, glucógeno, celulosa y la quitina.

ANTECEDENTES

Se han realizado diversos estudios e investigaciones abarcando el secado de alimentos y tubérculos, también evalúan las propiedades funcionales de diferentes tipos de harinas, algunos de ellos son:

(Alonso J., 2014) estudiaron la harina de papa especie *Solanum tuberosum*, que es la papa blanca que se normalmente se conoce para la producción de un puré instantáneo aplicando la medición del porcentaje de humedad en el secado, se determinó el porcentaje de humedad contenido en las papas, resultando la variedad Granola con el menor porcentaje de humedad y mayor contenido de materia seca, así como también la caracterización fisicoquímica (a_w , XH, color) de la harina, obteniendo resultados muy favorables.

La determinación de las curvas de secado de la pasta de papa, con tratamiento de ácido ascórbico previo, se llevó a cabo en un secador de túnel a 60 °C y una velocidad de aire de 0.2 m/s. Los pre-tratamientos incluyeron escaldado, cocción y el uso de ácido ascórbico y meta bisulfito de sodio. Los resultados indicaron que con la aplicación del tratamiento térmico al tubérculo fue suficiente para evitar la degradación enzimática y también, se logra un optimizado en los tiempos de secado. (Alonso J., 2014)

Los datos experimentales fueron evaluados usando el modelo de Midilli observándose un buen ajuste con un $R > 0.99$. Además, se pudo comprar que el método más óptimo para la producción de harina de papa abarca las siguientes etapas: cocción, enfriamiento y reducción de tamaño en seco.

Esto indica que una harina, según los resultados, que el poder de hinchamiento y la solubilidad en agua, alcanza las propiedades de almidón para poder ser instantáneo, lo cual agiliza la formulación de un puré de manera más rápida y menos pesada. Los rendimientos en la producción de harina oscilan entre 12.55-14.09% para la Granola y entre 11.18-15.58% para el provento en base húmeda.

Otro estudio reportado por (Chaparro Gonzáles, 2019) evaluaron el efecto de dos métodos de deshidratación (microondas y secado convencional) utilizando deshidratación osmótica como pre-tratamiento, sobre las características organolépticas de un snack de 3 clases de tubérculos andinos, es decir, de la misma familia que *Oxalis tuberosa* pero diferente especie.

Al producto final obtenido se le analizó el contenido fenólico y la capacidad antioxidante, se analizó también el tiempo de vida útil del producto conservándolo en bolsas de polipropileno, teniendo como índice de falla la degradación del contenido de vitamina C (ácido ascórbico) y el aumento de humedad.

Se obtuvo una humedad promedio de 3.44% para los productos finales deshidratados con microondas y un promedio de 4.48% para los productos finales obtenidos a través de secado convectivo, no se reportaron diferencias entre los dos tipos de muestras; en cuanto a los parámetros de color, se pudo notar que, las muestras tratadas con microondas tuvieron un valor mayor de L^* que las tratadas por secado convencional, esto tiene que ver muy posiblemente a un aumento de exposición térmica de las muestras. En cuanto a la textura se pudo evidenciar que el valor más alto fue para las papas frescas obtenidas por deshidratación por microondas.

CAPÍTULO II

MATERIALES Y MÉTODOS

MATERIALES Y MÉTODOS

2.1 Metodología general

El desarrollo experimental se realizó en el Laboratorio de Bioprocesos en plantas piloto del Instituto Tecnológico de Orizaba. En la Figura 2.1 se muestra el diagrama en el cual se describen las etapas principales y las actividades realizadas que se llevaron a cabo para la realización de este trabajo.

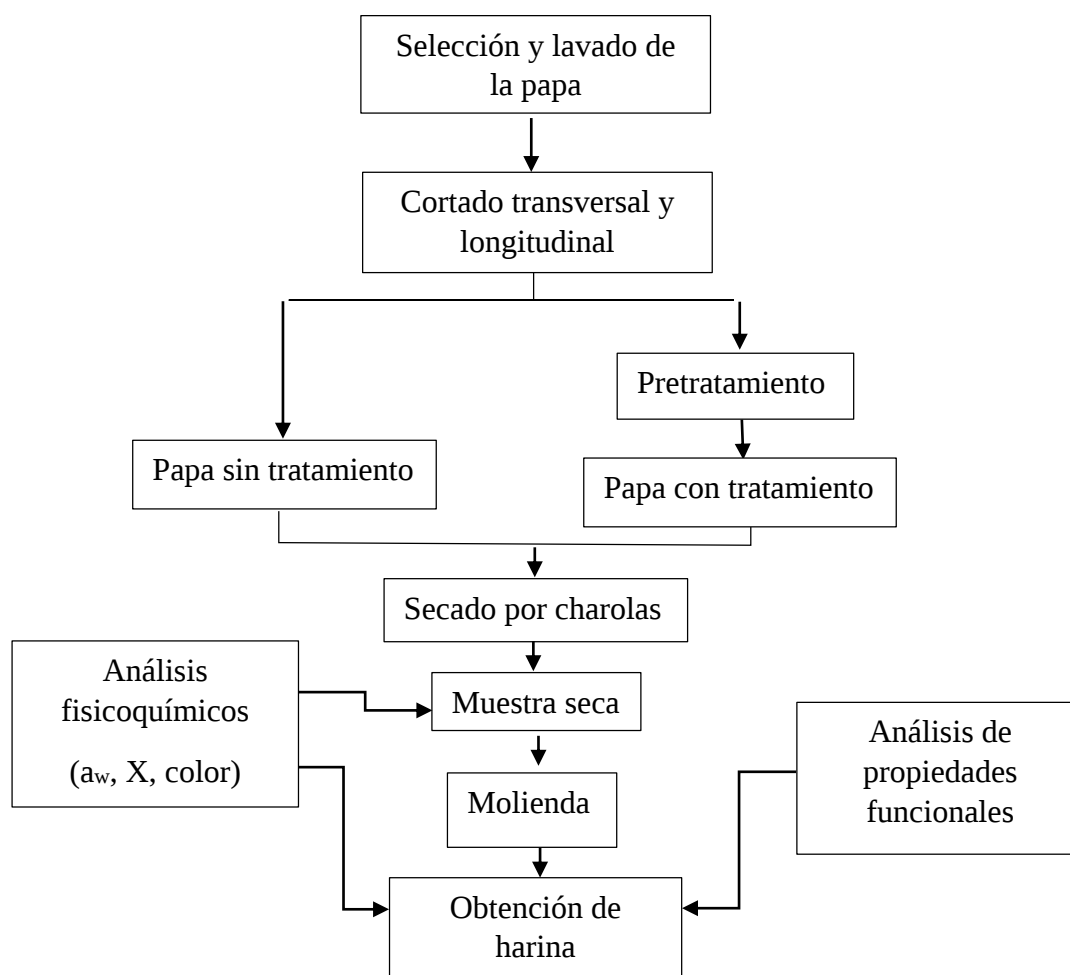


Figura 2.1 Metodología general de la evaluación del efecto del proceso de secado sobre las propiedades funcionales de harina de papa (*Oxalis tuberosa*).

2.2 Obtención de la materia prima

Las muestras de papa extranjera *Oxalis tuberosa* (Figura 2.2) utilizadas para este estudio, fueron cultivadas en la región de Zongolica Veracruz y recolectadas en el mercado Zapata de Orizaba, en una fase de maduración óptima y seleccionando aquellas que presentaran colores brillantes.



Figura 2.2 Muestra de *Oxalis tuberosa* recolectada

2.3 Acondicionamiento de la muestra (selección, lavado y corte)

La papa extranjera *Oxalis tuberosa* fueron lavadas, desinfectadas, puestas a secar y cortadas de manera transversal con un diámetro de 2.2 cm y un grosor de 2 mm aproximadamente y longitudinal con un largo de 5 cm aproximadamente, tal como se muestran en la Figura 2.3 y Figura 2.4.

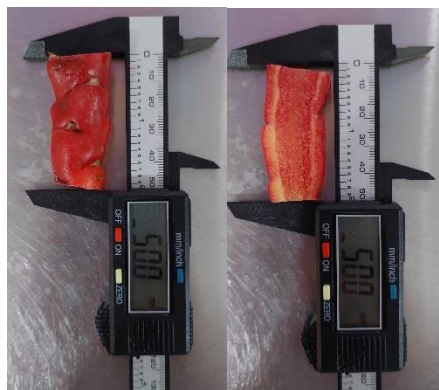


Figura 2.3 Corte longitudinal



Figura 2.4 Corte transversal

2.4 Pretratamiento

El pretratamiento se realizó pesando en una balanza ADAM CB Max 3000gx 100 gramos de cortes de papa (Figura 2.5), y colocándolos en una solución de ácido ascórbico al 1% por 15 minutos, una solución por cada tipo de corte.



Figura 2.5 Balanza ADAM CB Max 3000gx 1g con 100 g de a) corte transversal y b) corte longitudinal

2.5 Diseño de experimentos

Para llevar a cabo el análisis de las condiciones de secado en lecho fijo, se aplicó un diseño de experimentos mixto de forma 3x2x2 con 1 variable cuantitativa y 2 variables cualitativas realizándolas por duplicado. En la Tabla 2.1 se muestran los experimentos con la forma de corte transversal (T) y longitudinal (L), con la aplicación de tratamiento (A/C) y sin tratamiento (S/T), a 3 diferentes temperaturas.

Tabla 2.1 Diseño de experimentos

Experimento	Temperatura °C	Forma de corte	Tratamiento
1	50	T	A/C
2	50	T	S/T
3	50	L	A/C
4	50	L	S/T
5	60	T	A/C
6	60	T	S/T
7	60	L	A/C
8	60	L	S/T
9	70	T	A/C
10	70	T	S/T
11	70	L	A/C
12	70	L	S/T

2.6 Análisis fisicoquímico

Para la evaluación de los parámetros fisicoquímicos se realizaron las mediciones de actividad de agua, color y contenido de humedad, de las muestras de papa *Oxalis tuberosa* en su estado fresco y durante los intervalos de tiempo fijados durante el proceso.

Las determinaciones de estas propiedades se realizaron por duplicado, reportando los parámetros en una tabla de datos (Tabla 2.2) donde a_wT y a_wL hacen referencia a la actividad de agua, así como HT y HL el porcentaje de humedad respectivamente.

Tabla 2.2 Parámetros a través del tiempo

Tiempo (min)	a_w T	a_w L	H T	H L
--------------	---------	---------	-----	-----

2.6.1 Actividad de agua

Para la determinación de la actividad de agua se utilizó un medidor de actividad de agua marca Aqualab serie 3 modelo Te, USA (Figura 2.6). La medición de la actividad de agua se realizó a una temperatura de $25 \pm 1^\circ\text{C}$.



Figura 2.6 Medidor de actividad de agua marca Aqualab serie 3 modelo Te, USA

2.6.2 Contenido de humedad

Para el contenido de humedad se realizó mediante una termobalanza de halógeno marca Santorius, modelo MA35 (Figura 2.7). Se obtuvo a través de colocar 1 g de muestra en el platillo dentro de la cámara de secado, distribuyendo por toda la superficie de la charola metálica a una temperatura de 65°C , el resultado fue arrojado de manera automática.

