

CAPÍTULO I

INTRODUCCIÓN

1.1 Antecedentes

El sector industrial de fabricación de pastas alimentarias en Bolivia, está constituido por empresas con importante inversión, se encuentran instaladas principalmente en las ciudades de La Paz, Santa Cruz, Cochabamba, Oruro, existiendo medianas y pequeñas plantas en Potosí, Chuquisaca y Tarija. De acuerdo a resultados del estudio de campo de INPRODES, se tomó información de 17 industrias de pastas alimenticias, cuya capacidad de producción alcanza 115,030 toneladas anuales en fideos de diferentes tipos y representa el 79,33 % de la capacidad total nacional, como se presenta en la tabla 1.1 (INPRODES, 2003).

Tabla 1.1

Capacidad de producción de pastas en Bolivia

Industrias por departamento	Capacidad de Producción (tonelada anual)	Industrias por departamento	Capacidad de Producción (tonelada anual)
La Paz (El Alto)		Santa Cruz	
Fábrica Suprema	10,800	Fábrica "Famosa"	9,000
Fábrica La estrella	14,400	Fábrica INPASTA	9,450
Fábrica Aurora	12,000	Fábrica La Americana	4,500
Total: 37,200		Total: 22,950	
Cochabamba		Potosí	
Fábrica "San Nicola"	7,800	Industrias La Paloma	4,300
Fábrica San Jerónimo	10,000	Total: 4,300	
Fábrica Coronilla	5,800	Sucre	
Fábrica San Fernando	3,600	Industrias JOFRASA	2,880
Fábrica La Moderna	3,800	Total: 2,880	
Fábrica El Condor	4,500	Tarija	
Total: 35,500		Fideos Chamicola	1,200
Oruro		Total: 1,200	
Fabrica Ferrari Ghezzi	11,000	TOTAL NACIONAL	115,030
Total: 11,000			

Fuente: INPRODES, 2003

En la tabla 1.1, se muestra que los departamentos con mayor producción de pastas son La Paz con 37,220 toneladas anuales, seguido por Cochabamba con 35,500 toneladas anuales y Santa Cruz con 22,950 toneladas anuales.

A la fecha no existe información referente al consumo de pastas en la provincia de Cercado y tan solo se cuenta con referencias de PYMES locales, que se dedican a la fabricación artesanal de pastas secas y frescas. La empresa Chamicola lidera el

mercado interno local en la fabricación de pastas secas (tipo nido al huevo y lasaña), pastas frescas (ravioles rellenos) y tapas para empanadas.

1.2 Justificación

- ◆ Es necesario el desarrollo de alimentos de consumo masivo, que además aporten los requerimientos nutrimentales necesarios para cumplir con las exigencias del consumidor de alimentos inocuos y nutritivos.
- ◆ La espirulina es un alimento de gran valor biológico por poseer fitonutrientes (clorofila, carotenos y ficocianina), ácidos grasos poliinsaturados (omega 3 y omega 6), proteína vegetal (8 aminoácidos esenciales), todas las vitaminas liposolubles e hidrosolubles y minerales como calcio, potasio, hierro, fósforo, magnesio, selenio y zinc, vitales para una alimentación saludable. Motivo por el cual fue utilizado como ingrediente funcional y empleado como complemento alimenticio en la elaboración de pastas alimenticias.
- ◆ Con la incorporación de pulpa de calabaza a la pasta semolada, se pretende incentivar a la población de la provincia de Cercado al consumo de calabaza; ya que esta hortaliza brinda grandes beneficios como ser un alto contenido en vitamina (A, C, K), minerales (potasio, cobre, manganeso), bajo en calorías y que aporta un gran valor diurético.
- ◆ Con la elaboración de pasta semolada tipo nido añadiendo pulpa de calabaza y espirulina deshidratada se pretende modificar la composición nutricional de la pasta alimentaria convencional ofertada en el mercado, con el objetivo de resolver deficiencias de la alimentación y brindar un valor agregado a este producto.

1.3 Objetivos

Los objetivos planteados para el presente proyecto, son:

1.3.1 Objetivo general

- ◆ Elaborar pasta semolada tipo nido enriquecido con espirulina y pulpa de calabaza, aplicando el proceso de transformación de cereales con el fin de obtener un producto de calidad nutritiva para la población tarijeña.

1.3.2 Objetivos específicos

- ◆ Determinar las características fisicoquímicas y microbiológicas de la espirulina deshidratada, pulpa de calabaza y sémola de trigo con el fin de establecer la calidad del mismo.
- ◆ Realizar la dosificación adecuada de materia prima e insumos, con la finalidad de obtener la mejor formulación del producto terminado.
- ◆ Realizar el análisis caja y bigote a los resultados obtenidos de las evaluaciones sensoriales.
- ◆ Aplicar el diseño experimental en el proceso de secado con la finalidad de establecer los factores que tienen mayor influencia.
- ◆ Realizar las curvas de secado con la finalidad de determinar el contenido de humedad en el proceso de secado de acuerdo a la influencia de las variables del diseño factorial.
- ◆ Determinar la composición fisicoquímica y microbiológica del producto terminado para establecer la calidad del mismo.
- ◆ Realizar la prueba de cocción del producto terminado con el fin de obtener su tiempo óptimo de cocción.
- ◆ Determinar el índice de hinchamiento del producto terminado para establecer la calidad del mismo.
- ◆ Determinar el grado de desintegración del producto terminado para establecer la calidad del mismo.

- ◆ Realizar la cinética de secado al producto terminado con el fin de determinar el contenido de la humedad crítica y humedad de equilibrio.
- ◆ Determinar la isoterma de sorción en el proceso de secado con el fin de analizar el comportamiento de actividad del agua del producto terminado
- ◆ Determinar la variación del contenido de humedad de equilibrio en función de la humedad relativa para el producto terminado.
- ◆ Realizar el balance de materia y energía a nivel experimental, con el propósito de conocer las corrientes de entrada y salida del proceso.

1.4 Variables dependiente e independiente

Variable dependiente:

- ◆ *Pasta semolada tipo nido enriquecida con espirulina y pulpa de calabaza*

Variable independiente:

- ◆ *Proceso de transformación de cereales*

1.5 Planteamiento del problema

Si bien el ingrediente ideal para elaborar pastas alimenticias es a base de sémola de trigo, en Bolivia la mayoría de la producción nacional de pastas es a base de harina de trigo, ya que posee menores costos para su producción. Razón que resulta infortunada, ya que la pasta de sémola de trigo posee bajo índice glucémico en comparación con las pastas a base de harina de trigo, además de conferirle mayores cualidades culinarias a la pasta cocida.

En el mercado local no existe una pasta alimenticia con pulpa de calabaza y/o espirulina deshidratada en su formulación, debido al desconocimiento y escasos de estudios en nuestro departamento sobre las propiedades nutricionales y su aplicación en productos nutritivos. Motivo por el cual mediante la aplicación del proceso de transformación de cereales se incorporan estas materias primas en la elaboración de pasta semolada tipo nido con la finalidad de brindarles un valor agregado.

1.6 Formulación del problema

¿Cuál es el proceso de transformación de cereales a ser aplicado para elaborar pasta semolada tipo nido enriquecido con espirulina y pulpa de calabaza, con el fin de obtener un producto de calidad nutritiva para la población tarijeña?.

1.7 Planteamiento de la hipótesis

El proceso de transformación de cereales para la elaboración pasta semolada tipo nido enriquecido con espirulina y pulpa de calabaza, permitirá obtener un producto de calidad nutritiva para la población tarijeña.

CAPÍTULO II

DISEÑO TEÓRICO

2.1 Las pastas alimenticias

La pasta alimenticia es un producto de consumo masivo, considerado además un alimento funcional por su bajo aporte de sodio, grasa y baja respuesta glucémica. Se caracterizan por ser un alimento tradicional y de gran aceptación debido a su conveniencia, palatabilidad y cualidades nutricionales. Son muy conocidos los fideos como macarrones, spaghetti, así como las pastas de los raviolis, canelones o lasaña. Los ingredientes obligatorios para elaborar pasta son el agua y la sémola de trigo duro que contiene más gluten que el trigo común o blando. En caso de usar trigo blando para la elaboración de la pasta es necesario añadir más huevo a la masa (Granito, 2003).

2.1.1 Orígenes de las pastas

Son diversas las teorías que se han originado en torno al origen de la pasta. Se sospecha los griegos y los romanos no registran familiaridad alguna con la pasta, esta debe haber surgido en alguna otra civilización. Según Marco Polo, proviene de China, otros historiadores, sitúan su origen en el Medio Oriente, donde lo árabes pudieron haberla inventado buscando alimentos que se conservaran y mantuvieran en buen estado durante las jornadas nómadas. Varios historiadores coinciden en que la pasta fue mencionada por primera vez oficialmente en un documento medieval italiano. Después de este dato se conoce que en los siglos XVI y XVII la pasta comenzó a ser producida en mayor escala gracias al crecimiento de la población en ciudades como Génova, Savona, Nápoles, Palermo y Roma, donde ya se conocían los fideos *macarrones* y *vermicellis*. En el siglo XVIII, en 1740, las autoridades de Venecia concedieron a Paolo Adami la licencia para abrir la primera factoría de pasta, tras presentar un proyecto en el que utilizaba maquinaria muy primitiva, que en esencia era una gran prensa de hierro, con la que se amasaba la pasta, accionada por obreros, que necesariamente tenían que ser jóvenes y fuertes, porque exigía un gran esfuerzo. Hacia el siglo XIX, la elaboración de pasta se convirtió en una especialidad napolitana. A pesar de sus orígenes sicilianos, fue en Nápoles donde la producción se industrializó y se desarrolló su comercialización. En efecto, surge el secado como una forma de conservación de la pasta. La producción de pasta seca se concentró en

el sur de Italia y las costas de Liguria, debido a que el microclima favorece el secado del producto (Yubero, 2019).

2.1.2 Definición de pasta alimenticia

Con la denominación genérica de pastas alimenticias o fideos, se entienden los productos no fermentados obtenidos por el empaste y amasado mecánico de: sémolas o semolín o harinas de trigo ricos en gluten o harinas de panificación o por sus mezclas, con agua potable, con o sin la adición de sustancias colorantes autorizadas a este fin, con o sin la adición de otros productos alimenticios de uso permitido para esta clase de productos (C.A.A, 2018).

2.1.3 Variedades de pastas

Según (I.P.O, 2006) las pastas alimenticias se pueden clasificar de la siguiente manera:

Por su contenido de humedad:

- Pastas frescas. Contienen un máximo de humedad de 28 % y presentan características organolépticas normales.
- Pastas secas. Son sometidas a un adecuado proceso de desecación, tiene características organolépticas normales con una humedad máxima del 14 %.

Por su forma:

- Pastas largas. Tallarines, espaguetis, fettuccine y otros.
- Pastas cortas. De longitud menor a 6 cm como son lazos, coditos, caracoles, conchitas, tornillos, macarrón, letras, números, animalitos y otros.
- Pastas enroscadas. Pastas alimenticias que tienen forma de rosca, nido, madeja o espiral

Por su composición:

- Pastas con huevo. Durante el proceso se incorpora como mínimo dos huevos frescos o su equivalente por cada kilogramo de harina.
- Pastas con vegetales. Durante el proceso se le agrega extractos de espinacas, zanahorias, tomates y cualquier otro vegetal aprobado por la autoridad sanitaria competente.

- Pastas con sémola de trigo duro. Pastas elaboradas exclusivamente con sémola de trigo duro.
- Pastas con harina de trigo. Pastas elaboradas exclusivamente con harina de trigo.
- Pastas con sémola de trigo duro y harina de trigo. Elaboradas con la mezcla de sémola de trigo duro y harina de trigo.
- Pastas con mezclas de harinas. Elaboradas con mezclas de harinas con la adición de otras sustancias de uso permitido.

2.1.4 Propiedades funcionales de la pasta

Según (Marconi, 2001), en los últimos años las pastas alimenticias se han vuelto más atractivas por sus propiedades funcionales por lo siguiente:

- Se trata de un producto de bajo índice glucémico, con escaso aporte de grasa y sodio.
- Proporciona energía fácilmente aprovechable para el metabolismo.
- Fuente de hidratos de carbono complejos, tienen gran importancia dietética, como el almidón que se digiere lentamente resultando un buen aporte energético lento para actividades que requieren esfuerzo físico o mental y debido a ese aporte lento mantiene el nivel de glucemia.

2.1.5 Valor nutricional de la pasta semolada

Mejorar la calidad nutricional de las pastas involucra principalmente aumentarles la cantidad de proteínas, fibra dietética, y fortificarlas con vitaminas y minerales. Además, las pastas son reconocidas como un buen vehículo para incorporarles ingredientes beneficiosos para la salud transformándose así en alimentos funcionales (Marconi, 2001).

Los eventos que más afectan el valor nutritivo de los productos son la molienda, la preparación de la masa y la cocción; el secado parece tener muy escaso efecto. La fibra, vitaminas y minerales están concentrados en el salvado por lo que la molienda remueve una parte importante del contenido nutricional. La sémola obtenida del grano

entero aumenta el valor nutricional de la pasta, aunque su biodisponibilidad puede verse negativamente afectada por los componentes anti-nutricionales de la fibra, por ejemplo, el ácido fítico. La pasta se cocina normalmente en agua salada, los nutrientes pueden perderse en el agua y la sal agregada ser absorbida por la pasta (Gill, 2010).

En la tabla 2.1, se muestra la composición nutricional promedio para 100 g de pasta semolada sin cocinar.

Tabla 2.1

Composición nutricional de la pasta semolada

Componentes	Unidad	Valores promedio
Humedad	g	10,8
Proteína	g	10,9
Lípidos	g	1,4
Carbohidratos	g	65,6
Almidón	g	61,4
Azúcares	g	4,2
Fibra dietaria	g	2,7
Valor energético	kcal	325,0
Sodio	mg	4,0
Potasio	mg	192,0
Hierro	mg	1,4
Calcio	mg	22,0
Fósforo	mg	189,0

Fuente: Gill, 2010

2.1.6 Importancia de las proteínas en las pastas

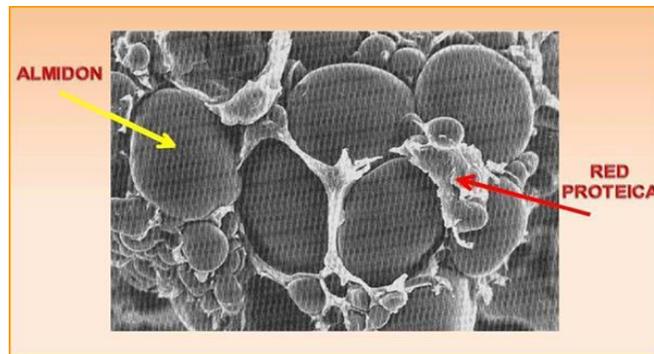
La habilidad única de la harina de trigo de formar una masa cohesiva, elástica y extensible es debido a las proteínas de gluten presentes en la harina. Tanto la cantidad como la calidad son importantes en la elaboración de las pastas, considerando que las propiedades reológicas de las masas son dominadas por las proteínas. Altas concentraciones de proteínas (10-14) %, con capacidad de formar una red fuerte de gluten, produce pastas de textura elástica y chiclosa. Harinas con muy baja concentración de proteínas originan pastas con pobre tolerancia a la cocción, lo que las vuelve blandas y pegajosas (Hoseney, 1994).

Además, las pastas que van a ser sometidas a un proceso de secado requieren un mayor contenido de proteínas que las pastas frescas, ya que las primeras deben soportar el proceso sin romperse (Hoseney, 1994).

2.1.7 Importancia del almidón en las pastas

Para la elaboración de las pastas, el rol del almidón en las propiedades reológicas de la masa es muchas veces subestimado con respecto al rol del gluten. Sin embargo, las características de la superficie de los gránulos de almidón pueden afectar el comportamiento viscoelástico de la masa, dado que éstas determinan el tipo de interacción proteína-almidón. Las pastas elaboradas con harinas que presentan un almidón con alta capacidad de hinchamiento resultan con una textura más blanda que aquellas elaboradas con almidones con baja capacidad de hinchamiento (GRANOTEC, 1998).

En la figura 2.1, se muestra como la red proteica de la pasta seca forma membranas que actúan como envoltorio de los gránulos de almidón.



Fuente: Didoné, 2002

Figura 2.1. Gránulos de almidón y red proteica

Generalmente los gránulos de almidón absorben agua lentamente durante el amasado por estar envueltos por una gruesa capa de proteína-fosfolípidos, que limita el hinchamiento y la gelatinización en esta etapa, en donde la temperatura no supera los 50 °C. Consecuentemente, un almidón con buenas propiedades para la elaboración de pastas es aquel que tiene alta temperatura de gelatinización, que demore su hinchamiento y su solubilización. La amilopectina es considerada como el componente del almidón con mayor responsabilidad en la pegajosidad y el

agrupamiento de las pastas. Un incremento en el almidón dañado además afecta negativamente el color de las pastas, provoca una mayor pérdida por cocción y genera un hinchamiento excesivo de la superficie (GRANOTEC, 1998).

2.2 Alimento enriquecido

Son aquellos a los que se han adicionado nutrientes esenciales (vitaminas y/o minerales y/o proteínas y/o aminoácidos esenciales y/o ácidos grasos esenciales) con el objeto de resolver deficiencias de la alimentación que se traducen en fenómenos de carencia colectiva. Algunos autores diferencian dentro de los enriquecidos a los alimentos fortificados, que serían aquellos a los que se añade un componente que ya contenían, mientras que el término enriquecido lo reservan para aquellos cuya composición se modifica añadiendo un componente que no poseían originariamente (C.A.A, 2018).

Según (Codex Alimentarius, 2006), se consideran tres posibles razones para adicionar o incorporar nutrientes a los alimentos.

1. La restauración o restitución de nutrientes perdidos durante la fabricación, el almacenamiento o la manipulación.
2. La estandarización para compensar variaciones naturales (por ejemplo, estacionales).
3. La fortificación o el enriquecimiento, cuando el objeto es prevenir o corregir las deficiencias de uno o más nutrientes en la población o en grupos específicos de la misma.

2.2.1 Pasta enriquecida

La Organización Mundial de la Salud considera la pasta como un alimento apropiado para el agregado de nutrientes, siendo uno de los primeros alimentos para el cual la FDA (Administración de Alimentos y Medicamentos) permitió el enriquecimiento con vitaminas y hierro en la década de 1970 (Marconi, 2001).

La cantidad de harina que se puede sustituir o adicionar a la sémola representa un compromiso entre el mejoramiento nutricional y el logro de la satisfacción sensorial y

las propiedades funcionales de la pasta. La adición o sustitución de materias primas ricas en proteínas resulta en productos de pasta con altos contenidos de proteína y mejores valores nutricionales que la pasta convencional de sémola. Para obtener pasta de buena calidad a partir de otras materias primas a menudo es necesario hacer modificaciones al proceso de producción tradicional. Las características de las pastas estudiadas son importantes debido a que la pasta de alta calidad debe tener una baja susceptibilidad a la ruptura y alta resistencia a la cocción, buenos atributos sensoriales, no debe liberar una cantidad excesiva de materia orgánica en el agua de cocción y no debe mostrar pegajosidad (Marconi, 2001).

Se han llevado a cabo varios estudios para mejorar el contenido de proteína de la pasta mediante la adición de materias primas de origen vegetal o de origen animal. Otros autores estudiaron el efecto de la adición de fibras dietarias, vitaminas y minerales en la calidad de las pastas. Las materias primas provenientes de plantas de alto contenido proteínico se derivan principalmente de la soya, arveja, lupino, amaranto, quinua, habas y garbanzo, que pueden utilizarse en su forma concentrada o harinas (Hanna, 1998).

2.3 Secado de alimentos

El secado es uno de los métodos más antiguos utilizados por el hombre para la conservación de los alimentos y uno de los más ampliamente usados en la industria alimentaria. El secado natural de los alimentos, el cual se realizaba al inicio de los tiempos por el sol, daba como resultado productos concentrados de calidad durable, a pesar de ello con el transcurso del tiempo en las civilizaciones el número de habitantes ha presentado un crecimiento notable y con ello han aumentado sus necesidades, siendo esta una de las razones por las que hoy en día no se pueda depender de los elementos (agua, aire, sol) para cubrir estas necesidades, ya que son impredecibles. Otro método de secado que surge en el transcurso del tiempo es el secado artificial, mediante el uso del calor de un fuego para secar alimentos (Desrosier, 1984).

2.3.1 Factores que afectan el proceso de secado de alimentos

Cuando se seca con aire forzado los parámetros que intervienen son: la temperatura, la humedad relativa ambiente, el flujo de aire de secado, el contenido de humedad inicial. Todos estos parámetros influyen en la tasa de secado como un conjunto de factores y no aisladamente (Gan, 2003).

2.3.1.1 Flujo del aire de secado

Según (Desrosier, 1984), la velocidad de aire es muy importante en el proceso de secado, ya que además de retirar humedad, la elimina de la superficie del alimento, previniendo la creación de una atmosfera saturada, disminuyendo la velocidad de eliminación de la humedad. La capacidad de humedad del aire depende de la temperatura; algunos criterios importantes en el flujo de aire de secado son:

- Volumen de aire requerido en el secado. Se necesita de 5 a 7 veces más aire para calentar el alimento que el necesario para transportar el vapor húmedo del alimento.
- Velocidad de evaporación de las superficies libres. Mientras el área superficial sea mayor y a su vez mas porosa, la velocidad de secado del alimento será mayor. La velocidad de secado es proporcional a la velocidad del aire que fluye sobre la superficie del alimento.

2.3.1.2 Humedad inicial del producto

El contenido de humedad inicial también interviene en la tasa de secado. Cuanto mayor sea el contenido de humedad de un producto, mayor será la cantidad de agua evaporada por unidad de energía. Con elevados contenidos de humedad, las fuerzas de adsorción de la estructura celular del material sobre las moléculas de agua, son menores que cuando el contenido de humedad del producto es más bajo, lo que acarrea un mayor porcentaje de energía (Gan, 2003).

Según (Virginia, 2015), dentro del secado es importante conocer ciertos parámetros que ayudan en su cálculo, siendo estos los siguientes:

Humedad en base húmeda: Es la cantidad de agua por unidad de masa de muestra original, se expresa de la siguiente manera (Ecuación.1).

$$\%H = (m_{\text{agua}} / m_m) \times 100$$

Ecuación 1

Donde:

%H = humedad en base húmeda [%]

m_{agua} = masa de agua [g]

m_m = masa de la muestra original [g]

Humedad en base seca (H_{bs}): Es la cantidad de agua por unidad de masa de sólido seco en la muestra, se expresa de la siguiente manera (Ecuación 2).

$$H_{bs} = m_{\text{agua}} / m_{ss}$$

Ecuación 2

Donde:

H_{bs} = humedad en base seca [g_{agua}/g_{bs}]

m_{agua} = masa de agua [g]

m_{ss} = masa de solido seco [g]

2.3.1.3 Condiciones del aire ambiente

A la temperatura y humedad relativa del aire ambiente, en la mayoría de casos, no se les da importancia para el secado ya que tienen poca influencia sobre la tasa de secado, sin embargo, fijan la cantidad de energía necesaria para alcanzar la temperatura para este proceso. Cuanto menor sea la temperatura ambiente, mayor será la cantidad de energía necesaria para calentar ese aire, lo que determina un mayor costo del secado (Gan, 2003).

2.3.1.4 Temperatura de secado

La temperatura del aire de secado es el parámetro de mayor flexibilidad en un sistema de secado a altas temperaturas e interviene significativamente en la tasa, la eficiencia de secado y en la calidad del producto final. El medio secador es el aire el cual es usado para conducir el calor al alimento y para arrastrar el vapor húmedo liberado del mismo. Habitualmente se utiliza el aire como medio secador debido a su abundancia,

y conveniencia, de esta manera el secado puede ser controlado. Si la temperatura del aire es alta y su humedad relativa es baja, hay el peligro de que la humedad que será eliminada de la superficie de los alimentos, sea secada más rápidamente de lo que el agua puede difundirse en el interior húmedo del alimento y es así que se forma un endurecimiento o cubrimiento sobre el alimento. Esta capa impermeable o límite, obstaculiza la libre difusión de la humedad (Gan, 2003).

2.4 Actividad de agua

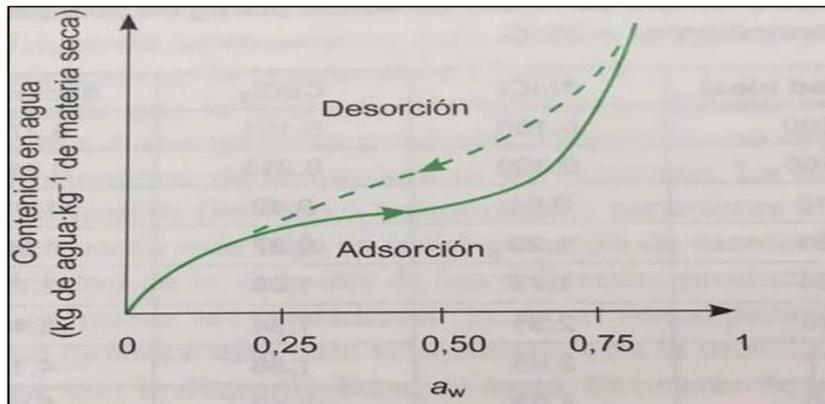
El agua presente en los alimentos interviene de diversas maneras, como ser: en la reología, la textura, la estabilidad microbiana, las reacciones químicas y enzimáticas. El agua libre da origen al término de actividad de agua y es con base a este parámetro, y no el contenido total de agua, ya que el agua ligada no actúa debido a que no está disponible o permanece inmóvil; que se puede prever la estabilidad y la vida útil de un producto (Garda, 2016).

2.4.1 Isotermas de sorción

La actividad del agua (A_w) es una propiedad intrínseca que se relaciona de manera no lineal con el contenido de humedad mediante las curvas o isotermas de sorción. Es posible establecer una relación entre la A_w y el contenido de agua del producto a medir, humedad en base seca (X_{bs}), a una temperatura dada. Esta relación constituye la isoterma de sorción (adsorción o desorción), que tiene forma sigmoideal y que refleja la capacidad de adsorción de agua y también de retener agua de los productos, datos que resultan de importancia en la tecnología alimentaria (Badui, 2013).

La figura 2.2, muestra que, para un contenido de agua determinado, la actividad del agua es menor durante la desorción que en la adsorción o que para una actividad acuosa determinada el contenido de agua es mayor en el secado que en la hidratación. Así mismo se observa que estos procesos opuestos no son reversibles por un camino común, fenómeno que recibe el nombre genérico de histéresis, efecto que, para una misma cantidad de agua del producto, el equilibrio tras la desorción se establece en cada punto a un valor de A_w menor que en la desorción. Cabe señalar

que la histéresis se manifiesta fundamentalmente en las regiones intermedias de las isothermas, donde el agua se encuentra unida débilmente (Jeantet, 2013).

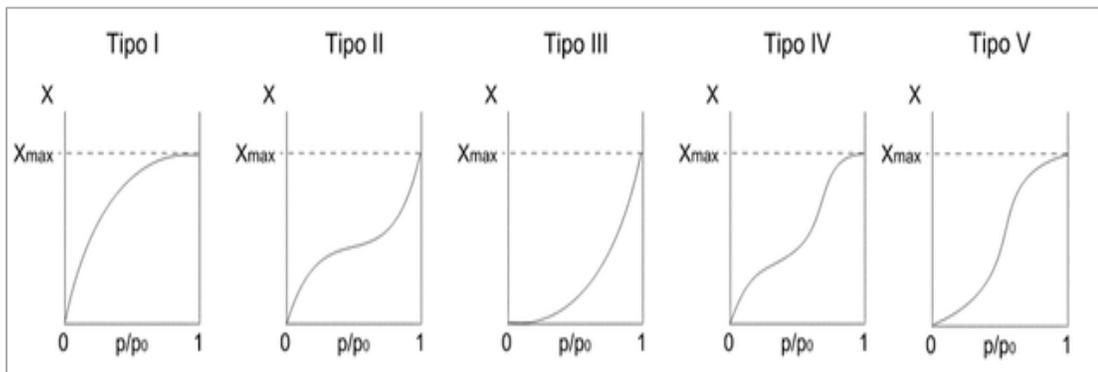


Fuente: Jeantet, 2013

Figura 2.2. Isotherma de sorción (adsorción o desorción) de agua

2.4.1.1 Clasificación de las isothermas de sorción

Según (Weber, 2003), se muestran cinco tipos de comportamiento de isothermas de sorción (figura 2.3), indicando que, si los alimentos contienen compuestos cristalinos hidrosolubles como azúcares o sales, la isoterma es cóncava del tipo III, la mayoría de los restantes alimentos tienen isothermas sigmoideas del tipo II, el punto de inflexión de la isoterma tipo II indica el cambio de la capacidad de ligar agua o a las cantidades relativas de agua unida y libre. El tipo I es indicativo de un sólido poroso no hinchable, tal como los silicatos o antiaglomerantes.



Fuente: Weber, 2003

Figura 2.3. Tipos de isothermas de sorción

2.5 Operaciones unitarias implicadas en el proceso de elaboración de pastas

Las operaciones unitarias implicadas en el proceso de elaboración de pastas se detallan a continuación:

2.5.1 Amasado

La primera etapa de la elaboración de la pasta comprende la humectación de las materias primas secas con los ingredientes líquidos. Debe darse gran importancia a la óptima humectación de la sémola en un corto tiempo antes del mezclado y amasado. El mezclado pone en contacto la sémola o la harina con el agua adicionada y el huevo, si lo lleva. La masa obtenida tiene la capacidad de fluir y un contenido de humedad uniforme. Durante la preparación de la masa se adiciona agua en una proporción entre (18-25) % de las materias primas secas, para obtener una masa fresca que contiene una humedad promedio entre (30-32) %. En la etapa de amasado se incorporan a la sémola, harinas o mezclas, agua y sal, y se mezcla durante un tiempo aproximado de 10 minutos. En este proceso, el gluten se desarrolla y absorbe el 90 % del agua, produciendo un esponjamiento de la masa y su transformación en una masa homogénea y firme. La operación debe realizarse en amasadoras herméticas en ausencia de aire, el vacío total bloquea la enzima polifenol oxidasa, responsable de la oxidación de los pigmentos de la sémola, lo que ayuda a conservar los colores amarillos que aportan los carotenoides y los flavonoides. El vacío también desactiva la enzima lipoxigenasa, responsable de que los colores se agrisen y de los malos olores por la oxidación de los lípidos. La desactivación parcial de la alfa y beta-amilasa disminuye la prevalencia de la reacción de Maillard, esto es, que la pasta se vuelva marrón al secarse (Gill, 2010).

