

# **CAPÍTULO I**

# **INTRODUCCIÓN**

## **1.1. ANTECEDENTES**

La ajipa, cuyo nombre científico es *Pachyrhizus ajipa* Parodi, es una planta de la familia leguminosa ya cultivada por los Incas durante el período precolombino, junto con especies muy habituales y mucho más conocidas para la población, como el maíz y el pimiento. De la importancia de la ajipa durante el período Inca dan cuenta los hallazgos arqueológicos de restos de raíces en enterramientos humanos, y las representaciones en cerámica y bordados de distintas culturas (Mochica, Nazca).

La ajipa nativa de América del Sur es cultivada en pequeña escala en los Andes bolivianos, Sur de Perú y el Noroeste de Argentina (provincias de Jujuy y Salta).

Esta raíz es valorada por su alto contenido en agua, fibra, hidratos de carbono y niveles reducidos de lípidos. Por lo tanto, en base a su composición química, se puede decir que las raíces tuberosas de ajipa son alimentos saludables. Esta especie, acumula almidón como principal compuesto de reserva, produce semillas (a partir de las cuales se propaga su cultivo).

Por estas propiedades, la ajipa puede constituir una especie alternativa interesante para un sistema productivo sostenible, donde la inversión en fertilización y tratamientos de plaguicidas podrían reducirse o evitarse, al tiempo que producir materias primas de interés para la industria y la alimentación humana y animal. Otro subproducto de este cultivo son las hojas y vainas que al momento de la cosecha presentan una elevada concentración de proteínas, por lo que puede constituir un forraje de alto valor nutritivo.

Mundialmente la industria alimentaria del sector del almidón y las harinas han estado condicionada a unos cuantos cultivos tradicionales: maíz, papa, trigo, arroz y yuca. Desde hace algún tiempo se ha venido estudiando la

incorporación en productos alimenticios, de materias primas no convencionales, provenientes de raíces y tubérculos de origen local, que sean de importancia comercial y nutricional.

El almidón aporta aproximadamente del 70 al 80% de las calorías consumidas por los seres humanos.

Por otra parte, los almidones tienen un papel importante en la tecnología de los alimentos debido a sus propiedades fisicoquímicas y funcionales. Se utilizan como agentes espesantes también para aumentar la viscosidad de salsas, agentes estabilizantes de geles o emulsiones, así como elementos ligantes y agentes de relleno, como por ejemplo en las salchichas, donde favorecen la retención de agua.

## **1.2. JUSTIFICACIÓN**

Debido a la gran importancia que ha cobrado la producción de almidones en los últimos años, se ha visto un gran interés por obtener fuentes para la obtención de almidón, tales como yuca, papa y otros, los cuales presenten nuevas o mejores propiedades funcionales que los tradicionalmente utilizados, es por eso que se propone en este estudio una nueva alternativa para producir almidón a partir de ajipa que es un producto que cuenta con propiedades nutricionales excelentes.

El producto a ser obtenido en esta investigación puede ser utilizado como insumo en la industria alimenticia como espesante, gelificante, ligante, estabilizante y sobre todo como agente texturizante. Además el mismo puede utilizarse para elaborar otros productos alimenticios como ser almidón modificado, jarabe de glucosa, jarabe de fructosa, y como materia prima para obtener bioetanol.

Este trabajo pretende incentivar la producción agraria de la ajipa en las zonas productoras del departamento de Tarija y de esta manera beneficiar al

sector campesino a mejorar su calidad de vida. En la actualidad esta raíz tuberosa se produce a pequeña escala por lo que su producción está limitada.

### **1.3. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA**

La ajipa y específicamente su almidón contenido en su estructura celular posee propiedades fisicoquímicas importantes, esto principalmente debido a la relación amilosa amilopectina de su almidón, lo cual le otorga a sus geles características reológicas superiores a los geles formados con otro tipo de almidón, lo cual es bastante requerido por las industrias procesadoras de alimentos.

La obtención de almidón se lleva a cabo sobre todo a partir de maíz, papa, trigo y yuca. En algunos casos, por ejemplo en la papa, los gránulos de almidón se encuentran libres en el interior de las células, de tal modo que su aislamiento es un proceso sencillo; en otros casos como ocurre en los cereales, el almidón se encuentra en el endospermo contenido en una matriz proteica y por ello su extracción es algo más difícil (BELITZ y GROSCH, 1997).

### **1.4. FORMULACIÓN DEL PROBLEMA**

¿Será posible obtener almidón a partir de la ajipa que cumpla con los índices de calidad?

### **1.5. OBJETIVO GENERAL**

Extraer almidón a partir de la raíz tuberosa de ajipa.

### **1.6. OBJETIVOS ESPECÍFICOS**

- Caracterizar fisicoquímica y microbiológicamente la materia prima.
- Determinar el diseño experimental en el proceso de extracción del almidón de ajipa.

- Realizar los balances de materia y energía en el proceso de extracción de almidón de ajipa.
- Determinar los índices de calidad del almidón extraído.
- Determinar las características fisicoquímicas y microbiológicas del almidón.

### **1.7. HIPÓTESIS**

La técnica a ser utilizada en la extracción del almidón permitirá obtener un almidón que cumpla con los índices de calidad para uso comercial e industrial.

# **CAPÍTULO II**

## **MARCO TEÓRICO**

## **2.1. CARACTERÍSTICAS DE LA MATERIA PRIMA**

### **2.1.1. ORIGEN**

La ajipa, cuyo nombre científico es *Pachyrhizus ahipa* (Wedd) Parodi, es una planta de la familia leguminosas ya cultivada por los Incas durante el periodo precolombino, junto con las especies muy habituales y mucho más conocidas como por ejemplo la papa.

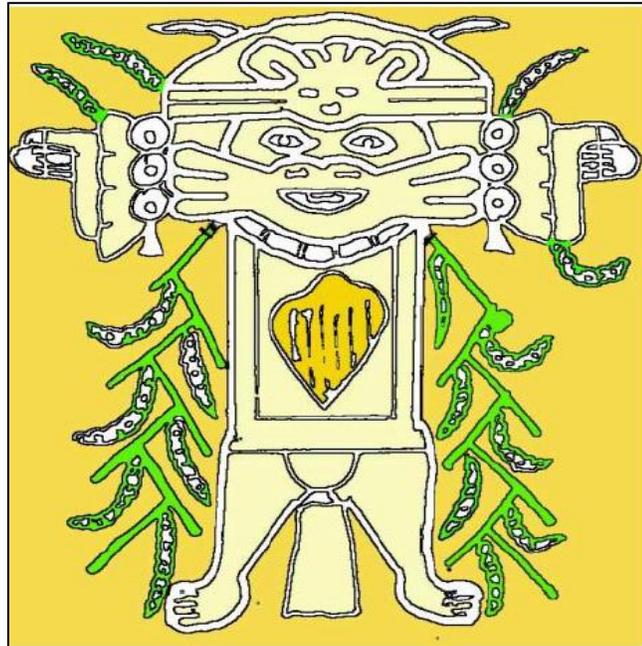
De la importancia de la ajipa durante el período inca dan cuenta los hallazgos arqueológicos de restos de raíces en enterramientos humanos y las representaciones en cerámica y bordados de distintas culturas.

*P. Ahipa* es aparentemente nativa de las tierras altas de Bolivia y noroeste argentino, sin embargo nunca ha sido observada en estado silvestre (National Research Council 1989, Sorensen 1990).

Sin embargo se han encontrado restos de ajipa asociados a momias precolombinas de la cultura Nazca, así como representaciones en piezas textiles y cerámicas.

Estas exhiben grabados botánicos bastante fieles y notablemente estilizados, las que han sido redibujados por Yakovleff en 1993 (ver figura 2.1.)

Figura 2.1. Representación de Ajipa (raíces y vainas); Cultura Nazca.



Fuente: Yakovleff, 1993

### 2.1.2. DISTRIBUCIÓN

El área de distribución de *Pachyrhizus Ahipa* inicialmente descrita como *Dolichos Ahipa* por Weddell en 1857 se extiende desde (latitud) 16° hasta 25° S en Bolivia/ norte de Argentina en valles andinos subtropicales a 1.000–2.500 msnm a lo largo de las laderas orientales.

La existencia de evidencia arqueológica procedente de áreas geográficas fuera de su presente distribución, indican que *P. Ahipa* fue ampliamente cultivada en los Andes hace por lo menos 2000 años (National Research Council 1989).

Actualmente su cultivo se restringe a un limitado número de valles andinos en Perú, Argentina y Bolivia en donde es sembrada en valles fértiles tropicales o subtropicales.

En Bolivia *Pachyrhizus ahipa* actualmente se cultiva sólo en algunas comunidades pequeñas y aisladas en las valles subtropicales de los Andes Occidentales. Hace unos 15 años las dos principales áreas de producción de *P. ahipa* se encontraban en las regiones: el valle de Luribay (departamento de La Paz, provincia Loayza) y el valle de Pilaya (departamento de Chuquisaca, provincia Sud Cinti).

Sin embargo, por el momento Estancia Caraparí que es la comunidad ubicada en el valle de Pilaya, es el único lugar donde se mantiene el cultivo de *Pachyrhizus Ahipa* en una escala más grande. Actualmente, en el valle de Luribay es mucho más fácil encontrar 'ex-ajiperos' que los agricultores que decidieron mantener el cultivo de *P. Ahipa*. Hay una gran cantidad de factores que conducen al abandono del cultivo y parece que esta planta tan valiosa enfrenta un caso de extinción acelerada.

Una de las razones por las que la producción de *P. Ahipa* no es atractiva para los agricultores es la poda de reproducción; ésta es la práctica más laboriosa, ya que las flores son numerosas y están ocultas en la base de los tallos. También es perjudicial para la salud humana ya que la planta contiene una savia lechosa que lastima los dedos.

Otro problema es el período de producción de *P. Ahipa* que en el valle de Luribay puede durar hasta 8 meses.

Por lo tanto, los agricultores simplemente no pueden destinar las parcelas grandes para producir un solo cultivo por año.

Todos estos factores, entre otros, llevan a abandonar el cultivo de *P. Ahipa*. En Estancia Caraparí casi todas las familias aún cultivan *P. Ahipa*, no sólo porque es un cultivo importante en el comercio local, sino también por la tradición que perdura de generación en generación. Los habitantes mantienen las manifestaciones culturales asociadas con la planta como la

'Feria de la Ajipa' o el uso tradicional de cáliz de la ajipa durante el evento religioso de Corpus Christi, donde se talla la ajipa para en ella verter el vino. Además, P Ahipa es muy conocida en todo el departamento de Tarija, el principal mercado para los agricultores del valle de Pilaya. Durante los últimos 15 años, de las dos principales zonas de producción de P. Ahipa ha quedado sólo una.

### **2.1.3. NOMBRES COMUNES**

La palabra Pachyrhizus deriva del vocablo panchy que significa planta y rhizus raíz gruesa; es decir planta de raíz gruesa.

Esta especie ha sido nombrada de diferentes maneras como ser: en Quechua se la conoce como: ajipa, asipa; en Aymara: villu, huitoto; en Español: ahipa, chuín, jiquima, ajipa, achipa; en Portugués: ahipa, feij~ao, jacatué; en Alemán: knollenbhne, yambohne; en Inglés: amazonian yam vean, yam vean, ashipa.

### **2.1.4. TAXONOMÍA**

El Nombre científico de la ajipa es Pachyrhizus Ahipa Parodi.

En Bolivia y en Perú sólo hay Pachyrhizus tuberosus. En México existen Pachyrhizus Erosus y Pachyrhizus Tuberosus.

Su taxonomía de la misma se detalla a continuación en la tabla 2.1.

Tabla 2.1. Taxonomía de la planta de ajipa

TAXONOMÍA	
Reino	Plantae
División	Magnoliophyta
Orden	Fabales
Familia	Leguminaceae (Fabaceae)
Subfamilia	Fabpodaee
Tribu	Phaseoleae
Género	Pachyrhizus
Especie	Pachyrhizus ahipa

Fuente: Bartle (2002)

#### 2.1.5. DESCRIPCIÓN BOTÁNICA

Las características distintivas de esta especie son sus hábitos de crecimiento erecto, sus folíolos enteros sub acorazonados o truncados (figura 2.2.), las inflorescencias axilares cortas y las semillas negras, reniformes y con punta roma (Clausen 1945).

Figura 2.2. Plantas de Pachyrhizus Ahipa cultivadas



Fuente: Estación Experimental Agropecuaria INTA Montecarlo (Misiones, Argentina)

Varios autores presentan descripciones botánicas de la especie, las cuales se resumen a continuación.

*Pachyrhizus Ahipa* es una planta herbácea no trepadora, erecta o semierecta de no más de 30 a 60 cm de alto. Sus hojas trifoliadas y pubescentes tienen folíolos asimétricos y enteros, los cuales son más anchos que largos (figura 2.3).

Figura 2.3. Representación de ajipa



Fuente: Estación Experimental Agropecuaria INTA Montecarlo (Misiones, Argentina)

#### 2.1.5.1. INFLORESCENCIA

Las inflorescencias axilares son cortas y poseen de 2 a 6 flores por cada eje lateral. La flor tiene un cáliz con 5 sépalos de color morado pálido; la corola mide 1,5 a 2 cm de largo (figura 2.4).