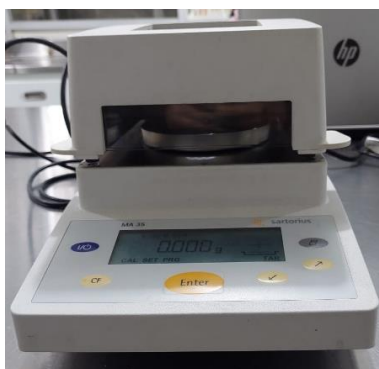


Figura 2.7 Termobalanza de halógeno marca Santorius, modelo MA35.

2.6.3 Análisis de color

El análisis de color de las muestras se obtuvo a través un colorímetro Miniscan XE plus, de la línea HunterLab (Figura 2.8). Donde los datos fueron arrojados a través de una computadora a partir del programa Universal software versión 4.10. El equipo determinó los parámetros de color L, a, b y ΔE los cuales representan las diferencias en el color que va presentando la muestra y vistos en forma de tabla.



Figura 2.8 Miniscan XE plus, HunterLab, EUA

2.7 Secado por lecho fijo

Para el proceso de secado se utilizó un secador de charolas para plantas piloto marca Polinox modelo SEM-2 (Figura 2.9), este se encuentra en el Laboratorio de Bioprocesos del Instituto Tecnológico de Orizaba, el cual en su interior cuenta con bastidores donde se depositan las muestras uniformemente sobre toda la superficie de la charola, que cuenta con perforaciones por las cuales fluye el aire caliente que con la puesta en marcha de un motor eléctrico a 4.5 kW permite que la cámara de acero inoxidable mantenga y desempeñe su función correctamente, cuenta con un regulador electrónico de temperatura y dos salidas de aire. El secado se realizó a 3 temperaturas diferentes por un lapso de 6 horas.



Figura 2.9 Secador de charolas para plantas piloto marca Polinox modelo SEM-2 México

2.8 Obtención de muestra seca

Para la obtención de la muestra seca de papa extranjera *Oxalis tuberosa* se definieron intervalos de tiempo en minutos, como se muestra en la Tabla 2.2, tomando las muestras y sometiéndolas a las mediciones de las propiedades fisicoquímicas para observar los cambios que se dieron a través del tiempo, tal como se muestra en las Figuras 2.10 y 2.11.



Figura 2.10 Cambios en el proceso de secado a través del tiempo en corte transversal.



Figura 2.11 Cambios en el proceso de secado a través del tiempo en corte longitudinal.

2.9 Molienda

Una vez obtenidas las condiciones de la papa extranjera *Oxalis Tuberosa* deshidratada, se realizó una disminución de tamaño de las muestras secas mediante un pulverizador de aspas modelo GRT-20B (Figura 2.12) para obtener un polvo fino.



Figura 2.12 Pulverizador modelo GRT-20B

2.10 Obtención de harina

Mediante el proceso de la molienda de las muestras deshidratadas, se procedió a la obtención de la harina a través del experimento que presentó menor actividad de agua, menor porcentaje de humedad y un color luminoso, pasando por un tamiz para aplicar una reducción de tamaño de partícula, con una apertura de 420 micrones (Figura 2.13) y obteniendo así un polvo suave y fino, con una textura deseable y color aceptable.



Figura 2.13 Tamiz 420 micrones

2.11 Análisis de las propiedades funcionales

Se entiende como propiedades funcionales a las características que brindan información del comportamiento fisicoquímico que poseen las proteínas presentes en los alimentos en un sistema alimentario equilibrado.

2.11.1 Capacidad de absorción de agua

Para la obtención del parámetro de absorción de agua se empleó el método descrito por (Beuchat, 1977) donde a 2 g de muestra se le añadieron 20 mL de agua destilada, posteriormente se agitó en un vortex Science Med MX-S (Figura 2.14) por 30 minutos para su homogenización a temperatura ambiente a 3000 rpm, se desechó el sobrenadante, a la diferencia entre las masas de la muestra antes y después de haber absorbido el agua, se tomó como la medición final.



Figura 2.14 Vortex Science Med MX-S

2.11.2 Capacidad de absorción de aceite

Se determinó mediante el método descrito por (Ahn SH, 2005), donde se pesó 1 g de la muestra de la harina con 10 mL de aceite de canola en un tubo de centrifuga VELAB CBC series (Figura 2.15), agitando durante 30 segundos en un vortex Science Med MX-S a 900 rpm, posteriormente se centrifugó a 3360 rpm por 5 minutos, se decantó el sobrenadante, el resultado se expresa en g de aceite/g de harina mediante la ecuación 2.1.

$$FAC \left(\frac{g \text{ de aceite}}{g \text{ de harina}} \right) = \frac{(P_1 - P_0)}{P_m} \quad (2.1)$$

Donde FAC= capacidad de absorción de aceite (g de aceite/ g de harina); P_m = peso de la muestra de harina seca (g); P_0 = peso del tubo de centrifuga más la muestra de la harina seca (g); P_1 = peso del tubo de centrifuga más el sedimento (g).



Figura 2.15 Centrifuga VELAB CBC series

2.11.3 Propiedad gelificante

Para determinar la capacidad de formación de gel se empleó el método descrito por (Lozano, 2021) donde preparando dispersiones de harina a concentraciones de 2, 4, 6, 8, 10, 12, 14, 16, 18, 20, 22, y 30 g/100mL en 5mL de agua destilada respectivamente en tubos de centrifuga.

2.11.4 Propiedad emulsificante

Se determinó la capacidad emulsificante (AE) según lo reportado por (Neto et al., 2001), donde se mezcló 5 mL de la muestra en 20 mL de agua destilada, agitando por 15 minutos. Posteriormente se agregó la misma cantidad de aceite de canola, homogeneizando en una licuadora Ozterizer blender de 2 velocidades y posteriormente centrifugando, los resultados se expresan en términos de porcentaje mediante la ecuación 2.2.

$$AE(\%) = \frac{\text{Altura de la capa emulsificada en el tubo}}{\text{Altura del contenido total del tubo}} \times 100 \quad (2.2)$$

La estabilidad de la emulsión formada (EE) se determinó a través del calentamiento de ésta a 80°C por 30 minutos y posteriormente centrifugando.

$$EE(\%) = \frac{\text{Altura de la capa emulsificada despues de calentar}}{\text{Altura del contenido total del tubo despues de calentar}} \times 10 \quad (2.3)$$

2.11.5 Propiedad espumante

Se determinó a partir de lo descrito por (Bencini, 1526), donde se mezclaron 2 g de la muestra de harina en 50 mL de agua destilada homogeneizando en una licuadora Ozterizer blender de 2 velocidades, la espuma resultante se movió a una probeta graduada de 500 mL para medir el volumen inicial y 30 segundos después se repitió la medición. La capacidad de formación de espuma (FC) se expresó en porcentaje mediante la ecuación 2.4, y la estabilidad de la espuma (FS) con la ecuación 2.5 a intervalos de 5, 10, 15, 30, 60 y 120 min.

$$FC(\%) = \frac{AW - BW}{BW} \times 100 \quad (2.4)$$

Donde FC= capacidad de formación de espuma (%); AW= volumen final a los 30 segundos posterior al batido (mL); BW= volumen antes del batido (mL).

$$FS(\%) = \left(\frac{V_{60}}{V_0} \right) \times 100 \quad (2.5)$$

Donde FS= estabilidad de la espuma (%); V_{60} volumen de la espuma posterior a los 60 minutos de batir (mL); V_0 = volumen de la espuma inmediatamente después del batido es decir a los 0 minutos (mL).

2.13 Análisis proximal

El análisis proximal determina el contenido de humedad dado en porcentaje, grasas, carbohidratos, cenizas, y proteínas presentes en este caso, se realizaron por triplicado a cada muestra harina de papa (*Oxalis tuberosa*) resultante, a través los métodos descritos a continuación.

2.13.1 Cenizas

Para la obtención del porcentaje de ceniza, se llevó a cabo el método descrito por la AOAC (Association of Official Analytical Chemists) donde se pesó la muestra en un crisol de peso conocido, carbonizando en una parrilla a 350° por 3 horas, hasta que se notó un color blanquecino en la muestra calcinada, posteriormente introduciéndola a la mufla a 550°C para eliminar en su totalidad los restos, enfriando en temperatura ambiente, se aplicó la siguiente formula:

$$\% \text{ de cenizas} = \frac{w1 - w2 \times 100}{w} \quad (2.6)$$

Dónde: w1 = Peso del crisol más la muestra calcinada

w2= Peso del crisol solo

w= Peso de la muestra

2.13.2 Grasas

La determinación de grasas se llevó a cabo mediante el método Soxhlet, el cual ofrece varias ventajas como el ser un proceso eficiente, el disolvente utilizado se puede reutilizar, la muestra no sufre cambios. Este proceso se describe a continuación:

- La muestra se coloca en el matraz (cámara de extracción).
- El disolvente (hexano) se vierte en el matraz balón con peso conocido.
- Se enciende la parrilla, la cual calienta el matraz y el disolvente se evapora para condensarse en la cámara de extracción.
- Después de las descargas necesarias, los lípidos se quedan en el matraz balón.
- Posteriormente pasadas 5 horas de reflujo, se recupera el disolvente, para pesar la grasa adherida al matraz.

2.13.3 Proteínas

El proceso a seguir para la determinación de proteínas fue mediante el método Kjeldhal de acuerdo a lo reportado por la AACC (American Association of Cereal Chemist), el cual determina el contenido de nitrógeno de la muestra. Este proceso se lleva a cabo a partir de tres etapas que se describen a continuación:

- Digestión: etapa en la cual el nitrógeno se convierte, sometido a 400°C aproximadamente, añadiendo ácido sulfúrico y sulfato de cobre como catalizador.
- Destilación: división por arrastre de vapor del amoníaco, agregando agua destilada, hidróxido de sodio, y homogeneizar las dos fases formadas, destilar hasta un volumen aproximado de 200 mL.
- Titulación: al destilado se agrega indicador de Toshiro y titulando con ácido clorhídrico (HCL) hasta obtener el color rosa deseado.

2.13.4 Fibra dietética total

La fibra se entiende como la suma de lignina y polisacáridos no almidónicos, así como diversos polisacáridos de vegetales que presentan resistencia a la digestión humana en las enzimas. La determinación de la fibra dietética total presente en la harina de papa (*Oxalis tuberosa*) se determinó a partir del método descrito por la AACC (American Association of Cereal Chemist).

2.13.5 Carbohidratos

Los carbohidratos se obtuvieron a partir del porcentaje remanente de la cuantificación de los principales componentes del alimento, es decir:

(2.7)

$$\% \text{ Carbohidratos} = 100 - \% \text{ Humedad} - \% \text{ Proteína} - \% \text{ Grasas} - \% \text{ Cenizas}$$

El consumo recomendado para un adulto es en promedio no más del 50% de la ingesta diaria, se recomienda elegir hidratos completos y así evitar picos de azúcar que producen los hidratos simples.

2.14 Análisis estadístico

Concluidas las determinaciones experimentales con los valores obtenidos de a_w , humedad y color, se realizó el análisis estadístico ANOVA con prueba de Tukey aplicando el software Minitab *Statistical* Versión 20.

CAPÍTULO III

RESULTADOS Y DISCUSION

3.1 Caracterización fisicoquímica de la papa (*Oxalis tuberosa*)

Se realizó la caracterización fisicoquímica de la papa extranjera (*Oxalis tuberosa*) en su estado fresco sin tratamiento previo, obteniendo los resultados que se muestran en la Tabla 3.1.