2.5.2 Laminado

En el momento de pasar al laminado el contenido de humedad de la masa debe estar alrededor de 28 %. La mezcla se somete a una presión continua procurando que no se alcance la temperatura de 50 °C para no deteriorar la estructura proteica, que influiría negativamente en la cocción (Gill, 2010).

Cuando se trata de pastas laminada, se lo realiza en una maquina laminadora. Las pastas extruidas se realizan en un extrusor de pastas, en la cual se obtienen diferentes formas como: macarrones, municiones, etc. La laminación consiste en pasar y enrollar varias veces la masa a través de dos cilindros lisos, que se acercan el uno al otro a cada pasada con una determinada medida. Se obtiene así, una lámina de color uniforme, pulida y perfectamente homogénea. El tiempo de laminado dependerá del tipo de mezcla de harinas, así: para mezclas de harinas con el 20 % de sustitución de harina de maíz se necesitan un tiempo de 15 minutos, para mezclas al 30 % de sustitución un tiempo de 17 minutos y para mezclas con el 40 % unos 20 minutos (SENECYT, 2018).

2.5.3 Secado

El secado es la etapa más compleja, el propósito es producir una pasta fuerte y estable. La humedad es removida de la superficie de la pasta por una corriente de aire caliente, creando un gradiente de humedad dentro de la pasta. El proceso debe darse desde el interior de la pasta y si la superficie se seca demasiado rápido pueden generarse agrietamientos ya que se formarían cortezas en la superficie, que obstaculizarían la salida del agua de las zonas internas. Las grietas o líneas de fractura que se desarrollan con un secado inadecuado pueden causar el quiebre del producto seco durante el empaque y el almacenamiento. Debido a esto, la pasta puede desintegrarse y deteriorarse su apariencia durante la cocción, y ser rechazada por el consumidor. El calor del secado ayuda a crear una red permanente de proteína alrededor de los gránulos de almidón, favoreciendo la resistencia y la integridad de la pasta. Esto previene que los gránulos de almidón se liberen durante la cocción, mejora la firmeza y la masticabilidad de la pasta cocida (Calvelo, 2008).

Actualmente se usan sistemas de secado a temperaturas altas o ultra altas, por encima de los 70 °C (Gil, 2010), gracias a los beneficios que tienen sobre la calidad al contribuir al incremento de la firmeza y el color amarillo, además de ser un proceso de mayor capacidad. Las temperaturas de (40-60) °C sólo se utilizan en empresas de reducida producción. Al aumentar las temperaturas (66-94) °C se reducen los tiempos de secado y el tamaño de las instalaciones; el producto tiene mayor estabilidad

microbiana, la red proteica se refuerza, disminuye la adherencia de la pasta y pueden usarse mezclas de productos de trigos blandos (con menor contenido proteico) con óptimos resultados. Una temperatura excesiva durante el secado es indeseable, ya que provocará la aparición de color marrón en la pasta debido a un pardeamiento no enzimático extremo (reacciones de Maillard) (Sissons, 2004).

El producto tiene que pasar del 30 % de humedad al 12.5 % con una baja actividad de agua para garantizar una larga vida útil, y el procedimiento de secado también depende del tipo de pastas (largas o cortas). El producto se enfría hasta alcanzar la temperatura ambiente y se empaqueta en bolsas de celofán, polietileno, polivinilcloruro (PVC), o en cajas de cartón. El empaque se diseña para mantener el producto libre de contaminación y protegerlo del daño que se pueda causar por el transporte y almacenamiento, además de mostrarlo de forma atractiva y diferenciada al consumidor final (Sissons, 2004).

2.6 Materias primas e insumos en la elaboración de pastas semolada tipo nido enriquecida con pulpa de calabaza y espirulina

Todas las preparaciones que se realizan con harina o sémola, necesitan la presencia de otras sustancias, cada una de ellas con funciones específicas y propias que van a influir en la obtención de diferentes productos (Garda, 2016.Pag.102).

A continuación, se describen las materias primas e insumos empleados en la elaboración de pasta semolada tipo nido:

2.6.1 Sémola de trigo

Por sémola o harina de trigo se entiende los productos elaborados con granos de trigo duro (*Triticum durum*) por medio de procedimientos de trituración o molienda en los que se separa la mayor parte del salvado y del germen, y el resto se muele hasta darle un grado adecuado de finura. La sémola integral de trigo duro se prepara mediante un procedimiento de molienda similar, pero se conserva el salvado y parte del germen (Codex Alimentarius, 1991).

2.6.1.1 Ventajas de usar sémola de trigo

Las pastas secas son productos que poseen un gran potencial para agregar valor y abastecer mercados, según (Lezcano, 2016), aquellas pastas secas que son elaboradas con sémola de trigo poseen una serie de ventajas:

1. Químicas y nutricionales (contiene mayor cantidad de proteína, menor índice glucémico, es un alimento apropiado para incorporar otros nutrientes).
2. Optimiza los parámetros sensoriales de la pasta (textura, color, sabor, aroma).
3. Fácil elaboración, solo requiere el agregado de agua.
4. Poseen resistencia a la sobre-cocción.

2.6.1.2 Composición nutricional de la sémola de trigo

La composición nutricional de la sémola de trigo puede variar según la zona y el año de cosecha. En la tabla 2.2, se detalla la composición nutricional de la sémola de trigo (Rodríguez, 2000).

Tabla 2.2

Composición nutricional de la sémola de trigo

Componentes	Unidad	Valores
Humedad	g	7,29
Proteínas	g	11,34
Lípidos	g	1,89
Carbohidratos	g	78,36
Fibra dietaria	g	3,47
Ceniza	g	1,20
Valor energético	kcal	376,00
Hierro	mg	3,82
Calcio	mg	32,40
Fósforo	mg	114,50

Fuente: Rodríguez, 2000

2.6.2 Calabaza variedad *Cucurbita moschata*

Según (Gaspera, 2013), señala que la calabaza variedad *Cucurbita moschata* es una planta rastrera a trepadora anuales o perennes, generalmente cultivadas en zonas de baja o alta altitud en clima cálido a tropical, con buena humedad; prefiere suelos bien drenados, arenosos y húmedos. Su clasificación taxonómica se detalla a continuación:

- Reino: Plantae
- División: Magnoliophyta
- Clase: Magnoliopsida
- Orden: Violales
- Familia: Cucurbitaceae
- Género: Cucurbita
- Especie: Moschata

En la figura 2.4, se muestra la calabaza variedad *Cucurbita moschata*.



Fuente: Moreira, 2013

Figura 2.4. Calabaza variedad *Cucurbita moschata*

2.6.2.1 Propiedades funcionales de la pulpa de calabaza

La pulpa de la calabaza ejerce una acción emoliente (suavizante) y protectora de la mucosa del estómago por su riqueza en mucílagos. Por lo que es indicado su consumo en personas con acidez estomacal, dispepsia (mala digestión), pirosis, gastritis o úlcera gastroduodenal en fase aguda. Su destacado aporte de betacarotenos (provitamina A), pigmentos que le confieren su característico color anaranjado, hacen que el consumo habitual de calabaza contribuya a prevenir el daño originado por los radicales libres, gracias al carácter antioxidante de estos colorantes naturales. Además, el organismo transforma la provitamina A en vitamina A, esta vitamina es necesaria para evitar la disminución de la agudeza visual o trastornos de la visión de origen rutinario. Este alimento también es importante por el efecto diurético debido a su elevado contenido en agua y en potasio, y su escaso contenido en sodio. Por ello su consumo resulta recomendable en caso de retención de líquidos, trastornos renales, cardiovasculares o hipertensión arterial. Es un alimento sano, de alto consumo, con un bajo contenido energético muy indicado en dietas de hipocalóricas, ideal para consumir en una gran variedad de platos (Maynard, 2004).

2.6.2.2 Composición nutricional de la pulpa de calabaza (*Cucurbita moschata*)

En la tabla 2.3 se muestra la composición nutricional de la pulpa de calabaza (*Cucurbita moschata*) en 100 g de porción comestible.

Tabla 2.3

Composición nutricional de la pulpa de calabaza

Componentes	Unidad	Valores
Humedad	g	95,9
Proteína	g	0,7
Lípidos	g	0,2
Carbohidratos	g	2,2
Fibra dietaria	g	1,0
Ceniza	g	0,8
Valor energético	kcal	15,1
Magnesio	mg	10,0
Hierro	mg	0,4
Calcio	mg	29,0
Potasio	mg	130,0
Fósforo	mg	19,0

Fuente: Moreiras, 2013

2.6.3 Espirulina

Las cianobacterias, antiguamente llamadas algas verde-azuladas, son organismos prokaryotas, es decir, que carecen de núcleo celular. Llevan su información genética, su ADN, en forma libre en el citoplasma y no dentro del núcleo celular. A su vez, en un plano más general, las procariotas pertenecen al dominio de las bacterias según las clasificaciones actuales de la biología. Son de los organismos más antiguos, simples y robustos que existen. Lo particular de las cianobacterias es que son bacterias capaces de hacer la fotosíntesis oxigénica, es decir, tomando los electrones necesarios del agua que actúa como agente reductor y no de otros donantes como sulfuro o hidrógeno, como sucede en otro tipo de bacterias. En presencia del agua y al dióxido de carbono, produce azúcares y exceso de oxígeno que es liberado al medio. Es por ello que son de los organismos más antiguos conocidos y originarios formadores de la biósfera terrestre (Argento, 2016).

Su nombre proviene de la forma de sus filamentos en espiral, los cuales miden entre 100 y 200 milimicrones, es una especie de color verde azulada que crece naturalmente cuando se dan ciertas condiciones particulares en su entorno como pH alcalino y temperatura del agua entre (20-37) °C. Se cultiva a partir de inóculos y se cosecha a través de mallas filtrantes (Belay, 2008).

Según (Abalde, 1995), la clasificación taxonómica de la espirulina fresca se detalla a continuación:

- Dominio: Bacteria
- Filo: Cyanobacteria
- Clase: Cyanophyceae
- Subclase: Oscillatoriophyceae
- Orden: Oscillatoriales
- Familia: Phormidiaceae
- Subfamilia: Phormidioideae
- Género: Arthrospira
- Especie: Arthrospira platensis

En la figura 2.5 se muestra el cultivo de espirulina hasta la obtención de espirulina en polvo.



Fuente: Argento, 2016

Figura 2.5. Cultivo de espirulina

2.6.3.1 Propiedades funcionales de la espirulina

Según (Henrikson, 1994), entre las principales características de este alimento destacan las siguientes:

1. Es un alimento concentrado por contener macro y micronutrientes, los cuales pueden llegar a superar o a igualar la ingesta diaria recomendada.

2. Es uno de los alimentos más compactos ya que bastan raciones de 2 a 5 gramos por día para proporcionar, sus beneficios nutrimentales y sus efectos terapéuticos.
3. Es un alimento ligero. Presenta un alto coeficiente de asimilación y digestión el cual supera el 95 %.
4. Es un alimento natural con actividad antioxidante, esto se debe a su concentración de tocoferoles y betacaroteno, pero principalmente al contenido de ficocianina que atrapa a más del 90 % de las especies reactivas que producen estrés oxidativo en las nuestras células.

2.6.3.2 Composición nutricional de la espirulina deshidratada

En la tabla 2.4, se detallan la composición nutricional de la espirulina deshidratada en 100 g de muestra, estos valores pueden variar de acuerdo a la estación del año y a las condiciones locales (origen, tipo de cepa, calidad del cultivo y medio ambiente).

Tabla 2.4

Composición nutricional de la espirulina deshidratada

Componentes	Unidad	Valores
Proteína	%	(55-70)
Hidratos de carbono	%	(15-25)
Grasas (lípidos)	%	5
Minerales	%	7
Agua	%	3

Fuente: Earthrise, 2000

En la tabla 2.5 se detalla el contenido de pigmentos naturales en la espirulina por 100 g de muestra.

Tabla 2.5

Pigmentos naturales de la espirulina

Pigmento	Valores (mg)	Porcentajes (%)
Ficocianina (azul)	(1.500 – 2.000)	(15,00 – 20,00)
Clorofila (verde)	115	1,15
Carotenoides (anaranjado)	37	0,37
Betacaroteno	14	0,14

Fuente: Earthrise, 2000

En la tabla 2.6 se detallan la composición de aminoácidos de la espirulina deshidratada por 100 g de muestra.

Tabla 2.6

Composición de los aminoácidos en la espirulina deshidratada

Aminoácidos	Valores (mg)	Porcentajes (%)	Aminoácidos	Valores (mg)	Porcentajes (%)
Fenilalanina	280,0	4,5	Ac. glutámico	910,0	14,6
Isoleucina	350,0	5,6	Alanina	470,0	7,6
Leucina	540,0,0	8,7	Arginina	430,0	6,9
Lisina	290,0	4,7	Cisteína	60,0	1,0
Metionina	140,0	2,3	Glicina	320,0	5,2
Treonina	320,0	5,2	Histidina	100,0	1,6
Triptófano	90,0	1,5	Prolina	270,0	4,3
Valina	400,0	6,5	Serina	320,0	5,2
Ac. aspártico	610,0	9,8	Tirosina	300,0	4,8

Fuente: Earthrise, 1998

En la tabla 2.7 se detalla el contenido de minerales de la espirulina deshidratada por 100 g de muestra.

Tabla 2.7

Contenido de minerales en la espirulina deshidratada

Minerales	Unidad	Valores
Calcio	mg	100
Hierro	mg	15
Zinc	mg	300
Fosforo	mg	90
Magnesio	mg	40
Cobre	mg	120
Yodo	*	*
Sodio	mg	60
Potasio	mg	160
Manganeso	mcg	500
Cromo	mcg	28
Germanio	mcg	6
Selenio	mcg	2

Fuente: Earthrise, 2000

En la tabla 2.8 se detallan el contenido de ácidos grasos esenciales en la espirulina por 100 g de muestra.

Tabla 2.8

Contenido en ácidos grasos esenciales de la espirulina deshidratada

Ácidos grasos esenciales	Unidad	Valores	Porcentajes
C₁₄ Mirístico	mg	1,0	0,2
C₁₆ Palmítico	mg	244,0	45,0
C₁₆ Palmítoleico	mg	33,0	5,6
C₁₈ Estearico	mg	8,0	1,4
C₁₈ Oleico	mg	12,0	2,2
C₁₈ Linolenico	mg	97,0	17,9
C₁₈ Gamma-linolenico	mg	135,0	24,9

Fuente: Earthrise, 2000

En la tabla 2.9 se detallan el contenido vitamínico de la espirulina deshidratada por 100 g de muestra.

Tabla 2.9

Contenido vitamínico en la espirulina deshidratada

Vitaminas	Unidad	Valores
Vitamina A (betacaroteno)	UI	23.000,00
Vitamina B1 (tiamina)	mg	0,31
Vitamina B2 (riboflavina)	mg	0,35
Vitamina B3 (niacina)	mg	1,46
Vitamina B6 (piridoxina)	mcg	80,00
Vitamina B12	*	*
Vitamina D	*	*
Vitamina E (alfatocoferol)	UI	1,00
Folacina	mcg	1,00
Ácido pantoténico	mcg	10,00
Biotina	mcg	0,50
Inositol	mcg	6,40

Fuente: Earthrise, 2000

2.6.4 Almidón

El almidón es la mayor fuente de energía de las plantas superiores. Es un polisacárido natural proveniente de la molienda húmeda de los granos de maíz. En general, los gránulos de almidón de maíz se componen principalmente de amilosa y amilopectina. La amilosa y la amilopectina tienen propiedades diferentes. La amilosa tiene una alta

tendencia a la retrogradación y produce geles duros y películas fuertes, mientras que la amilopectina, en una dispersión acuosa, es más estable y produce geles suaves y películas débiles (Jay-lin, 2010).

En las pastas, cuando los gránulos de almidón son sometidos a tratamientos térmicos, debido a su estado nativo parcialmente cristalino, experimentan distintas transiciones de fase, llamadas gelatinización y retrogradación. Como consecuencia de la combinación de calor, humedad y tiempo durante la cocción, los gránulos de almidón se hinchan y gelatinizan. La gelatinización es la destrucción irreversible del orden molecular de los gránulos de almidón. Para que ocurra este fenómeno es necesario un nivel mínimo de agua y una determinada temperatura. Durante la gelatinización, una pequeña cantidad de almidón, principalmente amilosa, es liberada en la región inter-granular lo que conduce a un aumento de la viscosidad. Además, se produce el desorden de las regiones cristalinas dentro de los gránulos. Típicamente, el almidón se hidrata a temperaturas que van desde (40-120) °C, dependiendo del origen del almidón y del contenido de amilosa (Jay-lin, 2009).

2.6.5 Aceite de girasol

Los lípidos se definen como compuestos naturales solubles en solventes orgánicos y con limitada solubilidad en agua. Durante el desarrollo de la masa, los lípidos que se encuentran libres se asocian a las proteínas del gluten mediante interacciones específicas y modifican las propiedades reológicas de la masa, mejorando la ductilidad y elasticidad. En particular, los lípidos polares (especialmente los glicolípidos) pueden promover tanto interacciones hidrofóbicas como hidrofílicas entre el gluten y el almidón. Estas interacciones pueden mejorar la calidad de las pastas cocidas, favoreciendo la estabilidad tanto de la red de proteínas como del almidón (Chung, 1986).

2.6.6 Sal

Según (TECNOSA, 2018), la cantidad agregada para la elaboración de pastas está usualmente entre (1-3) % y lleva a cabo tres funciones principales:

1. Fortalecer y endurecer el gluten de la masa y mejorar las propiedades viscoelásticas. La sal puede mejorar significativamente las propiedades de laminado de la masa, especialmente a altos niveles de absorción de agua. Estos incluyen el aumento en la rigidez de la estructura del gluten para darle tenacidad y mejorar las propiedades viscoelásticas.
2. Debido a su naturaleza higroscópica, la sal tiene un significativo efecto sobre la velocidad de difusión de la humedad durante el secado de las pastas.
3. Realzar el sabor y mejorar las propiedades de textura de las pastas. Las pastas elaboradas con sal tienen tiempos de cocción más cortos, al aumentar la permeabilidad del agua durante la cocción y una textura más blanda y más elástica que las pastas sin sal.
4. Inhibir la actividad enzimática y el crecimiento de microorganismos, impidiendo la fermentación alcohólica y ácido láctica.

2.6.7 Goma xantán

La goma xantán (GX) es un polisacárido de origen natural procedente del maíz, que es utilizado como emulsionante y espesante, es decir, que permiten que las mezclas se mantengan unidas, ya que las moléculas del aceite o grasa presente no tienen separación entre ellas. En la masa produce una textura suave, extiende la vida anaquel y conserva los sabores. También se ha descrito que la GX aumenta la fuerza de la masa, la velocidad de hidratación de la pasta durante la cocción y muestra una excelente estabilidad con alginatos y almidones (Pasquel, 2001).

CAPÍTULO III

DISEÑO METODOLÓGICO

3.1 Desarrollo de la parte experimental

La parte experimental del presente trabajo de investigación “Elaboración de pasta semolada tipo nido enriquecida a partir pulpa de calabaza y espirulina”, se realiza en el Laboratorio Taller de Alimentos (LTA); de la Carrera de Ingeniería de Alimentos, dependiente de la Facultad de Ciencia y Tecnología de la Universidad Autónoma “Juan Misael Saracho”.

3.2 Equipos e instrumentos de proceso, materiales de laboratorio y utensilios de cocina

Durante la realización de la parte experimental, se emplearon diferentes utensilios, materiales de laboratorio y equipos del Laboratorio Taller de Alimentos (LTA); como ser:

3.2.1 Equipos de proceso

Los equipos utilizados en el presente trabajo de investigación se describen a continuación:

3.2.1.1 Laminadora y trefiladora de pastas manual

En la figura 3.1, se muestra la laminadora y trefiladora de pastas manual junto a sus especificaciones técnicas, utilizada para laminar la masa y dar forma a la pasta semolada.

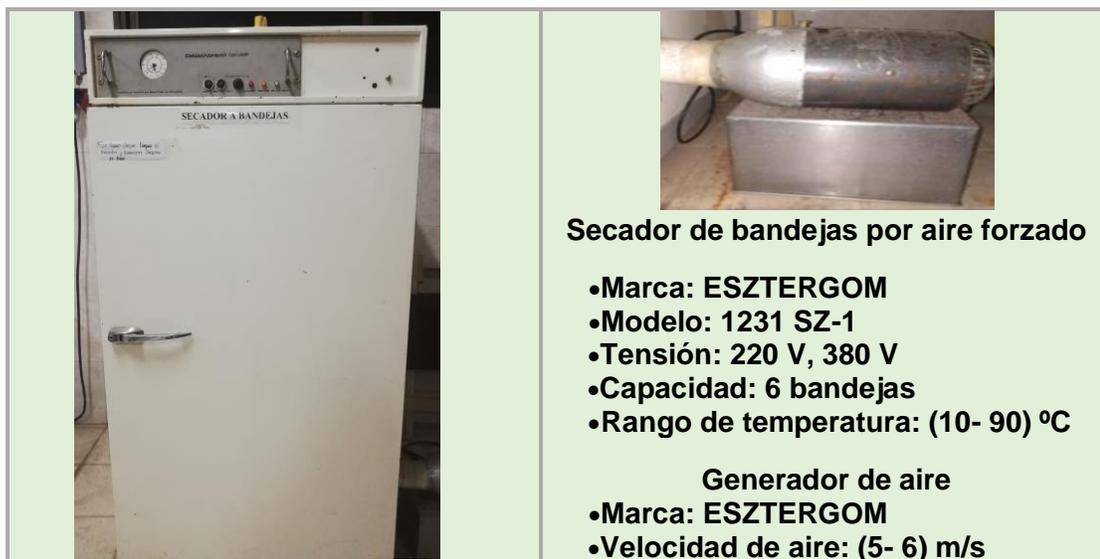


Fuente: Elaboración propia.

Figura 3.1. Laminadora y trefiladora de pastas manual

3.2.1.2 Secador de bandejas por aire forzado

En la figura 3.2, se muestra el secador de bandejas y el generador de aire con las especificaciones técnicas de ambos equipos utilizados en el presente trabajo, con la finalidad de llevar a cabo el secado de las pastas semoladas tipo nido.



Fuente: LTA, 2019

Figura 3.2. Secador de bandejas por aire forzado

3.2.1.3 Estufa

La estufa y sus especificaciones técnicas (figura 3.3), se emplea en la determinación del residuo de cocción del producto final para el análisis de calidad.



Fuente: L.T.A, 2019

Figura 3.3. Estufa

3.2.1.4 Selladora eléctrica manual

En la figura 3.4, se muestra la selladora eléctrica manual y sus especificaciones técnicas, que se utiliza para sellar herméticamente los envases (bolsas de polipropileno), con la pasta semolada tipo nido.

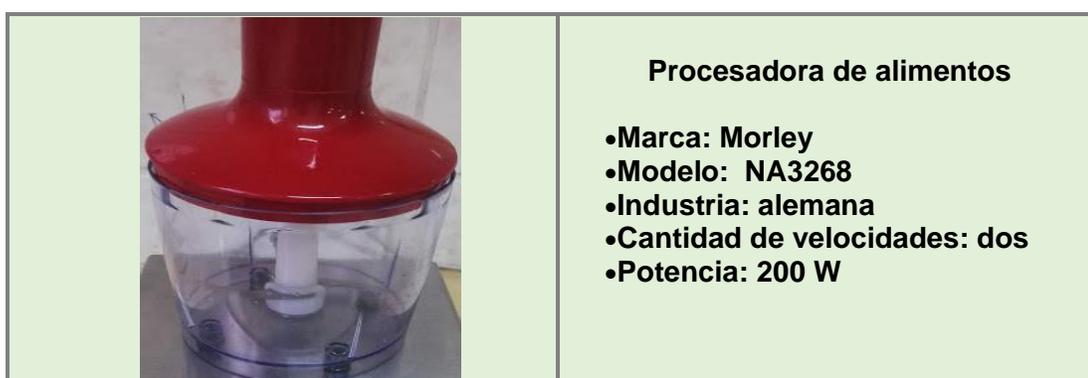


Fuente: L.T.A, 2019

Figura 3.4. Selladora eléctrica manual

3.2.1.5 Procesadora de alimentos

El procesador de alimentos y sus especificaciones técnicas (figura 3.5), se utiliza para triturar la pulpa de calabaza, empleada en el proceso de elaboración de pasta tipo nido semolada.



Fuente: Elaboración propia

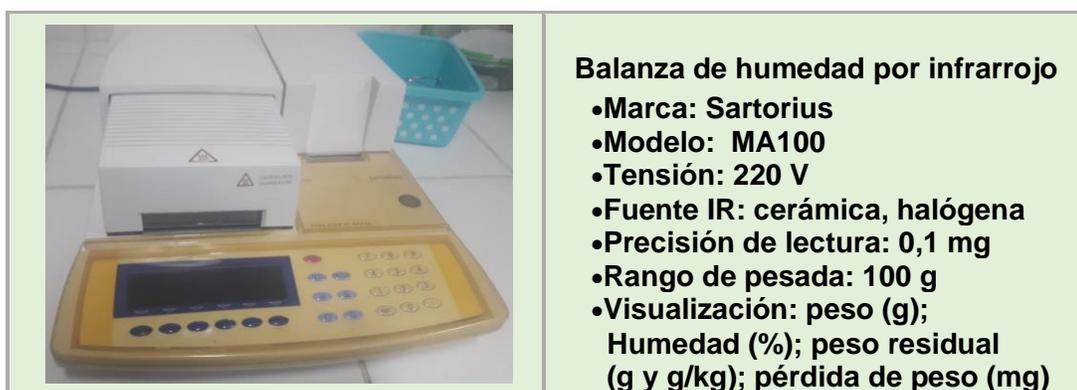
Figura 3.5. Procesadora de alimentos

3.2.2 Instrumentos del proceso

Los instrumentos del proceso que se utilizaron en el presente trabajo se detallan a continuación:

3.2.2.1 Balanza de humedad por infrarrojo

En la figura 3.6, se muestra la balanza de humedad por infrarrojo y sus especificaciones técnicas, perteneciente al Laboratorio de Operaciones Unitarias (LOU); Carrera de Ingeniería Química. Se emplea en la determinación de la humedad inicial en la pasta fresca.



Fuente: LOU, 2019

Figura 3.6. Balanza de humedad por infrarrojo

3.2.2.2 Vernier

El vernier y sus especificaciones técnicas (figura 3.7), se emplea para determinar las dimensiones (largo, ancho y grosor) de la pasta semolada tipo nido.



Fuente: LTA, 2019

Figura 3.7. Vernier

3.2.2.3 Balanza analítica digital

La balanza analítica digital y sus especificaciones técnicas (figura 3.8), se emplea para el pesado de materias primas e insumos y realización de las curvas de secado que fueron utilizados en el transcurso del trabajo.



Fuente: L.T.A, 2019

Figura 3.8. Balanza analítica digital

3.2.2.4 Psicrómetro

El psicrómetro y sus especificaciones técnicas (figura 3.9), se emplea para la obtención de datos de bulbo húmedo y bulbo seco; tanto al inicio como al final del proceso de secado de la pasta semolada tipo nido.



Fuente: LTA, 2019

Figura 3.9. Psicrómetro

3.2.2.5 Medidor de actividad de agua portátil

El medidor de actividad de agua portátil y sus especificaciones técnicas (figura 3.10), se emplea para la medición de la actividad de agua del producto final.



Fuente: LTA, 2019

Figura 3.10. Medidor de actividad de agua

3.2.2.6 Anemómetro digital

El anemómetro digital y sus especificaciones técnicas (figura 3.11), se utiliza tanto para medir la velocidad de la corriente de aire, como la humedad relativa dentro y fuera del secador.



Fuente: LTA, 2019

Figura 3.11. Anemómetro digital

3.2.3 Material de laboratorio

El material de laboratorio que se utiliza en el proceso de elaboración de pasta semolada tipo nido, se detalla en la tabla 3.1.

Tabla 3.1

Material de laboratorio

Materiales	Cantidad	Capacidad	Tipo de material
Matraz aforado	2	100 ml	Vidrio
Piseta	1	Mediano	Plástico
Probetas	2	500 ml	Vidrio
Termómetro de Hg	2	(0-100) °C	Vidrio
Varillas	2	Mediana	Vidrio
Erlenmeyer	3	250 ml	Vidrio
Espátula	1	Mediano	Metálico
Mortero	1	Mediano	Crisol
Vasos de precipitados	3	400 ml	Vidrio
Caja Petri	2	mediana	Vidrio
Desecador	1	Mediano	Vidrio

Fuente: Elaboración propia

3.2.4 Utensilios de cocina

Los utensilios de cocina fueron necesarios para la elaboración de pasta semolada tipo nido enriquecida con de pulpa de calabaza y espirulina, se detallan en la tabla 3.2.

Tabla 3.2

Utensilios de cocina

Utensilios	Cantidad	Capacidad	Tipo de material
Fuentes	4	Mediano	Acero inoxidable
Rodillo de amasar	1	Mediano	Madera
Papel film	1	Mediano	Polipropileno
Jarras	3	Mediano	Plástico
Cuchillos	2	Mediano	Acero inoxidable
Colador	2	Mediano	Acero inoxidable
Cucharas	3	Grande	Acero inoxidable
Ollas	1	Mediano	Acero inoxidable
Envases	9	Pequeño	Plástico
Repasadores	2	Mediano	Polietileno
Espátulas	2	Mediano	Plástico

Fuente: Elaboración propia

3.3 Materias primas e insumos

La materia prima e insumos alimentarios necesarios para la elaboración de pasta semolada tipo nido enriquecida con pulpa de calabaza y espirulina, se detallan en la tabla 3.3.