Figura 2.4. Representación de ajipa



Fuente: flickrhivemind.net/Tags/ahipa

### 2.1.5.2. FRUTO

El fruto es una vaina de 8-17 cm de largo y de 11-16mm de ancho. Las semillas son redondeadas reniformes, negras o moteadas negro con blanco (figura 2.5.). Las semillas son fáciles de cosechar debido a las legumbres indehiscentes y que generalmente tienen alto peso de semillas.

Figura 2.5. Vaina de P. Ahipa



Fuente: flickrhivemind.net/Tags/ahipa

### 2.1.5.3. RAÍZ TUBEROSA

Las raíces son tuberosas y presentan disminuciones graduales a ambos lados. Pueden ser de 8-15 cm o más de longitud y usualmente pesan de 0,2 a 0.8 kg. Normalmente son alargadas o irregulares en forma, pero pueden ser también casi esféricas (figura 2.6).

Figura 2.6. Ajipa P. Ahipa



Fuente: <http://www.ebay.ie/>

La cáscara es de color canela a amarillo pálido y la pulpa blancuzca y entretrejida con una fibra suave de color purpura.

En esta especie se ha observado una considerable variación en el tamaño y calidad de las raíces tuberosas, hábito de crecimiento, morfología de la hoja y preferencias ecológicas (National Research Council).

La inducción floral en el género se da tanto en plantas de días cortos y largos. Aunque al nivel de especies, *P. Ahipa* se desarrolla bajo fotoperiodos de días cortos y con temperaturas comparativamente bajas nocturnas en su área de origen; todas las accesiones conocidas son fototérmicamente neutras. Usualmente se la siembra en agosto-octubre en Bolivia con poda reproductiva (remoción manual de flores) en noviembre a marzo y con legumbres maduras en abril-junio. La época de plantación es mayormente determinada por la estación de lluvias. Durante el periodo de floración, la labor de poda reproductiva intensiva es realizada una o dos veces. La poda floral solo es necesaria hasta cierto punto, cuando la formación del tubérculo está mayormente afectada por el número de vainas producidas por planta que se desarrollan totalmente y no así por la cantidad de flores por plantas. Por lo tanto, la buena formación de tubérculos también se da en plantas profusamente florecidas, pero con una elevada tasa de absorción.

#### **2.1.6. REQUERIMIENTOS DEL CULTIVO**

Es una especie normalmente de clima fresco, pero puede crecer desde los 0 hasta los 2500 msnm y bajo precipitaciones entre los 500 y los 1500 mm anuales (Montaldo 1983, National Research Council 1989, Sorensen 1990).

Aunque se desarrolla bien en localidades desde sub tropicales a tropicales y bajo condiciones desde secas a húmedas, para buenas cosechas se requiere de precipitaciones y temperaturas moderadas. No tolera las heladas.

A diferencia de las otras especies, su floración y formación de raíces no están afectadas por la duración del día (Grum 1990, National Research Council 1989).

El suelo debe ser liviano y bien drenado para que no restrinja el crecimiento de la raíz o favorezca los hongos que la atacan (National Research Council 1989).

En un experimento realizado por Sorensen (1990) se determinó que el drenaje insuficiente reducía o inhibía completamente la germinación de las semillas de ajipa, esto como consecuencia del ataque de hongos o porque llegaban a tomar una apariencia acuosa y poco firme.

#### **2.1.6.1. CLIMA**

No existen estudios específicos sobre las necesidades climáticas de la ajipa y/o sobre su rango de adaptación. Sin embargo, la procedencia de las líneas disponibles (zonas elevadas en la zona Andina de Bolivia y Norte de Argentina) hacía suponer una cierta tolerancia al frío. La germinación requiere de temperaturas relativamente elevadas y las temperaturas de 0 a -1°C ya producen daños por helada. No tenemos datos de temperaturas óptimas para los períodos de crecimiento vegetativo y reproductivo.

Los primeros informes sobre el cultivo indicaban insensibilidad al foto y termo período (Sorensen, 1996).

Sin embargo, estudios posteriores realizados con germoplasma de introducción reciente, han podido detectar una cierta variación en respuesta a la longitud del día en el tiempo a floración y desarrollo de la raíz tuberosa.

#### **2.1.6.2. SUELOS**

No existen estudios específicos sobre el efecto del tipo de suelos en el cultivo de ajipa.

Los suelos de textura franca a franco-arenosa serían los más apropiados, como se recomiendan para la jícama, una leguminosa similar de zonas tropicales. La permeabilidad de los suelos sueltos y bien aireados impediría condiciones de anoxia y disminuiría los riesgos de putrefacción de raíces.

No se ha observado problemas nutricionales importantes en los suelos donde se ha cultivado, a pesar de la reacción alcalina de los suelos y el elevado contenido de calcio. Es posible, sin embargo, que los suelos de reacción ácida sean más apropiados para su cultivo.

En un trabajo realizado en distintas localidades de España y Portugal, se pudo observar que la principal limitación de los suelos calizos para el cultivo de ajipa era la reducida disponibilidad de fósforo y zinc, detectándose niveles críticos en hoja para los citados nutrientes (Vidueira y col., 2001).

#### **2.1.6.3. RIEGO**

Algunos estudios han indicado la posible tolerancia a sequía de la ajipa en comparación con la jícama. Los únicos estudios efectuados en ajipa con niveles de riego se han realizado en Portugal, y en ellos se ha observado que la reducción del aporte de agua al 50% de la evapotranspiración (medida en tanque evaporimétrico) producía una disminución de la producción del 50% (Leidi, 2001).

Al efectuarse investigaciones en provincias productoras de ajipa en Argentina, con riegos a manta en surco o goteros, con frecuencias regulares (cada dos semanas en pleno verano) para obtener la máxima producción potencial.

Se debe indicar que, a pesar de la suficiente disponibilidad de agua en el suelo, en las horas de mayor temperatura se producía una reorientación de las hojas (movimiento paraheliotrópico), similar al que se produce en sequía, para reducir la temperatura foliar.

#### **2.1.6.4. FERTILIZACIÓN**

El empleo de la técnica de inoculación en el momento de siembra con cepas de rizobios específicas evitaría recurrir a la fertilización con nitrógeno.

Por otra parte, no se produciría una mejora de la producción con el empleo de fertilizantes nitrogenados, dada la baja capacidad de absorción de las raíces ya señalada.

Sin embargo, es posible que el cultivo de ajipa presente una respuesta positiva al empleo de otros nutrientes como fósforo y potasio, como lo indican las concentraciones críticas observadas en el análisis foliar, dado los elevados requerimientos para la producción de raíces y semillas.

La fertilización con fósforo tiene un efecto positivo importante en la nodulación del cultivo, por lo que una mejora de la nutrición fosforada podría aumentar de forma significativa la producción al incrementar indirectamente la capacidad de fijación simbiótica de nitrógeno (Nielsen et al., 1998).

#### **2.1.6.5. DEFLORACIÓN**

La práctica de desbotonado o defloración (remoción manual o química de flores para impedir la formación de vainas) es una acción casi obligatoria ya que ésta reduce el desarrollo vegetativo puede incrementar hasta un 100% el rendimiento y además la calidad de raíces de la ajipa.

#### **2.1.7. MANEJO DEL CULTIVO**

##### **2.1.7.1. PROPAGACIÓN**

Las plantas son fácilmente propagadas por semillas, éstas pueden tener viabilidad prolongada (ortodoxas) si se controla eficazmente la humedad y temperatura de conservación (figura 2.7).

Figura 2.7. Semillas de P. Ahipa



Fuente: flickrhivemind.net/Tags/ahipa

#### **2.1.7.2. EPOCA DE SIEMBRA**

Usualmente se la siembra en agosto a octubre (Bolivia) con poda reproductiva (remoción manual de flores) en noviembre a marzo y con legumbres maduras en abril a junio. La época de plantación es mayormente determinada por la estación de lluvias. Durante el periodo de floración, la labor de poda reproductiva intensiva es realizada una o dos veces. La poda floral solo es necesaria hasta cierto punto, cuando la formación del tubérculo está mayormente afectada por el número de vainas producidas por planta que se desarrollan totalmente y no así por la cantidad de flores por plantas.

Por lo tanto, la buena formación de la raíz tuberosa también se da en plantas profusamente florecidas, pero con una elevada tasa de abscisión.

Las semillas son fáciles de cosechar debido a las legumbres indehiscentes y que generalmente tienen alto peso de semillas.

#### **2.1.7.3. DENSIDAD DE SIEMBRA**

La densidad de siembra puede variar según el tipo de variedad. Si bien se recomienda una densidad aproximada de 100.000 plantas por hectárea, de planta pequeña y sin guías. Otros genotipos más vigorosos, requerirían

menor densidad de plantación. Distancias de siembra oscilan entre 15-25 cm entre plantas y de 60 a 80 cm de surco a surco, si bien siembras tardías o con variedades de escaso porte podrían tener mayor capacidad de producción con menor distancia de siembra.

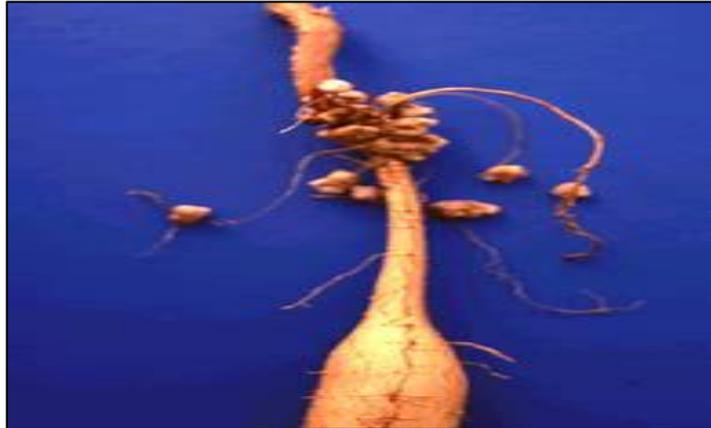
#### **2.1.7.4. INOCULACIÓN**

En investigaciones realizadas por expertos en los suelos en los que se ha cultivado no se ha observado nodulación de sus raíces por la presencia de rizobios, fenómeno de extraordinaria importancia para sacar provecho de su capacidad de fijar nitrógeno del aire y por tanto, su independencia del aporte de fertilizantes nitrogenados. Es de destacar sin embargo la escasa respuesta a la fertilización nitrogenada como consecuencia de una baja tasa de absorción y asimilación del nitrato disponible (Leidi y col., 2001).

Por tanto, una práctica fundamental es la inoculación con cepas de rizobios de comprobada eficiencia, de modo que la planta pueda formar los órganos de captación de nitrógeno del aire (los nódulos) desde el establecimiento del cultivo, para lograr un crecimiento inicial vigoroso que asegure el éxito de la implantación del cultivo. Los inoculantes con rizobios apropiados deben mezclarse con la semilla antes de la siembra, del mismo modo como se efectúa con otras leguminosas, granos o forrajeras.

La inoculación con cepas efectivas permite obtener una buena nodulación de las raíces (Figura 2.8.) que se traduce en una clara respuesta del cultivo en los suelos con baja concentración de nitrógeno.

Figura 2.8. Nodulación a consecuencia de la inoculación de rizobios



Fuente: Estación Experimental Agropecuaria INTA

Una ventaja adicional de la fijación simbiótica de nitrógeno es la mejora en la capacidad de absorción de otros nutrientes, por efecto de acidificación rizosférica inducida y el aumento de la disponibilidad de nutrientes con baja solubilidad en suelos calizos de la planta y en las raíces secundarias de ajipa (figura 2.8.) que se traduce en cultivos más verdes y por tanto, con mayor capacidad de producción, en suelos con bajo contenido de nitrógeno.

En la figura 2.9, se observa la diferencia de color entre parcelas de plantas bien noduladas y una parcela central de plantas no noduladas (no inoculadas con rizobios).

Figura 2.9.  
Diferencia de color entre parcelas de ajipa



Fuente: Estación Experimental Agropecuaria INTA

#### **2.1.7.5. COSECHA**

La cosecha de la raíz tuberosa en Bolivia se realiza después de aproximadamente 4 a 6 meses de realizada la siembra, esta es realizada manualmente, no precisa gran exigencia en cuanto a su conservación debido a que es comercializada rápidamente por los productores.

#### **2.1.8. PRODUCCIÓN**

Los datos de producción de raíces de ajipa, obtenidos varían entre 10 y 50 toneladas por hectárea en ciclos de cultivo de 4 a 6 meses. Esta gran variación de rendimiento se explica por la diferencia en el potencial productivo de raíces en las distintas variedades, la fecha de siembra, la densidad de plantación, etc.