Tabla3.1 Caracterización fisicoquímica de papa extranjera (*Oxalis tuberosa*).

Parámetro	Unidad	Resultado
Ceniza	%	0.76 ^{0.026}
Humedad	%	85.97 ^{0.014}
pH	-	4.92 ^{0.032}
Grasa	%	5.01 ^{0.018}
a _w	-	0.93 ^{0.031}
Color	L*	27.98 ^{0.24}
	a*	4.85 ^{0.017}
	b*	6.29 ^{0.011}

*Parámetros de color CIELab.

Como se puede observar, la composición de la papa, en su mayoría, es agua, por lo que esto la vuelve susceptible al deterioro, acortando su vida útil y por ende su aprovechamiento.

3.2 Secado por charolas de papa extranjera *Oxalis tuberosa*

Durante el proceso de secado por lecho fijo es decir por charolas de *Oxalis tuberosa* se consideraron como variables de respuesta: actividad de agua, humedad y color, las cuales tienen la función de indicar la deshidratación a través del tiempo, así como la calidad del producto final obtenido.

3.3 Contenido de humedad

El porcentaje de humedad en la papa extranjera *Oxalis tuberosa* es un factor determinante, ya que influye directamente en propiedades características tales como el sabor, textura, y tiempo de almacenamiento.

En la presente investigación se buscó obtener un producto final (harina de papa extranjera) estable. Para poder lograr el objetivo, se realizaron diversos experimentos para obtener los mejores valores para los factores (temperatura, tipo de corte, tratamiento de ácido ascórbico, humedad, a_w, color) donde se obtuviera una estabilidad en sus características.

Los resultados obtenidos de la humedad con sus respectivas desviaciones estándar y condiciones de secado para los diferentes experimentos planteados se muestran en la Tabla 3.2.

Tabla 3.2 Valores experimentales para el contenido de humedad

Experimento	Temperatura	Tipo de corte	Tratamiento	%Humedad
1	50	T	A/A	35.31 ^{0.244}
2	50	T	S/A	36.33 ^{1.572}
3	50	L	A/A	33.42 ^{0.662}
4	50	L	S/A	22.64 ^{1.304}
5	60	T	A/A	24.07 ^{1.116}
6	60	T	S/A	19.24 ^{0.035}
7	60	L	A/A	13.48 ^{1.173}
8	60	L	S/A	12.78 ^{0.394}
9	70	T	A/A	5.45 ^{0.056}
10	70	T	S/A	5.68 ^{0.596}
11	70	L	A/A	5.42 ^{0.035}
12	70	L	S/A	5.65 ^{0.486}

La prueba estadística ANOVA con prueba de Tukey ($\alpha \leq 0.05$) indicó una diferencia significativa entre el secado a 50°C y 60°C disminuyendo notablemente el contenido de humedad y a_w , realizando la prueba nuevamente para las temperaturas de 60°C y 70°C, los valores indicaron que el secado a 70°C proporciona los parámetros más bajos de porcentaje de humedad y actividad de agua al final del proceso.

3.3.1 Curvas representativas del cambio de la humedad con respecto al tiempo

Durante el proceso de secado se siguieron los cambios que presentó la humedad de las muestras con respecto al tiempo. Estas mediciones se realizaron cada 15 minutos durante la primera hora, posteriormente cada 30 minutos cada hora hasta completar en total 5 horas de proceso de secado.

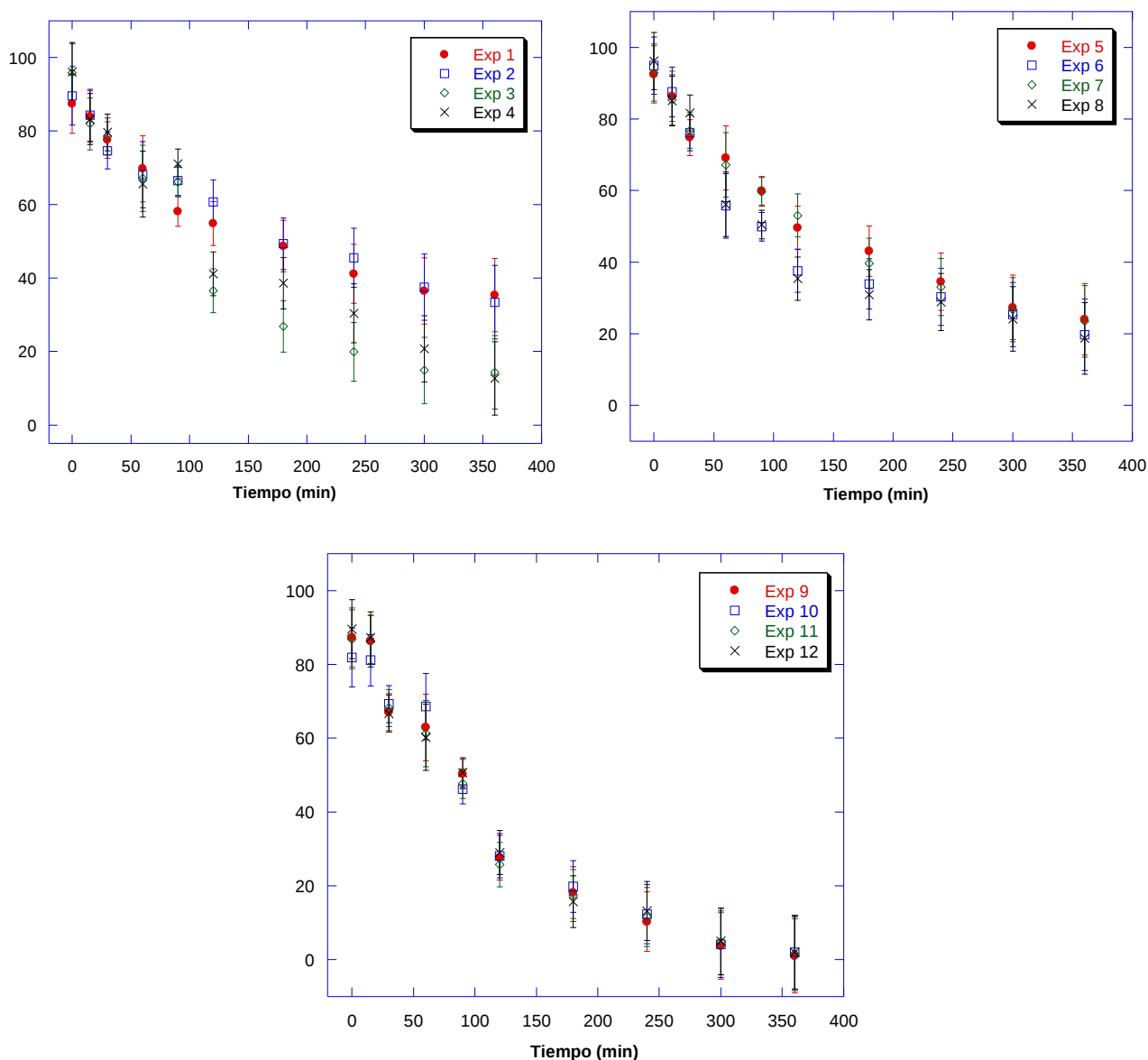


Figura 3.1 Evolución del contenido de humedad durante el proceso de secado a a)50°C, b)60°C y c)70°C

En la figura 3.1, se muestra la evolución del contenido de humedad durante el proceso de secado por charolas de la papa extranjera *Oxalis tuberosa* a 50°C, 60°C y 70°C con los dos tipos de corte transversal y longitudinal.

Se puede observar que las 4 curvas que presentan los experimentos del 1 al 4 presentan un comportamiento similar, resaltando el 1 y el 3 los cuales presentan tratamiento con ácido ascórbico, la disminución significativa de humedad se lleva a cabo dentro de los primeros 150 minutos, posterior a este tiempo, continúa hasta volverse estable.

La segunda grafica corresponde a las curvas representativas de la remoción de humedad para los experimentos del 5 al 8 durante el secado a 60°C aplicando los dos cortes, se puede observar que su comportamiento es similar, el experimento 5 y 7 presentan tratamiento con ácido ascórbico.

En la tercera grafica se muestran las curvas representativas correspondientes a los experimentos del 9 al 12 para la pérdida del contenido de humedad a 70°C, para los dos tipos de corte, los experimentos 9 y 11 presentan tratamiento con ácido ascórbico, los cuales mostraron los mejores resultados para la remoción del mayor porcentaje de humedad.

Los resultados de la remoción de la humedad en los experimentos a las tres temperaturas utilizadas, arrojan resultados en los que se puede observar mediante las curvas representativas, que el mayor porcentaje eliminado se presenta dentro de los 100 a 150 minutos, posteriormente los valores obtenidos están dentro de los parámetros de estabilidad para la conservación de alimentos.

Pérez *et al.* (2006), en su investigación realizada, titulada “Secado de diferentes variedades de chayote mexicano” presentan curvas de pérdida de humedad cuyo comportamiento es similar a las presentadas en este trabajo, dentro de sus resultados muestran un efecto considerable de la temperatura utilizada para el secado sobre el contenido de humedad a través del tiempo.

3.4 Actividad de agua durante el proceso de secado por charolas

La actividad de agua (a_w) influye en la estabilidad de los alimentos, sus reacciones químicas y sus interacciones con otras sustancias que pueden ser determinantes en cambios que resultan muy significativos dentro de la tecnología de elaboración de algunos alimentos (Asistarán I. A., 2003).

Debido a esto, se estudió la evolución de la a_w durante el proceso de secado de la *Oxalis tuberosa*, ya que estas mediciones indican la cantidad de humedad libre total que se encuentra disponible en el alimento para el desarrollo de microorganismos que puedan crecer y alterar la composición y estabilidad del producto. El valor promedio inicial de la a_w fue de 0.995, el cual indica un alto contenido de agua por lo que se considera muy susceptible a la degradación biológica como se muestra en la Tabla 3.3.

Tabla 3.3 Valores experimentales para la actividad de agua

Experimento	Temperatura	Tipo de corte	Tratamiento	a_w
1	50	T	A/A	0.545 ^{0.57}
2	50	T	S/A	0.479 ^{0.04}
3	50	L	A/A	0.485 ^{0.01}
4	50	L	S/A	0.458 ^{0.07}
5	60	T	A/A	0.452 ^{0.08}
6	60	T	S/A	0.358 ^{0.19}
7	60	L	A/A	0.319 ^{0.13}
8	60	L	S/A	0.298 ^{0.02}
9	70	T	A/A	0.288 ^{0.07}
10	70	T	S/A	0.311 ^{0.54}
11	70	L	A/A	0.265 ^{0.07}
12	70	L	S/A	0.298 ^{0.24}

3.4.1 Curvas representativas de la actividad de agua con respecto al tiempo

En la Figura 3.2 se presenta la evolución de la actividad de agua durante el proceso de secado por charolas de la papa extranjera *Oxalis tuberosa* a 50°C, 60°C y 70°C con los dos tipos de corte transversal y longitudinal. Se puede observar que las 4 curvas que presentan los experimentos del 1 al 4 presentan un comportamiento similar, el experimento 1 y el 3 presentan tratamiento con ácido ascórbico, la remoción de humedad significativa se lleva a cabo dentro de los primeros 150 minutos, posterior a este tiempo, continúa hasta volverse estable.