Tabla 3.3

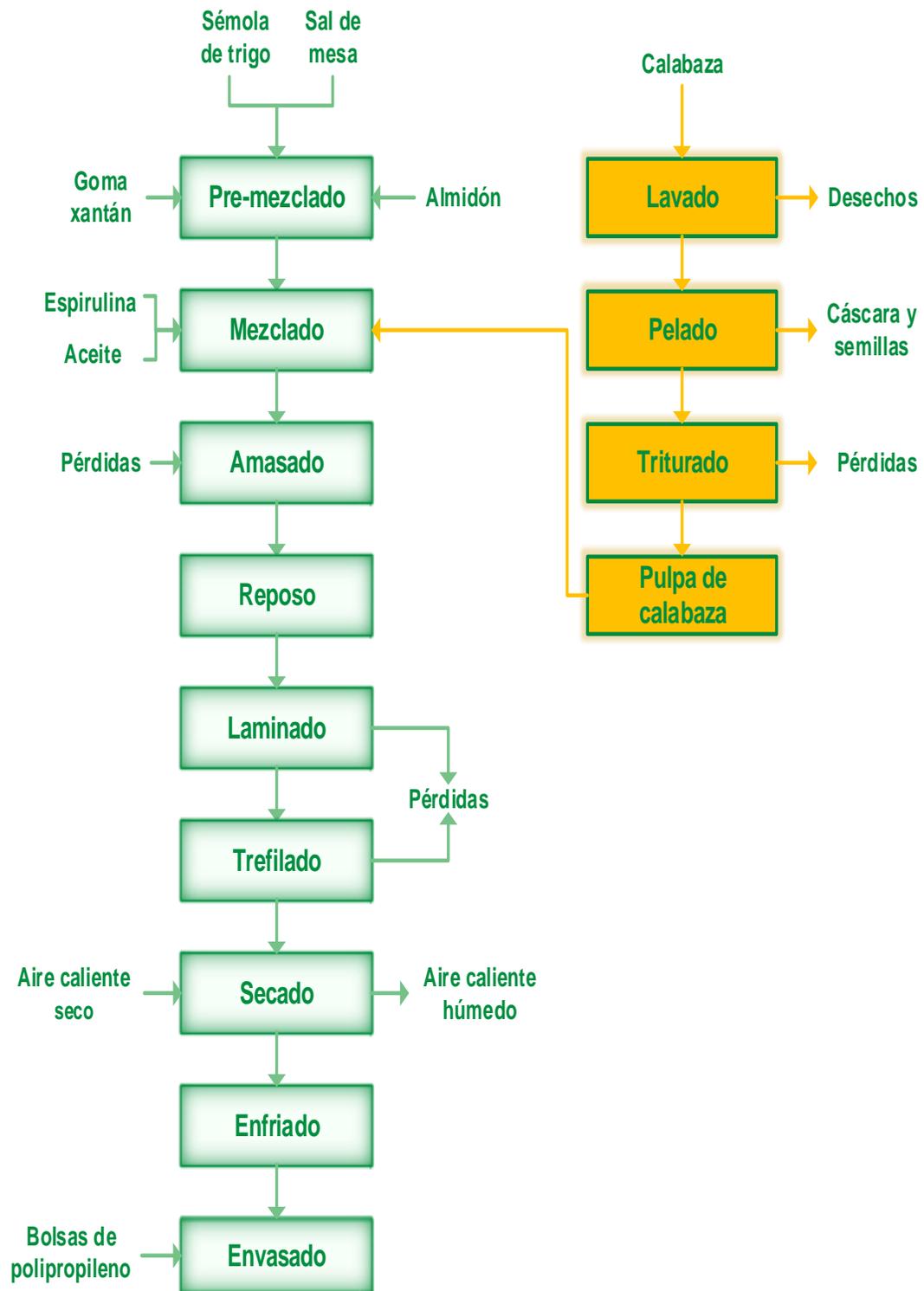
Materia prima e insumos alimentarios

Ingredientes	Procedencia	Marca
Sémola de trigo	Bolivia	Princesa
Espirulina	Argentina	Nutrasol
Calabaza	Bolivia	Mercado Local
NaCl (sal común)	Bolivia	Blancanieve
Aceite	Bolivia	Fino
Agua potable	Bolivia	-
Goma xantán	Bolivia	Maprial

Fuente: Elaboración propia

3.4 Diagrama del proceso de elaboración de pasta semolada tipo nido enriquecida con pulpa de calabaza y espirulina

En la figura 3.12, se muestra el diagrama del proceso de elaboración de pasta semolada tipo nido enriquecida con pulpa de calabaza y espirulina.



Fuente: Elaboración propia

Figura 3.12. Diagrama del proceso de elaboración de pasta semolada tipo nido enriquecida con pulpa de calabaza y espirulina

3.4.1 Descripción del proceso de elaboración de pasta semolada tipo nido enriquecido con pulpa de calabaza y espirulina

Las operaciones implicadas en la elaboración de pasta semolada tipo nido, se detallan a continuación:

3.4.1.1 Pre-mezclado

Con la finalidad de homogeneizar todos los insumos en seco, se mezclan de forma manual, sémola de trigo (64-65) %, almidón (1,2-1,3) %, sal (1,3-1,4) % y goma xantán (0,4-0,5) %, en un recipiente de acero inoxidable por un tiempo de (1-2) minutos. Posteriormente, se realiza el proceso de elaboración de pulpa de calabaza.

3.4.1.2 Calabaza

Para el presente trabajo, se utiliza calabaza variedad (*Cucurbita moschata*) que fue adquirida en el Mercado Campesino de la provincia de Cercado Tarija; tomando en cuenta de acuerdo el tamaño y grado de madurez.

3.4.1.3 Lavado

Consistió en lavar la calabaza de forma manual con 2 litros de agua potable con el propósito de eliminar polvo, tierra e impurezas adheridas en la superficie de la cáscara.

3.4.1.4 Pelado

Luego se retira manualmente la cáscara y semillas de la calabaza, mediante el empleo de un cuchillo de acero inoxidable.

3.4.1.5 Triturado

Se procede trocear la pulpa de calabaza en forma de cubos con la ayuda de un cuchillo de acero inoxidable con el fin de poder introducirla en la procesadora de alimentos, seguidamente se realiza el triturado de los trozos de pulpa por un tiempo

entre (2-3) minutos, con el propósito de obtener un picado muy fino que se pueda incorporar y logre una homogeneidad completa con los demás insumos en toda la masa.

3.4.1.6 Mezclado

Una vez realizado el proceso de triturado, se procede a incorporar la pulpa de calabaza cruda entre (29-30) %, brindando la hidratación necesaria a la mezcla por su gran contenido de humedad (90-95) %, y se continúa mezclando de forma manual por un tiempo entre (4-5) minutos con el fin de lograr una humectación homogénea. Por último, se agrega espirulina deshidratada (1,3-1,4) %, aceite de girasol (2,5-2,6) % y mezcla por un tiempo entre (4-5) minutos más hasta lograr integrar todos los ingredientes y obtener una mezcla bien compacta.

3.4.1.7 Amasado

Después de la etapa de mezclado, se da paso al amasado en donde se realiza manualmente durante un tiempo entre (10-12) minutos. Esta parte del proceso es importante para llegar a tener la correcta humectación de los ingredientes y que pueda dar uniformidad y manejabilidad necesaria a la masa.

3.4.1.8 Reposo

Para evitar alguna resequedad en la superficie de la masa, se procede a envolver la masa con papel film (9 mm de espesor) y se deja en reposo por una hora. Este tiempo permite que se redistribuya el agua en toda la masa y se obtenga una mejor textura para obtener la elasticidad deseada y mejorar el manejo de la masa en el proceso de laminado.

3.4.1.9 Laminado

Pasado el tiempo de reposo se aplanan la masa, empleando un palo de amasar, hasta un grosor de 1 cm para ser trasladada a la laminadora.

En esta etapa se usa una laminadora manual, en donde mediante la aplicación de una presión mecánica, la masa es esforzada en pasar entre (3-4) veces por dos

rodillos lisos, que girando en sentido opuesto compactan la masa, de acuerdo al grosor deseado, hasta obtener una lámina de color uniforme, lisa y perfectamente homogénea de 30,0 cm de largo, 20,0 cm de ancho y 2,5 mm de espesor. El tiempo de laminado fue de entre (10-15) minutos.

3.4.1.10 Trefilado

El trefilado consiste en dar forma a la pasta, empleando una cortadora de pastas manual, en donde introduciendo la lámina en los cilindros cortadores de la trefiladora se obtuvieron cintas largas (30,0 cm), con un mismo espesor (2,5 mm). Luego las cintas obtenidas se enrollan manualmente en forma de nidos y se colocan sobre bandejas de superficie plana dispersos unos de otros, para luego ser llevadas al secador.

3.4.1.11 Secado

El proceso de secado, se realiza en un secador a bandejas con un sistema de ventilación forzada, y velocidad del aire de 6 m/s con una temperatura de secado entre (50-60) °C, para que el calor pueda circular de manera homogénea por todo el equipo. Las pastas trefiladas y enrolladas se disponen en bandejas que luego son colocadas en el secador previamente calentado. El objetivo es evitar que estos puedan pegarse o deformarse, conservando la forma previamente definida, además de disminuir el contenido de humedad de la pasta hasta un 12 %, para que mantenga sus características organolépticas por tiempos prolongados y no presente problemas de deterioro.

3.4.1.12 Enfriamiento

Una vez retirado el producto del secador, se realiza un enfriamiento tan pronto como finaliza el proceso de secado, para detener el tiempo de contacto térmico de la pasta en el equipo. Luego las mismas se enfrían sobre las bandejas en un lugar seco y fresco entre una temperatura ambiente de (20-23) °C, con la finalidad de impedir el exudado de la pasta al momento de su envasado. El tiempo empleado para esta fase es de entre (5-10) minutos para 1 kg de pasta seca.

3.4.1.13 Envasado

Una vez que la pasta se encuentra a temperatura ambiente, el producto es envasado en bolsas de polipropileno (15x10) cm, y mediante una selladora manual se sellan los paquetes, con la finalidad de conseguir una adecuada conservación e higiene durante su almacenamiento, proporcionando seguridad y durabilidad del producto final.

3.5 Metodología experimental para la obtención de resultados

Los métodos utilizados para realizar la caracterización general de las materias primas y producto final para llevar a cabo la parte experimental, se realizaron en el Centro de Análisis, Investigación y Desarrollo (CEANID) y Laboratorio Taller de Alimentos de la Carrera de Ingeniería de Alimentos; dependiente de la Facultad de Ciencia y Tecnología de la Universidad Autónoma “Juan Misael Saracho”, se detallan a continuación:

3.5.1 Análisis de las características físicas para la calabaza

En la tabla 3.4, se muestran los parámetros tomados en cuenta para la determinación de las características físicas de la calabaza (*Cucurbita moschata*), realizados en el Laboratorio Taller de Alimentos.

Tabla 3.4

Características físicas de la calabaza

Parámetros	Unidades
Porción comestible	%
Porción no comestible	%
Peso neto	g
Peso bruto	g
Altura	cm

Fuente: Elaboración propia

3.5.2 Análisis de macronutrientes de la pulpa de calabaza

En la tabla 3.5, se muestran los parámetros y métodos tomados en cuenta para la determinación de los análisis de macronutrientes de la calabaza (*Cucurbita moschata*).

Tabla 3.5

Análisis de macronutrientes de la pulpa de calabaza

Parámetros	Métodos	Unidad
Proteína(Nx6,25)	NB/ISO 8968-1:08	%
Humedad	NB 313010:05	%
Fibra	Manual del CEANID	%
Ceniza	NB 39034:10	%
Hidratos de carbono	Cálculo	%
Materia grasa	NB 228:98	%
Valor energético	Cálculo	Kcal/100 g

Fuente: CEANID, 2019

3.5.3 Análisis de micronutrientes de la pulpa de calabaza

En la tabla 3.6, se muestran los parámetros y métodos tomados en cuenta en la determinación de magnesio y potasio de la calabaza (*Cucurbita moschata*).

Tabla 3.6

Análisis de micronutrientes de la pulpa de calabaza

Parámetros	Métodos	Unidad
Magnesio	Absorción Atómica	mg/100 g
Potasio	Absorción Atómica	mg/100 g

Fuente: CEANID, 2019

3.5.4 Análisis microbiológico de la pulpa de calabaza

En la tabla 3.7, se muestran los parámetros tomados en cuenta para el análisis microbiológico de la calabaza (*Cucurbita moschata*).

Tabla 3.7

Análisis microbiológico de la pulpa de calabaza

Parámetros	Métodos	Unidad
Escherichia coli	NB 32005:02	UFC/g
Salmonella	NB 32007:03	P/A/25 g

Fuente: CEANID, 2019

3.5.5 Análisis de macronutrientes de la espirulina deshidratada

En la tabla 3.8, se muestran los parámetros y métodos tomados en cuenta para la determinación de los análisis de macronutrientes de la espirulina deshidratada (*Arthrospira platensis*).

Tabla 3.8

Análisis de macronutrientes de la espirulina deshidratada

Parámetros	Métodos	Unidad
Proteína(Nx6,25)	NB/ISO 8968-1:08	%
Humedad	NB 313010:05	%
Fibra	Manual del CEANID	%
Ceniza	NB 39034:10	%
Hidratos de carbono	Cálculo	%
Materia grasa	NB 228:98	%
Valor energético	Cálculo	Kcal/100 g

Fuente: CEANID, 2019

3.5.6 Análisis de micronutrientes de la espirulina deshidratada

En la tabla 3.9, se muestran los parámetros y métodos tomados en cuenta en la determinación de hierro y calcio de la espirulina deshidratada (*Arthrospira platensis*).

Tabla 3.9

Análisis de micronutrientes de la espirulina deshidratada

Parámetros	Métodos	Unidad
Hierro	Absorción Atómica	mg/100 g
Calcio	Absorción Atómica	mg/100 g

Fuente: CEANID, 2019

3.5.7 Análisis microbiológico de la espirulina

En la tabla 3.10, se muestran los parámetros tomados en cuenta para el análisis microbiológico de la espirulina deshidratada (*Arthrospira platensis*).

Tabla 3.10

Análisis microbiológico de la espirulina deshidratada

Parámetros	Métodos	Unidad
Mohos y levaduras	NB 32006:03	UFC/g

Fuente: CEANID, 2019

3.5.8 Análisis fisicoquímico de la sémola de trigo

En la tabla 3.11, se muestran los parámetros y métodos tomados en cuenta para la determinación de los análisis fisicoquímicos de la sémola de trigo.

Tabla 3.11

Análisis fisicoquímico de la sémola de trigo

Parámetros	Métodos	Unidad
Gluten húmedo	NB 106:00	%
Acidez	NB 107:00	%
Humedad	NB 313010:05	%

Fuente: CEANID, 2019

3.5.9 Análisis físico del producto terminado

Para el análisis físico del producto terminado, se realizó la determinación de las dimensiones indicadas en la tabla 3.12.

Tabla 3.12

Análisis físico del producto terminado

Parámetros	Unidad
Largo	cm
Ancho	mm
Espesor	mm

Fuente: Elaboración propia

3.5.10 Análisis de macronutrientes del producto terminado

En la tabla 3.13, se muestran los parámetros y métodos tomados en cuenta para la determinación de los análisis de macronutrientes del producto terminado.

Tabla 3.13

Análisis de macronutrientes del producto terminado

Parámetros	Métodos	Unidad
Proteína(Nx6,25)	NB/ISO 8968-1:08	%
Humedad	NB 313010:05	%
Fibra	Manual del CEANID	%
Ceniza	NB 39034:10	%
Hidratos de carbono	Cálculo	%
Materia grasa	NB 228:98	%
Valor energético	Cálculo	Kcal/100 g

Fuente: CEANID, 2019

3.5.11 Análisis fisicoquímico del producto terminado

En la tabla 3.14, se muestran los parámetros y métodos tomados en cuenta para la determinación de los análisis fisicoquímicos del producto terminado.

Tabla 3.14

Análisis fisicoquímico del producto terminado

Parámetros	Métodos	Unidad
Gluten húmedo	NB 106:00	%
Acidez	NB 107:00	%

Fuente: CEANID, 2019

3.5.12 Análisis de micronutrientes del producto terminado

En la tabla 3.15, se muestran los parámetros y métodos tomados en cuenta para la determinación de micronutrientes del producto terminado

Tabla 3.15

Análisis de micronutrientes del producto terminado

Parámetros	Métodos	Unidad
Hierro	Absorción Atómica	mg/100 g
Magnesio	Absorción Atómica	mg/100 g
Potasio	Absorción Atómica	mg/100 g
Calcio	Absorción Atómica	mg/100 g

Fuente: CEANID, 2019

3.5.13 Análisis microbiológico del producto terminado

En la tabla 3.16, se muestran los parámetros y métodos tomados en cuenta para el análisis microbiológico del producto terminado.

Tabla 3.16

Análisis microbiológico del producto terminado

Parámetros	Métodos	Unidad
Escherichia coli	NB 32005:02	UFC/g
Mohos y levaduras	NB 32006:03	UFC/g
Staphylococcus aureus	NB 32004:02	UFC/g

Fuente: CEANID, 2019

3.5.14 Análisis de calidad del producto terminado

En la tabla 3.17, se muestran los parámetros y métodos tomados en cuenta para la determinación del análisis de calidad del producto terminado.

Tabla 3.17

Análisis de calidad del producto terminado

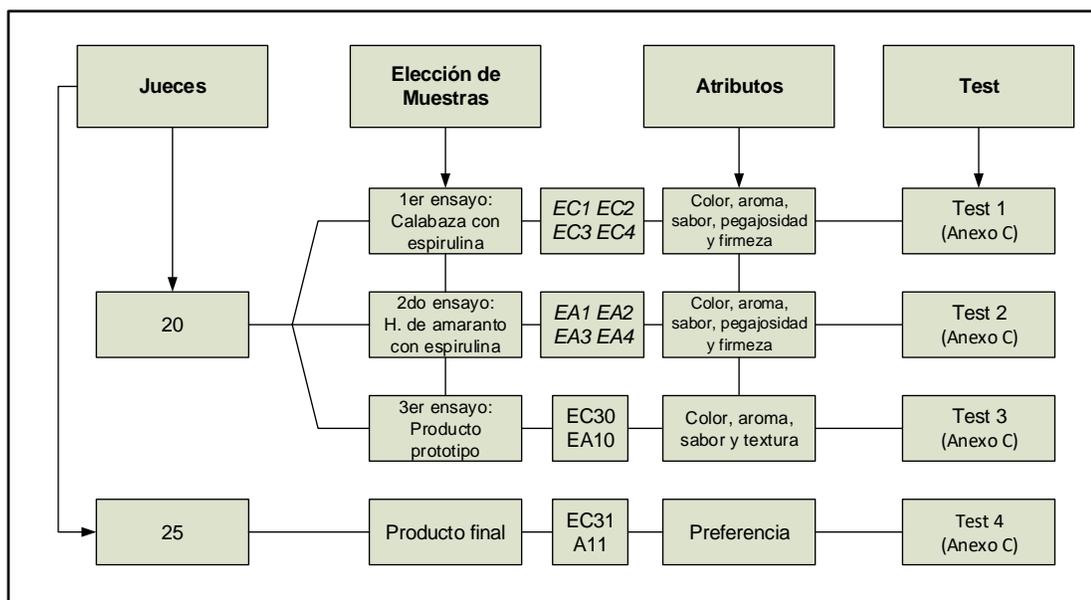
Parámetros	Métodos	Unidad
Tiempo óptimo de cocción	AACC 66-50.01	min
Índice de hinchamiento	NB 579:1990	%
Residuo de cocción	NB 579:1991	%

Fuente: IBNORCA, 2019

3.6 Análisis sensorial de los alimentos

La evaluación sensorial de los alimentos se constituye como una herramienta importante para el mejor desenvolvimiento de las actividades de la industria alimentaria. Así pues, por su aplicación en el control de calidad y procesos, en el diseño y desarrollo de nuevos productos y en la estrategia del lanzamiento de los mismos al comercio, la hace, sin dudas algunas, el copartícipe del desarrollo y avance mundial de la alimentación (Peralta, 1999).

En la figura 3.13, se observan las evaluaciones sensoriales realizadas en la determinación de las propiedades organolépticas para la elaboración de pasta semolada tipo nido enriquecida con pulpa de calabaza y espirulina, empleando una escala hedónica de cinco puntos.



Fuente: Elaboración propia

Figura 3.13. Evaluaciones sensoriales en la determinación de las propiedades organolépticas en la elaboración de pasta semolada tipo nido

3.7. Diseño experimental

Se entiende por diseño experimental, a proceso de plantear un experimento, tal que se tomen datos apropiados con la mayor realidad posible, los cuales deber ser analizados mediante métodos estadísticos que deriven conclusiones válidas y objetivas; con una alta fidelidad y a un costo mínimo (Armas, 2013).

3.7.1 Diseño factorial con tres factores o mixtos

El estudio factorial de tres factores (A, B y C) permite investigar los efectos: A, B, C, AB, AC, BC, ABC, donde el nivel de desglose o detalle con el que pueden estudiarse depende del número de niveles utilizados en cada factor (Gutiérrez, 2008).

3.7.2 Diseño factorial en el proceso de dosificado y secado de pasta semolada tipo nido enriquecida con pulpa de calabaza y espirulina

En el presente trabajo de investigación se aplico el diseño experimental en el proceso de dosificado y secado de la pasta semolada tipo nido enriquecida con pulpa de calabaza y espirulina de acuerdo a la ecuación 3.1.

$$A \times B \times C \dots \dots \dots \text{ (Ecuación 3.1)}$$

En la tabla 3.18, se detallan los factores y los niveles de variación de cada factor:

Tabla 3.18

Niveles de variación de los factores

Factores		Niveles	Unidades	Valores
Temperatura	T ₁	3	°C	40
	T ₂			50
	T ₃			60
Velocidad del aire	V ₁	2	m/s	5
	V ₂			6
Goma xantán	G ₁	2	%	0,48
	G ₂			0,96

Fuente: Elaboración propia

3x2x2 = 12 pruebas/corridas

En la tabla 3.19, se muestra la matriz de variables, con las combinaciones entre los factores y niveles, para el proceso de secado de pasta semolada tipo nido enriquecida con pulpa de calabaza y espirulina.

Tabla 3.19

Matriz de variables en el proceso de secado de la pasta semolada

Corridas	Factores			Interacciones		Respuesta
	T	V	G	Réplica I	Réplica II	Y_i
1	T ₁	V ₁	G ₁	T ₁ V ₁ G ₁	T ₁₀ V ₁₀ G ₁₀	Y ₁
2			G ₂	T ₁ V ₁ G ₂	T ₁₀ V ₁₀ G ₂₀	Y ₂
3		V ₂	G ₁	T ₁ V ₂ G ₁	T ₁₀ V ₂₀ G ₁₀	Y ₃
4			G ₂	T ₁ V ₂ G ₂	T ₁₀ V ₂₀ G ₂₀	Y ₄
5	T ₂	V ₁	G ₁	T ₂ V ₁ G ₁	T ₂₀ V ₁₀ G ₁₀	Y ₅
6			G ₂	T ₂ V ₁ G ₂	T ₂₀ V ₁₀ G ₂₀	Y ₆
7		V ₂	G ₁	T ₂ V ₂ G ₁	T ₂₀ V ₂₀ G ₁₀	Y ₇
8			G ₂	T ₂ V ₂ G ₂	T ₂₀ V ₂₀ G ₂₀	Y ₈
9	T ₃	V ₂	G ₁	T ₃ V ₁ G ₁	T ₃₀ V ₁₀ G ₁₀	Y ₉
10			G ₂	T ₃ V ₁ G ₂	T ₃₀ V ₁₀ G ₁₀	Y ₁₀
11		V ₂	G ₂	T ₃ V ₂ G ₁	T ₃₀ V ₂₀ G ₁₀	Y ₁₁
12			G ₂	T ₃ V ₂ G ₂	T ₃₀ V ₂₀ G ₂₀	Y ₁₂

Fuente: Elaboración propia

Donde: Y_i = Contenido de humedad en base seca (g_{H2O}/g_{ss})

CAPÍTULO IV

ÁNÁLISIS Y DISCUSIÓN DE LOS RESULTADOS

4.1 Caracterización de las materias primas

Para caracterizar la materia prima en el presente trabajo, se tomaron en cuenta los resultados de los análisis de macronutrientes, micronutrientes y microbiológicos de la calabaza (*Cucurbita moschata*), espirulina deshidratada (*Arthrospira platensis*) y sémola de trigo; realizados en el Centro de análisis Investigación y Desarrollo (CEANID), dependiente de la Universidad Autónoma “Juan Misael Saracho”.

4.1.1 Análisis de las características físicas para la calabaza

En la tabla 4.1, se muestran los resultados promedios de los datos extraídos de la tabla A.1 (Anexo A), para el análisis de las características físicas de la calabaza (*Cucurbita moschata*) y realizadas en diez frutos enteros.

Tabla 4.1

Características físicas calabaza (Cucurbita moschata)

Parámetros	Unidad	Valores
Peso bruto	g	1096,67
Peso neto	g	1016,44
Altura	cm	24,10
Porción comestible	%	84,95
Porción no comestible	%	15,05

Fuente: Elaboración propia

En la tabla 4.1, se puede observar que la calabaza posee en promedio: peso bruto 1228,18 g, peso neto 1043,44 g, altura 24,10 cm, porción comestible 84,95 % y porción no comestible 15,05 %.

4.1.2 Análisis de macronutrientes de la pulpa de calabaza

En la tabla 4.2, se muestran los resultados obtenidos del análisis de macronutrientes (Anexo A) de la pulpa de calabaza (*Curcubita moschata*).

Tabla 4.2**Análisis de macronutrientes de la pulpa de calabaza**

Parámetros	Unidad	Valores
Proteína(Nx6,25)	%	1,54
Humedad	%	95,34
Fibra	%	n/d
Ceniza	%	1,47
Hidratos de carbono	%	1,65
Materia grasa	%	n/d
Valor energético	Kcal/100 g	12,76

Fuente: CEANID, 2019

En la tabla 4.2, se puede observar que la pulpa de calabaza contiene: proteína (Nx6,25) 1,54 %; humedad 95,34 %; fibra n/d; ceniza 1,47 %; hidratos de carbono 1,65 %; materia grasa n/d y valor energético 12,76 Kcal/100 g.

4.1.3 Análisis de micronutrientes de la pulpa de calabaza

En la tabla 4.3, se muestran los resultados obtenidos del análisis de micronutrientes (Anexo A) de la pulpa de calabaza (*Curcubita moschata*).

Tabla 4.3**Análisis de micronutriente de la pulpa de calabaza**

Parámetros	Unidad	Valores
Magnesio	mg/100 g	5,0
Potasio	mg/100 g	158,0

Fuente: CEANID, 2019

En la tabla 4.3, se puede observar que la pulpa de calabaza contiene: magnesio 5,0 mg/100 g y potasio 158 mg/100 g.

4.1.4 Análisis microbiológico de la pulpa de calabaza

En la tabla 4.4, se muestran los resultados obtenidos del análisis microbiológico (Anexo A) de la pulpa de calabaza (*Curcubita moschata*).

Tabla 4.4

Análisis microbiológico de la pulpa de calabaza

Parámetros	Unidad	Valores
Escherichia coli	UFC/g	<1,0 x 10 ¹ (*)
Salmonella	P/A/25 g	Ausencia

Fuente: CEANID, 2019

En la tabla 4.4, se puede observar que la pulpa de calabaza presenta: E. coli <1,0 x 10¹ (*) UFC/g sin desarrollo de colonias y ausencia de Salmonella P/A/25 g.

4.1.5 Análisis de macronutrientes de la espirulina deshidratada

En la tabla 4.5, se muestran los resultados obtenidos del análisis de macronutrientes (Anexo A) de la espirulina deshidratada (*Arthrospira platensis*).

Tabla 4.5

Análisis de macronutrientes de la espirulina deshidratada

Parámetros	Unidad	Valores
Proteína(Nx6,25)	%	69,30
Humedad	%	12,85
Fibra	%	0,68
Ceniza	%	0,14
Hidratos de carbono	%	2,63
Materia grasa	%	14,40
Valor energético	Kcal/100 g	417,32

Fuente: CEANID, 2019

En la tabla 4.5, se puede observar que la espirulina deshidratada contiene: ceniza 0,14 %; fibra 0,68 %; grasa 14,40 %; hidratos de carbono 2,63 %; humedad 12,85 %; proteína (Nx6,25) 69,30 % y valor energético 417,32 Kcal/100 g.

4.1.6 Análisis de micronutrientes de la espirulina deshidratada

En la tabla 4.6, se muestran los resultados obtenidos del análisis de micronutrientes (Anexo A) de la espirulina deshidratada (*Arthrospira platensis*).

Tabla 4.6

Análisis de micronutrientes de la espirulina deshidratada

Parámetros	Unidad	Valores
Calcio	mg/100 g	141,0
Hierro	mg/100 g	57,5

Fuente: CEANID, 2019

En la tabla 4.6, se puede observar que la espirulina deshidratada contiene: hierro 57,5 mg/100 g y calcio 141 mg/100 g.

4.1.7 Análisis microbiológico de la espirulina deshidratada

En la tabla 4.7, se muestran los resultados obtenidos del análisis microbiológico (Anexo A) de la espirulina deshidratada (*Arthrospira platensis*).

Tabla 4.7

Análisis microbiológico de la espirulina deshidratada

Parámetro	Unidad	Valores
Mohos y levaduras	UFC/g	<1,0 x 10 ¹ (*)

Fuente: CEANID, 2019

En la tabla 4.7, se puede observar que la espirulina deshidratada presenta: Mohos y levaduras <1,0 x 10¹ (*) UFC/g sin desarrollo de colonias.

4.1.8 Análisis fisicoquímico de la sémola de trigo

En la tabla 4.8, se muestran los resultados obtenidos del análisis fisicoquímico para la sémola de trigo (Anexo A).

Tabla 4.8

Análisis fisicoquímico de la sémola de trigo

Parámetros	Unidad	Valor
Acidez	%	0,42
Gluten húmedo	%	19,24

Fuente: CEANID, 2019

En la tabla 4.8, se puede observar que la sémola de trigo contiene acidez 0,42 % (ácido sulfúrico) y gluten húmedo 19,24 %.