#### **2.1.9. PLAGAS**

##### **2.1.9.1. NEMÁTODOS**

El principal problema que afecta severamente el cultivo es la presencia de nemátodos. Una alta población de nemátodos formadores de nódulos (*Meloidogyne* spp.) en el suelo puede hacer fracasar totalmente el cultivo, por lo que previamente a la siembra debe estimarse el número y tipo de nemátodos que predominan en la parcela. Los síntomas característicos del ataque por nemátodos consisten en la pérdida de turgencia de plantas en la línea de siembra, que acaban muriendo a los pocos días. Cuando se da esta situación, se observa la raíz principal totalmente destruida por el ataque de otros organismos (hongos y bacterias) en las heridas causadas por el parásito. En otras ocasiones, con ataques más leves, se observa las características nudosidades en raíces (bien diferentes de los nódulos de rizobios), y a la cosecha la formación de abultamientos en la raíz tuberosa

Algunos indicios de la posible existencia de problemas de nemátodos puede obtenerse del cultivo precedente, donde la observación de los síntomas característicos como la deformación de raíces (nudosidades, abultamientos),

marchitez a pesar de disponer de agua en el suelo, o el crecimiento irregular (enanismo en maíz) pueden ser indicadores de la presencia de nemátodos. En estos casos es totalmente desaconsejable la siembra de ajipa en esos suelos sin un estudio específico de la población de nemátodos, o se corre el riesgo de perder totalmente el cultivo.

### **2.1.9.2. INSECTOS**

Por lo general esta planta tiene un cierto grado de inmunidad al ataque de insectos debido a que contiene una sustancia insecticida natural denominada rotenona, por lo general esta sustancia se encuentra en los tallos y hojas y en menor cantidad en la raíz.

### **2.1.9.3. MALAS HIERBAS**

Las malas hierbas de verano típicas de zonas de regadío, pueden causar un perjuicio importante al cultivo, por la competencia por luz y nutrientes. Debido al lento crecimiento inicial de los cultivares. En Bolivia en los cultivos de Ajipa se deshierba manualmente, es decir no se recurre a sustancias químicas (insecticidas).

### **2.1.10. ENFERMEDADES**

La principal enfermedad del tubérculo cosechado es la podredumbre, esta es debido al ataque de mohos debido a que el tubérculo presenta una actividad de agua elevada.

Entre las enfermedades fisiogénicas cabe destacar la aparición de manchas cloróticas en el primer par de hojas de plántulas, cuando se registran altas temperaturas después de la emergencia, y el ya indicado acartonamiento, consistente en aparición de amplias zonas de color pardo y menor flexibilidad en las hojas. Ambos síntomas se han relacionado a una elevada acumulación de calcio en los tejidos y una baja concentración de potasio.

### **2.1.11. FIJACIÓN DE NITRÓGENO**

Al igual que las otras especies tiene la capacidad de fijar nitrógeno del ambiente. Al respecto, se debería estudiar con detalle los requerimientos para la nodulación e identificar los organismos simbióticos específicos que están relacionados con la fijación de nitrógeno en esta y en las otras especies.

Se evaluó en un sistema de cultivo sin nitrógeno, el patrón de crecimiento y la habilidad para fijar nitrógeno de *P. Ahipa* inoculada con un aislamiento de *Rhizobium*. Kjaer (1992).

Encontró una alta efectividad en la simbiosis, que se reflejó en una profusa nodulación y en el suministro a la planta de adecuadas cantidades de nitrógeno. Durante todo el ciclo de cultivo se observaron nódulos.

El 65 % de la fijación de nitrógeno ocurrió después de que el nitrógeno empezó a acumularse en los tejidos reproductivos (vainas y semillas) pequeñas son negras con motas amarillas.

## **2.2. AJIPA**

### **2.2.1. ANTECEDENTES**

La raíz tuberosa (ajipa) es empleada en la actualidad por pequeñas comunidades de Sudamérica, donde se consume como fruta, por su sabor dulce y refrescante (Grau, 1997), y constituye una fuente de energía, fibra y vitaminas adicional en la dieta de estas poblaciones.

La ajipa (*Pachyrhizus Ahipa*) se consume casi exclusivamente en forma cruda, como una fruta. La corteza de la raíz se desprende con bastante facilidad de la porción interna, carnosa y blanca. Por ello es corriente que se la pele y consuma en forma similar a una banana.

Este tubérculo se caracteriza por su alto contenido en almidón, azúcar y proteínas, además que muestra resistencia a una variedad de plagas asociadas a los compuestos de la planta como la rotenona (una sustancia de origen vegetal utilizada antiguamente como insecticida), que está presente en las hojas y tallos, y funciona como un insecticida natural.

Eso permite reducir el uso de plaguicidas y, por lo tanto, reducir el impacto de la actividad agrícola en la salud humana y el medio ambiente.

### 2.2.2. COMPOSICIÓN DE LA RAÍZ TUBEROSA.

Entre las materias primas obtenidas del cultivo de la ajipa deben destacarse el almidón y los azúcares de las raíces tuberosas. El almidón producido por las raíces tiene una alta proporción de amilopectina en relación a amilosa, que lo hace válido para procesos de la industria alimentaria cuando se debe reducir los efectos de retrogradación del almidón (Forsyth y col., 2002).

El contenido de azúcares es bastante elevado, y se compone fundamentalmente de azúcares reductores (glucosa), mientras la sacarosa está presente en baja proporción.

Tabla 2.2. Macrocomponentes (% p/p) de raíces de Pachyrhizus Ahipa (ajipa).

MACRONUTRIENTE	CANTIDAD (%)
Materia seca	87,1±0,2
Cenizas totales	3,50±0,02
Lípidos totales	0,65±0,04
Proteína cruda	8,6±0,3
Fibra detergente acido	12,8±0,6
Carbohidratos totales	87,2±0,3
Almidón total	37,0±2,7

Fuente: María Cecilia Doporto, 2014

Los contenidos de nitrógeno son variables dependiendo del material vegetal, y en general se corresponde con compuestos de nitrógeno solubles como aminoácidos. Esta característica puede ser de importancia en el empleo de los remanentes de la extracción de almidón y azúcar, consistente en fibras no solubles y compuestos nitrogenados, en alimentación animal.

### **2.2.3. USOS DE LA AJIPA**

La raíz tuberosa de esta leguminosa es empleada en la actualidad por pequeñas comunidades de Sudamérica, donde se consume como fruta, por su sabor dulce y refrescante, y constituye una fuente de energía, fibra y vitaminas adicional en la dieta de estas poblaciones. (Grau, 1997)

La ajipa (*Pachyrhizus Ahipa*) se consume casi exclusivamente en forma cruda, como una fruta. La corteza de la raíz se desprende con bastante facilidad de la porción interna, carnosa y blanca. Por ello es corriente que se la pele y consuma en forma similar a una banana.

### **2.2.4. USO POTENCIAL**

A partir de los resultados obtenidos se puede concluir que las raíces tuberosas de esta planta deben considerarse como una alternativa potencial para la industria de almidón, principalmente por las características presentadas en su composición química (considerable contenido de almidón con bajos contenidos de amilosa) y tamaño mediano de gránulos.

De las semillas puede extraerse aceite y también compuestos denominados rotenoides, empleados como insecticidas naturales biodegradables.

Al removerse los rotenoides y las saponinas de la semilla, es posible obtener aceite de calidad, comparado al maní o algodón, que puede utilizarse en la industria de alimentos.

### **2.2.5. PROPIEDADES DE LA AJIPA**

La ajipa es recomendada para el consumo por sus propiedades medicinales, especialmente para combatir la gastritis, acidez estomacal, úlceras, y problemas de los riñones.

La ajipa actúa como antiácido, por lo que es recomendada especialmente para combatir a la gastritis crónica, ya que protege la mucosa gástrica.

La ajipa se lo puede ingerir de diferente manera, por lo cual es recomendable tomarlo una hora antes del almuerzo para una mejor efectividad.

### **2.3. ALMIDÓN**

El almidón es un polímero que sirve como almacén de nutrientes en las plantas; pero, no sólo es una importante reserva para las plantas sino también en los seres humanos, con una alta importancia energética, proporcionando gran parte de la energía diaria necesaria a través del consumo de los alimentos (figura 2.10).

El almidón, por sus características nutricionales y sus múltiples aplicaciones en la industria alimentaria es el carbohidrato más importante, además de su importancia relevante en el comercio.

Figura 2.10. Almidón



Fuente: <http://www.vitadelia.com>

El almidón está constituido principalmente de dos polisacáridos que son la amilosa y la amilopectina, encontrándose también en menor cantidad contaminantes como proteínas, lípidos y minerales. La proporción en la que se encuentra cada uno de los polisacáridos mencionados se rige por la genética de la fuente utilizada para su extracción, lo cual influye en sus propiedades funcionales (Badui-Dergal, 2006).

Las propiedades y características del almidón de distintos cereales y tubérculos son función de la proporción relativa de su contenido en amilosa y amilopectina. La influencia de este último constituyente es importante ya que cuanto mayor es el contenido de amilopectina el producto resulta más adhesivo, característica que se aprovecha extensamente como agente espesante, estabilizante y adhesivo tanto en la industria alimentaria como en otras industrias (yufera, 1998).

Por otro lado, el almidón es uno de los principales componentes de muchos tubérculos entre ellos la ajipa, el mismo que se obtiene separando los gránulos de almidón del resto de las materias contenidas en el tubérculo. Los gránulos de almidón se encuentran en el interior de las células conjuntamente con la proteína, las grasas y los carbohidratos solubles entre otros, los mismos pueden ser aislados por un proceso de extracción y posterior purificación.

Además después de la celulosa, es el segundo hidrato de carbono más abundante en la biosfera. Aunque el contenido de almidón varía según la fuente de obtención, la más importante son los cereales (maíz, arroz, trigo) con un contenido aproximado de 30-80%, en leguminosas (frijol, chícharo, haba) un 25-50% y en tubérculo (papa, tapioca, ajipa, yuca) representa un 60-90% de la materia prima seca.

De la producción mundial de almidón aproximadamente el 83% es obtenido del maíz; después la fuente más importante es el trigo con un 7%, papa con un 6% y yuca con el 4%.

### **2.3.1. ESTRUCTURA DEL ALMIDÓN**

Las propiedades funcionales del almidón son determinadas por sus dos componentes como anteriormente se mencionó ya que son dos polisacáridos de alto peso molecular; amilosa y amilopectina.

#### **2.3.1.1. AMILOSA**

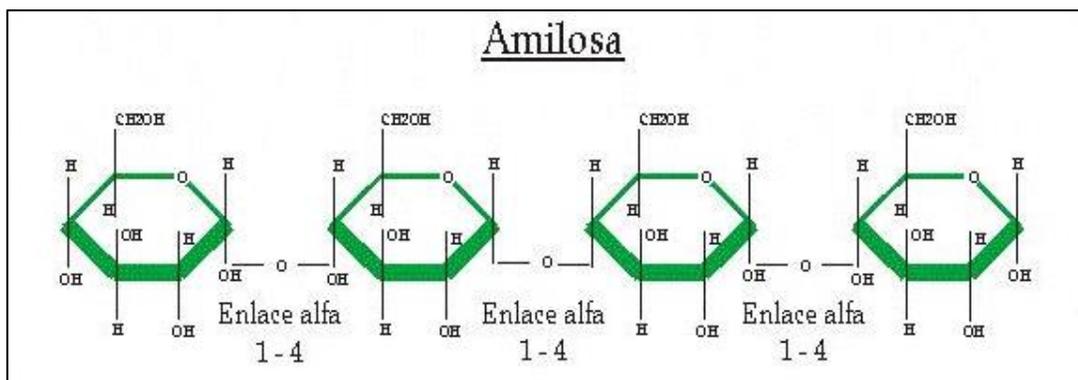
La amilosa es generalmente el menor componente presente en el almidón. En variedades de almidones cerosos, la amilosa se encuentra presente aproximadamente en un 2%, en el almidón de maíz normal se ha reportado un 27% y los almidones ricos en amilosa contienen de un 50-70% de este polisacárido. La amilosa es una molécula predominantemente lineal formada de unidades de glucosa unidas por enlaces alfa (1-4) (Figura 2.10).

Sin embargo se ha reportado en ella la presencia de algunos enlaces ramificados alfa (1-6) en algunos almidones. La molécula de amilosa toma forma de hélice con 6 moléculas de glucosa por giro. La hélice tiene en su interior hidrógenos, los cuales le dan una característica hidrofóbica; en su exterior tiene grupos OH, los cuales le confieren susceptibilidad para formar complejo con el yodo.

La interacción entre los grupos OH el yodo, es responsable de la coloración azul.

También, se ha reportado que el peso molecular de la amilosa presente en diferentes fuentes de almidón es aproximadamente de  $1 \cdot 10^5 - 1 \cdot 10^6$  Da, con un promedio de 500 a 6000 unidades de D-glucosa, repartidas en un número de cadenas que va de 1 a 20. Cada cadena presenta un grado de polimerización (GP) promedio de 500; siendo el GP, es el número de unidades de glucosa que se encuentran unidas en una cadena) (MacAllister, 1979).