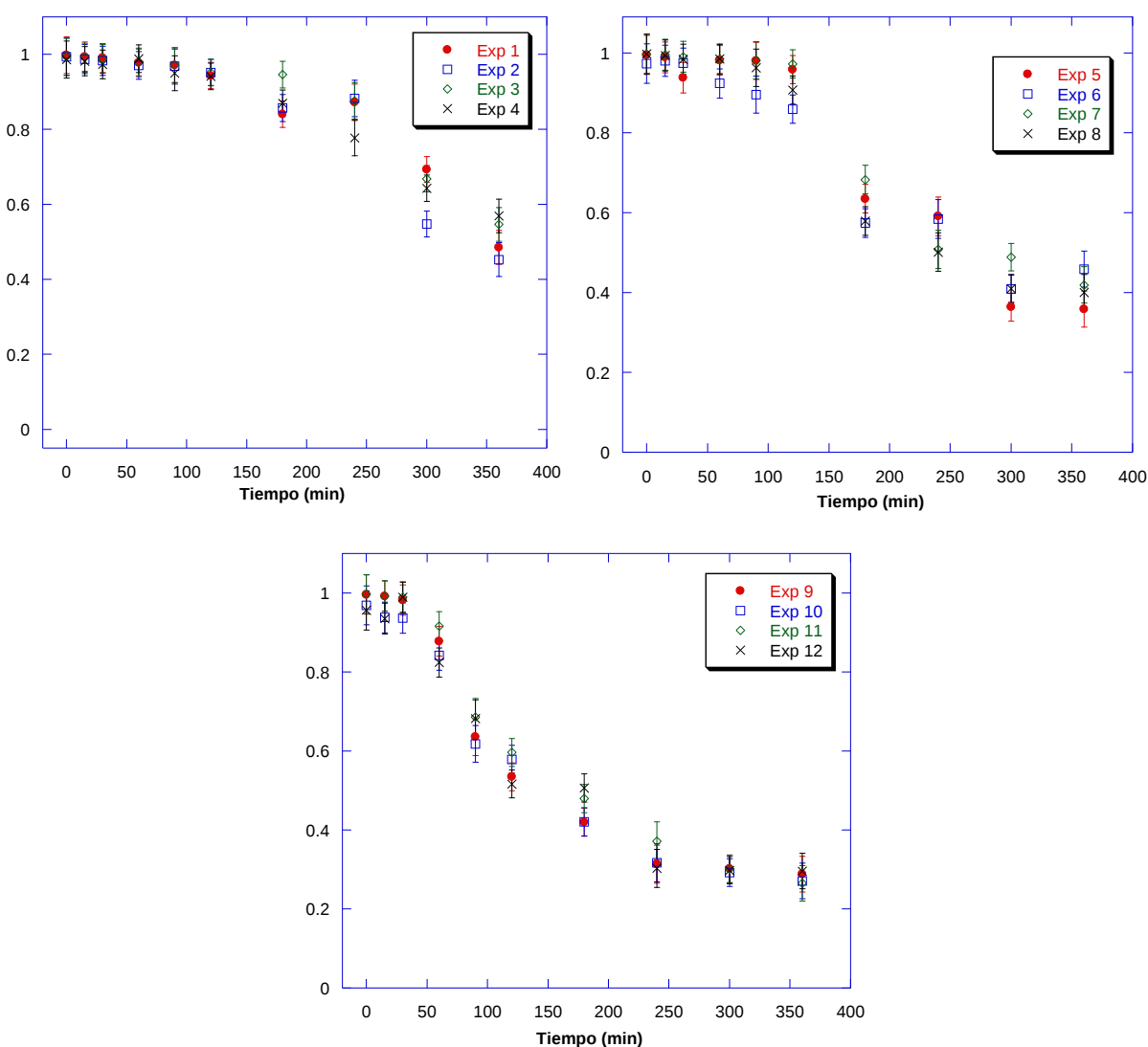


Figura 3.2 Evolución de la actividad de agua durante el proceso de secado a a)50°C, b)60°C y c)70°C

La segunda grafica corresponde a las curvas representativas de la actividad de agua para los experimentos del 5 al 8 durante el proceso de secado a 60°C con diferentes cortes, se puede observar que su comportamiento es similar, el experimento 5 y 7 presentan tratamiento con ácido ascórbico, de acuerdo a los valores finales, a partir de esta temperatura el alimento comienza a ser estable, ya que se obtuvo un resultado entre 3 y 4, lo cual indica que no existe crecimiento bacteriano.

En la tercera grafica se muestran las curvas representativas correspondientes a los experimentos del 9 al 12 para la actividad de agua a 70°C, para los dos tipos de corte, los experimentos 9 y 11 presentan tratamiento con ácido ascórbico los cuales mostraron los mejores resultados de a_w ya que sus valores se encuentran por debajo de 0.3, lo cual es excelente para la conservación sin alteraciones biológicas en productos secos.

Como se observa en las curvas de evolución de actividad de agua durante el secado por charolas de la papa extranjera *Oxalis tuberosa*, presentan comportamientos similares, a 50°C la pérdida de a_w alcanzo valores de entre 0.3 y 0.4, para los 60°C disminuyo a 0.3, y por último el mejor valor obtenido en cuanto a la pérdida del agua disponible en el alimento fue a 70°C, donde se mantuvo por debajo de 0.3.

En general la a_w disminuye más rápido a la temperatura más alta (70°C), esto debido a que, a temperaturas mayores, la velocidad de evaporación es mayor, influyendo en el porcentaje de humedad y consecuentemente en la a_w del producto, garantizando la estabilidad y nulas posibilidades de proliferación de microorganismos, bacterias, hongos y levaduras en el alimento seco.

3.5 Análisis de color durante el proceso de secado por charolas

Las características visuales que presenta un alimento son las que se perciben con los sentidos: del cuerpo humano, aspectos que influyen en el color, olor, sabor y textura de un alimento son muy importantes porque sea cual sea el alimento, puede no ser aceptado si no cuenta con el color o el aroma esperados, por esto que se realizó la evaluación del color a través del proceso de secado de los diferentes tipos de corte de la papa extranjera *Oxalis tuberosa* (transversal y longitudinal), para las tres temperaturas empleadas (50°C, 60°C y 70°C), así como influye la presencia del tratamiento aplicado (ácido ascórbico), ya que este actúa como un antioxidante que conserva ciertas propiedades el alimento.

Como parte de los resultados para esta investigación se evaluaron los parámetros L (luminosidad), a (entre rojo - verde), b (amarillo - azul), ΔE (diferencia entre la muestra fresca y seca) del sistema Hunter, los cuales indican que tanto se degrada el color durante el proceso de secado, si presenta oscurecimiento o se mantiene agradable a la vista. Los valores de color iniciales obtenidos de la papa extranjera *Oxalis tuberosa* fueron L= 29.84, a=15.64, b= 12.68.

3.5.1 Curvas representativas de la evolución del parámetro de color L respecto al tiempo

El parámetro de color L de la papa extranjera *Oxalis tuberosa* evaluada a través del proceso de secado a 50°C se presenta en la Figura 3.3, la primera grafica presenta del experimento 1 al 4, con los dos tipos de corte (transversal y longitudinal) aplicando al 1 y al 3 el tratamiento con ácido ascórbico.

Como se puede observar los valores para el parámetro de color L a esta temperatura de secado presentaron valores relativamente altos comenzando con 29.84 y terminando en un 18.59, lo cual indica que se presentó un oscurecimiento muy ligero sin pérdida significativa de luminosidad en las muestras, se aprecia que, a medida del paso del tiempo, en los primeros 100 minutos el comportamiento de la curva se torna en forma descendente lineal, posteriormente se altera, debido a la degradación del ácido oxálico, lo cual cambia la composición del color.

El parámetro de color L de la papa extranjera *Oxalis tuberosa* evaluada a través el proceso de secado a 60°C se presenta en la segunda gráfica, en la cual se puede observar un comportamiento descendente estable en los primeros 150 minutos la cual corresponde del experimento 5 al 9, con los dos tipos de corte (transversal y longitudinal) aplicando al 5 y al 7 el tratamiento con ácido ascórbico.

Se visualiza que el efecto de la temperatura en este caso influyó en la degradación del color, el primer valor reportado a los 15 minutos fue de 27.46 y con un valor final promedio para los experimentos 5 y 7 de 21.30, para el caso de los 4 y 6 el primero valor fue de 26.72 y con un valor final promedio de 20.13 manteniendo la luminosidad característica del tubérculo.

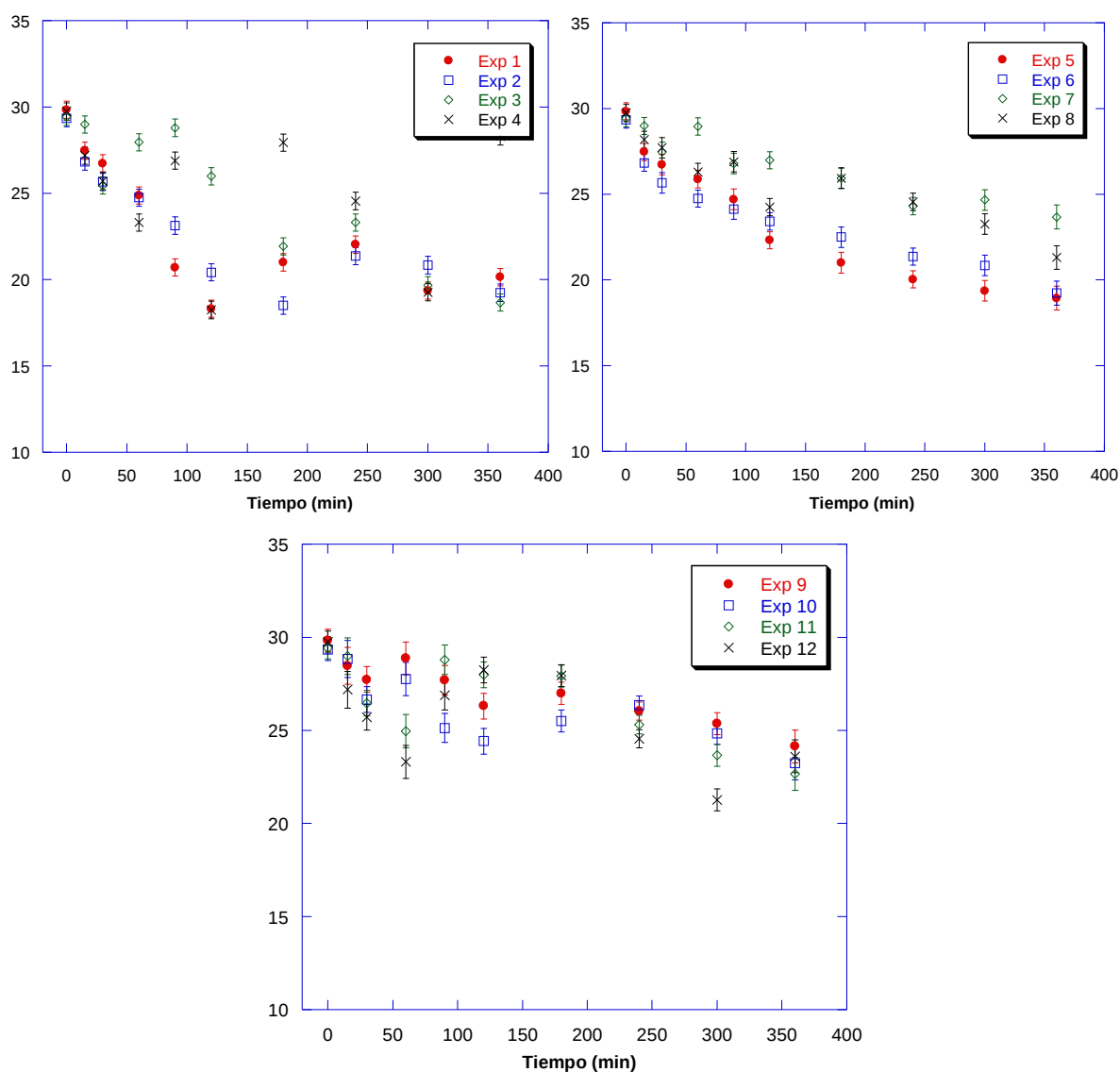


Figura 3.3 Evolución del parámetro de color L durante el proceso de secado a a)50°C, b)60°C y c)70°C

El parámetro de color L de la papa extranjera *Oxalis tuberosa* evaluada durante el proceso de secado a 70°C se presenta en la tercera gráfica, en la cual se puede observar un comportamiento estable durante todo el tiempo de secado, aplicando los dos tipos de corte (transversal y longitudinal) aplicando al 9 y al 11 el tratamiento con ácido ascórbico.