4.2 Caracterización de las variables del proceso en la pasta semolada tipo nido enriquecida con pulpa de calabaza y espirulina

Para caracterizar las variables del proceso de elaboración de pasta semolada tipo nido enriquecida con pulpa de calabaza y espirulina, se tomaron en cuenta los siguientes aspectos:

4.2.1 Proceso de selección de la muestra ideal para la obtención de pasta semolada tipo nido

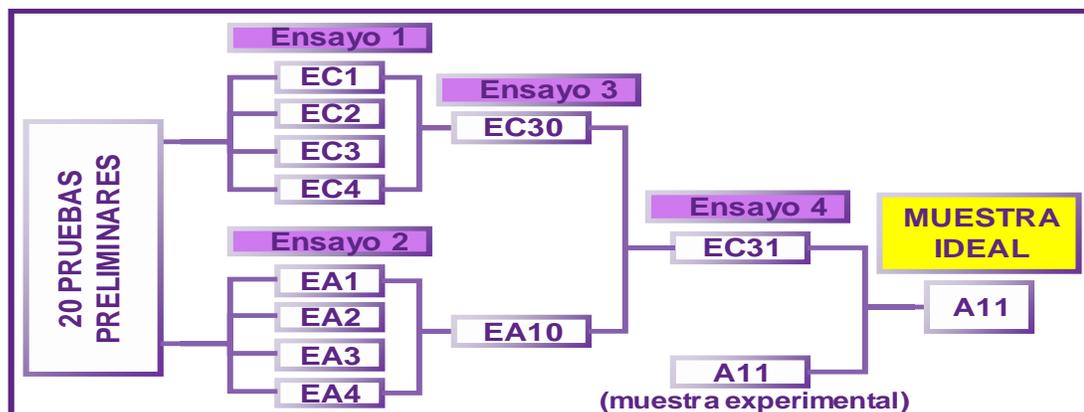
Inicialmente a nivel experimental, se elaboraron veinte pruebas preliminares con distintas formulaciones (Anexo B) y temperaturas de secado entre (35-45) °C; incorporando harina de amaranto y pulpa de calabaza, pero manteniendo constante la espirulina deshidratada en todas las dosificaciones. Para la realización de las pruebas, la elección de la harina de amaranto como sustituto parcial de la sémola fue por su composición nutricional, en cuanto al elevado valor proteico; mientras que funcionalmente la pulpa de calabaza combinada con la espirulina enmascara y atenúa su sabor característico. Además, la pulpa de calabaza al poseer alto contenido humedad ayuda en la formación de la masa, sin la necesidad de adicionar agua a la formulación.

Con la finalidad de simplificar el proceso de selección entre las pruebas preliminares con harina de amaranto y pulpa de calabaza, mediante un análisis de criterios, fueron reformuladas ocho de las formulaciones más representativas en base a sus cualidades organolépticas, tanto de la pasta seca como de la pasta cocida.

En el ensayo 1 de pastas semoladas, las cuatro muestras contenían en común pulpa de calabaza así mismo en el ensayo 2 con la harina de amaranto. Consiguientemente luego del ensayo 3 la harina de amaranto fue sustituida completamente por el empleo de la pulpa de calabaza como sustituto parcial de la sémola de trigo.

Finalmente, con el propósito de direccionar la obtención de la muestra ideal se realiza el ensayo 4 entre una muestra de referencia, extraída del diseño experimental, y una muestra prototipo obtenida del ensayo 3.

En la figura 4.1, se muestra la secuencia de ensayos realizados para la obtención de la muestra ideal de pasta semolada tipo nido enriquecida con pulpa de calabaza y espirulina.



Fuente: Elaboración propia

Figura 4.1. Proceso de selección de la muestra ideal para la elaboración de pasta semolada tipo nido enriquecida con pulpa de calabaza y espirulina.

4.2.2 Variación porcentual en la formulación de pasta semolada con pulpa de calabaza para el primer ensayo

El primer ensayo, se realiza con la finalidad de seleccionar una muestra prototipo con pulpa de calabaza, bajo condiciones de temperatura de secado de 40 °C, para lo cual se preseleccionaron un total de cuatro muestras EC1, EC2, EC3 y EC4 (figura 4.1) con distintos insumos. La tabla 4.9, presenta la variación porcentual en la formulación de pasta semolada tipo nido con pulpa de calabaza, huevo de gallina, almidón, goma xantán y carboximetilcelulosa (CMC), teniendo en común el contenido de sémola de trigo, espirulina deshidratada, sal y aceite de girasol.

Tabla 4.9

Variación porcentual en la formulación para el primer ensayo

Muestras	Pulpa de calabaza (%)	Huevo (%)	Almidón (%)	Goma xantán (%)	CMC (%)
EC1	31,04	-	-	-	0,94
EC2	16,60	10,62	-	-	-
EC3	31,04	-	-	0,94	-
EC4	30,75	-	1,84	-	-

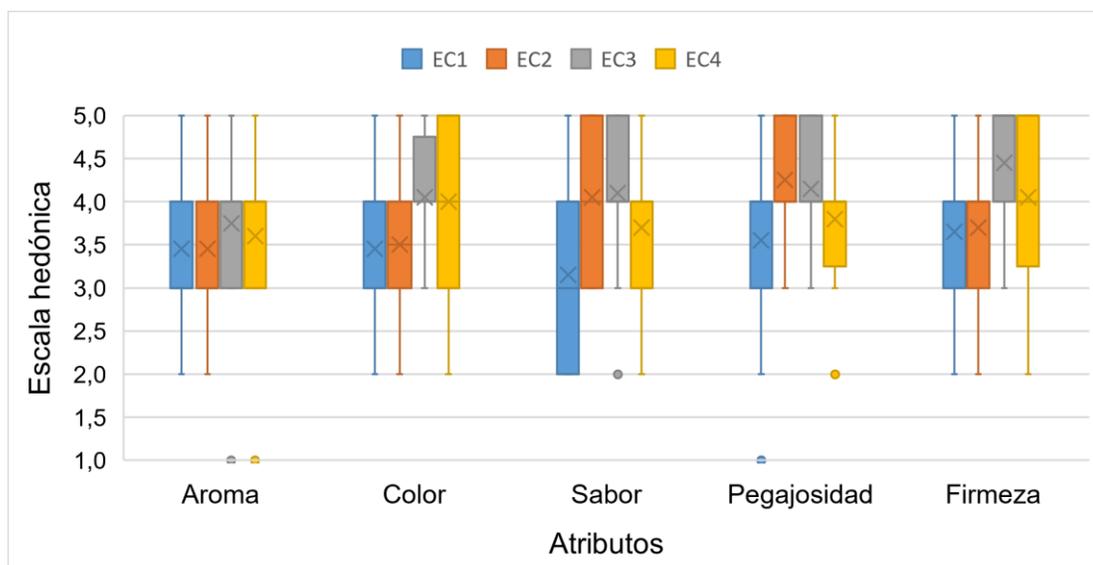
Fuente:

Elaboración propia

En base a las formulaciones de la tabla 4.9, se procede a realizar una evaluación sensorial con una escala hedónica de cinco puntos utilizando veinte jueces no entrenados que evaluaron los atributos color, sabor, aroma, pegajosidad y firmeza, para lo cual se cocieron las pastas hasta alcanzar el tiempo óptimo de cocción.

4.2.2.1 Análisis caja y bigote para el primer ensayo de pasta semolada tipo nido con pulpa de calabaza y espirulina

La figura 4.2, muestra los resultados de caja y bigote aplicados en la elaboración de pasta semolada tipo nido para los atributos aroma (tabla D.1), color (tabla D.2), sabor (tabla D.5), pegajosidad (tabla D.9) y firmeza (tabla D.13); extraídos del (Anexo D).



Fuente: Elaboración propia

Figura 4.2. Análisis caja y bigote para el primer ensayo de pasta semolada tipo nido con pulpa de calabaza y espirulina

Según caja y bigote de la figura 4.2, presenta medianas para el atributo pegajosidad EC2 (4,25) y EC3 (4,15), para firmeza EC3 (4,25) y EC4 (4,05), estando los resultados distribuidos en la parte central de la caja próximos al segundo cuartil. El atributo aroma presenta las medias centralizadas alrededor de las cajas con valores próximos al primer cuartil, para color EC3 (4,05) y EC4 (4,00), y para el atributo sabor EC3 (4,10) y EC2 (4,05); estando los resultados distribuidos en el primer y segundo cuartil, alrededor del 25 % y 50 % de la caja, indicando que los jueces no percibieron diferencias entre estos atributos.

4.2.2.2 Estadístico de Tukey para el atributo sabor de la pasta semolada del primer ensayo

En la tabla 4.10, se muestran los resultados del estadístico de Tukey para el atributo sabor, que fueron extraídos de la tabla D.8 del (Anexo D).

Tabla 4.10

Estadístico de Tukey para el atributo sabor del primer ensayo

Tratamientos	Efectos
EC1-EA4	Si hay diferencia significativa
EC1-EC3	No hay diferencia significativa
EC1-EC2	No hay diferencia significativa
EC2-EC4	Si hay diferencia significativa
EC2-EC3	No hay diferencia significativa
EC3-EC4	No hay diferencia significativa

Fuente: Elaboración propia

En la tabla 4.10, se puede observar que existe diferencia estadística entre los tratamientos EC1–EC4 y EC2-EC4. Sin embargo, entre los tratamientos EC1-EC3; EC1-EC2; EC2-EC3 y EC3-EC4, no existe diferencia significativa $p < 0,05$.

4.2.2.3 Estadístico de Tukey para el atributo pegajosidad de la pasta semolada del primer ensayo

En la tabla 4.11, se muestran los resultados del estadístico Tukey para el atributo pegajosidad, que fueron extraídos de la tabla D.12 del (Anexo D).

Tabla 4.11

Estadístico de Tukey para el atributo pegajosidad del primer ensayo

Tratamientos	Efectos
EC1-EA4	No hay diferencia significativa
EC1-EC3	No hay diferencia significativa
EC1-EC2	No hay diferencia significativa
EC2-EC4	No hay diferencia significativa
EC2-EC3	No hay diferencia significativa
EC3-EC4	No hay diferencia significativa

Fuente: Elaboración propia

En la tabla 4.11, se puede observar que entre los tratamientos EC1–EC4; EC1-EC3; EC1-EC2; EC2-EC4; EC2-EC3 y EC3-EC4, no existe diferencia significativa $p < 0,05$.

4.2.2.4 Estadístico de Tukey para el atributo firmeza de la pasta semolada del primer ensayo

En la tabla 4.12, se muestran los resultados del estadístico Tukey para el atributo firmeza, que fueron extraídos de la tabla D.16 del (Anexo D).

Tabla 4.12

Estadístico de Tukey para el atributo firmeza del primer ensayo

Tratamientos	Efectos
EC1-EC4	Si hay diferencia significativa
EC1-EC3	Si hay diferencia significativa
EC1-EC2	No hay diferencia significativa
EC2-EC4	No hay diferencia significativa
EC2-EC3	No hay diferencia significativa
EC3-EC4	No hay diferencia significativa

Fuente: Elaboración propia

En la tabla 4.12, se puede observar que existe diferencia estadística entre los tratamientos EC1–EC4 y EC1-EC3. Sin embargo, entre los tratamientos EC1-EC2; EC2-EC4; EC2-EC3 y EC3-EC4, no existe diferencia significativa $p < 0,05$.

Los resultados del análisis de varianza de los atributos aroma (tabla D.3) y color (tabla D.4) del Anexo D para el primer ensayo indican que estadísticamente no existe diferencia significativa aceptando la hipótesis planteada $p < 0,05$.

Finalmente, de acuerdo a caja y bigote para el primer ensayo, se pudo observar que los atributos sabor EC3 (4,10) y EC2 (4,05), pegajosidad EC3 (4,15) y EC2 (4,25), firmeza EC3 (4,45) y EC4 (4,05) fueron mejor aceptados por los jueces. Estadísticamente, se evidenció que existe diferencia significativa $p < 0,05$ en los atributos sabor, pegajosidad y firmeza.

4.2.3 Variación porcentual en la formulación de pasta semolada con harina de amaranto para el segundo ensayo

El segundo ensayo, se realiza con la finalidad de seleccionar una muestra prototipo con harina de amaranto, bajo condiciones de temperatura de secado de 40 °C, para lo cual se preseleccionaron un total de cuatro muestras EA1, EA2, EA3 y EA4 (figura 4.1), con distintos insumos. La tabla 4.13, presenta la variación porcentual en la formulación de pasta semolada tipo nido con harina de amaranto, huevo de gallina,

almidón, goma xantán y carboximetilcelulosa (CMC); teniendo en común las cantidades de sémola de trigo, espirulina deshidratada, sal y aceite.

Tabla 4.13

Variación porcentual en la formulación del segundo ensayo

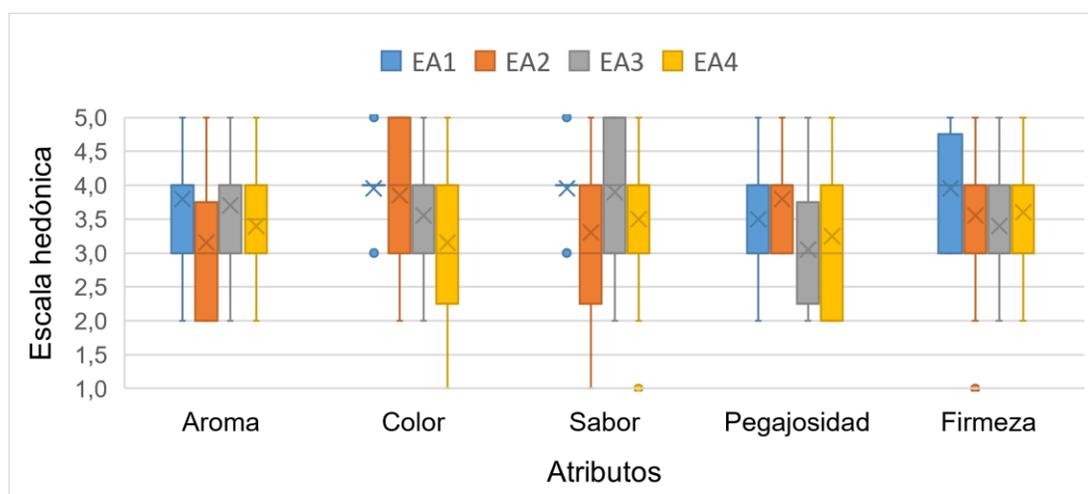
Muestras	Harina de amaranto (%)	Agua (%)	Huevo (%)	Almidón (%)	Goma xantán (%)	CMC (%)
EA1	49,20	31,98	-	-	0,62	-
EA2	49,50	-	32,18	-	-	-
EA3	54,02	24,98	-	1,01	-	-
EA4	54,02	24,98	-	-	-	1,01

Fuente: Elaboración propia

En base a las formulaciones de la tabla 4.13, se procede a realizar una evaluación sensorial con una escala hedónica de cinco puntos utilizando veinte jueces no entrenados que evaluaron los atributos color, sabor, aroma, pegajosidad y firmeza, para lo cual se cocieron las pastas hasta alcanzar el tiempo óptimo de cocción.

4.2.3.1 Análisis caja y bigote para el segundo ensayo de pasta semolada tipo nido con harina de amaranto y espirulina

La figura 4.3, muestra los resultados de caja y bigote aplicados en las formulaciones para la elaboración de pasta semolada tipo nido para los atributos aroma (tabla D.17), color (tabla D.21), sabor (tabla D.18), pegajosidad (tabla D.24) y firmeza (tabla D.25); extraídos del (Anexo D).



Fuente: Elaboración propia

Figura 4.3. Análisis caja y bigote para el segundo ensayo de pasta semolada tipo nido con harina de amaranto y espirulina

Según caja y bigote de la figura 4.3, presenta medianas para el atributo pegajosidad EA2 (3,80) y EA1 (3,50), estando los resultados distribuidos en la parte central de la caja próximos al tercer cuartil. El atributo aroma EA1 (3,80) y EA3 (3,70), color EA1 (3,95) y EA2 (3,85), sabor EA1 (3,95) y EA3 (4,90) y para el atributo firmeza EA1 (3,95), estando los resultados distribuidos en el primer y segundo cuartil; alrededor del 25 % y 50 % de la caja, indicando que lo jueces no percibieron diferencias entre estos atributos.

4.2.3.2 Estadístico de Tukey para el atributo color de la pasta semolada del segundo ensayo

En la tabla 4.14, se muestran los resultados del estadístico Tukey para el atributo color, que fueron extraídos de la tabla D.23 del (Anexo D).

Tabla 4.14

Estadístico de Tukey para el atributo color del segundo ensayo

Tratamientos	Efectos
EA1-EA4	Si hay diferencia significativa
EA1-EA3	No hay diferencia significativa
EA1-EA2	No hay diferencia significativa
EA2-EA4	No hay diferencia significativa
EA2-EA3	No hay diferencia significativa
EA3-EA4	No hay diferencia significativa

Fuente: Elaboración propia

En la tabla 4.14, se puede observar que existe diferencia estadística entre los tratamientos EA1–EA4. Sin embargo, entre los tratamientos EA1-EA3; EA1-EA2; EA2-EA4; EA2-EA3 y EA3-EA4, no existe diferencia significativa $p < 0,05$.

Los resultados del análisis de varianza de los atributos, aroma (tabla D.17); sabor (tabla D.18); pegajosidad (tabla D.24) y firmeza (tabla D.25) del Anexo D para el segundo ensayo indican que estadísticamente no existe diferencia significativa aceptando la hipótesis planteada $p < 0,05$.

Finalmente, de acuerdo a caja y bigote para el segundo ensayo, se pudo observar que los atributos color EA1 (3,95) y EA2 (3,85), sabor EA1 (3,95) y EA3 (3,90), firmeza

EA1 (3,95) fueron mejor aceptados por los jueces. Estadísticamente, se evidenció que existe diferencia significativa en el atributo color $p < 0,05$.

4.2.4 Variación porcentual en la formulación de pasta semolada para el tercer ensayo

El tercer ensayo se realiza con la finalidad de evaluar la aceptabilidad entre la harina de amaranto y la pulpa de calabaza, bajo condiciones de temperatura de secado de 40 °C, donde fueron seleccionadas del primer y segundo ensayo las muestras EC30 y EA10. La tabla 4.15, presenta la variación porcentual en la formulación de pasta semolada tipo nido con pulpa de calabaza, harina de amaranto, huevo de gallina, almidón, goma xantán y carboximetilcelulosa (CMC); teniendo en común las cantidades de sémola de trigo, espirulina deshidratada, sal y aceite.

Tabla 4.15

Variación porcentual en la formulación para el tercer ensayo

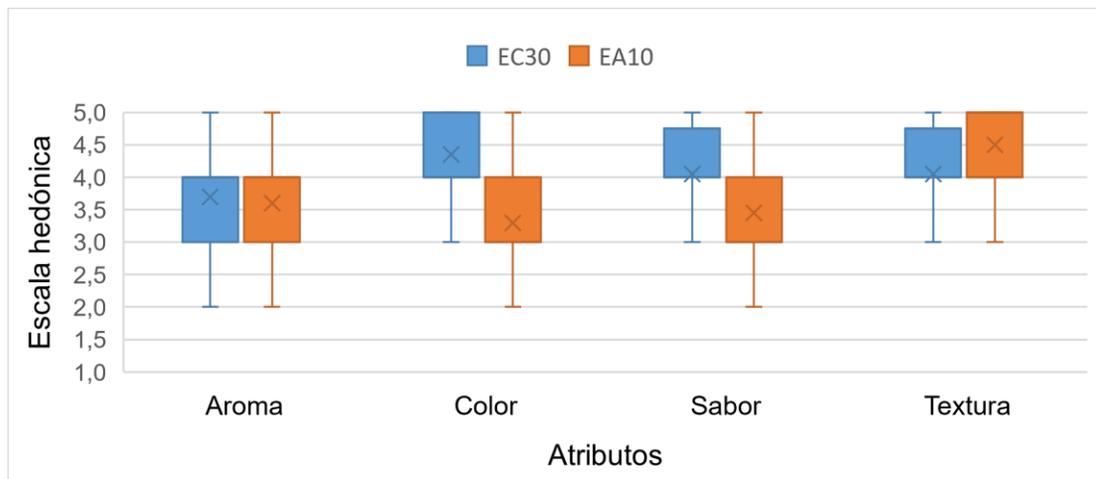
Muestras	Pulpa de calabaza (%)	Harina de amaranto (%)	Almidón (%)	Goma xantán (%)
EC30	30,86	-	0,62	0,93
EA10	-	13,39	0,89	1,35

Fuente: Elaboración propia

En base a las formulaciones de la tabla 4.15, se procedió a realizar una evaluación sensorial con una escala hedónica de cinco puntos utilizando veinte jueces no entrenados que evaluaron los atributos color, sabor, aroma y textura, para lo cual se cocieron las pastas hasta alcanzar el tiempo óptimo de cocción.

4.2.4.1 Análisis caja y bigote para el tercer ensayo de pasta semolada tipo nido con pulpa de calabaza, harina de amaranto y espirulina

La figura 4.4, muestra los resultados de caja y bigote aplicados en la elaboración de pasta semolada tipo nido para los atributos, aroma (tabla D.28), color (tabla D.30), sabor (tabla D.34) y textura (tabla D.38), extraídos del (Anexo D).



Fuente: Elaboración propia

Figura 4.4. Análisis caja y bigote para el tercer ensayo de pasta semolada tipo nido con pulpa de calabaza, harina de amaranto y espirulina

Como se observa en la figura 4.4, las medianas de muestra EC30 para los atributos color (4,35), sabor (4,05) y textura (4,50), se encuentran próximas al primer cuartil (4,00) representando el 50% de las calificaciones. Para el atributo aroma de la muestra EC30 (3,70) y EA10 (3,60), estando los resultados distribuidos en el segundo y tercer cuartil, alrededor del 25 % y 50 % de la caja, indicando que lo jueces no percibieron diferencias entre estos atributos.

4.2.4.2 Estadístico de Tukey para el atributo color de la pasta semolada del tercer ensayo

En la tabla 4.16, se muestran los resultados del estadístico Tukey para el atributo color; que fueron extraídos de la tabla D.33 del (Anexo D).

Tabla 4.16

Estadístico de Tukey para el atributo color del tercer ensayo

Tratamientos	Efecto
EC30-EA10	Si hay diferencia significativa

Fuente: Elaboración propia

En la tabla 4.16, se puede observar que existe diferencia estadística entre los tratamientos EC30–EA10 $p < 0,05$.

4.2.4.3 Estadístico de Tukey para el atributo sabor de la pasta semolada del tercer ensayo

En la tabla 4.17, se muestran los resultados del estadístico Tukey para el atributo sabor; que fueron extraídos de la tabla D.37 del (Anexo D).

Tabla 4.17

Estadístico de Tukey para el atributo sabor del tercer ensayo

Tratamientos	Efecto
EC30-EA10	Si hay diferencia significativa

Fuente: Elaboración propia

En la tabla 4.17, se puede observar que existe diferencia estadística entre los tratamientos EC30–EA10 $p < 0,05$.

4.2.4.4 Estadístico de Tukey para el atributo textura de la pasta semolada del tercer ensayo

En la tabla 4.18, se muestran los resultados del estadístico Tukey para el atributo textura; extraídos de la tabla D.41 (Anexo D).

Tabla 4.18

Estadístico de Tukey para el atributo textura del tercer ensayo

Tratamientos	Efecto
EC30-EA10	Si hay diferencia significativa

Fuente: Elaboración propia

En la tabla 4.18, se puede observar que existe diferencia estadística entre los tratamientos EC30–EA10 $p < 0,05$.

Los resultados del análisis de varianza de el atributo, aroma (tabla D.28) del Anexo D para el tercer ensayo, indican que estadísticamente no existe diferencia significativa aceptando la hipótesis planteada $p < 0,05$.

Finalmente, de acuerdo a caja y bigote para el tercer ensayo, se pudo observar que los atributos color EC30 (4,35), sabor EC30 (4,05), textura EA10 (4,50) y EC30 (4,05) fueron mejor aceptados por los jueces. Estadísticamente se evidencio que existe diferencia significativa en los atributos color, sabor y textura $p < 0,05$.

4.3 Diseño factorial en el proceso de secado de la pasta semolada tipo nido enriquecida con pulpa de calabaza y espirulina

Para establecer si las variables temperatura (T), velocidad de aire (V) y concentración de goma xantán (G) tienen influencia en el proceso de elaboración de pasta semolada tipo nido enriquecida con pulpa de calabaza y espirulina, se aplica un diseño factorial en el proceso de secado donde la variable respuesta fue el contenido de humedad en base seca.

En la tabla 4.19, se muestra el análisis de varianza realizado a partir de la variable respuesta en base a datos extraídos de la tabla E.2 del (Anexo E).

Tabla 4.19

Análisis de varianza (ANVA) para el diseño factorial

Factores de variación	Suma de cuadrados	Grados de libertad	Cuadrados medios	Fcal	Ftab
Total	222,50	23			
Factor T	5,49	1	5,49	0,77	4,75
Factor V	33,56	2	33,56	4,72	3,88
Factor G	1,55	1	1,55	0,22	4,75
Interacción TV	4,89	2	20,94	2,94	3,88
Interacción TG	16,08	1	16,08	2,26	4,75
Interacción VG	3,74	2	1,87	0,26	3,88
Interacción TVG	6,82	2	3,41	0,48	3,88
Error	85,30	12	7,11		

Fuente: Elaboración propia

Según los resultados obtenidos del análisis de varianza tabla 4.19, se determinó que para el proceso de secado de la pasta semolada, el factor V (velocidad de circulación del aire) para $F_{cal} 4,72 > F_{tab} 3,88$, es estadísticamente significativo $p < 0,05$; por lo tanto, se debe controlar este factor, ya que incide directamente sobre la variable respuesta contenido de humedad. Mientras que para el factor T (temperatura), factor G (goma xantán), interacción TV (temperatura- velocidad de circulación del aire), interacción TG (temperatura-goma xantán), interacción VG (velocidad de circulación del aire-goma xantán) e interacción TVG (temperatura-velocidad de circulación del aire-goma xantán), no son significativos estadísticamente para el proceso de secado de la pasta.

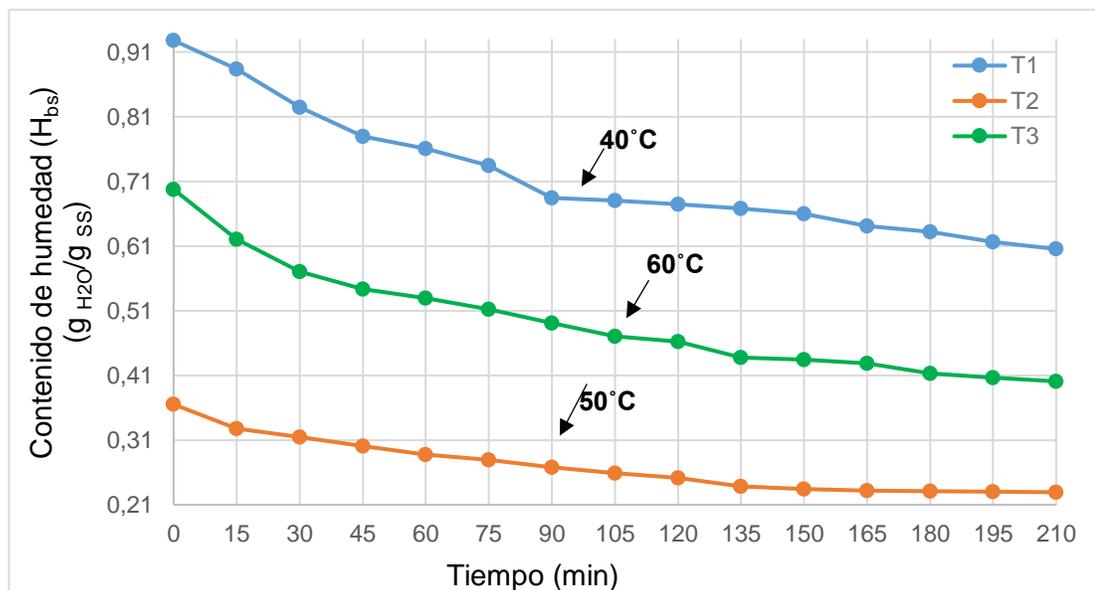
.4 Influencia de las variables del proceso de secado de pasta semolada tipo nido enriquecida con pulpa de calabaza y espirulina

Para analizar la influencia que tienen las variables en el proceso de secado de pasta semolada tipo nido enriquecida con pulpa de calabaza y espirulina, se tomaron en cuenta los parámetros temperatura $T1= 40\text{ }^{\circ}\text{C}$, $T2= 50\text{ }^{\circ}\text{C}$, $T3= 60\text{ }^{\circ}\text{C}$; velocidad de circulación de aire $V1= 5\text{ m/s}$, $V2= 6\text{ m/s}$ y concentración de goma xantán $G1= 0,48\%$, $G2= 0,96\%$.

4.4.1 Influencia de la temperatura de secado en relación al contenido de humedad

a. Variación del contenido de humedad en base seca en función del tiempo para $T1$, $T2$, $T3$ con $V1$ - $G1$ constante

En la figura 4.5, se muestra la variación del contenido de humedad (H_{bs}) en función del tiempo con las temperaturas $T1$ ($40\text{ }^{\circ}\text{C}$), $T2$ ($50\text{ }^{\circ}\text{C}$) y $T3$ ($60\text{ }^{\circ}\text{C}$), manteniendo constante la velocidad de circulación de aire $V1$ (5 m/s) y concentración de goma xantán $G1$ ($0,48\%$), medidos por intervalos de tiempo de 15 min en base a datos extraídos de la tabla F.1 del (Anexo F).