Figura 2.11. Estructura química de la amilosa



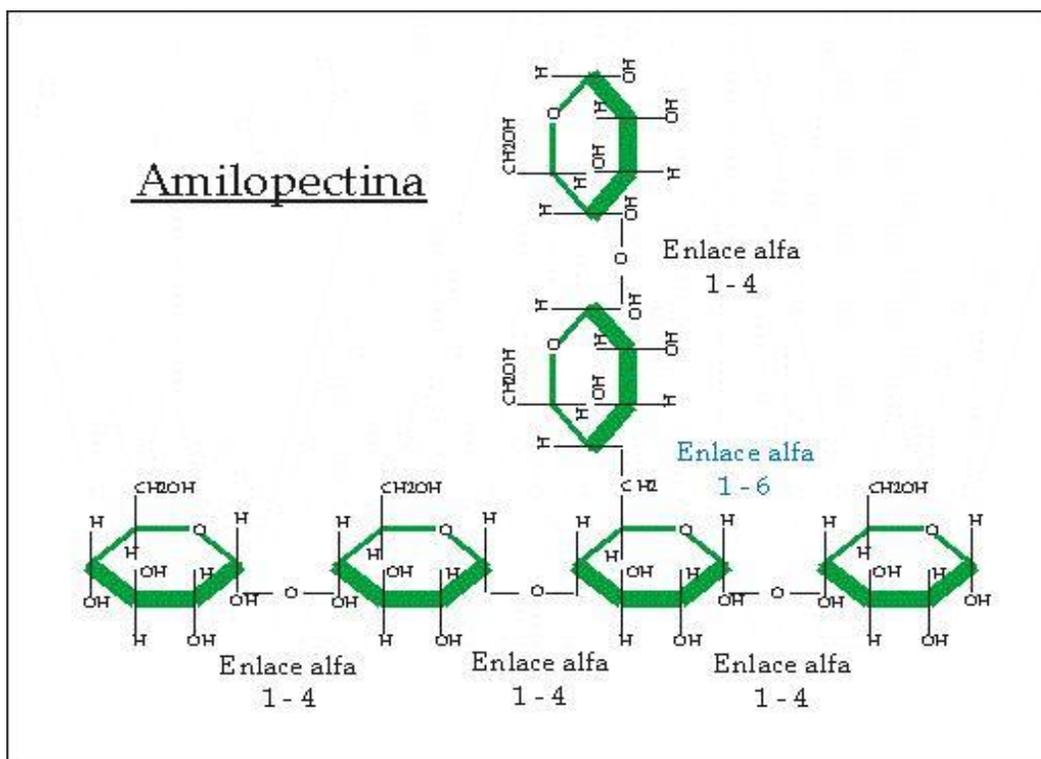
Fuente: Estación Experimental Agropecuaria INTA

### 2.3.1.2. AMILOPECTINA

La amilopectina es generalmente el mayor componente presente en el almidón nativo. La amilopectina es un polisacárido altamente ramificado y cuya molécula está constituida por unidades de D-glucosa unidas por enlaces alfa (1-4) y en sus puntos de ramificación por enlaces alfa (1-6) (Figura 2.11), se sabe que este polisacárido se encuentra en una proporción de 70-80% en el granulo de almidón y en almidones tipo ceroso alcanza niveles de hasta un 98-99% dependiendo de la fuente botánica de almidón.

La molécula de amilopectina ha sido ampliamente estudiada en términos de su tamaño molecular, ramificación y longitud de las cadenas internas y externas (Bello-Pérez et al, 2002).

Figura 2.12. Estructura química de la amilopectina



Fuente: Estación Experimental Agropecuaria INTA

### 2.3.2. AMILOSA Y AMILOPECTINA EN EL GRÁNULO DE ALMIDÓN

El almidón, está organizado en partículas discretas conocidas como gránulos, cuya morfología, composición química y estructura molecular (arreglo relativo de las macromoléculas en estado sólido), son distintas de una especie a otra debido a que la amilopectina es el componente más abundante en el almidón, este polímero es responsable de que el gránulo presente:

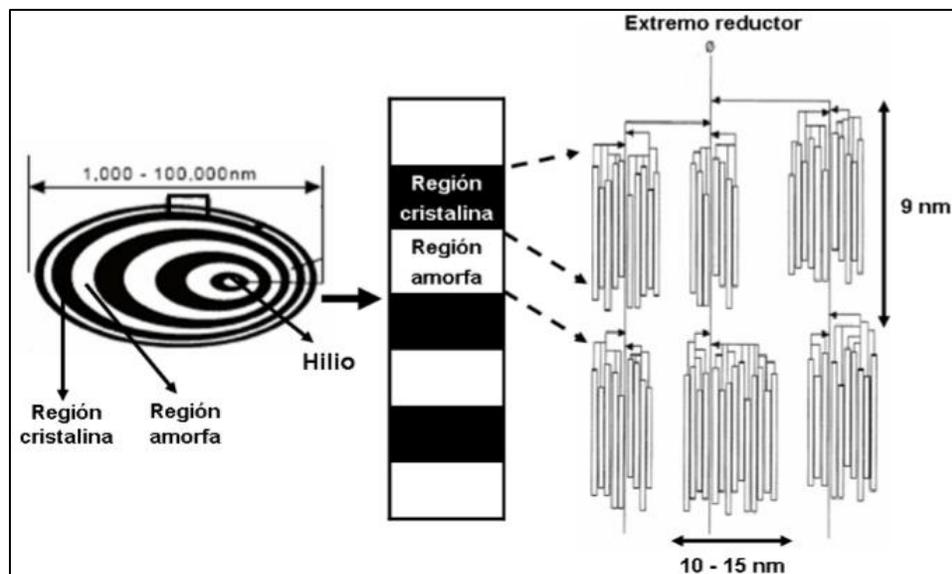
- a) Una estructura organizada en forma de anillos (figura 2.12), las moléculas de amilopectina se alinean a lo largo de un eje imaginario que se extiende desde el hilio (punto de origen) del granulo hasta el exterior del mismo.

- b) Cierta propiedad semi cristalina formando así dos regiones (figura 2.12); una cristalina y otra amorfa, que dan al gránulo su característica de birrefringencia.

Fenómeno conocido como la cruz de malta. La región cristalina está formada por cadenas de amilopectina estructuradas en racimos, mientras que la región amorfa está formada por puntos ramificados entre la amilopectina y la amilosa. (French, 1972), propuso un modelo, el cual describe que la amilopectina se encuentra en racimos (figura 2.12) dentro del gránulo de almidón.

Esto originaba que las regiones cristalinas y amorfas, se organizaran en forma alternada.

Figura 2.13. Estructura del gránulo de almidón



Fuente: Tomada de vernal y Martínez 2006; Tester y Debon 2000.

Las cadenas se organizan en dobles hélices, las cuales tienen una longitud de 2-4 nm y contienen la mayor cantidad de enlaces alfa-(1-6), siendo relativamente susceptibles a agentes hidrolíticos, mientras que la región cristalina compuesta por moléculas de amilopectina en forma de racimos tiene 5-7 nm de diámetro y 10-15 nm de longitud.

Cuando los gránulos se extraen y se secan, tienen la apariencia de un polvo blanco y presentan la propiedad de ser insolubles en agua fría. De forma general, presentan una composición química (tabla 2.3) con bajos contenidos en proteínas, cenizas, lípidos y el resto lo conforma el almidón propiamente dicho.

Estos constituyentes en muchas ocasiones definen ciertas propiedades funcionales, por lo cual, la estructura del almidón necesita ser estudiada a dos niveles distintos:

- a) A nivel molecular, se refiere a la cantidad, estructura fina, forma y tamaño de las moléculas que lo conforman.
- b) A nivel de estructura supermolecular del gránulo.

Tabla 2.3. Composición química de diferentes almidones

FUENTE	Humedad	Carbohidratos	Proteínas *b	Lípidos *	Cenizas*
Arroz	15	83,15	0,45	0,8	0,5
Maíz	13	85,92	0,35	0,6	0,1
Trigo	14	84,59	0,4	0,8	0,15
Sorgo	13	85,92	0,3	0,7	0,08
Papa	19	80,41	0,06	0,05	0,4
Yuca	13	86,59	0,1	0,1	0,2
Amaranto	6	92,1	0,1	0,4	1,4
Plátano	12,6	80,27	2,03	2,2	1,3

a=expresado en %  
b=N×6,25  
\*En base seca

Fuente: tomada de paredes y col 1990; Pérez 1997; tomas y Atwell 1999).

### 2.3.3. PROTEÍNAS DEL GRÁNULO DE ALMIDÓN

Además de amilosa y amilopectina, los gránulos de almidón contienen otros componentes minoritarios como son proteínas, lípidos y minerales. De estos, las proteínas y lípidos son los más abundantes y tecnológicamente importantes.

Las proteínas son compuestos de alto peso molecular que se encuentran asociados al gránulo de almidón, se pueden dividir en dos grandes categorías:

- a) Proteínas de almacenamiento, las cuales permanecen unidas indirectamente a la superficie del gránulo, son solubles en agua.
- b) Proteínas asociadas al gránulo de almidón, están unidas a la superficie del gránulo de almidón y/o conforman su estructura interna.

#### **2.3.4. AISLAMIENTO DE ALMIDÓN**

En toda investigación realizada para almidón, el paso más importante es su aislamiento, el cual debe lograrse sin que haya una modificación significativa de su estructura y que éste sea obtenido en cantidades suficientes para permitir su análisis.

Los diferentes procesos de aislamiento a nivel laboratorio e industrial, son diseñados y adaptados dependiendo de la fuente de obtención (cereales, frutas, tubérculos, raíces); con la finalidad de no afectar la composición química, las propiedades físicas y obtener un alto rendimiento de almidón nativo sin dañarlo. Los procesos para la extracción de almidón a partir de cereales son denominados de molienda húmeda.

El grano es remojado en soluciones con diversos compuestos químicos, que tienen la finalidad de impedir el crecimiento de microorganismos y romper la matriz proteica que está íntimamente ligada con los gránulos de almidón. Además, se usa agua como vehículo para lograr la conducción, separación y purificación de este importante carbohidrato.

#### **2.3.5. USOS INDUSTRIALES DEL ALMIDÓN**

Entre los principales usos tenemos:

- **Farmacéutico:** empleado como excipiente para la formación de tabletas, espesante de jarabes.

- **Pegamento:** empleado como base para la fabricación de pegamentos vegetales, alta adhesividad.
- **Cosmético:** empleado para la producción de talcos, polvos de rostro, maquillaje.
- **Minero:** estabilizante como floculante de la bauxita hierro, aglomerante en ladrillos refractarios.
- **Textil:** empleado como encolante de los hilos de urdimbre para proporcionar resistencia a los hilos en el telar.
- **Cartón:** empleado como adhesivo en el proceso de manufactura del cartón corrugado.
- **Papel:** mejora la resistencia superficial e interna, la retención de finos y cargas minerales, la formación de la hoja y apariencia superficial.
- **Alimento:** Enfocándonos en la industria alimentaria el almidón es utilizado como aditivo para algunos alimentos. Tiene múltiples funciones entre las que cabe destacar: adhesivo, ligante, enturbiantes, formador de películas, estabilizante de espumas, conservante para el pan, gelificante, aglutinante, etc.

El almidón actúa como buen espesante en condiciones normales. Algunos derivados del almidón (polidextrosas, almidón oxidado, fosfato de monoalmidón y otros) tienen mejores propiedades y mayores aplicaciones que el almidón nativo.

### 2.3.6. CARACTERIZACIÓN FÍSICOQUÍMICA DEL ALMIDÓN

En la industria de alimentos se requieren almidones con un contenido de humedad entre el 11% y 13%, no obstante si los mismos no se encuentran en esas condiciones se encuentran propensos a sufrir ataques microbiológicos e inestabilidad durante su conservación.

La amilosa y la amilopectina determinan el comportamiento funcional de los almidones, debido a que a partir de su estructura y concentración dependen las características de los geles.

El almidón comercial contiene el 25% de amilosa y el 75% de amilopectina, el contenido de los mismos varía según la composición de la materia prima como ya se había mencionado antes (Singh y Kaur, 2010).

### **2.3.6.1. GELATINIZACIÓN Y RETROGRADACIÓN**

- **Gelatinización**

Se conoce como gelatinización al proceso donde los gránulos de almidón que son insolubles en agua fría debido a que su estructura es altamente organizada, se calientan (60-80°C) y empieza un proceso lento de absorción de agua en las zonas intermicelares amorfas que son menos organizadas y las más accesibles. A medida que se incrementa la temperatura, se retiene más agua y el granulo empieza a hincharse y aumentar de volumen. Este fenómeno puede ser observado al microscopio. Al llegar a cierta temperatura, los gránulos alcanzan un volumen máximo y pierde tanto su patrón de difracción de rayos X como la birrefringencia.

El rango de temperatura en el que tiene lugar el hinchamiento de todos los gránulos se conoce como rango de gelatinización y es característico de la variedad particular de almidón que se está investigando. Al producirse el hinchamiento de los gránulos, hay también una extracción de la amilosa. Esta amilosa liberada queda en dispersión coloidal donde los gránulos intactos están en suspensión.

Si se continúa administrando calor a los gránulos hinchados, estos se romperán parcialmente y la amilosa y amilopectina se dispersarán en el seno de la disolución. Al final de este proceso se genera una pasta o gel en la que existen cadenas de amilosa altamente hidratadas que rodean a los agregados, también hidratados, de los restos de los gránulos.