Como se aprecia, los valores a medida que se realizó el secado se mantuvieron altos, donde la primera medición a los 15 minutos fue de 28.74 y el ultimo a los 360 minutos fue de 24.68 para los experimentos 9 y 11 los cuales presentan tratamiento con ácido ascórbico, y 22.14 para los 10 y 12.

Los resultados obtenidos a partir de las condiciones fijadas de temperatura y tratamiento, así como el tipo de corte, indican que la menor pérdida de luminosidad en la muestra de dio en los experimentos 9 y 11.

Comparando las tres graficas anteriores, se puede observar que la temperatura tiene un efecto significativo sobre la intensidad del color final de la papa extranjera *Oxalis tuberosa* ya que, con una temperatura menor de secado, la variación entre el valor inicial y el final del parámetro L es menor, pero dado el tratamiento de ácido ascórbico que es un antioxidante, permitió que la utilizar una temperatura más alta el color no sufriera alteraciones significativas manteniendo niveles altos de luminosidad.

3.5.2 Curvas representativas de la evolución del parámetro de color a respecto al tiempo

El parámetro de color a de la papa extranjera *Oxalis tuberosa* evaluada durante el proceso de secado a 50°C se presenta en la Figura 3.10, la cual presenta del experimento 1 al 4, con los dos tipos de corte (transversal y longitudinal) aplicando al 1 y al 3 el tratamiento con ácido ascórbico.

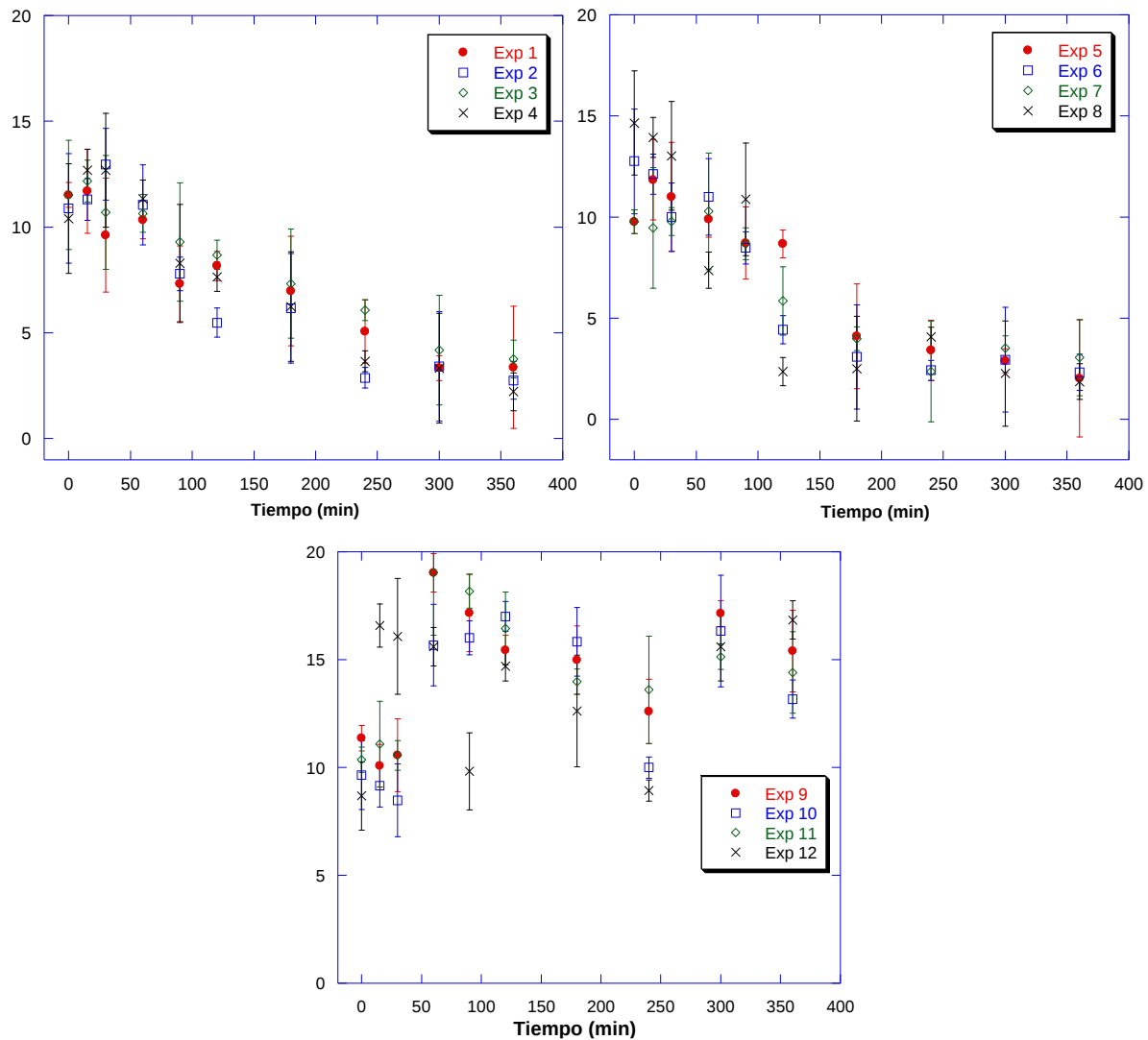


Figura 3.4 Evolución del parámetro de color a durante el proceso de secado a a)50°, b)60°C y c)70°C.

Se puede observar en la figura 3.4 que los datos obtenidos son positivos lo que refiere a que muestra mantuvo su color rojizo característico con un valor de 11.50 para los experimentos 1 y 3 en los primeros 15 minutos y terminando con 3.98, para los experimentos 2 y 5 el primer valor reportado fue de 10.65 y terminando con 2.86.

El parámetro de color a de la papa extranjera *Oxalis tuberosa* evaluada a través el proceso de secado a 60°C se presenta en la segunda curva, la cual presenta del experimento 5 al 8, con los dos tipos de corte (transversal y longitudinal) aplicando al 5 y al 7 el tratamiento con ácido ascórbico.

Se observa que los valores se mantuvieron positivos lo cual indica que la muestra mantuvo su color característico inicial con un valor de 9.84 para los experimentos 5 y 7 en los primeros 15 minutos y terminando con 3.16, para los experimentos 6 y 8 el primer valor reportado fue de 12.49 y terminando con 2.18, no se presentó un cambio significativo en la degradación del color tal como ocurrió a los 50°C.

El parámetro de color a de la papa extranjera *Oxalis tuberosa* evaluada a través del proceso de secado a 70°C se presenta en la tercera curva, la cual presenta del experimento 9 al 12, con los dos tipos de corte (transversal y longitudinal) aplicando al 9 y al 11 el tratamiento con ácido ascórbico.

Los resultados obtenidos para estos experimentos reportan una variabilidad en los datos, debido al aumento de la temperatura la cual degrada el color, el tratamiento con ácido ascórbico recubre este color lo cual hace que no ocurra una oxidación significativa.

3.5.3 Curvas representativas de la evolución del parámetro de color b respecto al tiempo

El parámetro de color b de la papa extranjera *Oxalis tuberosa* evaluada durante el proceso de secado a 50°C, 60°C y 70°C se presenta en la Figura 3.5, la cual, la primera grafica presenta del experimento 1 al 4, con los dos tipos de corte (transversal y longitudinal) aplicando al 1 y al 3 el tratamiento con ácido ascórbico.

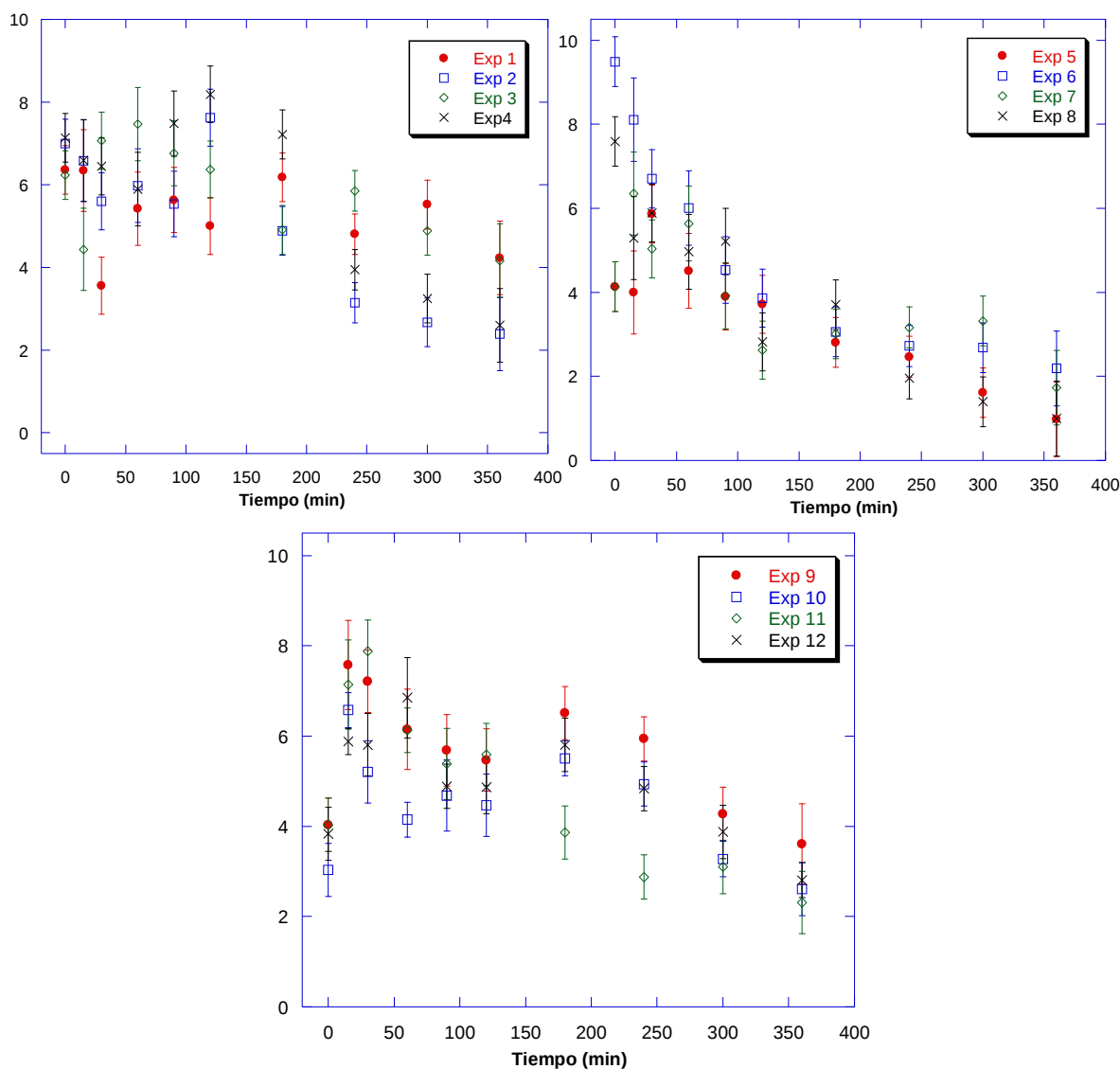


Figura 3.5 Evolución del parámetro de color b durante el proceso de secado a a)50°, b)60°C y c)70°C

Se puede observar en la figura 3.5 que los valores son positivos en los primeros 90 minutos lo cual indica que la muestra presento tonalidades de verdes característico con un valor de 6.50 para los experimentos 1 y 3 y terminando con 2.98, para los experimentos 2 y 4 el primer valor reportado fue de 6.34 y terminando con 2.86.