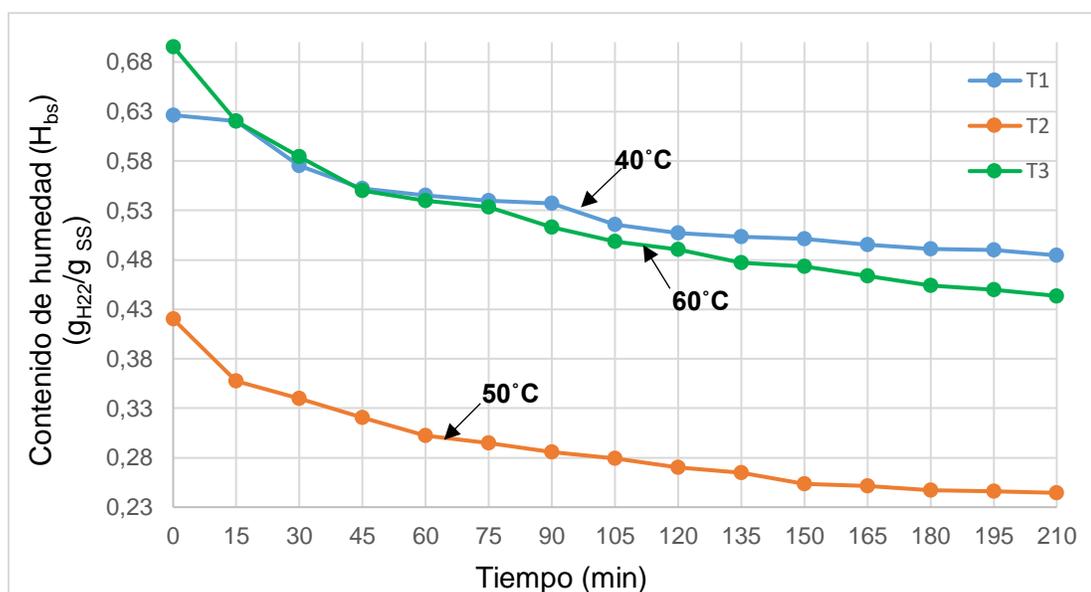
Fuente: Elaboración propia

Figura 4.5. Variación del contenido de humedad con la temperatura a $V1$ - $G1$

En la figura 4.5, se observa una disminución de la humedad casi lineal durante los primeros 90 min, donde la velocidad de secado es constante, a partir de este tiempo la velocidad de secado decrece hasta los 210 min. Para T2 (50 °C), el contenido de humedad disminuye más rápido, con la menor concentración de goma xantán G1 (0,48 %), manteniendo constante la velocidad de circulación de aire V1 (5 m/s).

b. Variación del contenido de humedad en base seca en función del tiempo para T1, T2, T3 con V1-G2 constante

En la figura 4.6, se muestra la variación del contenido de humedad (H_{bs}) en función del tiempo con las temperaturas T1 (40 °C), T2 (50 °C) y T3 (60 °C), manteniendo constante la velocidad de circulación de aire V1 (5 m/s) y concentración de goma xantán G2 (0,96 %), medidos por intervalos de tiempo de 15 min en base a datos extraídos de la tabla F.2 (Anexo F).



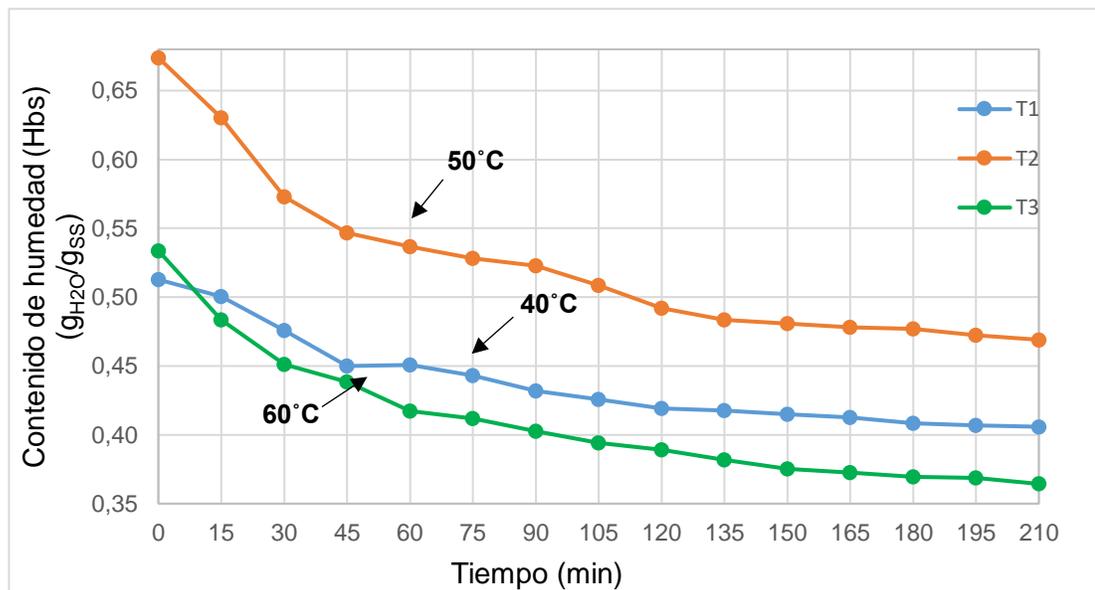
Fuente: Elaboración propia

Figura 4.6. Variación del contenido de humedad con la temperatura a V1-G2

En la figura 4.6, se observa una disminución de la humedad casi lineal durante los primeros 135 min, donde la velocidad de secado es constante, a partir de este tiempo la velocidad de secado decrece hasta los 210 min. Para T2 (50 °C), el contenido de humedad disminuye más rápido, con la mayor concentración de goma xantán G2 (0,96 %), manteniendo constante la velocidad de circulación de aire V1 (5 m/s).

c. Variación del contenido de humedad en base seca en función del tiempo para T1, T2, T3 con V2-G1 constante

En la figura 4.7, se muestra la variación del contenido de humedad (H_{bs}) en función del tiempo con las temperaturas T1 (40 °C), T2 (50 °C) y T3 (60 °C), manteniendo constante la velocidad de circulación de aire V1 (6 m/s) y la concentración de goma xantán G1 (0.48 %), medidos por intervalos de tiempo de 15 min en base a datos extraídos de la tabla F.3 del (Anexo F).



Fuente: Elaboración propia

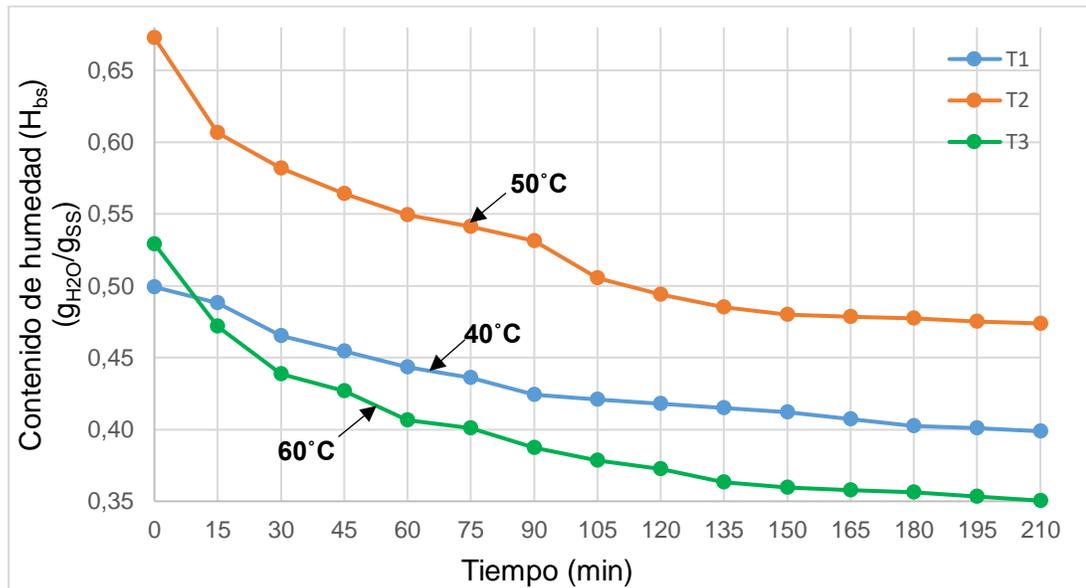
Figura 4.7. Variación del contenido de humedad con la temperatura a V2-G1

En la figura 4.7, se observa una disminución de la humedad casi lineal durante los primeros (90 - 120) min, donde la velocidad de secado es constante, a partir de este tiempo la velocidad de secado decrece hasta los 210 min. Para T3 (60 °C), el contenido de humedad disminuye más rápido, con la menor concentración de goma xantán G1 (0,48 %), manteniendo constante la velocidad de circulación de aire V2 (6 m/s).

d. Variación del contenido de humedad en base seca en función del tiempo para T1, T2, T3 con V2-G2 constante

En la figura 4.8, se muestra la variación del contenido de humedad (H_{bs}) en función del tiempo con las temperaturas T1 (40 °C), T2 (50 °C) y T3 (60 °C), manteniendo

constante la velocidad de circulación de aire V2 (6 m/s) y la concentración de goma xantán G2 (0,96 %), medidos por intervalos de tiempo de 15 min en base a datos extraídos de la tabla F.4 del (Anexo F).



Fuente: Elaboración propia

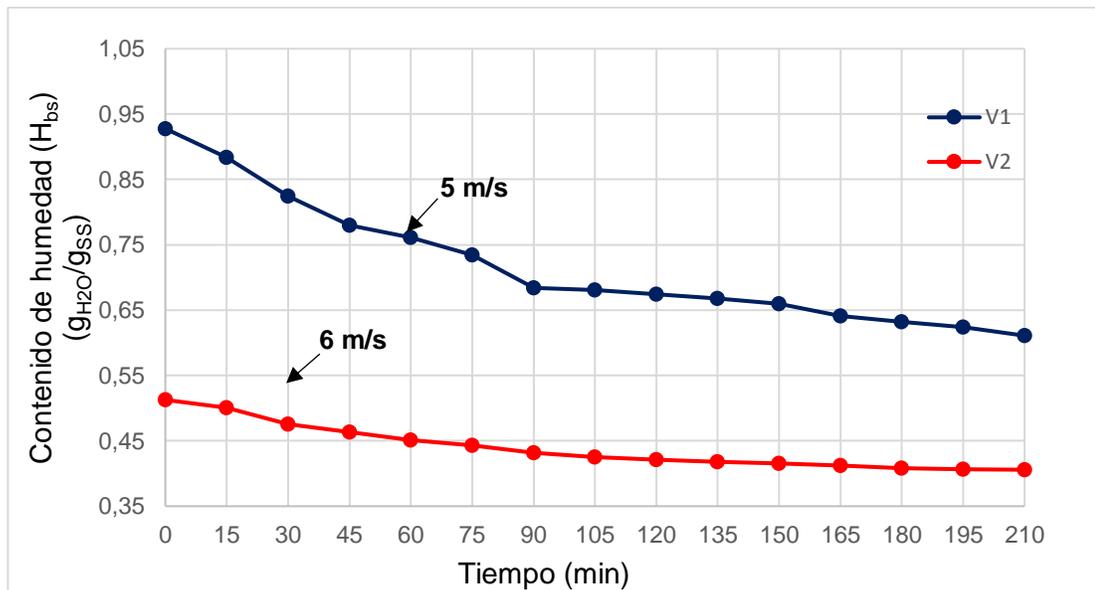
Figura 4.8. Variación del contenido de humedad con la temperatura a V2-G2

En la figura 4.8, se observa una disminución de la humedad casi lineal durante los primeros 120 min, donde la velocidad de secado es constante, a partir de este tiempo la velocidad de secado decrece hasta los 210 min. Para T3 (60 °C), el contenido de humedad disminuye más rápido, con la mayor concentración de goma xantán G2 (0,96 %), manteniendo constante la velocidad de circulación de aire V2 (6 m/s).

4.4.2 Influencia de la velocidad de circulación del aire de secado en relación del contenido de humedad

a. Variación del contenido de humedad en base seca en función del tiempo para V1, V2 con T1-G1 constante

En la figura 4.9, se muestra la variación del contenido de humedad (H_{bs}) en función del tiempo con las velocidades de circulación del aire V1 (5 m/s) y V2 (6 m/s), manteniendo constante la T1 (40 °C) y concentración de goma xantán G1 (0,48 %), medidos por intervalos de tiempo de 15 min en base a datos extraídos de la tabla F.5 del (Anexo F).



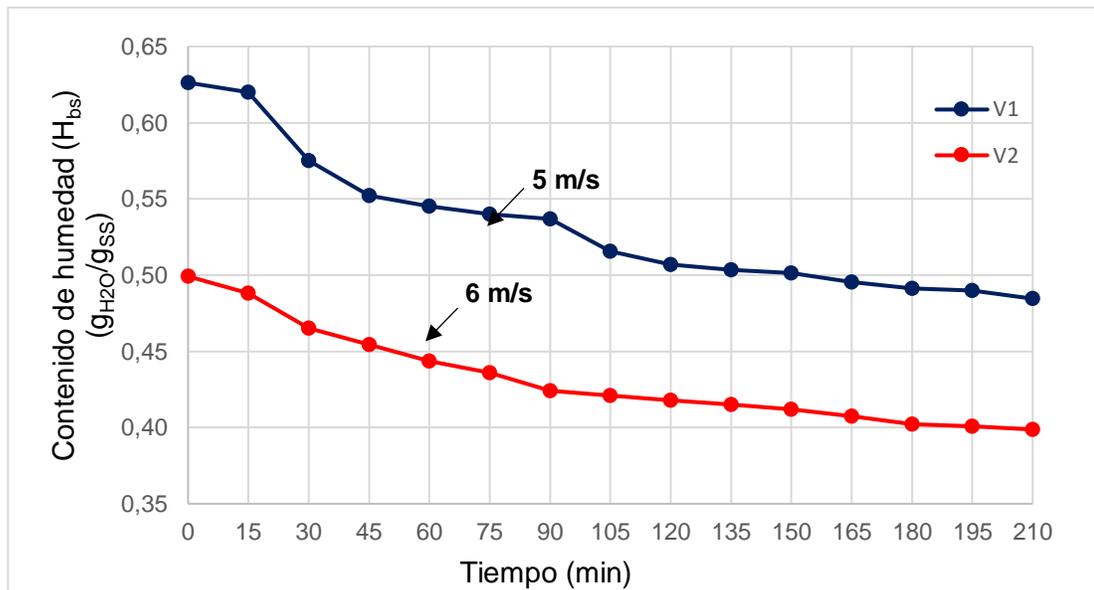
Fuente: Elaboración propia

Figura 4.9. Variación del contenido de humedad con la velocidad de circulación del aire T1-G1

En la figura 4.9, se puede observar una disminución del contenido de humedad casi lineal hasta los 90 min, donde la velocidad de secado es constante, a partir de este momento la velocidad de secado decrece hasta los 210 min. Así mismo a la velocidad de circulación del aire V2 (6 m/s), el contenido de humedad disminuye más rápido, con la menor concentración de goma xantán G1 (0,48 %), manteniendo constante la temperatura T1 (40 °C).

b. Variación del contenido de humedad en base seca en función del tiempo para V1, V2 con T1-G2 constante

En la figura 4.10, se muestra la variación del contenido de humedad (H_{bs}) en función del tiempo con las velocidades de circulación del aire V1 (5 m/s) y V2 (6 m/s), manteniendo constante la temperatura T1 (40 °C) y concentración de goma xantán G2 (0,96 %), medidos por intervalos de tiempo de 15 min en base a datos extraídos de la tabla F.6 del (Anexo F).



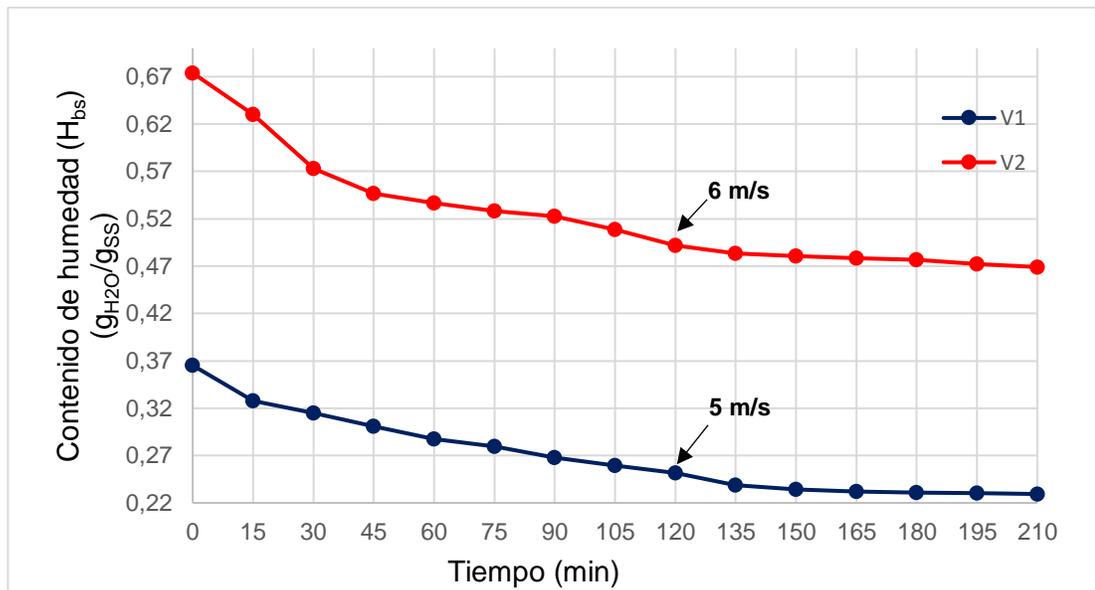
Fuente: Elaboración propia

Figura 4.10. Variación del contenido de humedad con la velocidad de circulación del aire a T1-G2

En la figura 4.10, se puede observar una disminución del contenido de humedad casi lineal hasta los 105 min, donde la velocidad de secado es constante, a partir de este momento la velocidad de secado decrece hasta los 210 min. Así mismo a la velocidad de circulación del aire V2 (6 m/s), el contenido de humedad disminuye más rápido, con la mayor concentración de goma xantán G2 (0,96 %), manteniendo constante la temperatura T1 (40 °C).

c. Variación del contenido de humedad en base seca en función del tiempo para V1, V2 con T2-G1 constante

En la figura 4.11, se muestra la variación del contenido de humedad (H_{bs}) en función del tiempo con las velocidades de circulación del aire V1 (5 m/s) y V2 (6 m/s) manteniendo constante la temperatura T2 (50 °C) y concentración de goma xantán G1 (0,48 %), medidos por intervalos de tiempo de 15 min en base a datos extraídos de la tabla F.7 del (Anexo F).



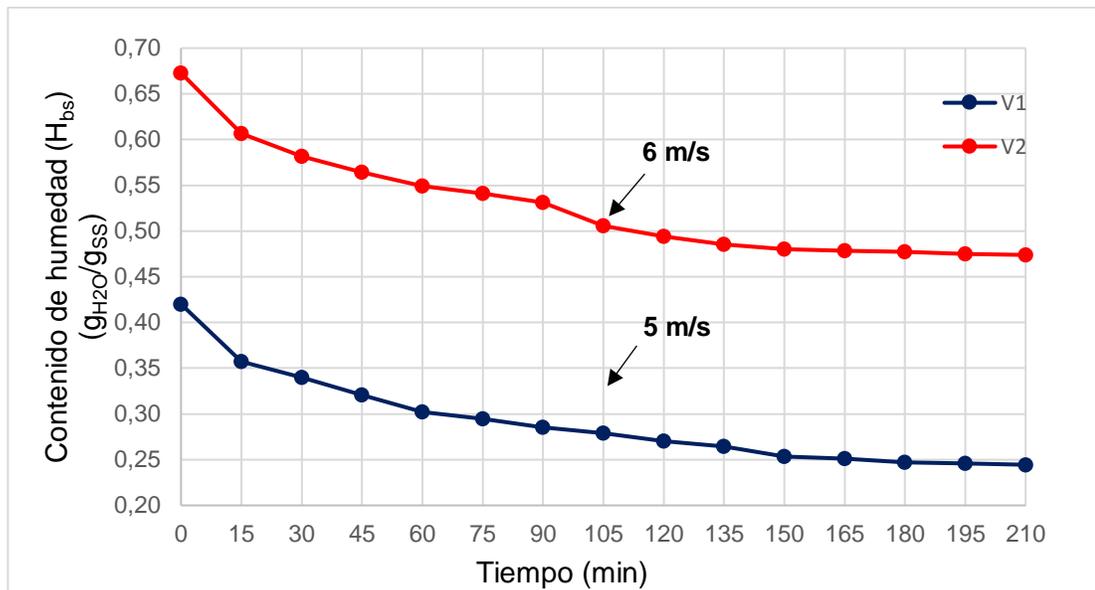
Fuente: Elaboración propia

Figura 4.11. Variación del contenido de humedad con la velocidad de circulación del aire a T2-G1

En la figura 4.11, se puede observar una disminución del contenido de humedad casi lineal hasta los 120 min, donde la velocidad de secado es constante, a partir de este momento la velocidad de secado decrece hasta los 210 min. Así mismo a la velocidad de circulación del aire V1 (5 m/s) el contenido de humedad disminuye más rápido, con la menor concentración de goma xantán G1 (0,48 %), manteniendo constante la temperatura T2 (50 °C).

d. Variación del contenido de humedad en base seca en función del tiempo para V1, V2 con T2-G2 constante

En la figura 4.12, se muestra la variación del contenido de humedad (H_{bs}) en función del tiempo con las velocidades de circulación del aire V1 (5 m/s) y V2 (6 m/s), manteniendo constante la temperatura T2 (50 °C) y concentración de goma xantán G2 (0,96 %), medidos por intervalos de tiempo de 15 min en base a datos extraídos de la tabla F.8 del (Anexo F).



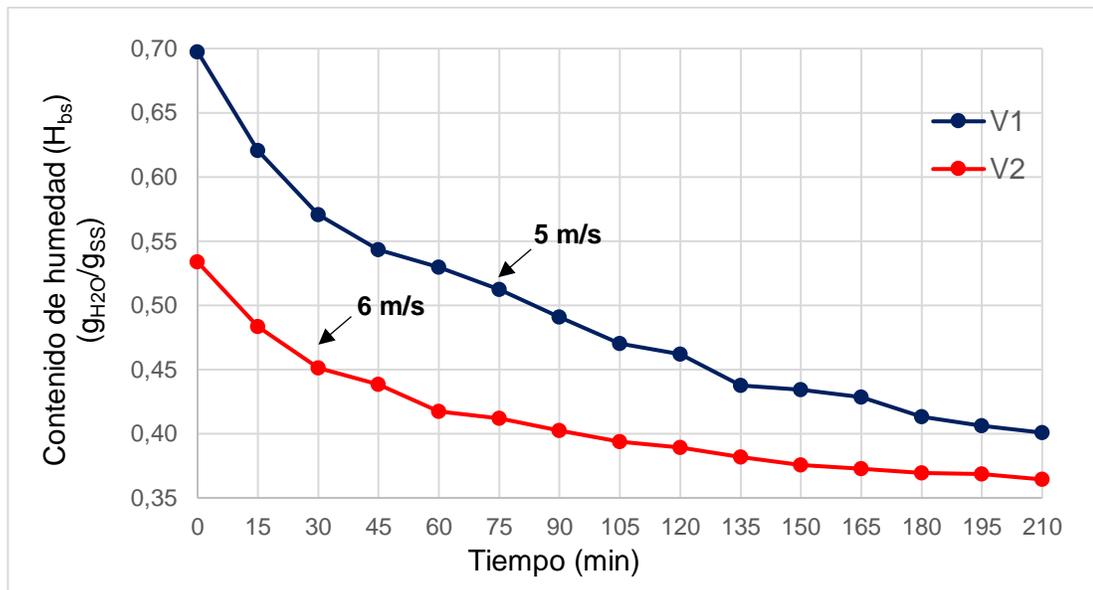
Fuente: Elaboración propia

Figura 4.12. Variación del contenido de humedad con velocidad de circulación del aire T2-G2

En la figura 4.12, se puede observar una disminución del contenido de humedad casi lineal hasta los 105 min, donde la velocidad de secado es constante, a partir de este momento la velocidad de secado decrece hasta los 210 min. Así mismo a la velocidad de circulación del aire V1 (5 m/s) el contenido de humedad disminuye más rápido, con la mayor concentración de goma xantán G2 (0,96 %), manteniendo constante la temperatura T2 (50 °C).

e. Variación del contenido de humedad en base seca en función del tiempo para V1, V2 con T3-G1 constante

En la figura 4.13, se muestra la variación del contenido de humedad (H_{bs}) en función del tiempo con las velocidades de circulación del aire V1 (5 m/s) y V2 (6 m/s), manteniendo constante la temperatura T3 (60 °C) y concentración de goma xantán G1 (0,48 %), medidos por intervalos de tiempo de 15 min en base a datos extraídos de la tabla F.9 del (Anexo F).



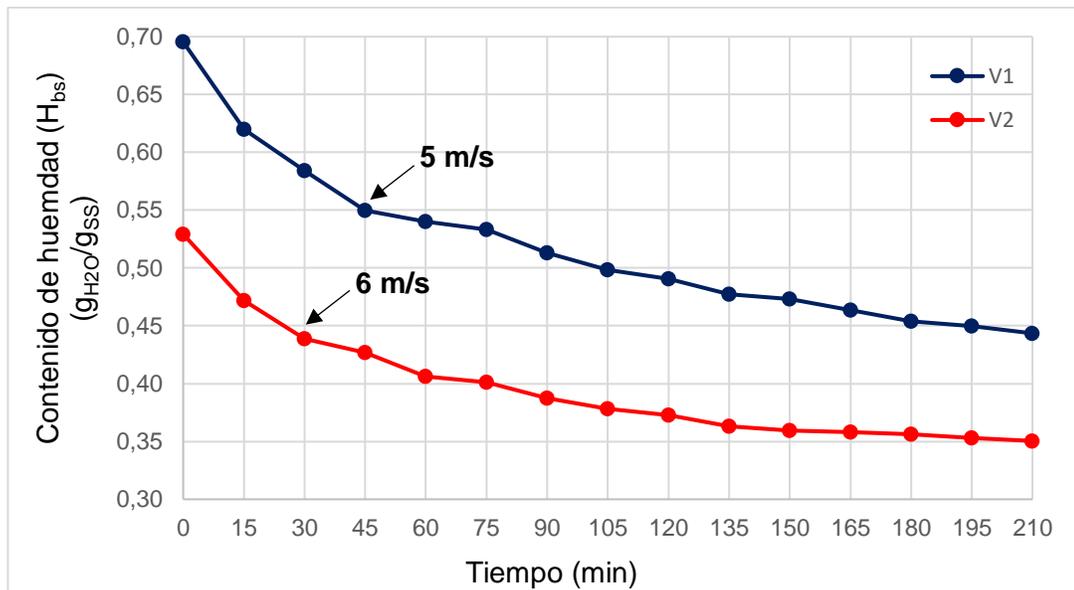
Fuente: Elaboración propia

Figura 4.13. Variación del contenido de humedad con velocidad de circulación del aire T3-G1

Como se puede observar en la figura 4.13, a medida que transcurre el tiempo la disminución del contenido de humedad, en el secado de las pastas semoladas a la velocidad circulación de aire V1 (5 m/s) es menor en relación a V2 (6 m/s). Así mismo a la velocidad de circulación del aire V2 (6 m/s) el contenido de humedad disminuye más rápido, con la mayor concentración de goma xantana G1 (0,48 %), manteniendo constante la temperatura T3 (60 °C).

f. Variación del contenido de humedad en base seca en función del tiempo para V1, V2 con T3-G2 constante

En la figura 4.14, se muestra la variación del contenido de humedad (H_{bs}) en función del tiempo con las velocidades de circulación del aire V1 (5 m/s) y V2 (6 m/s), manteniendo constante la temperatura T3 (60 °C) y concentración de goma xantán G2 (0,96 %), medidos por intervalos de tiempo de 15 min en base a datos extraídos de la tabla F.10 del (Anexo F).



Fuente: Elaboración propia

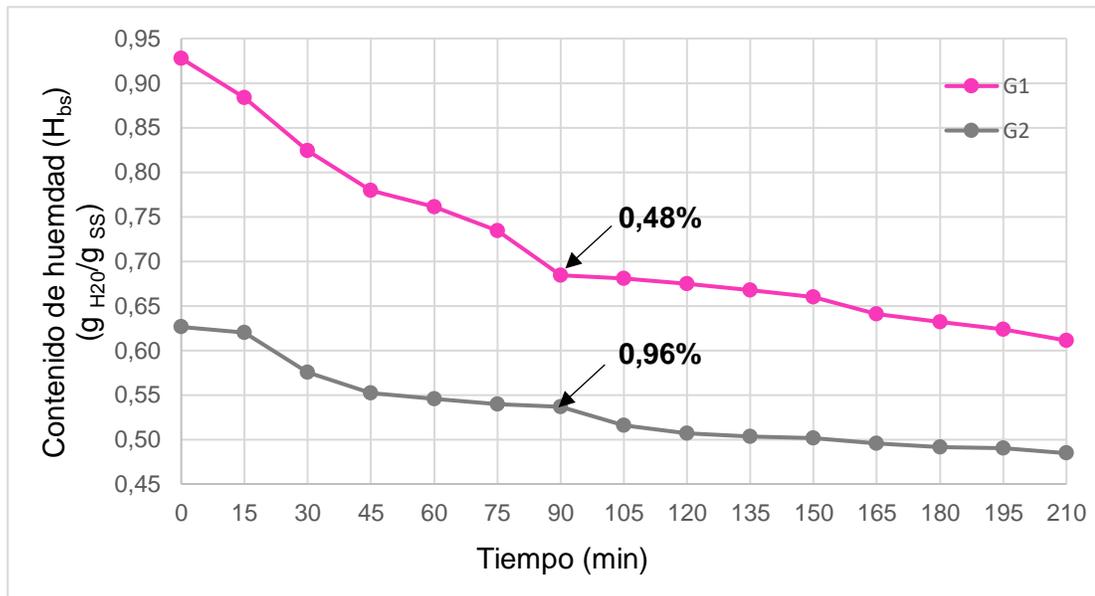
Figura 4.14. Variación del contenido de humedad con velocidad del aire T3-G2

En la figura 4.14, se puede observar una disminución del contenido de humedad casi lineal hasta los 135 min, donde la velocidad de secado es constante, a partir de este momento la velocidad de secado decrece hasta los 210 min. Para la velocidad de circulación del aire V2 (6 m/s) el contenido de humedad disminuye más rápido, con la mayor concentración de goma xantán G2 (0,96 %), manteniendo constante la temperatura T3 (60 °C).

4.4.3 Influencia de la concentración de goma xantán en relación del contenido de humedad

a. Variación del contenido de humedad en base seca en función del tiempo para G1, G2 con T1-V1 constante

En la figura 4.15, se muestra la variación del contenido de humedad (H_{bs}) en función del tiempo con la concentración de goma xantán G1 (0,48 %) y G2 (0,96 %), manteniendo constante la temperatura T1 (40 °C) y velocidad de circulación de aire V1 (5 m/s), medidos por intervalos de tiempo de 15 min en base a datos extraídos de la tabla F.11 del (Anexo F).