La temperatura a la cual se inicia la gelatinización de diferentes tipos de almidones depende de una serie de factores:

- **Variedad del almidón:** está directamente relacionado a la porción de amilosa y amilopectina. La cadena amilosa debido a que posee una estructura lineal, forma geles más consistentes, mientras que la amilopectina, con una estructura ramificada no puede hacerlo.
- **Tamaño del granulo de almidón:** los gránulos grandes tienden a hincharse y absorber más agua, antes que los pequeños.
- **Contenido de sales:** algunas sales pueden disminuir a la temperatura de gelificación a tal punto que, el proceso de hinchemiento del granulio en agua, puede ser estudiado a temperatura ambiente.
- **Temperatura y tiempo de calentamiento:** (Maisola 1960), señala que la temperatura final y el tiempo de cocimiento, son factores que condicionan la viscosidad del producto. Ambas cuando mas alta es la temperatura de cocimiento, menor sera la viscosidad del producto, pues la desintegracion del granulo hinchado sera mas grande a mayor tiempo de cocimiento por accion de la temperatura y agitación.
- **pH:** la velocidad e intensidad del hinchamiento de los granulos de almidon son afectados por el pH del sistema, ya que generalmente los valores de pH menores a 5 o mayores a 7 tienden a reducir la temperatura de gelificación y acelerar el proceso de coccion a pH alcalino se reducen considerablemente la temperatura y tiempo requeridos para el hinchamiento de los granulos, mientras que en condiciones muy acidas puede favorecer la hidrolisis del enlace glucosidico del almidon con la consecuente perdida y la viscosidad de sus suspensiones.

- **Retrogradación**

Este fenómeno se define como la insolubilización y precipitación espontanea de las moléculas de amilosa, debido a que sus cadenas lineales se orientan paralelamente por puentes de hidrogeno. Cada almidón tiene una tendencia

diferente a la retrogradación que está relacionada con su contenido de amilosa. Hay dos rutas por las que se puede llevar a cabo la retrogradación que dependen de la concentración y temperatura del sistema:

- **Rápida:** Al calentar una solución concentrada de amilosa y se enfría rápidamente hasta temperatura ambiente, se forma un gel rígido y reversible.
- **Lenta:** Una solución diluida, se vuelve opaca y precipita cuando después de calentarse, se deja enfriar lentamente hasta temperatura ambiente.

La retrogradación está directamente relacionada con el envejecimiento del pan, esto es porque durante el cocimiento del pan, parte de la amilosa se difunde fuera del granulo y retrograda en el momento de su enfriamiento, de tal manera que los restos de granulo (ahora ricos en amilopectina) se ven rodeados por moléculas del polímero lineal; se considera que el envejecimiento se debe a la asociación de cadenas de amilopectina dentro del granulo, después de haber perdido parte de amilosa.

### **2.3.6.2. PROPIEDADES FÍSICAS DEL ALMIDÓN DE AJIPA**

Polvo fino, blanco inodoro, insípido, produce ligera crepitación cuando es comprimido entre los dedos, insoluble en agua y en alcohol.

Está formado por pequeños gránulos que constan de una porción más externa y ramificada: la amilopectina, y otra más interna y lineal: la amilasa.

#### **• Color**

La importancia del color como una característica de valoración física y de calidad en los alimentos hace necesario disponer de métodos objetivos de medición que permitan la obtención de valores comparables y reproducibles.

El color es afectado por muchos factores, tales como la iluminación, el observador, el espectro, la presencia de pigmentos o las propias características de superficie, tamaño, textura y brillo de la muestra analizada. Actualmente por el aumento de las expectativas impuestas en los alimentos

en cuanto a normas de calidad y seguridad, surge la necesidad de determinar la calidad precisa, rápida y objetiva.

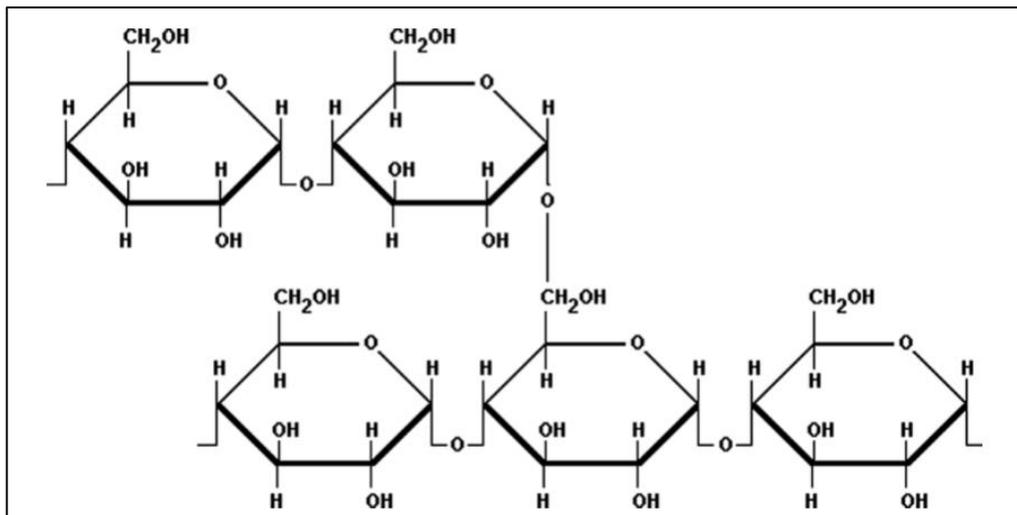
La visión por sistemas computarizados proporciona una alternativa para una técnica automatizada, no destructiva y rentable para lograr estos requisitos.

### 2.3.6.3. FÓRMULA QUÍMICA DEL ALMIDÓN

Parte superior: amilasa

Parte inferior: amilopectina

Figura 2.14. Estructura química del almidón



Fuente: Wade (2006).

### 2.3.7. IDENTIFICACIÓN DE LAS TÉCNICAS DE EXTRACCIÓN DE ALMIDÓN DE AJIPA.

Inicialmente, la mayoría de las plantas procesadoras de almidón eran de mediana escala, con bajos niveles de producción manejadas principalmente por mano de obra familiar o por pequeñas cooperativas de campesinos. Con el paso de los años la demanda de almidón aumentó y se introdujeron innovaciones mecánicas en algunas etapas del proceso, logrando aumentar la capacidad productiva de estas pequeñas fábricas.

Se ha iniciado trabajos para evaluar una técnica de extracción de almidón de ajipa (llamada harina refinada) por vía seca con el objeto de disminuir los altos consumos de agua, los largos tiempos de proceso que requiere la técnica de extracción de almidón dulce.

Particularmente, en las etapas de lavado y filtración se consumen grandes cantidades de agua aproximadamente 7 L por kg de ajipa fresca o 31 L por kg de almidón. El rendimiento del proceso varía entre 17-25% dependiendo de la eficiencia del proceso de extracción. Es decir, una relación de 6:1 hasta 4:1 de raíces/almidón. Las aguas residuales poseen altas cargas contaminantes por sus contenidos de compuestos cianogénicos; las cuales deben ser tratadas para evitar la contaminación de otras corrientes de agua, siendo este uno de los principales problemas en la extracción de almidón de ajipa por vía húmeda.

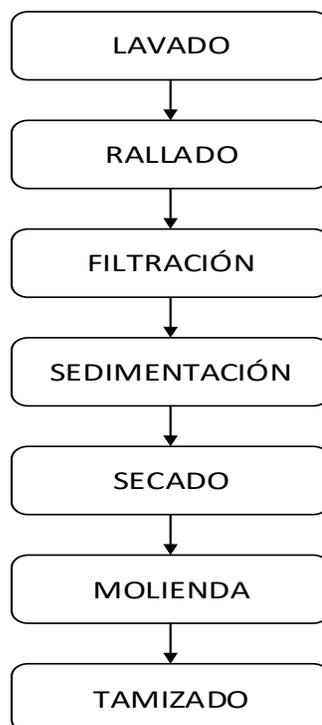
Los principios de la extracción del almidón de ajipa por vía húmeda se aplican en todas las industrias que elaboran almidón, aunque varía mucho la tecnología empleada. Se encuentran por ejemplo, fábricas en las que el proceso es completamente artesanal, otras medianamente mecanizadas; pero siguen siendo muy artesanales y de esta forma tienen limitaciones en cuanto al cumplimiento de las especificaciones de calidad exigidas para el almidón de uso industrial.

El almidón obtenido presenta un color crema o grisáceo, producto del método de secado. Así mismo, puede contener un alto contenido de proteína que lo hace susceptible a la descomposición por gran variedad de microorganismos un pH variable que, si es bajo es indicativo de la presencia de fermentación y un alto contenido de fibra, reflejo de deficiencias en el sistema de filtración o tamizado empleado.

### 2.3.7.1. EXTRACCIÓN DE ALMIDÓN VÍA HÚMEDA

La extracción de almidón de ajipa por vía húmeda se lleva a cabo por medio de un proceso que comprende las etapas que se ven a continuación en el diagrama 2.1.

Diagrama 2.1. Extracción del almidón por vía húmeda



Fuente: (Alarcón y Dufour, 1998).

A continuación se realiza una descripción de cada una de las etapas de la extracción de almidón por vía húmeda:

- **Lavado**

En esta etapa se elimina la tierra y las impurezas adheridas a la ajipa y se elimina parte de la cascarilla.

- **Rallado**

Se realiza para liberar los gránulos de almidón contenidos en las células de la materia prima.

Esta operación suele hacerse en seco, en algunos casos se utiliza agua cuando puede hacerse fluir directamente a la operación posterior.

La eficiencia de esta operación determina, en gran parte, el rendimiento total del almidón en el proceso de extracción.

Si el rallado no se hace bien, no se logran separar totalmente los gránulos de almidón de las fibras, el rendimiento del proceso es bajo y se pierde mucho almidón en el afrecho desechado.

Por otra parte, el rallado no debe ser demasiado fino, porque los gránulos muy pequeños de almidón sufrirían daño físico.

- **Filtración**

En esta etapa se realiza la separación del afrecho de la lechada de almidón, debe evitarse en lo posible que pequeñas partículas de fibra pasen a la lechada de almidón; por ello, en algunos casos se hace pasar la lechada de almidón por un tamiz después de la filtración con el objeto de retener las fibras finas que pudieron filtrarse a la lechada.

- **Sedimentación**

La lechada de almidón es conducida a tanques de sedimentación, en donde se debe esperar entre 6-8 horas para que el almidón quede sedimentado. Al final de esta etapa, se obtienen tres capas en los canales: la capa inferior es el almidón, la intermedia se denomina mancha, almidón mezclado con material protéico y la capa superior es el agua sobrenadante.

La capa superior es eliminada por desagüe del agua y la mancha es retirada por el lavado con agua. Dependiendo si la sedimentación se realiza en tanques o en canales, se perderá o no almidón en la eliminación del agua sobrenadante y la mancha.

- **Secado**

El almidón compactado en el fondo de la etapa de sedimentación es transportado al secador donde se deshidrata hasta un nivel de humedad aproximado del 12 %.

El secado es una de las etapas más limitantes del proceso de extracción de almidón, ya que para llevarla a cabo se necesitan grandes espacios y en caso de secado solar se necesita días soleados.

- **Molienda y Tamizado**

El almidón seco, en forma de terrones, es molido y posteriormente es tamizado en mallas, cuya finura o granulometría depende de las características del almidón que se desea obtener.

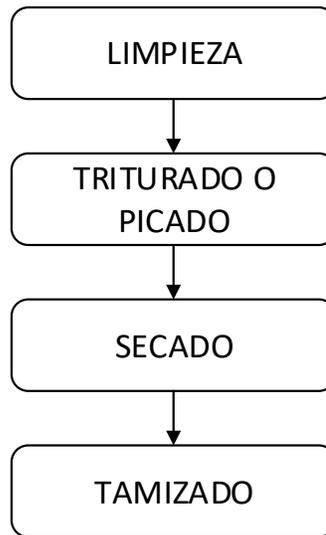
#### **2.3.7.2. EXTRACCIÓN DE ALMIDÓN POR VÍA SECA**

Un sistema de obtención de almidón de ajipa por vía seca (harina refinada) en el que no se utiliza agua, salvo en algunas ocasiones para la etapa de limpieza de los tubérculos.

La extracción de la harina refinada puede ser llevada a cabo en una planta piloto en donde las operaciones del proceso son rallado de la ajipa, secado artificial, molienda y tamizado.

Se evalúa la posibilidad de separar las trazas de fibra, proteína y cenizas presentes en la harina refinada con el objeto de obtener, al final del proceso, un material que sea en su totalidad almidón y que cumpla con las especificaciones de calidad que requiere el mercado.

Diagrama 2.2. Extracción del almidón vía seca



Fuente: (Al arcón y Dufour, 1998).

La descripción de las etapas críticas de la extracción de almidón por vía seca es:

- **Limpieza**

La materia prima es limpiada por medio de un tambor de barrotos giratorio donde se liberan trozos de tierra y barro adheridos a la superficie de las raíces. Posteriormente la ajipa es recibida en una banda transportadora que las conduce a la fase siguiente del proceso.

- **Triturado o Picado**

En esta etapa si se desea obtener harina refinada a partir de trozos, la ajipa es únicamente trozada en una picadora. Si se desea obtener harina refinada se realiza una reducción de tamaño de las raíces a través de un triturador que las transforma en pequeñas partículas.

- **Secado**

Dependiendo de la harina refinada a obtener el secado se realiza en varias etapas; inicialmente en dos secadores rotatorios horizontales de aire caliente cuyo principio se basa en el contacto directo del aire a una temperatura

determinada con el producto el cual es transportado a lo largo de estos por medio de un eje con paletas provisto en cada secador. En el proceso de secado el ácido cianhídrico se volatiliza en las corrientes de aire y es retirado del sistema a través de un ciclón de separación con salida a la atmósfera eliminando así el grado de toxicidad de la harina Integral.