El parámetro de color a de la papa extranjera *Oxalis tuberosa* evaluada en el tiempo de secado a 60°C se presenta en la segunda curva, la cual presenta del experimento 5 al 8, con los dos tipos de corte (transversal y longitudinal) aplicando al 5 y al 7 el tratamiento con ácido ascórbico.

Se observa que los valores se mantuvieron positivos en los primeros 120 minutos, posteriormente la curva se presentó un comportamiento descendente lo cual indica que la muestra paso a tonalidad azul – violeta, mantuvo su color característico inicial con un valor de 4.84 para los experimentos 5 y 7 en los primeros 15 minutos y terminando con 2.16, para los experimentos 6 y 8 el primer valor reportado fue de 8.49 y terminando con 2.18, no se presentó un cambio significativo en la degradación del color tal como ocurrió a los 50°C.

El parámetro de color a de la papa extranjera *Oxalis tuberosa* evaluada durante el proceso de secado a 70°C se presenta en la tercera curva, la cual presenta del experimento 9 al 12, con los dos tipos de corte (transversal y longitudinal) aplicando al 9 y al 11 el tratamiento con ácido ascórbico.

Los resultados obtenidos para estos experimentos reportan una variabilidad en los datos, debido al aumento de la temperatura la cual degrada el color, el tratamiento con ácido ascórbico recubre este color lo cual hace que no ocurra una oxidación significativa, analizando los resultados del parámetro a se puede observar un color violeta brillante.

3.5.4 Curvas representativas de la evolución del parámetro de color ΔE respecto al tiempo

El parámetro ΔE indica la diferencia entre el color de la muestra en estado fresco y al finalizar el proceso de secado, por lo tanto, este indica si presenta degradación, oscurecimiento o pérdida en la luminosidad del alimento debido a la exposición al calor y la pérdida de agua en su composición, se puede observar en la Figura 3.6, que, al paso del tiempo, no disminuye la luminosidad, se mantiene en niveles de entre 10 y 20 los cuales indican una conservación en su color característico.

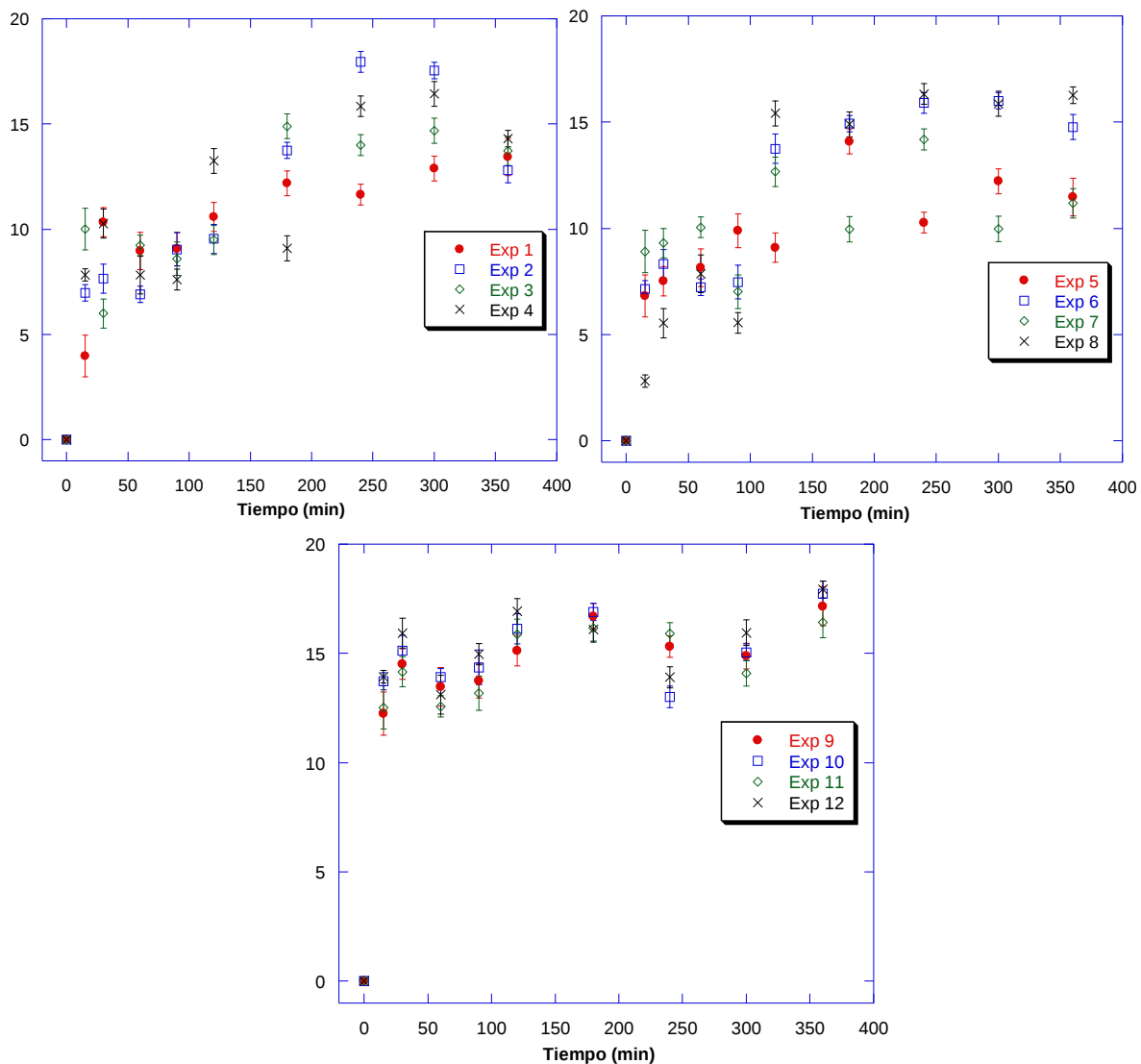


Figura 3.6 Evolución del parámetro de color ΔE durante el proceso de secado a a)50°, b)60°C y c)70°C

En la primera grafica se presentan los resultados para los experimentos del 1 al 4 con una temperatura de 50°C, se aprecia que el comportamiento de la gráfica tiene un comportamiento ascendente estable en un intervalo de 5 a 10 hasta el minuto 300 donde ocurre una caída ligera terminando en 14.68, la segunda grafica corresponde a los experimentos del 5 al 8 con una temperatura de 60°C donde dentro de los primeros 100 minutos, la muestra no sufrió cambios significativos, posteriormente en el minuto 150 los experimentos 6 y 8 fueron los que presentaron mayor cambio, por último, la tercera grafica corresponde a los experimentos del 9 a 12, donde se aprecian valores altos arriba de 10 y estables en comparación a los anteriores

3.5 Molienda y obtención de la harina de papa extranjera *Oxalis tuberosa*

La molienda de la muestra deshidratada obtenida mediante el proceso de secado se realizó en dos partes, para que la trituration fuera uniforme, se colocó la muestra dentro del pulverizador de aspas modelo GRT-20B como se observa en la Figura 3.7.



Figura 3.7 Muestra seca dentro del molino de aspas modelo GRT-20B

Se obtuvo un polvo con textura granulada, para la disminución del tamaño de partícula se aplicó un tamizado en malla fina del #40 para obtener un tamaño de partícula de 420 micrones que de acuerdo a (Rosentrater, 2018) para poder cumplir con las especificaciones de formulación de pastas.

Cualquier tipo de harina empleadas tienen que cumplir con la granulometría de entre 150 μm y 450 μm , es decir con tamices de #40 y #100, posterior al tamizado se obtuvo un polvo suave y fino con un color agradable a la vista tal como se muestra en la Figura 3.8.



Figura 3.8 Harina de papa extranjera (*Oxalis tuberosa*) posterior al tamizado

De acuerdo a (Bezerra, 2018) una harina con una alta uniformidad en su granulometría, promueve una mejor calidad sensorial de textura, sabor y apariencia al producto final deseado, ya que esta, absorbe el agua de manera homogénea y conlleva a una cocción uniforme en el alimento formulado.

3.6 Análisis de las propiedades funcionales de harina de papa (*Oxalis tuberosa*)

En la Tabla 3.4 se presentan los datos obtenidos promedio y sus desviaciones estándar de la experimentación de las propiedades funcionales (capacidad de absorción de agua, capacidad de absorción de aceite, propiedad emulsificante, estabilidad de la emulsión, concentración mínima de gelificación, capacidad y estabilidad de formación de espuma de harina obtenida de *Oxalis tuberosa*, estas propiedades están directamente relacionadas con las interacciones existentes en sus componentes.

Tabla 3.4 Valor promedio (y desviación estándar) de las propiedades funcionales de la harina de papa extranjera *Oxalis tuberosa*

Propiedad funcional	Unidad	Resultado
Capacidad de absorción de agua (CAA)	(g agua/g muestra)	2.02 ^{0.1}
Capacidad de absorción de grasas (CAG)	(g aceite/g muestra)	1.75 ^{0.35}
Propiedad emulsificante (AE)	(%)	50.12 ^{0.92}
Estabilidad de la emulsión (EE)	(%)	51.47 ^{1.05}
Concentración mínima de formación de gel	(%)	2
Propiedad espumante (FC)	(%)	26.47 ^{0.76}
Estabilidad de la espuma (FS)	(%)	90 ^{0.68}

3.6.1 Capacidad de absorción de agua (CCA)

El porcentaje de retención de agua es la característica que indica la capacidad de retener el líquido en la harina, esto indica la capacidad de rendir de la masa formada. La harina de papa extranjera mostró un valor de 2.02^{0.1} g/g, el cual es levemente inferior a lo reportado por (Euler Miquilena, 2016), el cual realiza la comparación entre 4 harinas de granos. La CCA de las proteínas de los alimentos depende de factores intrínsecos tales como composición de aminoácidos, conformación proteica y polaridad superficial o hidrofobicidad. Harinas con altos niveles de absorción de agua, pueden contener componentes más hidrófilos tales como polisacáridos (Chandra, 2015), por esta razón, la harina de papa (*Oxalis tuberosa*) resulta útil en la elaboración de productos en los que se necesite cierto nivel de viscosidad como salsas, sopas etc.