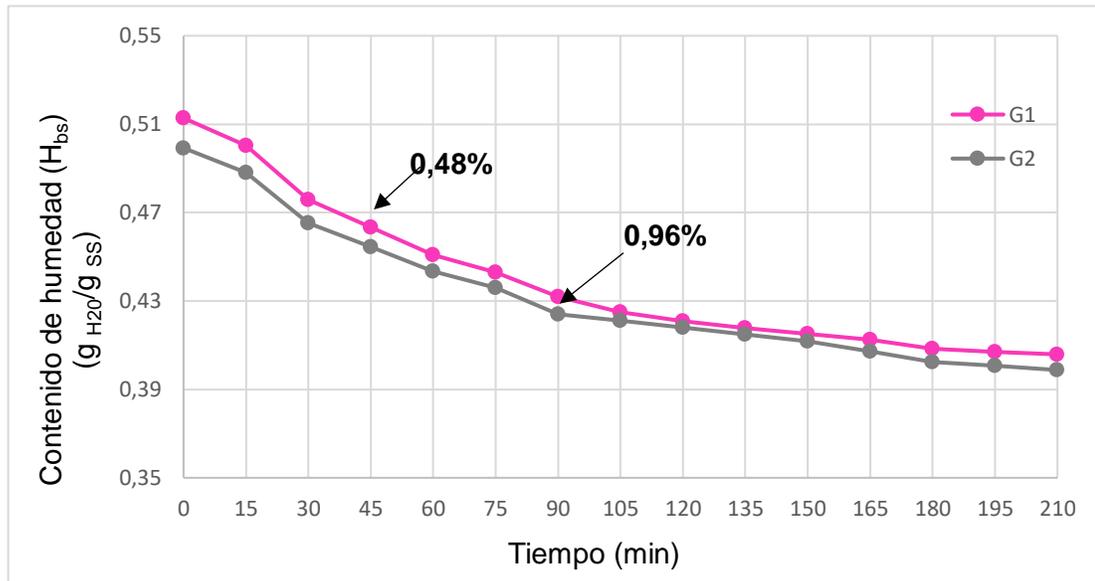
Fuente: Elaboración propia

Figura 4.15. Variación del contenido de humedad con la goma xantán a T1-V1

En la figura 4.15, se puede observar una disminución del contenido de humedad casi lineal hasta los 90 min, donde la velocidad de secado es constante, a partir de este momento la velocidad de secado decrece hasta los 210 min. Para la concentración de goma xantán G2 (0,96 %) el contenido de humedad disminuye más rápido, con la menor velocidad de circulación de aire V1 (5 m/s), manteniendo constante la temperatura T1 (40 °C).

b. Variación del contenido de humedad en base seca en función del tiempo para G1, G2 con T1-V2 constante

En la figura 4.16, se muestra la variación del contenido de humedad (H_{bs}) en función del tiempo con la concentración de goma xantán G1 (0,48 %) y G2 (0,96 %), manteniendo constante la temperatura T1 (40 °C) y la velocidad de circulación de aire V2 (6 m/s), medidos por intervalos de tiempo de 15 min en base a datos extraídos de la tabla F12 del (Anexo F).



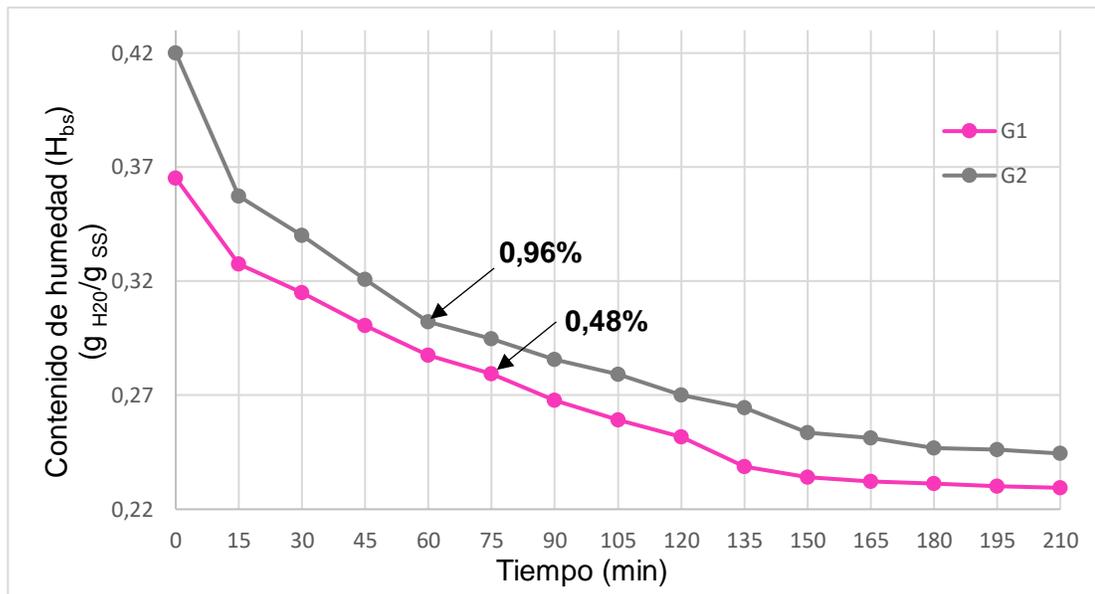
Fuente: Elaboración propia

Figura 4.16. Variación del contenido de humedad con la goma xantán a T1-V2

En la figura 4.16, se puede observar un comportamiento similar en ambas curvas con una disminución del contenido de humedad casi lineal hasta los 105 min, donde la velocidad de secado es constante, a partir de este momento la velocidad de secado decrece hasta los 210 min. Para la concentración de goma xantán G1 (0,48 %) el contenido de humedad disminuye más rápido, con la mayor velocidad de circulación de aire V2 (6 m/s), manteniendo constante la temperatura T1 (40 °C).

c. Variación del contenido de humedad en base seca en función del tiempo para G1, G2 con T2-V1 constante

En las figuras 4.17, se muestra la variación del contenido de humedad (H_{bs}) en función del tiempo con la concentración de goma xantán G1 (0,48 %) y G2 (0,96 %), manteniendo constante la temperatura T2 (50 °C) y la velocidad de circulación de aire V2 (5 m/s), medidos por intervalos de tiempo de 15 min en base a datos extraídos de la tabla F.13 del (Anexo F).



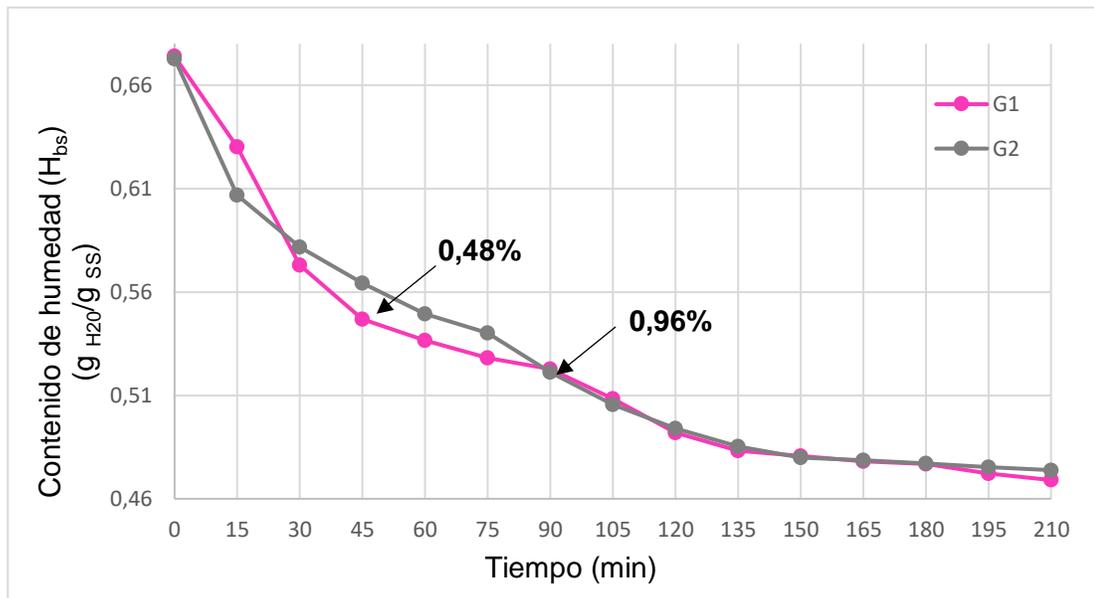
Fuente: Elaboración propia

Figura 4.17. Variación del contenido de humedad con la goma xantán a T2-V1

En la figura 4.17, se puede observar un comportamiento similar en ambas curvas con una disminución del contenido de humedad casi lineal hasta los 135 min, donde la velocidad de secado es constante, a partir de este momento la velocidad de secado decrece hasta los 210 min. Para la concentración de goma xantán G1 (0,48 %) el contenido de humedad disminuye más rápido, con la menor velocidad de circulación de aire V1 (5 m/s), manteniendo constante la temperatura T2 (50 °C).

d. Variación del contenido de humedad en base seca en función del tiempo para G1, G2 con T2-V2 constante

En las figuras 4.18, se muestra la variación del contenido de humedad (H_{bs}) en función del tiempo con la concentración de goma xantán G1 (0,48 %) y G2 (0,96 %), manteniendo constante la temperatura T2 (50 °C) y la velocidad de circulación de aire V2 (6 m/s), medidos por intervalos de tiempo de 15 min en base a datos extraídos de la tabla F14 del (Anexo F).



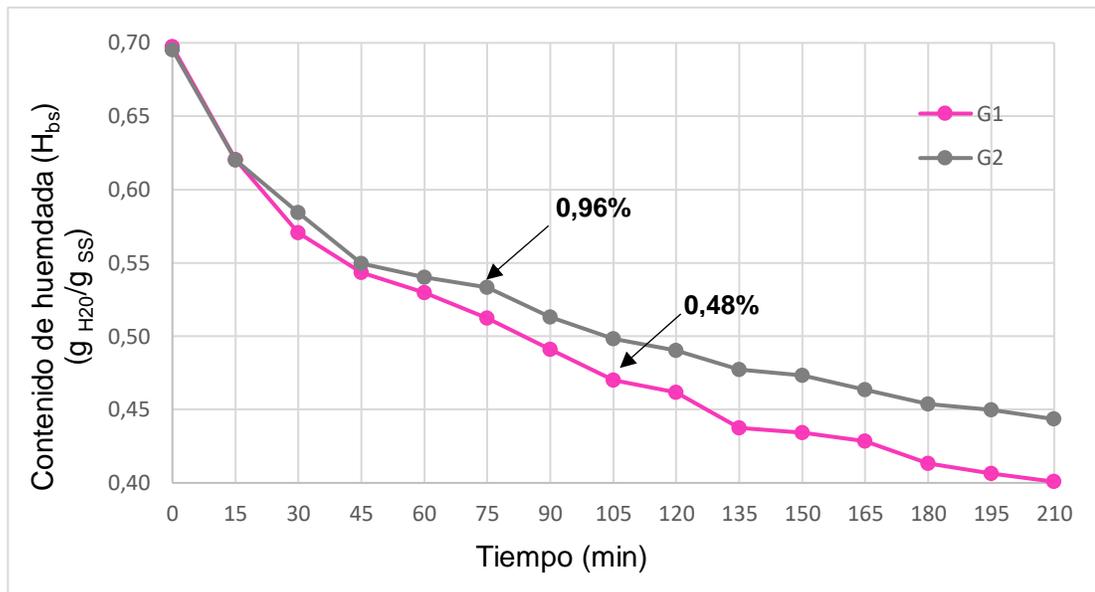
Fuente: Elaboración propia

Figura 4.18. Variación del contenido de humedad con la goma xantán a T2-V2

En la figura 4.18, se puede observar un comportamiento similar en ambas curvas con una disminución del contenido de humedad casi lineal hasta los 120 min, donde la velocidad de secado es constante, a partir de este momento la velocidad de secado decrece hasta los 210 min, con la mayor velocidad de circulación de aire V2 (6 m/s) y manteniendo constante la temperatura T2 (50 °C).

e. Variación del contenido de humedad en base seca en función del tiempo para G1, G2 con T3-V1 constante

En la figura 4.19, se muestra la variación del contenido de humedad (H_{bs}) en función del tiempo con la concentración de goma xantán G1 (0,48 %) y G2 (0,96 %), manteniendo constante la temperatura T3 (60 °C) y la velocidad de circulación del aire V1 (5 m/s), medidos por intervalos de tiempo de 15 min en base a datos de la tabla F.15 del (Anexo F).



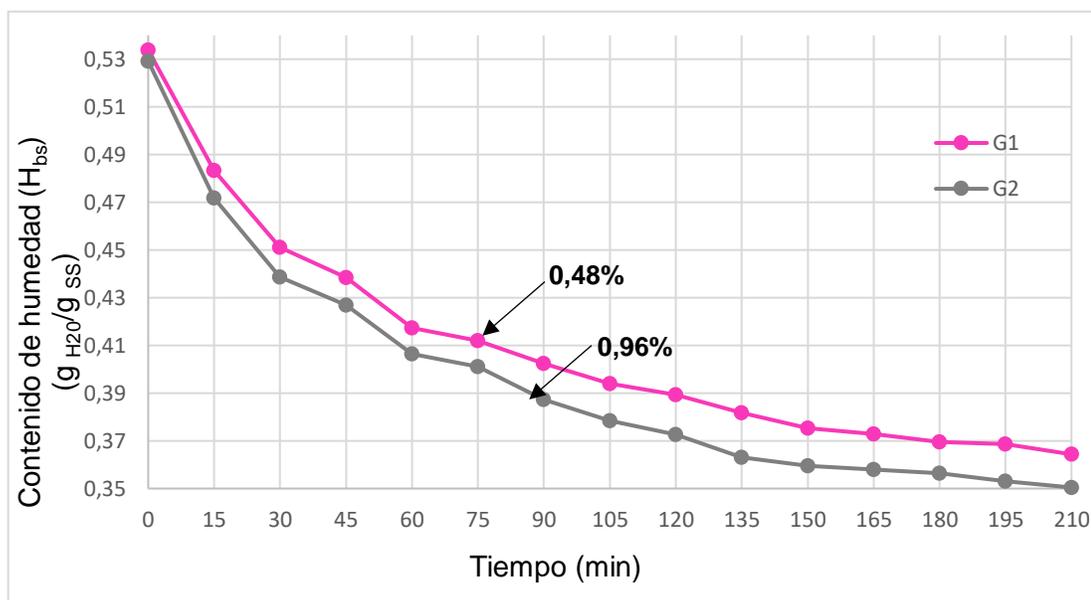
Fuente: Elaboración propia

Figura 4.19. Variación del contenido de humedad con la goma xantán a T3-V1

En la figura 4.19, se puede observar un comportamiento similar en ambas curvas con una disminución del contenido de humedad casi lineal hasta los 135 min, donde la velocidad de secado es constante, a partir de este momento la velocidad de secado decrece hasta los 210 min. Para la concentración de goma xantán G1 (0,48 %) el contenido de humedad disminuye más rápido, con la menor velocidad de circulación de aire V1 (5 m/s), manteniendo constante la temperatura T3 (60 °C).

f. Variación del contenido de humedad en base seca en función del tiempo para G1, G2 con T3-V2 constante

En la figura 4.20, se muestra la variación del contenido de humedad (H_{bs}) en función del tiempo con la concentración de goma xantán G1 (0,48 %) y G2 (0,96 %), manteniendo constante la temperatura T3 (60 °C) y la velocidad de circulación del aire V2 (6 m/s), medidos por intervalos de tiempo de 15 min en base a datos extraídos de la tabla F16 del (Anexo F).



Fuente: Elaboración propia

Figura 4.20. Variación del contenido de humedad con la goma xantán a T3-V2

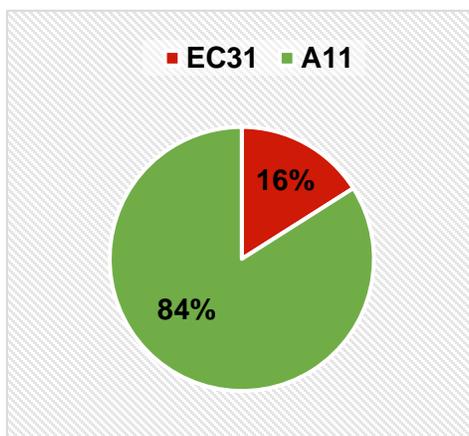
En la figura 4.20, se puede observar un comportamiento similar en ambas curvas con una disminución del contenido de humedad casi lineal hasta los 135 min, donde la velocidad de secado es constante, a partir de este momento la velocidad de secado decrece hasta los 210 min. Para la concentración de goma xantán G2 (0,96 %) el contenido de humedad disminuye más rápido, con la mayor velocidad de circulación de aire V2 (6 m/s), manteniendo constante la temperatura T3 (60 °C).

4.5 Selección de la muestra de ideal del cuarto ensayo

Para realizar la selección de la muestra ideal se toma en cuenta la muestra EC31 preseleccionada del tercer ensayo, con la muestra de referencia A11, elegida del diseño experimental mediante un análisis de criterios en base al comportamiento de las variables en el proceso de secado, con la finalidad de determinar la formulación y temperatura de secado ideal a ser definida como producto final a ser desarrollado.

Para esta prueba se aplicó una evaluación sensorial, utilizando veinticinco jueces no entrenados, para conocer la preferencia entre ambas muestras según su criterio organoléptico. Para lo cual se cocieron las pastas hasta alcanzar el tiempo óptimo de cocción.

La figura 4.21 muestran los valores porcentuales de la evaluación de preferencia entre las muestras EC31 y A11, datos extraídos de la tabla G.1 del (Anexo G).



Fuente: Elaboración propia

Figura 4.21. Valores porcentuales para la selección de la muestra ideal

Según la figura 4.21, el 84 % de los jueces mostraron mayor preferencia por la muestra A11 en relación a la muestra EC31 del tercer ensayo con el 16 %.

4.5.1 Estadístico “T” de Student para la selección de la muestra de preferencia

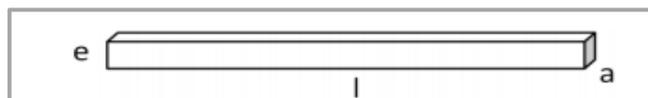
En base a los cálculos del Anexo G, el estadístico “T” de -Student da como resultado que $T_{cal} (1,36) < T_{tab} (2,49)$, no existiendo diferencia significativa entre las muestras para $p < 0,01$.

4.6 Caracterización del producto terminado

Para caracterizar el producto terminado “pasta semolada tipo nido enriquecida con pulpa de calabaza y espirulina”, se realizaron los análisis de macro y micro nutrientes, fisicoquímico, microbiológico y análisis de calidad a la pasta cocida, los cuales se realizaron en el Centro de Análisis, Investigación y Desarrollo (CEANID).

4.6.1 Análisis físico del producto terminado

Para calcular las dimensiones de la pasta seca, se toman las medidas de largo (l), espesor (e) y anchura (a), mediante el uso de un vernier. (Figura 4.22).



Fuente: Elaboración propia

Figura 4.22. Dimensiones de la pasta seca

Donde:

e = espesor (mm)

l = largo (cm)

a = ancho (mm)

En la tabla 4.20, se puede observar que luego del proceso de secado el producto terminado posee las siguientes dimensiones (figura 4.22):

Tabla 4.20

Análisis físico de la pasta seca

Parámetros	Unidad	Valores
Ancho	mm	5,0
Espesor	mm	1,1
Largo	cm	15,0

Fuente: Elaboración propia

En la tabla 4.20, se puede observar que la pasta seca posee las siguientes dimensiones: largo 15,0 cm, ancho 5,0 mm y espesor 1,1 mm.

4.6.2 Análisis de macronutrientes del producto terminado

En la tabla 4.21, se muestran los resultados obtenidos del análisis de macronutrientes del producto terminado (Anexo A).

Tabla 4.21

Análisis de macronutrientes del producto terminado

Parámetros	Unidad	Valores
Proteína(Nx6,25)	%	13,06
Humedad	%	9,52
Fibra	%	n/d
Ceniza	%	3,63
Hidratos de carbono	%	80,80
Materia grasa	%	2,51
Valor energético	kcal/100 g	398,03

Fuente: CEANID

En la tabla 4.21, se puede observar que la pasta semolada tipo nido enriquecida con pulpa de calabaza y espirulina contiene: proteína (Nx6,25) 13,06 % en base seca; humedad 9,52 %; fibra n/d en base seca; ceniza 3,63 % en base seca; materia grasa 2,51 % en base seca; hidratos de carbono 80,80 % en base seca y valor energético 398,03 kcal/100 g.

4.6.3 Análisis fisicoquímico del producto terminado

En la tabla 4.22, se muestran los resultados obtenidos del análisis fisicoquímico del producto terminado (Anexo A).

Tabla 4.22

Análisis fisicoquímico del producto terminado

Parámetros	Unidad	Valores
Gluten húmedo	%	1,54
Acidez	%	1,90

Fuente: Elaboración propia

En la tabla 4.22, se puede observar que la pasta semolada tipo nido enriquecida con pulpa de calabaza y espirulina contiene: gluten húmedo 1,54 % y acidez 1,90 % expresada como ácido láctico.

4.4.4 Análisis de micronutrientes del producto terminado

En la tabla 4.23, se muestran los resultados obtenidos del análisis de micronutrientes del producto terminado (Anexo A).

Tabla 4.23

Análisis de micronutrientes del producto terminado

Parámetros	Unidad	Valores
Potasio	mg/100 g	369,0
Calcio	mg/100 g	68,0
Magnesio	mg/100 g	25,3
Hierro	mg/100 g	4,0

Fuente: CEANID, 2019

En la tabla 4.23, se puede observar que la pasta semolada tipo nido enriquecida con pulpa de calabaza y espirulina contiene: potasio 369 mg/100 g; calcio 68,0 mg/100 g; hierro 4,0 mg/100 g y magnesio 25,3 mg/100 g.

4.6.5 Análisis microbiológico del producto terminado

En la tabla 4.24, se muestran los resultados obtenidos del análisis microbiológico del producto terminado (Anexo A).

Tabla 4.24

Análisis microbiológico del producto terminado

Parámetros	Unidad	Valores
Escherichia coli	UFC/g	$<1,0 \times 10^1$ (*)
Mohos y levaduras	UFC/g	$3,0 \times 10^1$
Staphylococo aureus	UFC/g	$<1,0 \times 10^1$ (*)

Fuente: CEANID, 2019

En la tabla 4.24, se puede observar que la pasta semolada tipo nido enriquecida con pulpa de calabaza y espirulina presenta: Mohos y levaduras $3,0 \times 10^1$ UFC/g; E. coli $<1,0 \times 10^1$ UFC/g sin desarrollo de colonias y Staphylococo aureus $<1,0 \times 10^1$ UFC/g sin desarrollo de colonias. De acuerdo a los requisitos microbiológicos citados en la NB 39001:2014 los resultados demuestran que el producto se encuentra dentro de los límites permitidos, demostrando que es apto para el consumo humano, garantizando su inocuidad.

4.6.6 Análisis de calidad para el producto terminado

A continuación, se muestran los resultados obtenidos a nivel experimental del análisis de calidad en cocido para el producto terminado “pasta semolada tipo nido enriquecida con pulpa de calabaza y espirulina”, realizados en el Laboratorio Taller de Alimentos (LTA); de la Carrera de Ingeniería de Alimentos, dependiente de la Facultad de Ciencia y Tecnología de la Universidad Autónoma “Juan Misael Saracho”.

4.6.6.1 Determinación de la prueba de cocción para el producto terminado

La determinación la prueba de cocción para establecer el tiempo óptimo de cocción (TOC) para la pasta semolada tipo nido se realiza de acuerdo a NB 39002:1-02. En la tabla 4.25, se observan los valores de tiempo óptimo de cocción realizados por triplicado.

Tabla 4.25***Determinación de la prueba de cocción para el producto terminado***

Parámetros	Unidad	Valores	Promedio
Tiempo óptimo de cocción	min	(10-11-11)	11

Fuente: Elaboración propia

En la tabla 4.25, se observa que el producto terminado posee en promedio 11 min para la prueba de cocción.

4.6.6.2 Determinación del índice de hinchamiento para el producto terminado

La determinación de índice de hinchamiento para la pasta semolada tipo nido se realizó de acuerdo a NB 39003:1-02. En la tabla 4.26, se observan los valores porcentuales del índice de absorción de agua realizado por triplicado.

Tabla 4.26***Determinación del índice hinchamiento para el producto terminado***

Parámetros	Unidad	Valores	Promedio
Índice de hinchamiento	%	(129,70-130,10-129,82)	129,87

Fuente: Elaboración propia

El índice de hinchamiento (IH) de las pastas se relaciona con la capacidad de absorción de agua que posee el almidón. Durante la cocción, los gránulos de almidón absorben agua, lo que implica un aumento en su volumen. Según (Peris, 2014); el agregado de goma xantán en la formulación coadyuva en el aumento del IH. En la tabla 4.26, se observa que el producto terminado posee en promedio un índice de hinchamiento del 129,87 %.

4.6.6.3 Determinación del grado de desintegración para el producto terminado

La determinación del grado de desintegración para la pasta semolada tipo nido se realiza de acuerdo a NB 39002:2-02. En la tabla 4.27, se observan los valores promedio porcentuales del grado de desintegración realizado por triplicado.

Tabla 4.27***Determinación del grado de desintegración para el producto terminado***

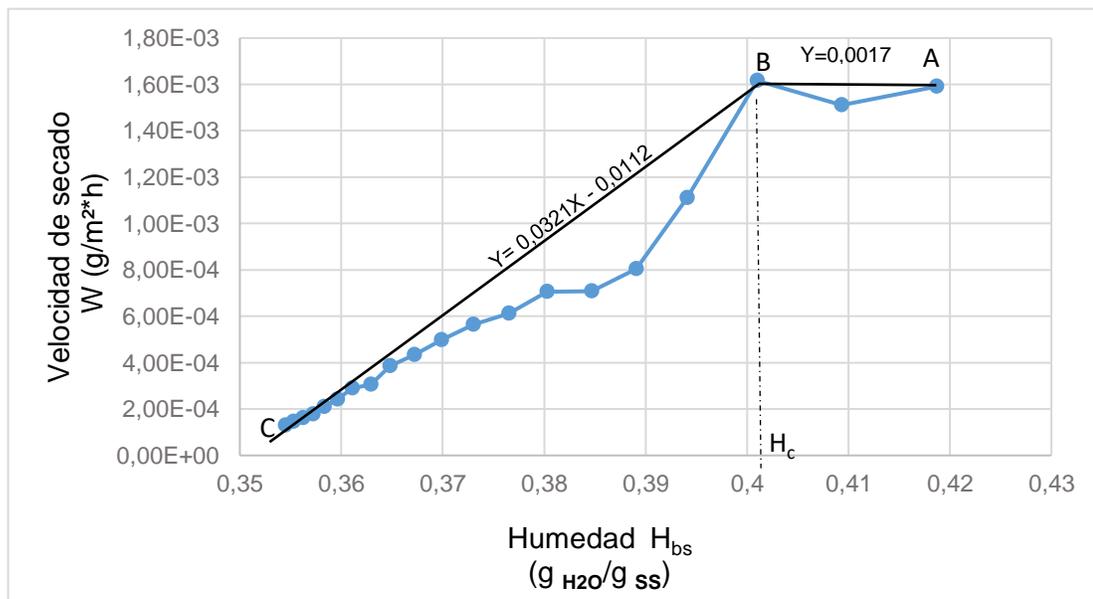
Parámetros	Unidad	Valores	Promedio
Residuo de cocción	%	(8,00-8,22-8,15)	8,12

Fuente: Elaboración propia

En la tabla 4.27, se observa que el producto terminado posee en promedio 8,12 % de grado de desintegración, esto demuestra que la cantidad de materia sólida soluble que la pasta pierde durante su cocción sobrepasa de los límites permitidos por NB 39001 para fideos especiales máximo del 7 % (Anexo A), ya que la espirulina posee proteínas solubles en agua, así como también la calabaza presenta solidos solubles como ser azucares, ácidos orgánicos, aminoácidos y pectinas solubles, que aumentan el residuo de cocción.

4.7 Cinética de secado del producto terminado

La figura 4.23, muestra la cinética de secado de la pasta semolada tipo nido, obtenida mediante regresión lineal en condiciones constantes de temperatura 60 °C, velocidad de secado 6 m/s y concentración de goma xantán 0,96 %, donde se mide la pérdida de peso de la muestra por intervalos de 15 min. Los datos experimentales fueron extraídos de la tabla H.1 del (Anexo H).



Fuente: Elaboración propia

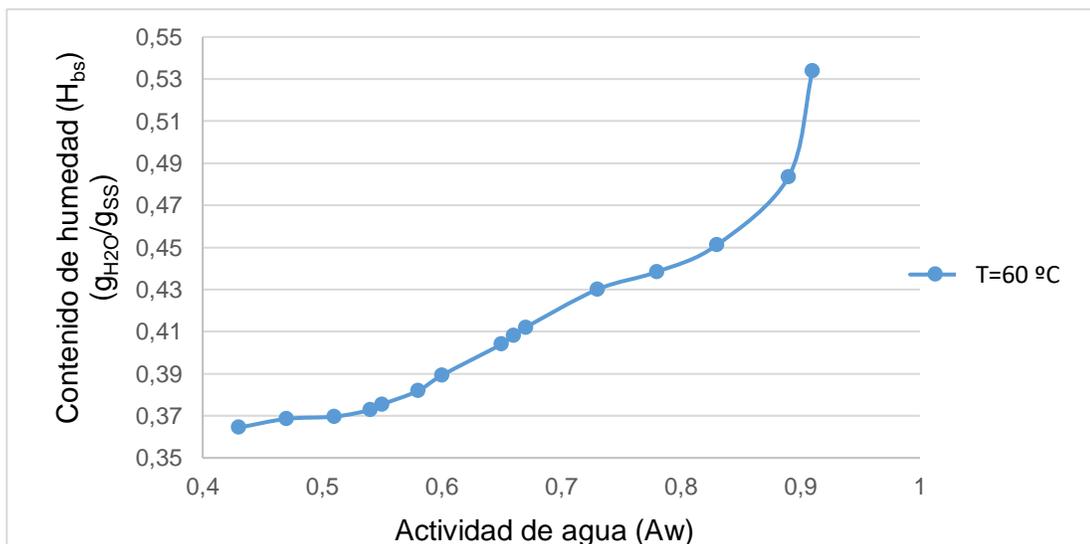
Figura 4.23. Cinética de secado para el producto terminado a 60 °C, $H_{\text{Pasta fresca}}=37\%$

En la figura 4.23, se muestra la velocidad de secado del producto terminado, apreciando dos periodos de secado diferentes, en el primer periodo de secado que corresponde al tramo A-B (**período antecrítico**), asociada a la eliminación del agua

no ligada del producto, donde se observa una velocidad de secado relativamente constante de $1,62E-03 \text{ g/m}^2\cdot\text{h}$ hasta alcanzar un valor de humedad crítica de $0,4010 \text{ g}_{\text{H}_2\text{O}}/\text{g}_{\text{SS}}$, en este punto no hay suficiente agua en la superficie. En el segundo periodo de secado que corresponde al tramo B-C (**período postcrítico**), se observa que la velocidad de secado decrece linealmente hasta que la humedad del producto alcance el valor de equilibrio de $0,3556 \text{ g}_{\text{H}_2\text{O}}/\text{g}_{\text{SS}}$ en las condiciones de secado dadas.