En estos dos secadores se elimina la humedad hasta el 25%. Posteriormente el producto termina de secarse hasta alcanzar un contenido de humedad del 13 %. Este proceso se lleva a cabo por el contacto directo con aire caliente en otro par de secadores rotatorios; donde el secador final cumple la función de aclimatar el producto final para evitar que absorba humedad del medio dado su carácter higroscópico.

Las partículas finas que son arrastradas por las corrientes de aire son recolectadas por una batería de ciclones de separación acoplados a cada uno de los secadores rotatorios.

- **Tamizado**

El tamizado en mallas, cuya finura o granulometría depende de las características del almidón que se desea obtener.

## **2.4. SECADO**

La disminución de la humedad de los alimentos es uno de los métodos más antiguos utilizados para su conservación.

Al reducir el contenido de agua de un alimento hasta un nivel muy bajo se elimina la posibilidad de su deterioro biológico y se reduce apreciablemente la velocidad de otros mecanismos de deterioro. Además del efecto conservante, mediante el secado se reduce el peso y volumen del alimento, aumentando la eficacia de los procesos de transporte y almacenaje.

Además, el secado de un alimento produce a menudo otro más apto para el consumo. La conservación de hortalizas mediante el secado supone un importante desafío, pues debido a la estructura de estos productos la

eliminación del agua debe hacerse de modo que el perjuicio sobre su calidad sea mínimo. Esto exige que el producto seco pueda rehidratarse hasta un producto prácticamente de la misma calidad que el original, por lo que para el diseño del proceso es necesario un cuidadoso análisis del efecto de estos fenómenos de transporte en la estructura del alimento.

Solo mediante un buen conocimiento y análisis de estos procesos podrá obtenerse un alimento de óptima calidad. De acuerdo a las condiciones en que se realiza el secado, pueden mencionarse los secadores en los cuales el calor se añade directamente a los materiales, por medio de aire caliente y a presión atmosférica.

Otro método de secado es el secado al vacío, en el cual se trabajan materiales termolábiles. Finalmente está la liofilización, el agua se sublima directamente del material congelado. (Wikipedia, 2004).

## **2.4.1. FENÓMENOS DE SECADO**

### **2.4.1.1. CURVAS DE SECADO**

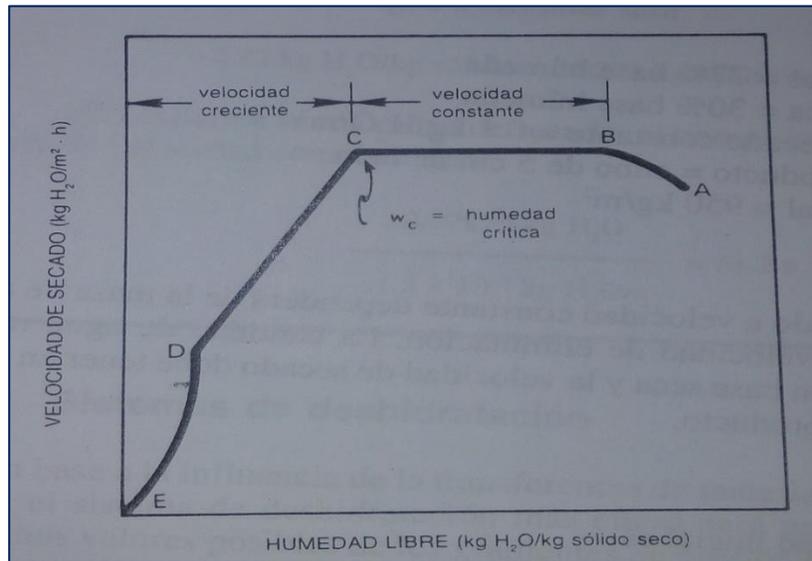
La eliminación de agua de un alimento se realiza normalmente en una serie de etapas diferenciadas entre sí por la velocidad de secado, como se muestra en la figura 2.18 la etapa inicial (AB) ocurre conforme el producto y el agua en él contenida, se calientan ligeramente.

Posteriormente se produce una reducción importante del contenido en agua a velocidad de secado constante (BC) esta etapa tiene lugar a temperatura constante, siendo esta la del bulbo húmedo del aire.

En la mayoría de los casos esta etapa de velocidad de secado constante finalizará al alcanzarse la humedad crítica, posteriormente existirán uno o varios períodos de velocidad de secado decreciente (CD).

La humedad crítica suele estar claramente identificada debido al cambio brusco de la pendiente en la curva de secado. (Singh, 1991). En la figura 2.15 se muestra la curva de secado.

Figura 2.15. Curva de secado



Fuente: Heldman y Sing (1981).

## 2.4.2. FACTORES QUE AFECTAN AL PROCESO DE SECADO

Las variables que afectan al proceso de secado son las siguientes:

### 2.4.2.1. TEMPERATURA

El calor es la fuente de la que las moléculas de agua adquieren la energía cinética necesaria para la evaporación. La temperatura es un factor de aceleración ya que, cuanto más elevada sea la temperatura del ambiente que rodea a la hortaliza más intensa será la evaporación puesto que el aire podrá absorber más humedad.

En el período donde la velocidad es decreciente, en el control se ejerce enteramente por la difusión interna del agua, el incremento en la temperatura de aire, aumenta la temperatura del producto, como consecuencia se incrementa el coeficiente de difusión de agua en el aire y por lo tanto la velocidad de secado.

#### **2.4.2.2. VENTILACIÓN CON RESPECTO A LA MATERIA PRIMA**

La velocidad de aire tiene una marcada influencia en la velocidad del proceso de secado. En el período de velocidad constante, cuanto mayor sea esta velocidad de aire, menor será el espesor de la película de aire estancada adherida a la superficie del tubérculo, así como la resistencia que dependiendo de cada vegetal, se debe encontrar un término medio.

La corriente de aire, cuando pasa horizontalmente entre las bandejas a una velocidad superior a 1000 o 1200 pies/min es intensamente turbulento y crea diferentes presiones localizadas que a su vez produce más o menos un flujo de aire a través de las capas del alimento húmedo.

Las irregularidades en el cargado del alimento en las bandejas tendrán el doble efecto de localización, incrementando el grosor del material húmedo y disminuyendo el espacio libre abierto para el flujo del aire, el efecto cuantitativo de todas estas variables es una consecuencia altamente individual del diseño del deshidratador y de las condiciones de operación.

#### **2.4.3. CONTENIDO DE HUMEDAD**

El agua se elimina de los alimentos mediante su difusión, en fase líquida y/o vapor a través de su estructura inferior. Al movimiento del agua líquida le seguirá su evaporación en algún punto en el interior del alimento, pudiendo estudiarse el flujo difusional como si fuera difusión molecular. Así el flujo de agua, es una función del gradiente de la presión de vapor, de la difusividad del vapor en el aire, de la distancia a recorrer y de la temperatura. Además, dado que para evaporar el agua es necesario calor, el proceso supone realmente un transporte simultáneo de materia y calor.

La eliminación de la humedad del producto dependerá, en parte, de la transferencia de materia por convección hacia la superficie del producto. Aunque este proceso puede no ser el limitante de la velocidad, no debe olvidarse la importancia de mantener las condiciones límite óptimas para el transporte de la humedad. (Singh, 1991).

La eliminación de la humedad del producto dependerá, en parte, de la transferencia de materia por convección hacia la superficie del producto. Aunque este proceso puede no ser el limitante de la velocidad, no debe olvidarse la importancia de mantener las condiciones límite óptimas para el transporte de la humedad. (Singh, 1991)

#### **2.4.4. TEMPERATURA DE BULBO SECO Y TEMPERATURA DE BULBO HÚMEDO**

La temperatura de bulbo seco, es la verdadera temperatura del aire húmedo y con frecuencia se la denomina temperatura de aire y que marca un termómetro común.

Un psicrómetro se compone de dos termómetros, uno de ellos envuelto en una tela constantemente humedecida (termómetro de bulbo húmedo) y otro, al lado del primero, en simple equilibrio térmico con el aire atmosférico (termómetro de bulbo seco).

El termómetro de bulbo húmedo recibe sobre sí, un flujo de aire constante por medio de un sistema de ventilación. Se evapora así la humedad y se retira energía del bulbo húmedo.

La temperatura baja, y al llegar al punto de equilibrio, se estabiliza. La temperatura que registra el termómetro en esas condiciones, se llama temperatura de bulbo húmedo.

#### **2.4.5. EFECTO DE TRANSFERENCIA DE ENERGÍA Y MASA**

Como ya se ha indicado previamente, la eliminación de agua de un alimento supone el transporte simultáneo de materia y calor. La transmisión de calor tiene lugar en el interior del alimento y está relacionada con el gradiente a la superficie del agua en el interior del alimento. Si se suministra al agua suficiente energía para su evaporación, el vapor generado se transporta desde la superficie de capa húmeda en el interior del producto hacia la superficie de éste. El gradiente de presión de vapor existente entre la

superficie de éste. El gradiente de presión de vapor existente entre la superficie del agua en el interior y en el aire exterior al alimento es el que provoca la difusión del vapor de agua hacia la superficie de éste. Estos flujos de materia y calor en el interior del alimento tienen lugar a nivel molecular el calor transmitido depende de la conductividad térmica del alimento mientras que el flujo de agua será proporcional a la difusión molecular del vapor de agua en el aire. (Singh, 1991; citado en Gutierrez, 2008).

En la superficie del producto tienen lugar simultáneamente los transportes de materia y calor, controlados por mecanismos convertidos. El transporte de vapor desde la superficie del alimento al aire exterior, es función de la presión de vapor mientras que la transmisión de calor desde el aire hacia el alimento depende del gradiente de temperatura.

Es necesario tener en cuenta los cuatro procesos de transporte citado, pues la velocidad de secado será proporcional al más lento de ellos. En la mayoría de los limitantes, serán los transportes de materia y calor en el interior del alimento.

## **2.4.6. EQUIPOS DE SECADO**

### **2.4.6.1. SECADOR DE BANDEJAS**

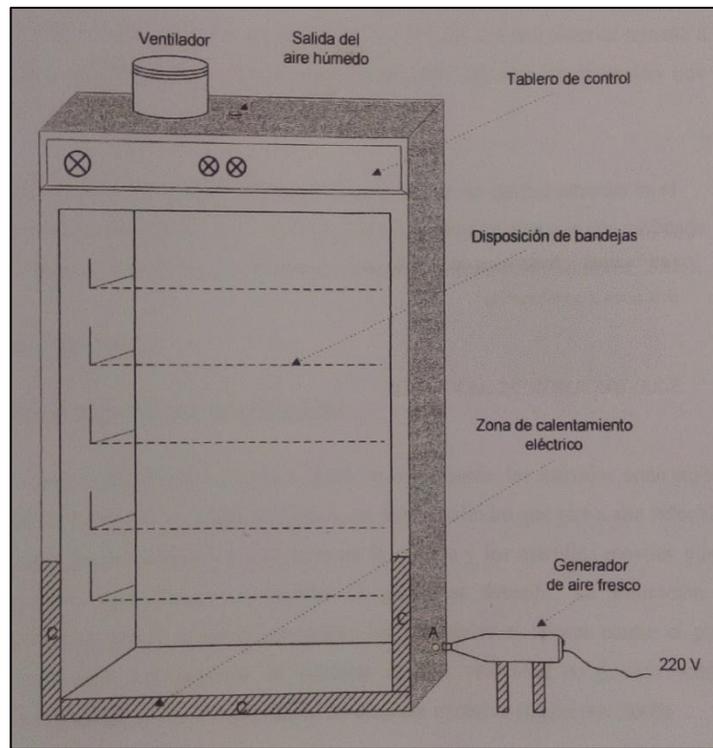
Básicamente consiste en una cabina aislada, provista de un ventilador, para hacer circular el aire a través de elementos calefactores colocados en su interior. El aire caliente es dirigido por pantallas ajustables, bien horizontalmente entre las bandejas cargadas de alimentos, o bien verticalmente a través de bandejas perforadas y las piezas de alimento.

El secador de cabina, es comúnmente usado para estudios de laboratorio en la deshidratación de hortalizas y en operaciones comerciales de pequeña escala y temporales. (Desrosier, 1995).

Son los más antiguos y aun los más utilizados. Consisten de una cabina en el que el material a secar se esparce en bandejas. Cada bandeja puede ser de forma cuadrada o rectangular con un área que en promedio es de 1,25

m<sup>2</sup>; se recomienda esparcir el material hasta una altura máxima de 1,5 cm. El secado puede durar dependiendo del tipo de material y su contenido de humedad. (Figura 2.16). (Universidad de Antioquia, 2004; citado en Gutierrez, 2008).

Figura 2.16.  
Esquema general de un secador de bandejas



Fuente: <https://es.scribd.com/doc/109002576>

Estos equipos tienen dos variaciones, una de secado directo en el cual el aire caliente es forzado a circular por las bandejas. La otra de secado indirecto, donde se utiliza el aire caliente proveniente de una fuente de calor radiante dentro de la cámara de secado y una fuente de vacío o un gas circulante para que elimine la humedad del secador. (Universidad de Antioquia, 2004; citado en Gutierrez, 2008).