En la Figura 3.9 se aprecia en la parte baja del tubo de centrifuga, la parte de la harina la cual absorbió el agua, tornándose de un color rosa característico de la papa.



Figura 3.9 Capacidad de absorción de agua (CCA) de la harina de papa (*Oxalis tuberosa*)

3.6.2 Capacidad de absorción de grasa (CAG)

La capacidad de absorción de grasa y/o aceite de un alimento, está relacionada directamente con el número de cadenas laterales no polares de las proteínas contenidas, las cuales se enlazan con las cadenas hidrocarbonadas de la grasa (Sgarbieri, 1998). Según (Dobarganes, 2000) variables como la estructura de la superficie, la humedad, el contenido de lípidos, la relación superficie/peso y la porosidad son parámetros que afectan a esta capacidad, por lo que la harina de papa (*Oxalis tuberosa*) presenta niveles idóneos para que se lleve a cabo esta función. Con un valor obtenido de $1.75^{0.35}$ g/g se puede definir como una buena capacidad de absorción de grasa, se dice que estructuras alimentarias con este nivel de retención permite y hace más fácil la elaboración de embutidos, y al mismo tiempo disminuye las pérdidas que presenta por la cocción y así ayuda a la estabilidad del producto. En la Figura 3.10 se observa el nivel de absorción de aceite en los tubos posterior al centrifugado.

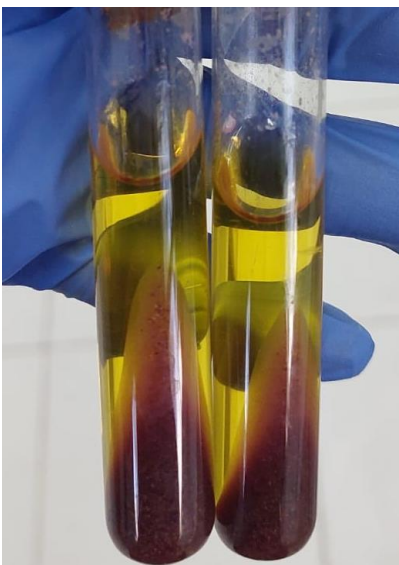


Figura 3.10 Capacidad de absorción de grasa (CAG) de la harina de papa (*Oxalis tuberosa*)

3.6.3 Propiedad gelificante

La propiedad gelificante se refiere a la capacidad que tiene la harina de formar gel con una matriz estructural ideal para absorber agua, así como diversos compuestos solubles en agua como azúcar, sal o saborizantes. Esta propiedad puede variar entre diferentes harinas ya que depende de los componentes estructurales como carbohidratos, lípidos y proteínas presentes en cada una (Sathe S. D., 1982). Se determinó a partir de lo estudiado por (Lawal, 2004) que entre más proteína contenga la harina en cuestión, la interacción entre las fuerzas de unión aumenta dando una mejor consistencia al gel formado, esto indica que un valor menor de concentración de harina, mejor será la capacidad gelificante de la harina.

La concentración mínima de gelificación de la harina de papa (*Oxalis tuberosa*) presentó un valor del 2% el cual indica un buen rendimiento, donde con poca muestra se obtiene la consistencia deseada para elaboración de gomitas o productos donde se necesite este tipo de texturas gelatinosa, tal como se aprecia en la Figura 3.11.

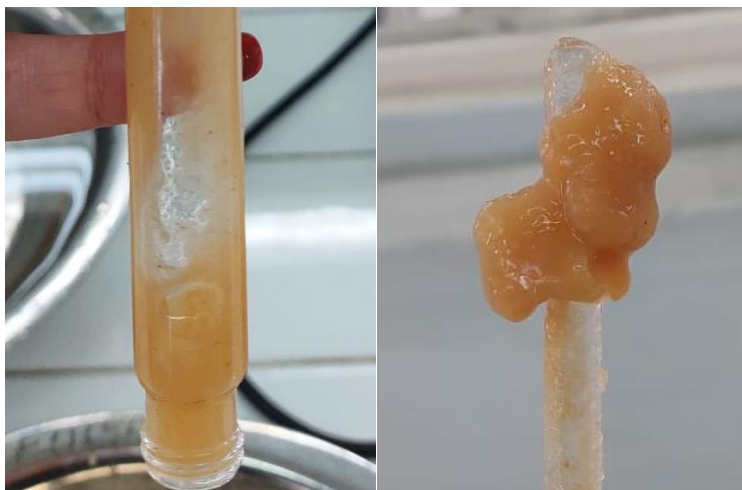


Figura 3.11 Capacidad gelificante de la harina de papa (*Oxalis tuberosa*)

3.6.4 Propiedad emulsificante (AE) y estabilidad de la emulsión (EE)

La emulsión es definida como la dispersión o suspensión de dos líquidos inmiscibles, en la cual intervienen fuerzas de atracción, repulsión, estéricas y de agotamiento (Chel, 2003), es decir que la capacidad emulsificante mide la migración de las proteínas a la interface aceite-agua. Según lo reportado por (McWatters, 1977) se considera que las propiedades emulsificantes están relacionadas con la cantidad de proteína soluble e insoluble, así como otros componentes como los polisacáridos, por este motivo, la capacidad de formar emulsiones en el caso de las harinas depende del balance de los grupos hidrofílicos y lipofílicos presentes.

La propiedad emulsificante de la harina de papa (*Oxalis tuberosa*) presentaron resultados favorables para darle la característica de viscosidad durante el proceso de elaboración de alimentos con un 50.12^{0.92} % obtenido, en la Figura 3.12 se observa las dos interfaces, en color amarillo brillante se visualiza la cantidad formada por la absorción del aceite posterior al centrifugado, pero antes del mezclado y el drene del líquido sobrante.



Figura 3.12 Capacidad emulsificante de la harina de papa (*Oxalis tuberosa*)

Con un $51.47^{1.05}\%$ de estabilidad presentada, posterior al drenado del líquido sobrante como se muestra en la Figura 3.13, indica un rendimiento e idoneidad para la elaboración de alimentos como aderezos o salsas, la EE está relacionada con la habilidad para reducir la tensión interfacial entre el aceite y el agua de la emulsión en sí la cual muestra un resultado aceptable.



Figura 3.13 Estabilidad de la emulsión de la harina de papa (*Oxalis tuberosa*)

3.6.5 Propiedad espumante (FC) y estabilidad de la espuma (FS)

La capacidad que tienen las harinas para formar espuma, depende directamente de la presencia de las moléculas proteicas flexibles que puedan disminuir la tensión superficial del agua (Ghribi, 2015). Según lo estudiado por (Sathe S. D., 1982) cuanto mayor sea el porcentaje de espuma formada, mejor se mantienen las estructuras en matrices alimentarias. Las espumas en sí, son sistemas bifásicos que involucran una retención agua-aire para añadir volumen a la mezcla, con un 26.47^{0.760}% de capacidad espumante, la harina de papa (*Oxalis tuberosa*) indica que presenta una dispersión constante de burbujas la cual agrega características como textura blanda y ligera, así como el aumento en la intensidad del aroma.

La estabilidad de la espuma es un factor indicante de la capacidad de las proteínas presentes en la harina para estabilizarse frente a tensiones gravitacionales y mecánicas (Fennema, 1996). La FS de harina de papa (*Oxalis tuberosa*) presentó un alto valor de estabilidad del 90^{0.680}% tras 60 minutos de reposo posterior al agitado.

3.7 Análisis proximal

La composición proximal de la harina de papa (*Oxalis tuberosa*) obtenida se muestra en la Tabla 3.5, donde se analizaron contenido de ceniza, grasa, proteínas, fibra, carbohidratos y humedad final.

Tabla 3.5 Composición proximal* de la harina de papa (*Oxalis tuberosa*) obtenida

Determinación	Unidad	Harina de papa (<i>Oxalis tuberosa</i>)
Ceniza	(%)	1.58 ^{0.162}
Grasa	(%)	5.72 ^{0.147}
Proteína	(%)	9.95 ^{0.139}
Fibra	(%)	7.93 ^{0.153}
Carbohidratos	(%)	69.23 ^{0.195}
Humedad	(%)	0.156 ^{0.143}

Según los resultados obtenidos, se puede observar una composición rica en carbohidratos del 68.23%, seguido por proteínas con 9.95% y grasas del 7.72%.

Estos valores fueron contrastados con un estudio realizado por (Vega M. J., 2012) donde realiza el análisis proximal de harina de maíz amarillo obteniendo resultados similares aunque menores a lo obtenido en el presente trabajo con 7.55% de proteína, 2.37% de fibra, 1.43% de ceniza.

Otro estudio realizado por (Fuentes, 2017) analiza la composición de la harina de papa chola (*Solanum tuberosum*) y sus derivados, donde presenta similitud en el parámetro de fibra, ya que se le atribuye a la metodología empleada para la obtención de la harina se ocupó la muestra sin pelar, es decir con cáscara, tal como en esta investigación.

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

En la presente investigación se caracterizó fisicoquímicamente la papa extranjera (*Oxalis tuberosa*) en cuestiones de humedad, color y a_w , antes, durante y posterior al proceso de secado en lecho fijo, obteniendo un alto contenido de humedad ($85.97^{0.014}$) en su estado fresco, volviéndose un factor determinante para su disponibilidad de almacenamiento, lo cual se reduce al aplicar el método de conservación ($5.42^{0.035}$) volviéndose estable y sin riesgo de deterioro biológico.

El secado se trabajó bajo las condiciones establecidas por un diseño de experimentos de forma $3 \times 2 \times 2$, evaluando una variable cuantitativa (temperatura de secado °C) y dos variables cualitativas (forma de corte y tratamiento).

Se emplearon dos tipos de corte efectuados en la muestra de papa (*Oxalis tuberosa*), esto debido a la superficie de contacto que presentan, con un diámetro de 1.5 cm y 0.5 cm de grosor para el corte transversal y 5 cm de largo con 1.5 cm de ancho para el corte longitudinal aproximadamente, se encontró que la remoción de agua durante el proceso se efectuó a una mayor velocidad en el tipo de corte transversal.

Los tres tipos de temperaturas utilizadas fueron de 50°C, 60°C y 70°C, encontrando que, en la primera, el tiempo de secado se prolongaba por más tiempo (9 hr.) debido al alto porcentaje de agua disponible en el tubérculo (0.96), por lo que tardaba más en eliminarse a niveles deseados, en la segunda temperatura utilizada, el proceso se redujo considerablemente (7 hr.) obteniendo una reducción significativa en la a_w (0.46) pero se consideró un tiempo aún largo, en la tercera temperatura empleada el tiempo del proceso de secado fue mucho más bajo (5 hr.), arrojando una actividad de agua excelente para un nulo deterioro microbiológico (0.29) en un lapso de tiempo aceptable.

El uso de pretratamiento con ácido ascórbico en las muestras fue un factor determinante en la diferencia de color entre la muestra fresca y la muestra seca, desde la primera medición en el minuto 0, hasta la última según fueran los tiempos, la diferencia de color no obtuvo valores menores a 10 unidades por lo que no presentó oscurecimiento en la muestra, conservando luminosidad y color característico según los parámetros de acuerdo a la escala de color HunterLab.