4.8 Isotherma de sorción para el proceso de secado del producto terminado

En la figura 4.24, se muestra la variación de la actividad de agua (A_w) con el contenido de humedad (H_{bs}) para el proceso de secado de pasta semolada tipo nido enriquecida con pulpa de calabaza y espirulina, datos extraídos de la tabla H.2 del (Anexo H).



Fuente: Elaboración propia

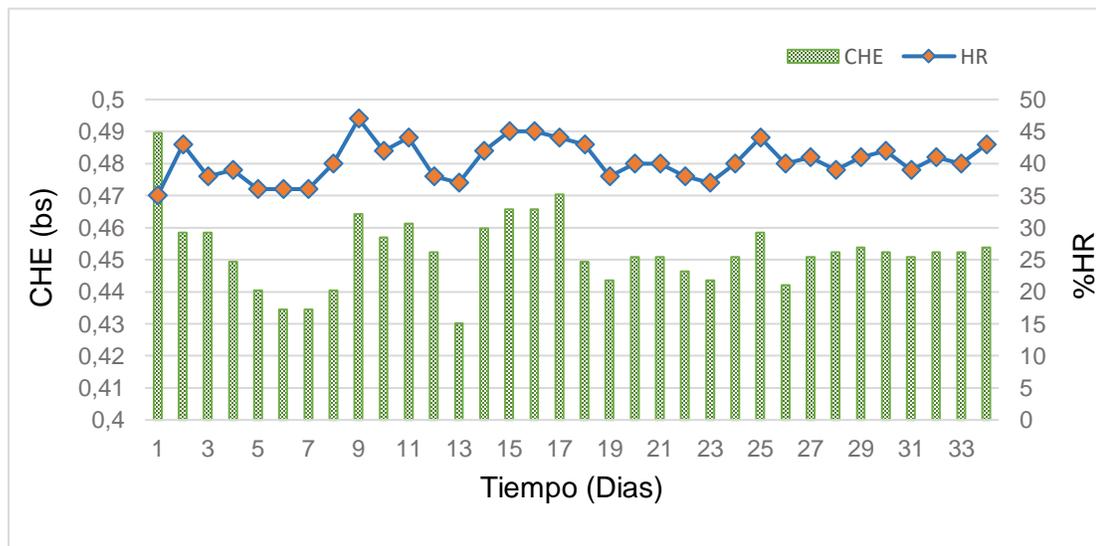
Figura 4.24. Isotherma de sorción para el proceso de secado del producto terminado

En la figura 4.24, se puede observar una isoterma de desorción, por tratarse de un proceso de secado, que presenta forma sigmoidal del tipo II con dos porciones de distinta concavidad (ver figura 2.3), característico de los alimentos ricos en almidón y sólidos con estructura porosa. Se aprecia una tendencia exponencial hasta un A_w alrededor de 0,73 para un tiempo de secado de 1,3 h; mientras que la segunda parte de la curva comienza a aplanarse hasta un A_w de 0,43. También se puede observar una reducción del contenido de humedad en base seca de $0,5337 \text{ g}_{\text{H}_2\text{O}}/\text{g}_{\text{SS}}$ hasta el valor final de $0,3643 \text{ g}_{\text{H}_2\text{O}}/\text{g}_{\text{SS}}$.

4.9 Variación del contenido de humedad de equilibrio en función de la humedad relativa para el producto terminado

Empleando un método estático consistente en colocar en un lugar específico una masa conocida de pasta seca protegida de limitantes que pudieran influir en la absorción o pérdida de humedad como ser el polvo o el agua; expuesta a una atmosfera de humedad relativa (HR) y temperatura (T) del aire circundante conocida hasta que se alcance el contenido de humedad de equilibrio (CHE), el cual ocurre cuando la muestra ya no presenta variación de peso.

En la figura 4.25 se muestra la variación del contenido de humedad de equilibrio con el tiempo en función de la HR para el producto terminado, datos extraídos de la tabla H.3 del (Anexo H).



Fuente: Elaboración propia

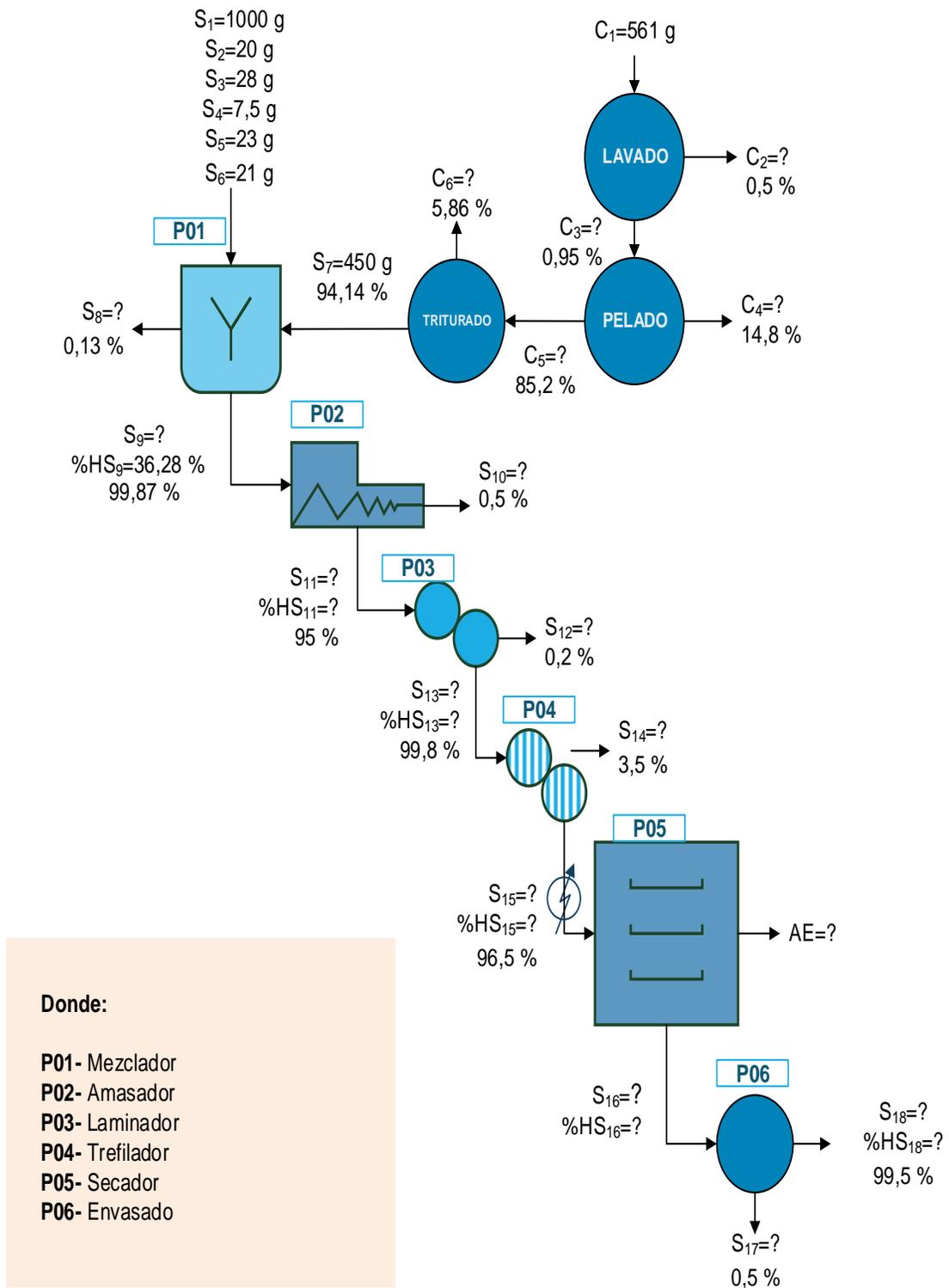
Figura 4.25. Variación del contenido de humedad de equilibrio en función de la HR para el producto terminado

La pasta alimentaria es de un material higroscópico con la capacidad de intercambiar humedad con el aire circundante. El CHE es el estado en el cual la humedad de la pasta seca logra un equilibrio con las condiciones ambientales. Este estado es afectado por los cambios de HR ambiente y T del aire circundante. Como las condiciones ambientales varían constantemente, su contenido de humedad sigue unas fluctuaciones de acuerdo a las condiciones del lugar donde se encuentra.

En la figura 4.25, se muestra que el CHE en base seca inicia con 0,4896, para continuar con variaciones en los valores a lo largo de los días, estabilizándose el día 27 hasta el día 34 con un CHE de 0,4539 donde el producto ya no intercambia humedad con el aire que lo rodea. También se puede observar que el CHE se encuentra directamente relacionado con la variación de la HR del ambiente, de tal manera es de suma importancia almacenar el producto final en un empaque hermético para disminuir la influencia de los factores climáticos.

4.10 Balance de materia en el proceso de elaboración de pasta semolada tipo nido enriquecida con pulpa de calabaza y espirulina

En la figura 4.26, se detalla cada proceso donde se realiza un balance de materia para la elaboración de pasta semolada tipo nido enriquecida con pulpa de calabaza y espirulina, tomando como base de cálculo 1099,5 g de masa entrante.



Fuente: Elaboración propia

Figura 4.26. Diagrama del balance de materia para el proceso de elaboración de pasta semolada tipo nido

Donde:

C_1 = Calabaza (g)

C_2 = Desechos del proceso de lavado (tierra e impurezas) (g)

C_3 = Calabaza limpia (g)

C_4 = Desechos del proceso de pelado (cáscara y semillas) (g)

C_5 = Pulpa de calabaza (g)

C_6 = Pérdidas en el proceso de triturado (g)

S_1 = Sémola de trigo (g)

S_2 = Almidón (g)

S_3 = Sal (g)

S_4 = Goma xantán (g)

S_5 = Aceite (g)

S_6 = Espirulina deshidratada (g)

S_7 = Pulpa de calabaza (g)

S_8 = Pérdida en el proceso de mezclado (g)

S_9 = Mezcla húmeda (g)

S_{10} = Pérdida en el proceso de amasado (g)

S_{11} = Masa total obtenida (g)

S_{12} = Pérdida en el proceso de laminado (g)

S_{13} = Masa laminada (g)

S_{14} = Pérdida en el proceso de trefilado (g)

S_{15} = Pasta húmeda (g)

S_{16} = Pasta seca (g)

S_{17} = Pérdida en el proceso de envasado (g)

S_{18} = Pasta envasada (g)

M_{SS} = Masa de solido seco (g)

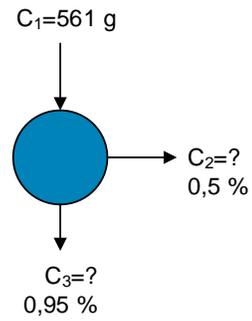
M_{ae} = Masa de agua en la entrada del proceso (g)

M_{as} = Masa de agua en la salida del proceso (g)

AE = Masa de agua evaporada (g)

4.10.1 Balance de materia en la etapa de lavado

La figura 4.27, muestra el balance de materia en la etapa de lavado de la calabaza realizado para una corriente de entrada $C_1 = 531$ g de calabaza entera y 1 litro de agua potable.



Fuente: Elaboración propia

Figura 4.27. Diagrama de bloque en la etapa de lavado

Balance de materia global en la etapa de lavado (Valiente, 1986).

$$C_1 = C_2 + C_3$$

Ecuación 4.1

Para hallar el valor de las corrientes “ C_2 y C_3 ” se reemplaza del balance de materia global (Ecuación 4.1), aplicando el siguiente planteamiento.

$$C_1 = (C_1 * 0,005) + C_3$$

$$C_3 = C_1 - (C_1 * 0,005)$$

$$C_3 = C_1 * (1 - 0,005)$$

$$C_3 = 561 \text{ g} * (1 - 0,005)$$

$$C_3 = 561 \text{ g} * 0,995$$

$$C_3 = \mathbf{558,2 \text{ g}}$$

$$C_1 = C_2 + C_3$$

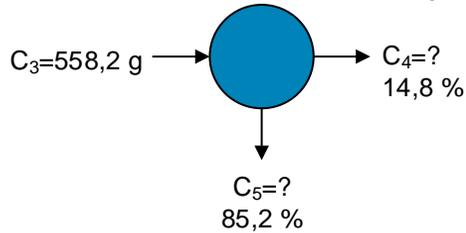
$$C_2 = C_1 - C_3$$

$$C_2 = (561 - 558,2) \text{ g}$$

$$C_2 = \mathbf{2,8 \text{ g}}$$

4.10.2 Balance de materia en la etapa de pelado

La figura 4.28, muestra el balance de materia en la etapa de pelado de la calabaza realizado para una corriente de entrada $C_3 = 558,2$ g.



Fuente: Elaboración propia

Figura 4.28. Diagrama de bloque en la etapa de pelado

Balance de materia global en la etapa de pelado (Valiente, 1986).

$$C_3 = C_4 + C_5$$

Ecuación 4.2

Para hallar el valor de las corrientes “ C_4 y C_5 ” se reemplaza del balance de materia global (Ecuación 4.2), aplicando el siguiente planteamiento.

$$C_3 = (C_3 \cdot 0,148) + C_5$$

$$C_5 = C_3 - (C_3 \cdot 0,148)$$

$$C_5 = C_3 \cdot (1 - 0,148)$$

$$C_5 = 558,2 \text{ g} \cdot (1 - 0,148)$$

$$C_5 = 561 \text{ g} \cdot 0,852$$

$$C_5 = \mathbf{478 \text{ g}}$$

$$C_3 = C_4 + C_5$$

$$C_4 = C_3 - C_5$$

$$C_4 = (561 - 478) \text{ g}$$

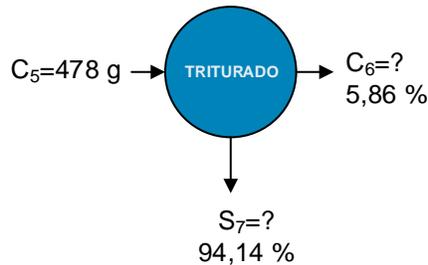
$$C_4 = \mathbf{83 \text{ g}}$$

Para calcular la porción comestible y no comestible se aplica la Ec.4.3 y Ec.4.4, (Carbajal, 2013), en base a los datos de pulpa de calabaza, cáscara y semillas citadas del (Anexo A).

$$PC = \frac{PN}{PB} \cdot 100 = \frac{478}{558,2} \cdot 100 = 85,20 \% \quad \text{Ec.4.3} \quad PNC = 100 - \%PC = 14,80 \% \quad \text{Ec.4.4}$$

4.10.3 Balance de materia en la etapa de triturado

La figura 4.29, muestra el balance de materia en la etapa de triturado de la pulpa de calabaza realizado para una corriente de entrada $C_5 = 478$ g.



Fuente: Elaboración propia

Figura 4.29. Diagrama de bloque en la etapa de triturado

Balance de materia global en la etapa de triturado (Valiente, 1986).

$$C_5 = C_6 + S_7$$

Ecuación 4.5

Para hallar el valor de las corrientes “ C_6 ” y “ S_7 ” se reemplaza del balance de materia global (Ecuación 4.5), aplicando el siguiente planteamiento.

$$C_5 = (C_5 \cdot 0,0586) + S_7$$

$$S_7 = C_5 - (C_5 \cdot 0,0586)$$

$$S_7 = C_5 \cdot (1 - 0,0586)$$

$$S_7 = 478 \text{ g} \cdot 0,9414$$

$$S_7 = \mathbf{450 \text{ g}}$$

$$C_5 = C_6 + S_7$$

$$C_6 = C_5 - S_7$$

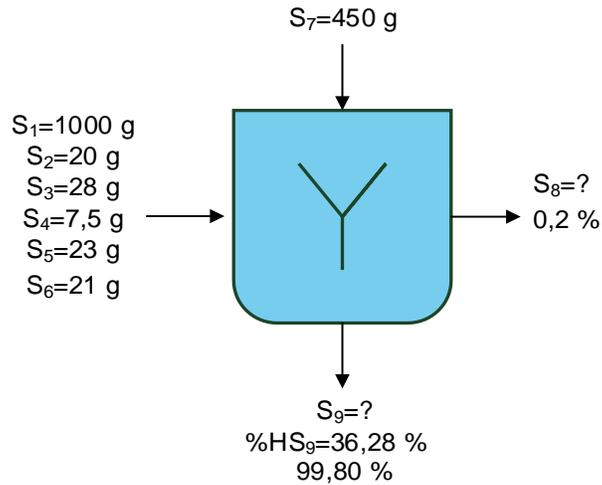
$$C_6 = (478 - 450) \text{ g}$$

$$C_6 = \mathbf{28 \text{ g}}$$

4.10.4 Balance de materia en la etapa de mezclado

La figura 4.30, muestra la etapa de mezclado. El balance de materia se realiza con 1000 g de sémola de trigo, 20 g de almidón de trigo, 28 g de sal, 7,5 g de goma xantán, 23 g de aceite, 21 g de espirulina deshidratada y 450 g de pulpa de calabaza.

Datos: Humedad de la corriente de salida %HS₉ = 36,28 %



Fuente: Elaboración propia

Figura 4.30. Diagrama de bloque en la etapa de mezclado

Balance de materia global en la etapa de mezclado (Valiente, 1986).

$$S_1 + S_2 + S_3 + S_4 + S_5 + S_6 + S_7 = S_8 + S_9$$

Ecuación 4.6

Para hallar los valores de "S₈ y S₉" se reemplaza del balance de materia global (Ecuación 4.6), aplicando el siguiente planteamiento:

$$S_9 = (S_1 + S_2 + S_3 + S_4 + S_5 + S_6 + S_7) \text{ g} \cdot 0,9980$$

$$S_9 = (1000 + 20 + 28 + 7,5 + 23 + 21 + 450) \text{ g} \cdot 0,9980$$

$$S_9 = \mathbf{1546,4 \text{ g}}$$

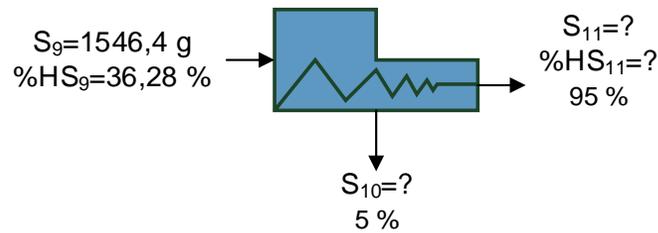
$$S_8 = S_1 + S_2 + S_3 + S_4 + S_5 + S_6 + S_7 - S_9$$

$$S_8 = (1000 + 20 + 28 + 7,5 + 23 + 21 + 450 - 1546,4) \text{ g}$$

$$S_8 = \mathbf{3,1 \text{ g}}$$

4.10.5 Balance de materia en la etapa de amasado

La figura 4.31, muestra el balance de materia en la etapa de amasado de los ingredientes tomando en cuenta la cantidad de mezcla del anterior proceso 1546,4 g.



Fuente: Elaboración propia
Figura 4.31. Diagrama de bloque en la etapa de amasado

Balance de materia global en la etapa de amasado (Valiente, 1986).

$$S_9 = S_{10} + S_{11} \quad \text{Ecuación 4.7}$$

Para hallar el valor de las corrientes “S₁₀” y “S₁₁” se reemplaza del balance de materia global (Ecuación 4.7), aplicando el siguiente planteamiento:

$$S_9 = (S_9 \cdot 0,05) + S_{11}$$

$$S_{11} = S_9 - (S_9 \cdot 0,05)$$

$$S_{11} = S_9 \cdot (1 - 0,05)$$

$$S_{11} = 1546,4 \text{ g} \cdot 0,95$$

$$S_{11} = \mathbf{1469,08 \text{ g}}$$

$$S_9 = S_{10} + S_{11}$$

$$S_{10} = S_9 - S_{11}$$

$$S_{10} = 1546,4 \text{ g} - 1469,08 \text{ g}$$

$$S_{10} = \mathbf{77,32 \text{ g}}$$

Para determinar la masa de sólido seco y masa de agua, en la entrada del proceso de amasado se realizaron los siguientes cálculos (Martines, 2010):

$$M_{SS} = P_m \cdot \frac{(100 - \%H)}{100} \quad \text{Ecuación 4.8}$$

$$M_{SS} = \frac{1546,4 \text{ g} \cdot (100 - 36,28)}{100} = \mathbf{985,43 \text{ g}}$$

$$\%HS_9 = \frac{M_{ac}}{P_m} \cdot 100 \quad \text{Ecuación 4.9}$$

$$M_{ae} = P_m \cdot \frac{\%HS_9}{100}$$

$$M_{ae} = \frac{1546,4 \text{ g} \cdot 36,28 \%}{100 \%} = \mathbf{561,03 \text{ g}}$$

Para determinar la masa de agua, en la salida del proceso de amasado se realizaron los siguientes cálculos:

$$M_{as} = M_{ae} - S_{12}$$

$$M_{as} = 561,03 \text{ g} - 77,32 \text{ g}$$

$$M_{as} = \mathbf{483,71 \text{ g}}$$

Cálculo del porcentaje de humedad para la corriente "S₁₁" (Martines, 2010):

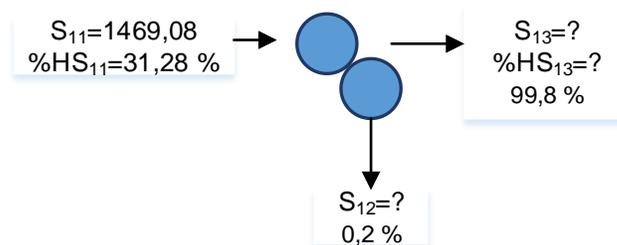
$$\%H = \frac{\text{masa de agua}}{\text{masa total}} \cdot 100$$

Ecuación 4.10

$$\%H_{S_{11}} = 100 \cdot \frac{483,71 \text{ g}}{1469,08 \text{ g}} = \mathbf{31,28 \%}$$

4.10.6 Balance de materia en la etapa de laminado

La figura 4.32, muestra el balance de materia en la etapa de laminado tomando en cuenta la cantidad de mezcla del anterior proceso 1469,08 g.



Fuente: Elaboración propia

Figura 4.32. Diagrama de bloque en la etapa de laminado

Balance de materia global en la etapa de laminado (Valiente, 1986).

$$S_{11} = S_{12} + S_{13}$$

Ecuación 4.11

Para hallar el valor de las corrientes “S₁₂” y “S₁₃” se reemplaza del balance de materia global (Ecuación 4.11) aplicando el siguiente planteamiento:

$$S_{11} = (S_{11} * 0,002) + S_{13}$$

$$S_{13} = S_{11} - (S_{11} * 0,002)$$

$$S_{13} = S_{11} * (1 - 0,002)$$

$$S_{13} = 1469,08 \text{ g} * 0,998$$

$$S_{13} = \mathbf{1466,14 \text{ g}}$$

$$S_{11} = S_{12} + S_{13}$$

$$S_{12} = S_{11} - S_{13}$$

$$S_{12} = 1469,08 \text{ g} - 1466,14 \text{ g}$$

$$S_{12} = \mathbf{2,94 \text{ g}}$$

Para determinar la masa de agua en la entrada del proceso de laminado se realizaron los siguientes cálculos (Martines, 2010):

$$\%HS_{11} = \frac{M_{ae}}{P_m} * 100$$

Ecuación 4.12

$$M_{ae} = P_m * \frac{\%H}{100}$$

$$M_{ae} = \frac{1469,08 \text{ g} * 31,28 \%}{100 \%} = \mathbf{459,53 \text{ g}}$$

Para determinar la masa de agua en la salida del proceso de laminado se realizaron los siguientes cálculos:

$$M_{as} = M_{ae} - S_{14}$$

Ecuación 4.13

$$M_{as} = 459,53 \text{ g} - 2,94 \text{ g}$$

$$M_{as} = \mathbf{456,59 \text{ g}}$$

Cálculo del porcentaje de humedad para la corriente “S₁₃” (Martines, 2010):

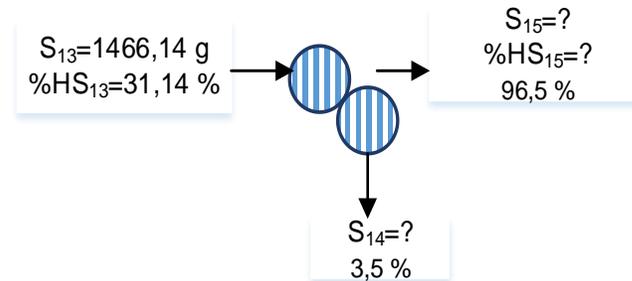
$$\%H = \frac{\text{masa de agua}}{\text{masa total}} * 100 \%$$

Ecuación 4.14

$$\%HS_{13} = \frac{456,59\text{g}}{1466,14\text{g}} * 100 \% = \mathbf{31,14 \%}$$

4.10.7 Balance de materia en la etapa de trefilado

La figura 4.33, muestra el balance de materia en la etapa de trefilado tomando en cuenta la cantidad de mezcla del anterior proceso 1466,14 g.



Fuente: Elaboración propia

Figura 4.33. Diagrama de bloque en la etapa de trefilado

Balance de materia global en la etapa de trefilado (Valiente, 1986).

$$S_{13} = S_{14} + S_{15}$$

Ecuación 4.15

Para hallar el valor de las corrientes “S₁₄” y “S₁₅” se reemplaza del balance de materia global (Ecuación 4.15) aplicando el siguiente planteamiento:

$$S_{13} = (S_{13} * 0,035) + S_{15}$$

$$S_{15} = S_{13} - (S_{13} * 0,035)$$

$$S_{15} = S_{13} * (1 - 0,035)$$

$$S_{15} = 1466,14 \text{ g} * 0,965$$

$$S_{15} = \mathbf{1414,83 \text{ g}}$$

$$S_{13} = S_{14} + S_{15}$$

$$S_{14} = S_{13} - S_{15}$$

$$S_{14} = 1466,14 \text{ g} - 1414,83 \text{ g}$$

$$S_{14} = \mathbf{51,31 \text{ g}}$$

Para determinar la masa de agua en la entrada del proceso de laminado se realizaron los siguientes cálculos (Martines, 2010):

$$\%HS_{13} = \frac{M_{ae}}{P_m} * 100$$

Ecuación 4.16

$$M_{ae} = P_m * \frac{\%HS_{13}}{100}$$

$$M_{ae} = \frac{1466,14 \text{ g} * 31,14 \%}{100 \%} = \mathbf{456,55 \text{ g}}$$

Para determinar la masa de agua en la salida del proceso de laminado se realizaron los siguientes cálculos:

$$M_{as} = M_{ae} - S_{14}$$

Ecuación 4.17

$$M_{as} = 456,55 \text{ g} - 51,31 \text{ g}$$

$$M_{as} = \mathbf{405,24 \text{ g}}$$

Cálculo del porcentaje de humedad para la corriente "S₁₅" (Martines, 2010):

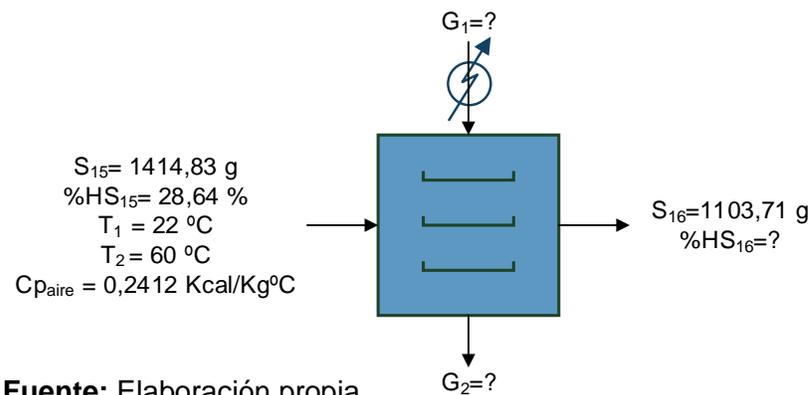
$$\%H = \frac{\text{masa de agua}}{\text{masa total}} * 100$$

Ecuación 4.18

$$\%HS_{15} = 100 * \frac{470,78 \text{ g}}{1466,14 \text{ g}} = \mathbf{28,64 \%}$$

4.10.8 Balance de materia en la etapa de secado

La figura 4.34, muestra el balance de materia en la etapa de secado tomando en cuenta la cantidad de mezcla del anterior proceso 1414,83 g.



Fuente: Elaboración propia

Figura 4.34. Diagrama de bloque en la etapa de secado

Balance general de masa en la etapa de secado (Valiente, 1986).

$$S_{15} + G_1 = S_{16} + G_2$$

Ecuación 4.19

Balance parcial en base seca en el proceso de secado

$$S_{15} * W_{15} + G_1 * Y_1 = S_{16} * W_{16} + G_2 * Y_2$$

Ecuación 4.20

Donde:

G= caudal másico del aire seco (Kg)

S= caudal másico del producto (Kg)

Y= humedad absoluta (Kg de agua/ Kg de aire seco)

W= humedad absoluta (Kg de agua/ Kg de sólido seco)

Considerando un sistema abierto

$$G_1 = G_2$$

$$S_{15} = S_{16} = S \quad (\text{masa de solido seco})$$

Despejando de (Ecuación 4.20), tenemos que:

$$S * W_{15} + G_2 * Y_1 = S * W_{16} + G_2 * Y_2$$

$$S * (W_{15} - W_{16}) = G_2 * (Y_2 - Y_1)$$

Ecuación 4.20a

Cálculo de la cantidad de sólido seco del alimento (Valiente, 1986).

$$S = P_m * (1 - X_{bh})$$

Ecuación 4.21

Donde:

S = cantidad de solido seco del alimento

P_m = peso de la muestra

X_{bh} = fracción másica del contenido de humedad del alimento.