Las bandejas de los casos los secadores de bandejas operan por cargas, además tienen la desventaja de no secar el producto uniformemente,

dependiendo de su posición en el secadero. Por ello suele ser necesario girar las bandejas durante el proceso para lograr un secado uniforme. (Singh, 19991).

## **2.5. MOLIENDA**

La reducción de tamaño es la operación unitaria en la que el tamaño medio de los alimentos sólidos es reducido por la aplicación de fuerzas de impacto, compresión, cizalla (abrasión) y/o cortado.

La compresión se usa para reducir solidos duros a tamaños más o menos grandes. El impacto produce tamaños gruesos, medianos y finos, la frotación o cizalla, produce partículas finas y el cortado se usa para obtener tamaños prefijados. (Perry, J .H. "Chemical Engineers Handbook")

Los fines de la reducción de tamaño es muy importante en la industria por las siguientes razones:

- a) Facilita la extracción de un constituyente deseado que se encuentre dentro de la estructura del sólido, como la obtención de harina a partir de granos y jarabe a partir de la caña de azúcar.
- b) Se pueden obtener partículas de tamaño determinado con un requerimiento específico del alimento, como por ejemplo el azúcar para helados, preparación de especias y refinado del chocolate.
- c) Aumento de la relación superficie-volumen incrementando, la velocidad de calentamiento o de enfriamiento, la velocidad de extracción de un soluto deseado, etc.
- d) Si el tamaño de partículas de los productos a mezclarse es homogéneo y de tamaño más pequeño que el original, la mezcla se realiza más fácil y rápido, como sucede en la producción de formulaciones, sopas empaquetadas, mezclas dulces, entre otros.

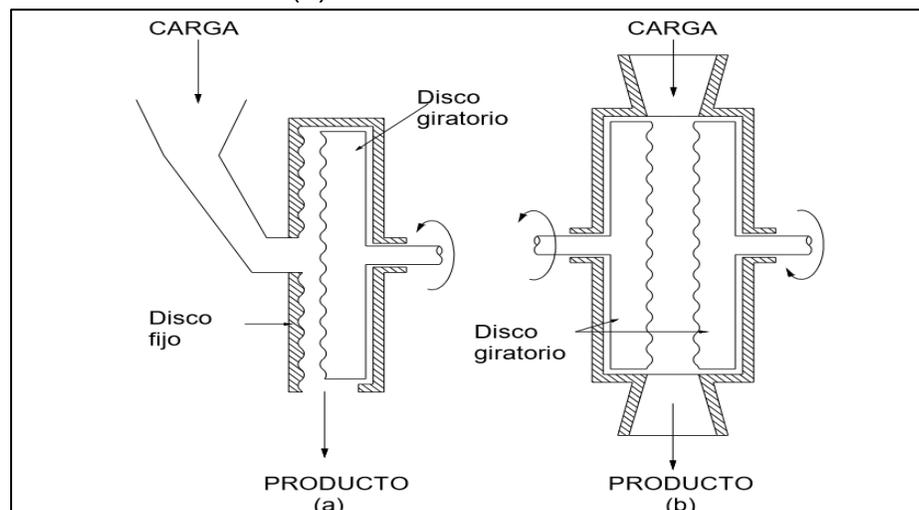
## 2.5.1. MAQUINARIA UTILIZADA EN LA REDUCCIÓN DE TAMAÑO

Para la trituración de los productos alimenticios se dispone de aparatos de diferentes tipos y tamaños. Los tipos más grandes, como las trituradoras de mandíbulas y las giratorias, no se utilizan normalmente en la industria alimentaria.

### 2.5.1.1. MOLINOS DE DISCOS DE FROTAMIENTO

Los molinos que utilizan las fuerzas de frotamiento o cizalla para reducir el tamaño juegan un papel primordial en la molienda fina. Como la mayoría de la molienda que se lleva a cabo en la industria de los alimentos es para producir partículas de tamaño muy pequeño, esta clase de molinos encuentran una amplia aplicación.

Figura 2.17. Molino de discos (a). Molino de disco sencillo.  
(b). Molino de disco doble.



Fuente: <http://www.ruta.org>

En este dispositivo las materias de partida pasan a través de la separación estrecha que existe entre un disco estriado que gira a gran velocidad y la armadura estacionaria del molino.

Como consecuencia de la intensa acción cizallante se produce la trituración de la carga. La separación se puede variar según cuales sean el tamaño de las materias de partida y las exigencias acerca del producto.

### **2.5.1.2. MOLINO DE DOBLE DISCO**

En esta modificación la armadura contiene dos discos que giran en dirección opuesta proporcionando un grado mayor de cizallamiento que el que se puede conseguir con los molinos de disco único.

En otra modificación de este principio básico, existe el molino de Foss, el disco tiene estrías que facilitan la desintegración. Esta clase de molinos de disco cizallante se utiliza extensamente en la preparación de cereales y molienda de arroz y maíz.

### **2.5.1.3. MOLINO DE MARTILLOS**

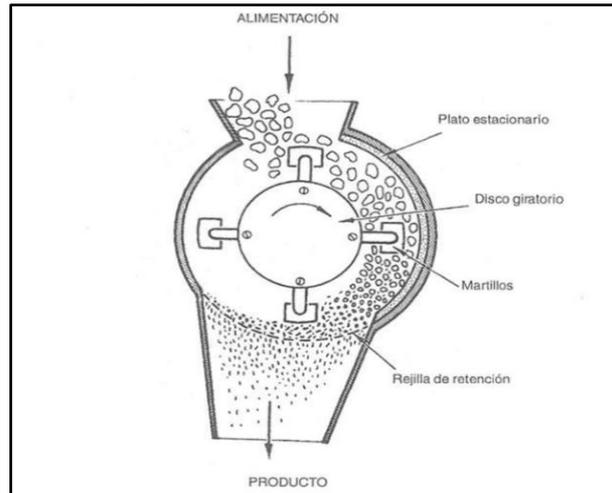
Este tipo de molino de impacto o percusión es corriente en la industria alimentaria (Figura 2.14). Un eje rotatorio que gira a gran velocidad lleva un collar con varios martillos en su periferia.

Al girar el eje, las cabezas de los martillos se mueven, siguiendo una trayectoria circular en el interior de una armadura, que contiene un plato de ruptura endurecido, de dimensiones casi idénticas a la trayectoria de los martillos.

Los productos de partida, o corriente de alimentación, pasan a la zona de acción, donde los martillos los empujan hacia el plato de ruptura.

La reducción del tamaño se debe principalmente a las fuerzas de impacto, aunque, en condiciones de alimentación obturantes también pueden participar en la reducción de tamaño las fuerzas de fricción. Con frecuencia, los martillos se sustituyen por cortadoras o por barras, como en los molinos de barras. Los molinos de martillo se pueden considerar de uso general, ya que son capaces de triturar sólidos cristalinos duros, productos fibrosos, vegetales, productos untuosos, etc. Se utilizan mucho en la industria alimentaria para moler especias, leche deshidratada, azúcares, etc.

Figura 2.18. Molino de martillo



Fuente: Introducción a la ingeniería de los alimentos R. Paul Singh

## 2.6. TAMIZADO

El tamizado es una operación unitaria básica en la que una mezcla de partículas sólidas de diferentes tamaños se separa en dos o más fracciones pasándolas por un tamiz.

Cada fracción es más uniforme en tamaño que la mezcla original. Un tamiz es una superficie que contiene cierto número de aberturas de igual tamaño. La superficie puede ser plana, horizontal, inclinada o cilíndrica. Los tamices planos de pequeña capacidad se denominan cedazos o cribas. En general, los tamices se usan extensamente para separar mezclas de productos granulares o pulverulentos en intervalos de tamaño. (Gutierrez, 2005; citado en Gutierrez, 2008).

En la actualidad tenemos:

- **TYLER Estándar:** se basa en un tamiz de 200 mallas teniendo hilos de 0,0021 pulgadas de diámetro y una apertura del tamiz de 0,0029. (Moreno, 2005; citado en Gutierrez, 2008).

- **BRITISCH Estándar:** un tamiz de 170 mallas tendrá una apertura de tamiz de 90 micras y el intervalo entre tamices vecinos es  $2^{1/4}$ . (Moreno, 2005; citado en Gutierrez, 2008).
- **ASTM-E-11:** serie basada en un tamiz de 18 mallas con apertura de tamiz de 90 micras y el intervalo de tamiz de  $2^{1/4}$ . Y otros como AFNOR (francesa), DIN (alemana), UNE (española). (Moreno, 2005; citado en Gutierrez, 2008).

### **2.6.1. TIPOS DE TAMICES**

Estos se fabrican de barras metálicas, láminas y cilindros metálicos perforados, telas y tejidos con hilos entre los materiales para la construcción de tamices para separar alimentos se tiene el acero inoxidable, metal y telas de nylon. (Moreno, 2005; citado en Gutierrez, 2008).

#### **2.6.1.1. TAMICES VIBRATORIOS**

Este equipo consiste en un marco que soporta una rejilla de malla de hilo o una placa perforada. Pueden ser sacudidos mecánicamente o electromagnéticamente. (Moreno, 2005; citado en Gutierrez, 2008).

#### **2.6.1.2. TAMICES DE TAMBOR**

Son tamices cilíndricos giratorios montados casi horizontalmente, la superficie de tamizado puede ser también de malla de hilo o placa perforada. (Moreno, 2015; citado en Gutierrez, 2008).

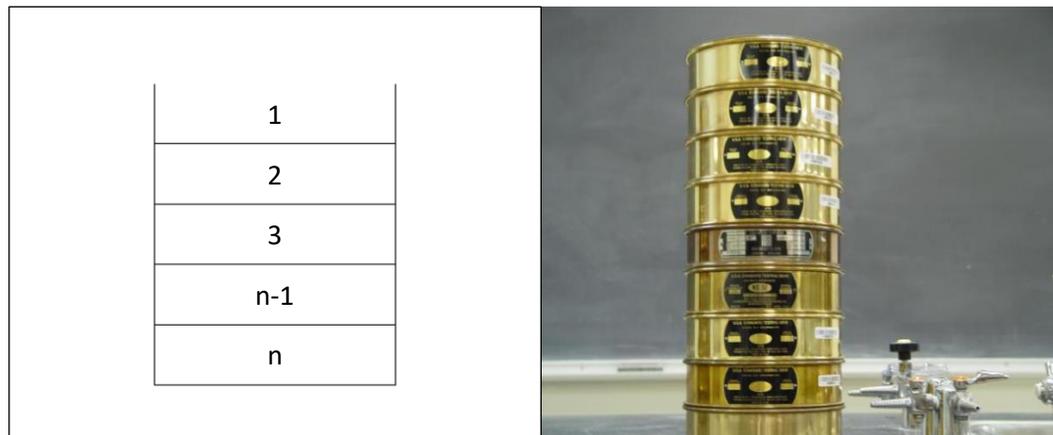
#### **2.6.1.3. TAMICES DE BARRAS**

Estos equipos se utilizan para tamizar partículas, de tamaño mayor. Consiste en un grupo de barras paralelas, espaciadas según se necesite. (Moreno, 2015; citado en Gutierrez, 2008).

## 2.6.2. SERIE DE TAMICES TYLER

Esta es una serie de tamices estandarizados usados para la medición del tamaño y distribución de las partículas en un rango muy amplio de tamaño. Las aberturas son cuadradas y se identifican por un número que indica la cantidad de aberturas por pulgada cuadrada.

Figura 2.19. Tamices Tyler



Fuente: Perry, J.H. Chemical Engineers Handbook

Una serie de tamices patrón muy conocidas es la serie de tamices Tyler. Esta serie se basa en la abertura del tamiz 200, establecida en 0,0074 cm y enuncia que el área de la abertura del tamiz superior es exactamente el doble del área de la abertura del tamiz inmediato inferior.

## 2.7. PRINCIPIOS DE DISEÑO EXPERIMENTAL

### 2.7.1. ANTECEDENTES

En la industria alimentaria, los creadores de productos y los ingenieros de procesos a menudo llevan a cabo experimentos para desarrollar nuevos productos y procesos, así como mejorar los ya existentes. Los experimentos se realizan para saber cómo una serie de variables afecta a otra. En una industria muy competitiva se le da gran importancia a obtener información útil tan rápida y económicamente como sea posible.

En el diseño de experimentos se utilizan principios estadísticos para diseñar experimentos que produzcan la información correcta en el menor tiempo posible y al menor costo. Su empleo lleva al rápido y eficiente desarrollo de nuevos y mejores productos y procesos.

## **2.7.2. PRINCIPIOS BÁSICOS**

En un experimento de naturaleza comparativa se llevan a cabo dos o más tratamientos. Estos tratamientos diferirán de una manera escogida por el experimentador. Después de aplicar los tratamientos, se mide alguna variable y estas mediciones se comparan para ver si los tratamientos afectaron las variables medidas.

### **2.7.2.1. TIPOS DE DISEÑO**

El diseño de experimentos se puede dividir en tres fases:

#### **2.7.2.1.1. DISEÑO DEL TRATAMIENTO.**

La meta de cualquier experimentador es contestar alguna pregunta específica acerca del sistema de interés.

En la fase de diseño del tratamiento se seleccionan tratamientos y métodos de medición para obtener información que conteste mejor las preguntas. Se analizan dos tipos de diseño: un experimento de una variable y el experimento factorial de dos vías.