Para obtener la harina se optó por aplicar molienda a través de un molino de aspas y se aplicó la reducción de tamaño de partícula por tamizado (420 micrones), con las muestras obtenidas a sobre los mejores resultados obtenidos derivados del diseño de experimentos plateado, estos fueron a una temperatura de 70°C durante 5 horas de secado, con un corte transversal aplicando tratamiento de ácido ascórbico.

Obteniendo una humedad de 5% y una actividad de agua de 0.33, se considera la harina de *Oxalis tuberosa* totalmente estable, donde no existe crecimiento bacteriano ni con alteraciones fisicoquímicas en cuanto al color, presentando un valor menor al 10% de diferencia entre muestra fresca y posterior al secado.

El análisis de las propiedades funcionales, indicaron que presenta una capacidad de absorción de agua y grasas ideal para la formulación de productos como sopas, salsas y masas, ya que aporta fluidez a la mezcla.

La propiedad emulsificante y su estabilidad presentaron resultados favorables para darle la característica de viscosidad durante la formulación de productos alimenticios.

La concentración mínima de gelificación presentó un valor del 2%, el cual indica un buen rendimiento, donde con poca muestra se obtiene la consistencia deseada para elaboración de gomitas.

El 26% de capacidad de formación de espuma indica una buena respuesta al batido y capacidad de retener aire en las mezclas, ideal para el campo de la repostería.

Se realizó el análisis proximal de la harina final obtenida, encontrando valores altos de carbohidratos ($69.23^{0.195}$) y proteínas ($9.95^{0.139}$) lo cual indica que este alimento es una fuente importante de nutrientes esenciales para la vida diaria, pudiendo consumirla de diferentes formas ya sea en su estado natural o como aditivo.

En su totalidad los resultados obtenidos son satisfactorios, tanto para la estabilidad como para la aplicación en los procesos alimentarios, las investigaciones futuras serán enfocadas a la elaboración de productos que cumplan con las características fisicoquímicas y organolépticas para la aceptación de esta harina.

REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS

REFERENCIAS (s.f.).

- A., N. J. (2001). Dietary reference intakes: vitamin A, vitamin K, arsenic, boron, chromium, copper, iodine, iron, manganese, molybdenum, nickel, silicon, vanadium and zinc. *Food and Nutrition Board, Institute of Medicine*.
- Ahmed, J. a.-A. (2015). Effect of drying method on reological, thermal, and structural properties of chesnut flour doughs. *Food Hydrocolloids*, 51.
- Ahn SH, e. a. (2005). Sterile 20 kinase phosphorylates histone H2B at serine 10 during hydrogen peroxide-induced apoptosis. *S. cerevisiae*.
- Alam, M. N. (2013). Review on in vivo and in vitro methods evaluation of antioxidant activity. *Saudi Pharmaceutical*.
- Alonso J., G.-J. K.-L. (2014). Produccion de harina de papa para puré instantaneo. *Universidad Nacional de Ingenieria*.
- Alonso, J.-J. G.-L. (2014). Producción de harina de papa para puré instantáneo. . *Nexo Revista Científica*, 16.
- Antolovich, M. P. (2002). Methods for testinf antioxidant activity. . *Analyst*, 183.
- Asistarán I. A., L. A. (2003). Alimentos y nuestricion en la practica sanitaria. *Ediciones Díaz de Santos*.
- Barboza Vega, H. (2000). Deshidratación de Alimentos. *Eduatorial Acribia S.A.*, 27.
- Barboza, G. y. (2000). Deshidratación de Alimentos. *Edutorial Acribia S.A. Zaragoza España*,, 27-35.
- Barth, A. (2007). Deshidratación de Alimentos. *Editorial Acribia S.A.* .
- Bello Perez, L. P. (2009). Amylopectin properties and fine structure. *Food Chemistry*, 56.
- Bencini, M. (1526). Functional properties of drum-dried chickpea (*Cicer arietinum* L.) flours. *J. Food Sci.*
- Benzie, I. F. (1996). The ferric reducing ability of plasma (FRAP) as a measure of antioxidant power. *Abakytical biochenistry*, 70.
- Beuchat. (1977). Functional and electrophoretic characteristics of succinylated peanut flour protein. *J Agricult Food Chem*.
- Bezerra, M. K.-S. (2018). Granulometric and Technological Characteristics of Whole Flours from Commercial Cultivars of Cowpea. *Caatinga*, 31.
- Chandra, S. S. (2015). Evaluation of functional properties of composites flours and sensorial attributes of composite folur biscuits. *Journal of Food Science Technology*.

- Chaparro Gonzáles, M. P. (2019). Evaluación del efecto de dos métodos de deshidratación sobre las características de un snack de tubérculos andinos y análisis de su vida útil. *Ingeniería de alimentos*.
- Chau, C. a. (1997). Effect of various processing methods on antinutrients and in vitro digestibility of protein and starch of two chinese indigenous legume seeds. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*.
- Chel, L., Corzo, L., & Betancur, D. (2003). Estructura y propiedades funcionales de proteínas de leguminosas. *Revista de la Universidad Autónoma de Yucatán*.
- CM, W. (1999). Cholesterol reduction using manufactured foods high in monounsaturated fatty acids: a randomized crossover study. *British Journal of Nutrition*.
- Correia P., a. B.-d.-C. (s.f.). Effect of drying temperatures on starch-related functional and thermal properties of chesnut flours. En *Food and Bioproducts Processing* (págs. 284-294).
- Cruz, B. A. (2013). Chemical composition and functional properties of native chesnut starch (castanea sativa Mill).
- Dobarganes, C., & Marquez, G. (2000). Interactions between fat and food during deep-frying. *European Journal of Lipid Science and Technology*.
- Emshewiller, E. (2002). Biogeography of the Oxalis tuberosa alliance. *The Botanical Review*, 68, 128-152.
- Euler Miquilena, A. H. (2016). Evaluación de propiedades funcionales de cuatro harinas de semillas de leguminosas comestibles cultivadas en Venezuela. *Universidad de Zulia*.
- Fennema, R. (1996). Food Chemistry (3rd eds). En M. Dekker. New York: Basel.
- Flores T. Alape-Giron, F.-D. M. (2002). Ocatin. A novel tuber storage protein antibacterial and antifungal activities. *Plant Physiol*, 4.
- Fuentes, S. C. (2017). Evaluacion del contenido nutricional de la harna de trigo y sus derivados. *American Journals* .
- Gálvez AV, S. K. (2009). Effect of air-driying temperature on physicocheical properties, antioxidant capacity, colour and total phenolic content of red peper. *Food Chem*, 117.
- Ghribi, A. G. (2015). Effect of drying methods on physic-chemical and functional properties of chickpea protein concentrates. *Journal of Food Engineering*.
- Goodwin, T. W. (1978). Chemistry and biochemistry of plant pigments. *Academic Press*.
- Hatamipour, M. S. (2007). Drying characteristics of six. *Bioproductos Processing*, 85.
- Helena, C. (1991). Moleculas organicas. En *Biología* (pág. 87). Médica Panamericana.

- Hendrick, J. T. (1992). Various dietary finers have different effects ons lipase-catalyzed hydrolysis of tributyrin in vitro. *The Journal of nutrition*, 122.
- Hernández-Lauzardo. A. N., M.-M. G. (2004). Isolation and partial characterization of Mexican Oxalis tuberosa starch. *Starch-Srarke*, 56.
- Lawal, O. A. (2004). Functional properties of amylopectin and amylase fractions isolated from bambarra Groundnut (Voandzeia Subterranean) starch. *Functional properties of amylopectin and amylase fractions isolated from bambarra Groundnut (Voandzeia Subterranean) starch*.
- Lenart, A. (2007). Osmo-convective drying of fruits and vegetables. *Drying technology*, 18.
- Lozano, V. (2021). Propiedades físicas, funcionales y químicas de harina obtenida a partir de semillas de quinua. *UNIVERSITAT POLITÈCNICA DE VALÈNCIA*.
- McWatters, K., & Cherry, J. (1977). Emulsification, foaming and protein solubility properties of defatted soybean, peanut, fieldpea and pecan flours. *Journal of Food Science*.
- Moyer, R. A. (2002). Anthocyanins, phenolics, and antioxidant capacity in diverse small sruits. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 25.
- Mua, J. P. (1997). Fine structure of corn amylose and amylopectin fractions whith carious molecular weights,. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 45.
- Neto, V., Narain, N., Silvia, J., & Bora, P. (2001). Functional properties of raw and heat-processed cashew nut (Anarcadium occidentale L.) kernel protein isolate. .
- NETO, V., NARAIN, N., SILVIA, J., & BORA, P. (2001). Functional properties of raw and heat-processed cashew nut (Anarcadium occidentale L.) kernel protein. *Nah*.
- Pérez Castañeda, A. T. (2019). Evaluación del efecto de dos métodos de deshidratación sobre las características de un snack de tubérculos andinos (O. tuberosa, U. tuberosus y T. tuberosum) y análisis de su vida útil. *Ciencia Lasalle*, 73.
- Ricra Tito, R. (2019). Efecto de la temperatura y velocidad de aire de secado por convección en las propiedades funcionales y el color de la harina de papa amarilla tumbay (solanum goniocalyx). *Universidad Nacional José María Arguedas*.
- Rosentrater, K. A. (2018). *Kent's Technology of Cereals: An Introduction for Students of Food Science and Agriculture*, 5a Ed. UK: Woodhead Publishing.
- Salvador, N. F. (2016). *PROPIEDADES FUNCIONALES Y QUÍMICAS DE HARINAS DE DISTINTAS VARIEDADES DE TRIGO SARRACENO Y TEF*. Valladolid: Universidad de Valladolid.
- Sathe, S. D. (1982). Functional properties of lupin seed (Lupinus mutabilis) protein and protein concentrater. *Journal of Food Science*.

- Sathe, S. D. (1982). Functional properties of lupin seed (*Lupinus mutabilis*) protein and protein concentrater. *Journal of Food Science*.
- Saúl Dussán, D. L. (2019). Granulometría, Propiedades Funcionales y Propiedades de Color de las Harinas de Quinoa y Chontaduro. *SciELO*, 10.
- Sgarbieri, V. (1998). Propiedades funcionais de proteínas em alimentos. *Sociedade Brasileira de Ciência e Tecnologia de Alimentos*, 32.
- SH, A. (2005). Sterile 20 kinase phosphorylates histone H2B at serine 10 during hydrogen peroxide-induced apoptosis. *S. cerevisiae*.
- Van Sumere, C. F. (1985). Reversed phase-HPLC analysis of flavonoids and the biochemical identification of cultivars of evergreen *Azalea*. *Biochemistry of plant phenolics*.
- Vega, A. A. (2006). Modelado de la cinética de secado de la papaya chilena. *Información tecnológica*, 23-31.
- Vega, M. J. (2012). Análisis proximal de los principales componentes nutricionales de arroz pulido, harina de trigo de flor, maíz amarillo y papa chola. En *PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATÓLICA DEL ECUADOR. FACULTAD DE CIENCIAS EXACTAS Y NATURALES: ESCUELA DE CIENCIAS QUÍMICAS*.
- Velioglu, Y. S. (1998). Antioxidan activity and total phenolics in selected fruits, vegetables and grain products. *Journal of agricultural and food chemistry*.