Por lo tanto

$$S = S_{17} * (1 - 0,2864)$$

$$S = 1,41483 \text{kg} * (1 - 0,2864) = \mathbf{1,0096 \text{ Kg}}$$

Para calcular el flujo másico de agua evaporada (AE) se emplea la (Ecuación 4.20a), (Valiente, 1986).

Tenemos que:

$$AE = S*(W_{15}-W_{16})$$

$$AE = 1,0096 \text{ Kg} *(0,4288 - 0,1206)$$

$$AE = 0,31112 \text{ Kg}$$

Para determinar la masa de agua en la entrada del proceso de secado se realizan los siguientes cálculos (Martines, 2010):

$$\%HS_{15} = \frac{M_{ae}}{P_m} * 100 \quad \text{Ecuación 4.22}$$

$$M_{ae} = P_m * \frac{\%HS_{15}}{100}$$

$$M_{ae} = \frac{1,41483 \text{ Kg} * 28,64}{100} = \mathbf{0,4052 \text{ Kg}}$$

Para determinar la masa de agua en la salida del proceso de secado se realizan los siguientes cálculos:

$$M_{as} = M_{ae} - AE \quad \text{Ecuación 4.23}$$

$$M_{as} = 0,4052 \text{ Kg} - 0,31112 \text{ Kg}$$

$$M_{as} = \mathbf{0,09408 \text{ Kg}}$$

Calculo del porcentaje de humedad para la corriente "S₁₆" (Martines, 2010):

$$\%H = \frac{\text{masa de agua}}{\text{masa total}} * 100 \quad \text{Ecuación 4.24}$$

$$\%HS_{16} = \frac{94,08\text{g}}{1103,71\text{g}} * 100 = \mathbf{8,52 \%}$$

Despejando G₂ de (Ecuación 4.20), se calcula la cantidad del caudal de aire utilizado, tomando el tiempo de secado de la pasta semolada tipo nido (3,5h), los datos de humedad absoluta en la entrada y salida del secador.

$$W_{15} = \frac{0,32}{1-0,2537} = \mathbf{0,4288}$$

$$W_{16} = \frac{0,1076}{1-0,1076} = \mathbf{0,1206}$$

$$G_2 = \frac{S*(W_{15}-W_{16})}{(Y_2 - Y_1)}$$

$$G_2 = \frac{1,0096 \text{ Kg}*(0,4288 - 0,1206)}{(0,012 - 0,007)} = \mathbf{62,23 \text{ Kg/h}}$$

Para calcular la cantidad de aire, se toma en cuenta la (Ecuación 4.25). El volumen específico del aire a la salida de secador es $0,9523 \text{ m}^3/\text{Kg}$, dato extraído de la carta psicométrica.

$$G = G_2 * V_e \quad \text{Ecuación 4.25}$$

Donde:

G = volumen del aire seco (m^3/min)

V_e = volumen específico del aire húmedo (m^3/g)

Por lo tanto:

$$G = \left(62,23 \frac{\text{Kg}}{\text{h}} \right) * \left(0,9523 \frac{\text{m}^3}{\text{Kg}} \right) = \mathbf{59,26 \text{ m}^3/\text{h}}$$

Para determinar el caudal másico de aire caliente a la salida del secador, se toma en cuenta la (Ecuación 4.26), (Reklaitis & Scheider, 1986).

$$M_{\text{aire}} = \frac{M_{\text{ae}}}{\Delta Y * t_s} \quad \text{Ecuación 4.26}$$

Donde:

M_{aire} = caudal másico de aire (Kg/h)

M_{ae} = caudal de agua evaporada en el proceso de secado (Kg)

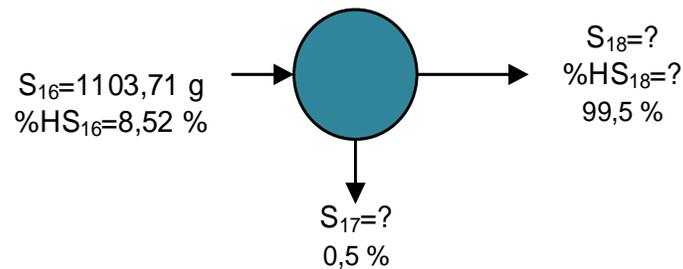
ΔY = variación del contenido de humedad absoluta (Kg agua/ Kg de aire)

t_s = tiempo de secado de la pasta semolada tipo nido

$$M_{\text{aire}} = \frac{0,4052 \text{ Kg}}{(0,012 - 0,007) * 3,5 \text{ h}} = \mathbf{283,64 \text{ Kg}/\text{h}}$$

4.10.9 Balance de materia en la etapa de envasado

En la figura 4.35, muestra el balance de materia en la etapa de envasado tomando en cuenta la cantidad de mezcla del anterior proceso $960,50 \text{ g}$.



Fuente: Elaboración propia

Figura 4.35. Diagrama de bloque en la etapa de envasado

Balance de materia global en la etapa de envasado (Valiente, 1986).

$$S_{16} = S_{17} + S_{18}$$

Ecuación 4.27

Para hallar el valor de las corrientes “S₁₇” y “S₁₈” se reemplaza del balance de materia global (Ecuación 4.27), aplicando el siguiente planteamiento:

$$S_{16} = (S_{16} * 0,005) + S_{18}$$

$$S_{18} = S_{16} - (S_{16} * 0,005)$$

$$S_{18} = S_{16} * (1 - 0,005)$$

$$S_{18} = 1103,71 \text{ g} * 0,995$$

$$S_{18} = \mathbf{1098,19 \text{ g}}$$

$$S_{16} = S_{17} + S_{18}$$

$$S_{17} = S_{16} - S_{18}$$

$$S_{17} = 1103,71 \text{ g} - 1098,19 \text{ g}$$

$$S_{17} = \mathbf{5,52 \text{ g}}$$

Para determinar la masa de agua en la entrada del proceso de secado se realizan los siguientes cálculos (Martines, 2010):

$$\%HS_{16} = \frac{M_{ae}}{P_m} * 100$$

Ecuación 4.28

$$M_{ae} = P_m * \frac{\%HS_{16}}{100}$$

$$M_{ae} = \frac{1103,71 \text{ g} * 8,52}{100} = \mathbf{94,04 \text{ g}}$$

Para determinar la masa de agua en la salida del proceso de secado se realizan los siguientes cálculos:

$$M_{as} = M_{ae} - S_{17} \quad \text{Ecuación 4.29}$$

$$M_{as} = 94,04 \text{ g} - 5,52 \text{ g}$$

$$M_{as} = \mathbf{88,52 \text{ g}}$$

Calculo del porcentaje de humedad para la corriente "S₁₈", (Martines, 2010):

$$\%H = \frac{\text{masa de agua}}{\text{masa total}} * 100$$

Ecuación 4.30

$$\%HS_{18} = \frac{88,52 \text{ g}}{1098,19 \text{ g}} * 100 = \mathbf{8,06 \%}$$

Para calcular la cantidad de unidades de pasta envasada, se toma en cuenta la corriente de salida "S₁₈" del proceso de envasado, sobre el total del peso neto del envase que es de 200 g, (Sanchez, 2003).

$$\text{Nº de unidades obtenidas} = \frac{\text{Producto final}}{\text{P. neto por envase}} \quad \text{Ecuación 4.31}$$

$$\text{Nº de unidades obtenidas} = \frac{1098,19 \text{ g}}{200 \text{ g}} \cong \mathbf{5 \text{ bolsas}}$$

4.11 Rendimiento del proceso de elaboración de pasta semolada tipo nido

Para calcular el rendimiento en el proceso de elaboración de pasta semolada tipo nido se tomó en cuenta la (Ecuación 4.31), (Sanchez, 2003).

$$R = \frac{\text{Peso final}}{\text{Peso inicial}} * 100 \% \quad \text{Ecuación 4.32}$$

$$R = \frac{1098,19 \text{ g}}{1546,4 \text{ g}} * 100 \% = \mathbf{71,01 \%}$$

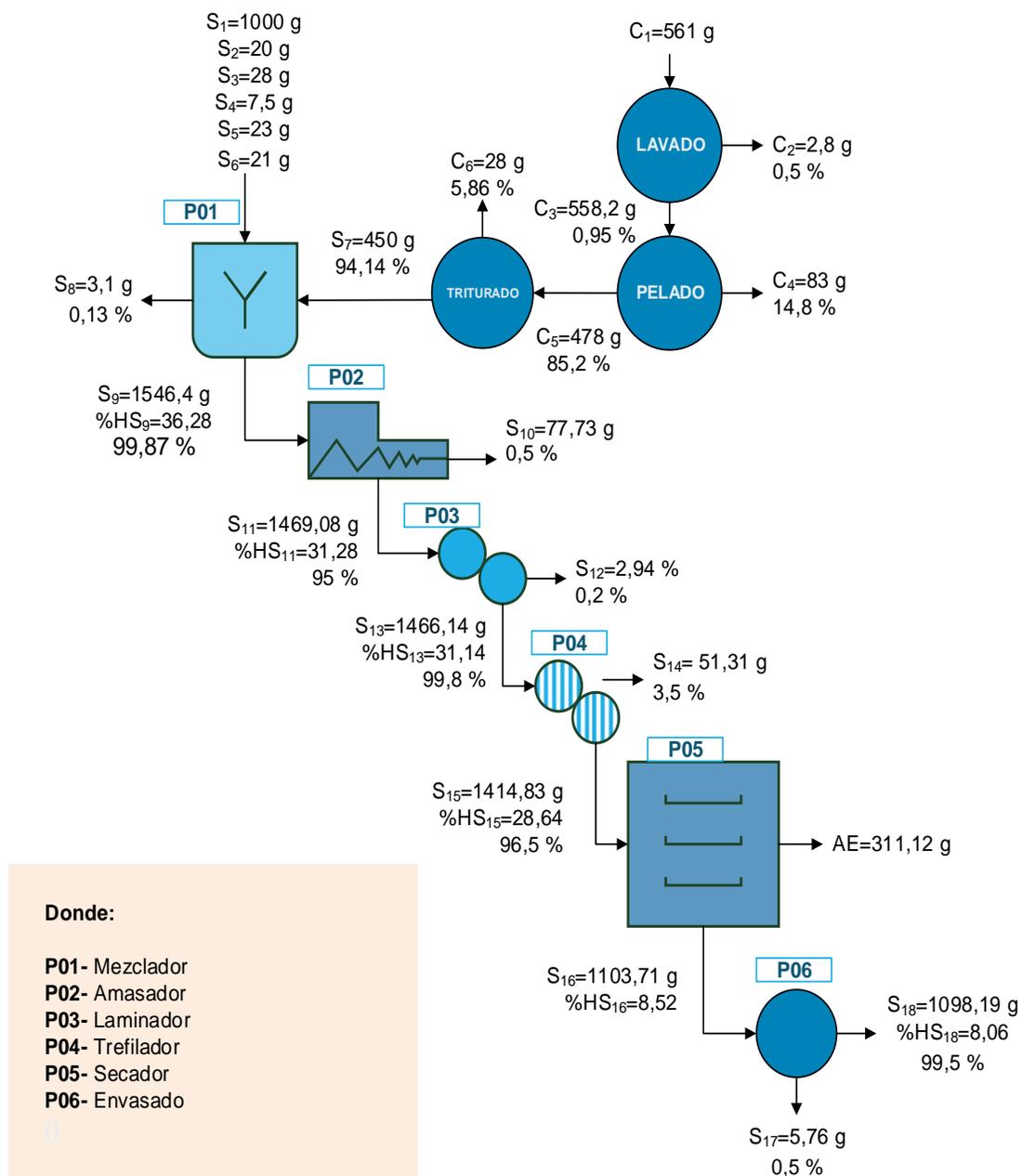
Donde:

Peso final = Corresponde al peso de la pasta obtenida después de haber realizado el proceso de envasado.

Peso inicial = Corresponde al peso de la mezcla antes de ser sometida a los procesos de amasado, laminado, trefilado y secado.

4.12 Resumen del balance de materia en el proceso de elaboración de pasta semolada tipo nido enriquecida con pulpa de calabaza y espirulina

En la figura 4.36, se muestra el resumen del balance de materia en el proceso de elaboración de pasta semolada tipo nido enriquecida con pulpa de calabaza y espirulina.



Fuente: Elaboración propia

Figura 4.36 Resumen del balance de materia para el proceso de elaboración de pasta semolada tipo nido

4.13 Balance de energía para el proceso de elaboración de pasta semolada tipo enriquecida con pulpa de calabaza y espirulina

Para determinar la cantidad de calor necesario para efectuar los balances de energía, se utiliza la (Ecuación 4.32).

La misma indica según la Ley de la Conservación de energía: “*La energía no se crea, ni se destruye, sólo se transforma*”; toda la energía entrante en un proceso debe ser igual a toda la energía saliente sin que exista acumulación, es decir, el calor perdido por una sustancia es igual al calor ganado por la otra (Valiente, 1994).

$$\Sigma Q_{cedido} = \Sigma Q_{ganado} \quad \text{Ecuación 4.32}$$

$$Q = m C_p \Delta T \quad \text{Ecuación 4.33}$$

Donde:

Q = calor ganado o cedido

m = masa de una sustancia

ΔT = gradiente de temperatura

C_p = calor específico de una sustancia

Para determinar el calor específico de un alimento de composición conocida, por encima del punto de congelación se emplea la ecuación 4.29, (Virginia, 2015).

$$C_{Pa} = 4,180*a + 1,711*p + 1,928*g + 1,547*ch + 0,908*c \quad \text{Ecuación 4.34}$$

Donde:

a = Fracción másica del agua

p = Fracción másica de la proteína

g = Fracción másica de la materia grasa

ch = Fracción másica de los carbohidratos

c = Fracción másica de las cenizas

4.13.1 Balance de energía en la etapa de secado

Para realizar el balance de energía en el proceso de elaboración de pasta semolada tipo nido enriquecida con pulpa de calabaza y espirulina se toma en cuenta la etapa de secado.

Para determinar la cantidad de calor necesaria para realizar el secado de la pasta semolada tipo nido se calcularon las corrientes de calor que intervienen en el proceso como se detalla en la (Ecuación 4.35), (Valiente, 1994).

$$Q = Q_{\text{vapor}} + Q_{\text{alimento}} \quad \text{Ecuación 4.35}$$

$$Q_{\text{alimento}} = m \cdot C_{\text{Pa}} \cdot (T_2 - T_1) \quad \text{Ecuación 4.36}$$

Para determinar el calor específico de la pasta semolada tipo nido se aplica la (Ecuación 4.34), en base a su composición en macronutrientes:

$$C_{\text{Pa}} = 4,180 \cdot a + 1,711 \cdot p + 1,928 \cdot g + 1,547 \cdot ch + 0,908 \cdot c$$

$$C_{\text{Pa}} = 4,180 \cdot (0,0952) + 1,711 \cdot (0,1306) + 1,928 \cdot (0,0251) + 1,547 \cdot (0,808) + 0,908 \cdot (0,0363)$$

$$C_{\text{Pa}} = 1,95 \left(\frac{\text{J}}{\text{g}^\circ\text{C}} \right) \cdot \left(\frac{1000 \text{ g}}{1 \text{ Kg}} \right) \cdot \left(\frac{1 \text{ Kcal}}{4185 \text{ J}} \right) = 0,46 \frac{\text{Kcal}}{\text{Kg}^\circ\text{C}}$$

Reemplazando los datos en la (Ecuación 4.36).

$$Q_{\text{alimento}} = 1,5464 \text{ Kg} \cdot 0,46 \frac{\text{Kcal}}{\text{Kg}^\circ\text{C}} \cdot (60 - 22) ^\circ\text{C} = 27,03 \text{ Kcal}$$

$$Q_{\text{vap}} = m_{\text{aire}} \cdot C_{\text{Paire}} \cdot (\Delta T) \quad \text{Ecuación 4.37}$$

Donde:

Q_{vap} = Cantidad de calor por vaporización (Kcal/h)

M_{aire} = Cantidad de aire (Kg/h)

ΔT = Gradiente de temperatura ($^\circ\text{C}$)

C_p = Capacidad calorífica del aire (Kcal/Kg $^\circ\text{C}$)

También la (Ecuación 4.37), se puede expresar como:

$$\Delta H = Q_{\text{vap}} = m_{\text{aire}} * C_{\text{Paire}} * (\Delta T) \quad \text{Ecuación 4.38}$$

La misma es válida cuando no existe reacción química o cambio de estado entre los componentes que intervienen en el proceso de transformación agroalimentario. Es decir, para sistemas abiertos, donde no existe acumulación y que están en función de sus entalpías iniciales y finales.

La expresión matemática (Ecuación 4.38), se puede expresar como una función de cambios de entalpías iniciales y finales del aire del secador.

$$Q_{\text{vap}} = m_{\text{aire}} * C_{\text{Paire}} * (\Delta T) = m_{\text{aire}} * (H^{\circ}_{\text{final}} - H^{\circ}_{\text{inicial}}) \quad \text{Ecuación 4.39}$$

Reordenando las ecuaciones, pueden expresarse en una nueva expresión matemática.

$$Q_{\text{vap}} = m_{\text{aire}} * (\Delta H) \quad \text{Ecuación 4.40}$$

Reemplazando los valores encontrados para el aire y el caudal de aire frío en el secador se pudo obtener lo siguiente:

$$Q_{\text{vap}} = 23,07 \text{ Kg/h} * (623,2 - 606,88) \text{ Kcal/Kg}$$

$$Q_{\text{vap}} = \mathbf{376,50 \text{ Kcal/h}}$$

Reemplazando de la (Ecuación 4.35), se obtuvo el calor total empleado en la etapa de secado.

$$Q = Q_{\text{vapor}} + Q_{\text{alimento}} \quad \text{Ecuación 4.35}$$

$$Q = 376,50 \text{ Kcal/h} + 27,03 \text{ Kcal/h}$$

$$Q = \mathbf{403,53 \text{ Kcal/h}}$$

Cálculo del consumo de energía eléctrica en el proceso de elaboración de pasta semolada:

$$P = \frac{E}{t} \quad \text{Ecuación 4.41}$$

Donde:

P = potencia eléctrica (W)

E = energía transmitida (J)

t = intervalo de tiempo (s)

Reemplazando de la (Ecuación 4.41):

Procesador de alimentos	Generador de aire
-------------------------	-------------------

$$E_p = 200W * 0,05h$$

$$E_g = 250W * 3,5h$$

$$E_p = 10 \frac{W}{h} * \frac{1kW}{1000W}$$

$$E_g = 875 \frac{W}{h} * \frac{1kW}{1000W}$$

$$E_p = \mathbf{0,01 \text{ kW/h}}$$

$$E_g = \mathbf{0,875 \text{ kW/h}}$$

Secador a bandejas	Selladora eléctrica manual
--------------------	----------------------------

$$E_s = 9000W * 3,5h$$

$$E_e = 500W * 0,17h$$

$$E_s = 31500 \frac{W}{h} * \frac{1kW}{1000W}$$

$$E_e = 83,33 \frac{W}{h} * \frac{1kW}{1000W}$$

$$E_s = \mathbf{31,5 \text{ kW/h}}$$

$$E_e = \mathbf{0,083 \text{ kW/h}}$$

El consumo de energía eléctrica de los equipos en el proceso de elaboración de pasta semolada resulta en **32,47 kW/h**.

Para obtener el gasto de consumo de energía eléctrica en kW/h requeridos por el aire en la etapa de secado se emplea la siguiente conversión:

Realizando conversiones:

$$\begin{array}{rcl} 1 \text{ Kcal/h} & \text{-----} & 0,001163 \text{ kW} \\ 403,53 \text{ Kcal/h} & \text{-----} & X = \mathbf{0,47 \text{ kW}} \end{array}$$

Calculando el requerimiento total de energía eléctrica:

$$E_{\text{TOTAL}} = 32,47 \text{ kW/h} + 0,47 \text{ kW/h} = \mathbf{32,94 \text{ kW/h}}$$

CAPÍTULO 5

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

5.1 Conclusiones

Realizado los análisis de laboratorio a las materias primas e insumos, muestran que:

- La sémola de trigo presenta un contenido de gluten húmedo 19,24 % y acidez 0,42 % expresada como ácido sulfúrico.
- Según las características físicas de la calabaza variedad *Cucurbita moschata*, posee en promedio: peso neto 1043,44 g; peso bruto 1228,18 g; altura 24,10 cm; porción comestible 85,00 % y porción no comestible 14,90 %. Según los análisis de macro y micronutrientes de la pulpa de calabaza contiene magnesio 5,0 mg/100 g; potasio 158 mg/100 g; proteína (Nx6,25) 1,54 %; humedad 95,34 %; fibra n/d; ceniza 1,47 %; hidratos de carbono 1,65 %; materia grasa n/d y valor energético 12,76 kcal/100 g. Para los análisis microbiológicos presentan *Escherichia coli* $<1,0 \times 10^1$ (*) UFC/g y ausencia de *Salmonella* P/A/25 g.
- Según el análisis de macro y micronutrientes la espirulina deshidratada (*Arthrospira platensis*), contiene calcio 141 mg/100 g; hierro 57,5 mg/100 g; ceniza 0,14 %; fibra 0,68 %; materia grasa 14,40 %; hidratos de carbono 2,63 %; humedad 12,85 %; proteína (Nx6,25) 69,30 % y valor energético 417,32 kcal/100 g. Para el análisis microbiológico, presenta mohos y levaduras $<1,0 \times 10^1$ (*) UFC/g sin desarrollo de colonias.
- En la selección de la muestra prototipo EC3 del primer ensayo de acuerdo a resultados de caja y bigote, se pudo observar que los atributos sabor EC3 (4,10) y EC2 (4,05), pegajosidad EC3 (4,15) y EC2 (4,25), firmeza EC3 (4,45) y EC4 (4,05); fueron mejor aceptados por los jueces. Estadísticamente, se evidencio que existe diferencia significativa $p < 0,05$ en los atributos pegajosidad y firmeza.
- En la selección de la muestra prototipo EA1 del segundo ensayo de acuerdo a resultados de caja y bigote, se pudo observar que los atributos color EA1 (3,95) y EA2 (3,85), sabor EA1 (3,95) y EA3 (3,90), firmeza EA1 (3,95) fueron mejor

aceptados por los jueces. Estadísticamente, se evidencio que existe diferencia significativa en el atributo color $p < 0,05$.

- En la selección de la muestra prototipo EC30 del tercer ensayo de acuerdo a resultados de caja y bigote, se pudo observar que los atributos color EC30 (4,35), sabor EC30 (4,05), textura EA10 (4,50) y EC30 (4,05) fueron mejor aceptados por los jueces. Estadísticamente se evidencio que existe diferencia significativa en los atributos color, sabor y textura $p < 0,05$.
- Según el diseño experimental realizado en la etapa de secado del proceso de elaboración de pasta semolada tipo nido enriquecida con pulpa de calabaza y espirulina, en base a los resultados obtenidos del análisis de varianza se puede establecer que el factor B (velocidad del aire) para $F_{cal} (4,72) > F_{tab} (3,88)$; es estadísticamente significativo $p < 0,05$, por lo tanto se debe controlar este factor, ya que incide directamente sobre la variable respuesta contenido de humedad. Mientras que para el factor A (temperatura), factor C (goma xantán), interacción AB (temperatura- velocidad de aire), interacción AC (temperatura-goma xantán), interacción BC (velocidad de secado-goma xantán) e interacción (temperatura-velocidad de aire-goma xantán), no son significativos estadísticamente para el proceso de dosificado y secado de pasta semolada tipo nido.
- Del análisis sobre la influencia que tienen las variables en el proceso de secado de pasta semolada tipo nido enriquecida con pulpa de calabaza y espirulina, se tomaron en cuenta los parámetros temperatura $T1= 40\text{ }^{\circ}\text{C}$, $T2= 50\text{ }^{\circ}\text{C}$, $T3= 60\text{ }^{\circ}\text{C}$; velocidad de circulación de aire $V1= 5\text{ m/s}$, $V2= 6\text{ m/s}$ y concentración de goma xantán $G1= 0,48\%$, $G2= 0,96\%$; y mediante la elaboración de curvas de secado, en donde se valora la variación del peso en función del tiempo, se observa que para la temperatura $T1$ tuvo la menor velocidad de secado, y pierde mayor humedad con la mayor concentración de goma xantana $G2$ con la velocidad de circulación de aire $V2$, finalizando con $H_{bs} = 0,3987\text{ g}_{H_2O}/\text{g}_{ss}$. Para $T2$ la velocidad de secado aumenta con la concentración más baja de goma xantana $G1$ y menor velocidad de circulación de aire $V1$, finalizando con $H_{bs} = 0,2294\text{ g}_{H_2O}/\text{g}_{ss}$, y finalmente para $T3$ tiene una disminución humedad con la mayor concentración

de goma xantán G2 y mayor velocidad de circulación de aire V2, finalizando con $H_{bs} = 0,3504 \text{ g}_{H_2O}/\text{g}_{ss}$.

- En el cuarto ensayo, la muestra ideal para el desarrollo del presente trabajo de investigación es la muestra A11, ya que el 84 % de los jueces la prefirieron por sobre la muestra EC31 del tercer ensayo con el 16 % de aceptación, por presentar mejor textura, disminuyendo las fracturas en la pasta seca y menor pegajosidad en la pasta cocida.
- Según el análisis estadístico “T” de Student para la selección de la muestra ideal mostro que $T_{cal} (1,36) < T_{tab} (2,49)$; no existiendo diferencia significativa entre las muestras para $p < 0,01$. Por lo tanto, se asume que la muestra ideal fue la de menor tiempo de secado (3,5 h); mayor porcentaje de goma xantán (0,96 %); mayor temperatura de secado (60 °C) y mayor velocidad de circulación del aire (6 m/s).
- El balance de materia y energía indica que: 1546,4 g de mezcla que ingresa al proceso se obtiene 5 bolsas con un peso neto de 200 g y rendimiento del 71,01 %. El calor total empleado en la etapa de secado es de 403,53 kcal/h; y el consumo de energía eléctrica de los equipos en el proceso de elaboración de pasta semolada resulta de 32,47 kW/h.

Realizado los análisis de laboratorio al producto final, muestran que:

- El análisis para la pasta semolada tipo nido enriquecida con pulpa de calabaza y espirulina sobre las características físicas de la pasta seca presento, largo 35,0 cm, ancho 5,0 mm y espesor 1,1 mm. En base a los análisis de micro y micronutrientes: posee potasio 369 mg/100 g; calcio 68,0 mg/100 g; hierro 4,0 mg/100 g y magnesio 25,3 mg/100 g; proteína (Nx6,25) 13,06 % en base seca; humedad 9,52 %; fibra n/d en base seca; ceniza 3,63 % en base seca; materia grasa 2,51 % en base seca; hidratos de carbono 80,80 % en base seca y valor energético 398,03 kcal/100 g en base seca. Del análisis fisicoquímico al producto

final, este contiene gluten húmedo 1,54 % y acidez 1,90 % expresada como ácido láctico.

- Así mismo, el análisis microbiológico presenta Mohos y levaduras $3,0 \times 10^1$ UFC/g; *Escherichia coli* $<1,0 \times 10^1$ UFC/g sin desarrollo de colonias y *Staphylococo aureus* $<1,0 \times 10^1$ UFC/g.
- Para el análisis de calidad el producto final posee en promedio 11 min para el tiempo óptimo de cocción (TOC), índice de absorción de agua del 129,87 % y residuo de cocción 8,12 %.
- La cinética de secado del producto terminado mostro una velocidad de secado apreciada en dos periodos de secado diferentes, en el primer periodo de secado que corresponde al tramo A-B (período antecrítico), se observa una velocidad de secado relativamente constante de $1,62E-03 \text{ g/m}^2\cdot\text{h}$ hasta alcanzar un valor de humedad crítica de $0,4010 \text{ g}_{\text{H}_2\text{O}}/\text{g}_{\text{SS}}$, en este punto no hay suficiente agua en la superficie. En el segundo periodo de secado que corresponde al tramo B-C (período postcrítico), se observó que la velocidad de secado decrece linealmente hasta que la humedad del producto alcance el valor de equilibrio de $0,3556 \text{ g}_{\text{H}_2\text{O}}/\text{g}_{\text{SS}}$ en las condiciones de secado dadas.
- En el proceso de secado, la isoterma de desorción en relación de la actividad de agua (A_w) con el contenido de humedad (H_{bs}) muestra una tendencia exponencial hasta un A_w alrededor de 0,73; mientras que la segunda parte de la curva comienza a aplanarse hasta un A_w de 0,43. También se puede observar una reducción del contenido de humedad en base seca de $0,5337 \text{ g}_{\text{H}_2\text{O}}/\text{g}_{\text{SS}}$ hasta el valor final de $0,3643 \text{ g}_{\text{H}_2\text{O}}/\text{g}_{\text{SS}}$. El valor final alcanzado de A_w 0.43 se encuentra dentro de del rango de utilidad del producto siendo seguro en cuanto al deterioro microbiano y al mantenimiento de su estabilidad química.
- La variación del contenido de humedad de equilibrio (CHE) en base seca, con el tiempo en función de la humedad relativa ambiente, para el producto terminado inicia con 0,4896 para continuar con fluctuaciones en los valores a lo largo de los

días, estabilizándose el día 26 hasta el día 34 concluyendo con un CHE en base seca de 0,4539. También se observa que el CHE está directamente relacionado con la variación de la HR del ambiente, de tal manera es de suma importancia almacenar el producto final en un empaque hermético para disminuir los efectos de las condiciones climáticas adversas.

5.2 Recomendaciones

- Incursionar en estudios sobre la implementación de un sistema de cultivo artesanal de espirulina en el departamento de Tarija con el fin de obtener espirulina en polvo para ser aplicada en la elaboración de una diversidad de sub-productos derivados de la misma.
- Se recomienda la implementación de un deshidratador en el laboratorio de la Carrera de Ingeniería en Alimentos, con el fin de poder realizar los controles de la manera más idónea sobre las variables que intervienen en el proceso.
- Realizar la inserción de este tipo de pastas en la entrega de los programas de canastas alimentarias para ser dotado en los subsidios destinados a mujeres en gestación, adultos mayores y público en general.