#### **2.7.2.1.2. DISEÑO DEL ANÁLISIS**

Después de que se ha realizado el experimento, el experimentador debe examinar los datos para ver cómo contestan éstos las preguntas. Lo anterior comúnmente implica la preparación de tablas y gráficas para ayudar a descifrar los efectos que se están estudiando. Así mismo, significa estimar los efectos de las variables que interfieren y determinan si éstas por sí solas podrían haber producido los efectos observados. Las conclusiones inferidas

serán mucho más convincentes si el análisis de diseño se toma en cuenta antes de que se realice el experimento.

### **2.7.2.1.3. DISEÑO EXPERIMENTAL.**

Los resultados experimentales están sujetos a incertidumbre debido a muchas variaciones. De manera ideal cualquier diferencia que se mida en un experimento es el resultado del tratamiento aplicado.

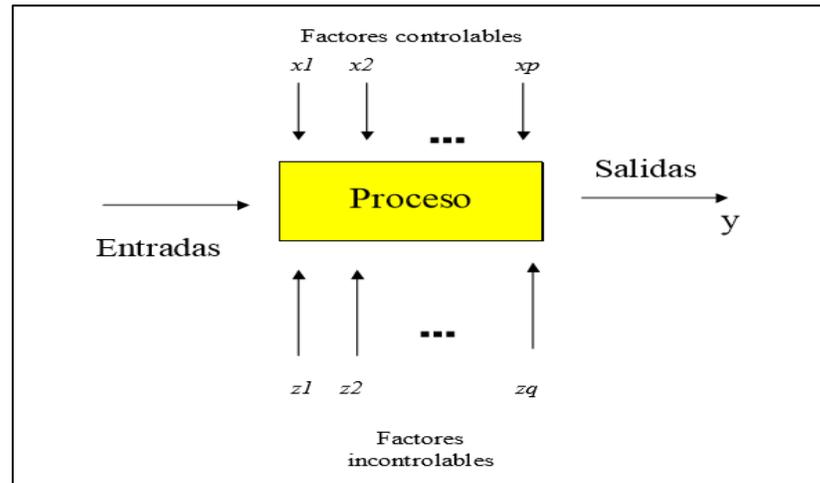
En la práctica muchas otras variables podrían afectar también los resultados y esto lleva a incertidumbre. En un experimento bien diseñado, la magnitud de la incertidumbre será pequeña y predecible, y el experimento requerirá un mínimo de tiempo y gastos. La fase de diseño experimental estudia este problema.

Por lo tanto se puede decir que un experimento diseñado es una prueba o serie de pruebas en las cuales se inducen cambios deliberados en las variables de entrada de un proceso o Sistema, de manera que sea posible observar e identificar las causas de los cambios en la respuesta de salida. (Montgomery, 1991).

Por lo general, este aprendizaje se da a través de una serie de actividades en las cuales hacemos conjeturas sobre un proceso, realizamos experimentos para generar datos a partir del proceso, y entonces usamos la información del experimento para establecer nuevas suposiciones, que llevan a realizar nuevos experimentos, y así sucesivamente comportándose cíclicamente.

Todo proceso o sistema productivo puede representarse mediante el modelo mostrado en la siguiente figura.

Figura 2.20. Modelo general de un proceso o sistema



Fuente: <http://catarina.udlap.mx>

Es decir, que puede ser visualizado como una combinación de máquinas, métodos, personas y otros recursos que transforman alguna entrada (materia prima), en una salida que tiene una o más respuestas observadas. Algunas variables dentro del proceso son controlables, mientras que otras son incontrolables.

Un experimento diseñado tiene por objetivo:

- Determinar cuáles son las variables que tienen mayor influencia en la variable de respuesta.
- Determinar el mejor valor de las variables controlables que influyen en la respuesta, de manera que ésta, tenga casi siempre un valor cercano al valor nominal deseado.
- Determinar la mejor combinación de las variables controlables que ayuden a reducir la variabilidad de la respuesta.
- Establecer la combinación óptima de las variables controlables, con el objetivo de minimizar los efectos de las variables incontrolables.

El diseño experimental es un medio de importancia en la ingeniería para mejorar el rendimiento de un proceso de manufactura, así como en el desarrollo de nuevos productos.

Su aplicación en una fase temprana de la evolución de un proceso puede dar como resultado:

- Mejora en el rendimiento del proceso.
- Reducción de variabilidad y aumento del apego a especificaciones o valor objetivo.
- Menor tiempo de desarrollo.
- Minimización de costos.

# **CAPÍTULO III**

## **DISEÑO METODOLÓGICO**

### **3.1. DESARROLLO DEL DISEÑO EXPERIMENTAL**

El diseño experimental del presente trabajo se llevó a cabo en el Laboratorio del Taller de Alimentos (LTA) de la Carrera de Ingeniería de Alimentos perteneciente a la Facultad de Ciencias y Tecnología de la Universidad Autónoma Juan Misael Saracho.

### **3.2. EQUIPOS Y MATERIAL DE LABORATORIO**

Para el desarrollo del diseño experimental del presente trabajo se utilizaron diferentes materiales y equipos, los mismos se detallaran a continuación.

#### **3.2.1. EQUIPOS DE PROCESO DE OBTENCIÓN DE ALMIDÓN**

##### **3.2.1.1. SECADOR DE BANDEJAS**

Este equipo se encuentra en el Laboratorio del Taller de Alimentos (LTA), dependiente del departamento de Biotecnología y Ciencias de los Alimentos de la Facultad de Ciencias y Tecnología; el secador de bandejas (figura 3.1.) cuenta con un generador de aire. Sus características técnicas se detallan en la tabla 3.1.

Figura 3.1. Secador de bandejas



Tabla 3.1. Especificaciones técnicas del secador de bandejas

Marca	ESZTERGOM
<b>Industria</b>	Húngary
<b>Tipo</b>	1231 SZ-1
<b>Tensión</b>	220 V
<b>Potencia total</b>	2200 W
<b>Capacidad</b>	6 bandejas
<b>Dimensiones internas</b>	1,17 m de alto 67,5 cm de largo 70,0 cm de profundidad

Fuente: Elaboración propia

#### **3.2.1.1.1. PARTES DEL SECADOR**

El secador de bandejas consta de las siguientes partes:

#### **3.2.1.1.2. CÁMARA DE SECADO**

Consiste en una cabina de secado con una compuerta de cierre hermético con capacidad de 6 bandejas (tabla 3.1), las cuales se cargan y descargan manualmente.

#### **3.2.1.1.3. BANDEJAS**

Las bandejas están construidas con bastidores de madera de tamaño de 66 cm de lado y malla milimétrica de propileno de 2 mm de abertura.

#### **3.2.1.1.4. ZONA DE CALEFACCIÓN**

Consiste en un arreglo de resistencias eléctricas ensambladas en la parte inferior de la cámara de secado.

#### **3.2.1.1.5. ZONA DE RETENCIÓN DE AIRE**

En la parte inferior de la cámara se colocó una plancha de plástico por encima del orificio de entrada de aire frío a fin de que el aire impedido por el generador, se caliente antes de pasar a través de las bandejas.

### 3.2.1.1.6. GENERADOR DE AIRE ELÉCTRICO

En el trabajo se utilizó un generador de aire (figura 3.2), que cumplió la función de introducir aire al secador, con la finalidad de coadyuvar en la evacuación del aire caliente y húmedo de la cabina de secado, este sistema coadyuva a un sistema de aspas ubicado en la zona inferior del secador.

Figura 3.2. Generador de aire eléctrico



Tabla 3.2. Especificaciones técnicas del generador de

Marca	INTERMED
Tensión	220 V
Frecuencia	50 Hz
Velocidad del Aire	3-5 m/s
Abertura de salida	75mm

Fuente: Elaboración propia

### 3.2.1.2. BALANZA ANALÍTICA DIGITAL

La balanza analítica (figura 3.3) se utilizó en la mayoría de las etapas del proceso como ser para el pesado de la ajipa en la determinación de las características físicas de la misma; también para pesar la cantidad de almidón entrante a la etapa del secado cada determinado tiempo.

Figura 3.3. Balanza analítica digital

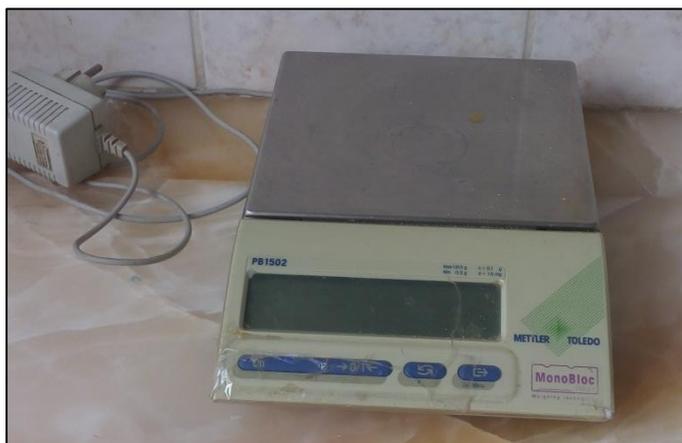


Tabla 3.3. Especificaciones técnicas de la Balanza digital

Marca	METTLER TOLEDO PB 1502	
<b>Capacidad</b>	Máx. 1510 g	e 0.1 g
	Mín. 0.5 g	d 10 mg
<b>Potencia</b>	5W	
<b>Frecuencia</b>	50/60 Hz	
<b>Tensión</b>	220V	

Fuente: Elaboración propia

### 3.2.1.3. MOLINO DE DISCOS

El molino de discos (figura 3.4) se utilizó para realizar el desagregado del almidón el cual se obtuvo de la etapa del secado, esto con el fin de desaglomerar las partículas del almidón para que éstas tengan un tamaño uniforme y que cumpla con requerimientos comerciales de calidad.

Figura 3.4. Molino de discos



Tabla 3.4. Especificaciones técnicas del molino de discos

Marca	VICTORIA Grain Mail
Potencia	Manual
Industria	Colombiana

Fuente: Elaboración propia

#### 3.2.1.4. LICUADORA ELÉCTRICA

La licuadora (figura 3.5) es utilizada para realizar la operación de molienda húmeda con el objetivo de romper la estructura celular de los trozos de ajipa, para que estos de esta manera puedan liberar el almidón que contiene en su estructura.

Figura 3.5. Licuadora eléctrica



Las características técnicas de la misma se muestran en la tabla 3.5.

Tabla 3.5. Especificaciones técnicas de la Licuadora eléctrica

Marca	Oster
Industria	México
Potencia	400 W
Tensión	220-240 V
Frecuencia	50-60 Hz

Fuente: Elaboración propia

### 3.2.1.5. TAMIZ VIBRATORIO

Se utilizó el tamiz vibratorio, con el objetivo de obtener un tamaño de partícula uniforme, que pasen por una abertura de 250 micras. El juego de tamices que se utilizó, comprendían mallas con aberturas de 1000, 500 y 250 micras (figura 3.6) perteneciente al Laboratorio de Operaciones Unitarias (LOU) de la Carrera de Ingeniería de Alimentos.

Figura 3.6. Tamiz vibratorio



Sus características técnicas son las siguientes:

Tabla 3.6. Especificaciones técnicas del tamiz vibratorio

Marca	ORTO ALRESA
Industria	Española
Potencia	80 W
Línea de voltaje	230V
Frecuencia	50 Hz
RPM	2.500

Fuente: Elaboración propia

### 3.2.1.6. SELLADORA ELÉCTRICA

La selladora eléctrica manual (figura 3.7) perteneciente al Laboratorio del Taller de Alimentos (LTA), se le utilizó para sellar las bolsas de polietileno que contenían el producto final. Se utilizó para sellar los envases de polipropileno transparentes.

Figura 3.7. Selladora eléctrica



Sus características técnicas se detallan en la tabla 3.7.

Tabla 3.7. Especificaciones técnicas de la selladora eléctrica

Marca	ELECTRONICA VH-2001
Potencia	250 W
Tensión	220 V
Frecuencia	50 Hz

Fuente: Elaboración propia

### 3.2.2. MATERIAL DE LABORATORIO

En la tabla 3.8 se muestra los materiales utilizados en la parte experimental.

Tabla 3.8. Materiales de laboratorio utilizado en el proceso

Material	Capacidad	Cantidad	Tipo de material
Jarra	4000 ml	1	Plástico
Jarra	1000 ml	1	Vidrio
Bañador	Grandes	2	Plástico
Fuente	Mediana y grande	2	Vidrio
Cuchillo	Mediano y grande	2	Acero inoxidable
Tabla	Grande	1	Madera
Colador	Malla de 0,5 y 0,3 mm	2	Plástico
Tela	0,030 mm	----	Bonyé
	0,015 mm	----	Popelina
Cuchara	Mediana y grande	2	Acero inoxidable
Vaso precipitado	250 ml	1	Vidrio
		1	Plástico
Balde	10 l	3	Plástico
Balde	4 l	4	Plástico
Desecador	Mediano	1	Vidrio
Pinza	Mediana	1	Acero inoxidable
Espátula	mediana	1	Acero inoxidable

Fuente: Elaboración propia

### 3.2.3. INSTRUMENTOS DE LABORATORIO

- **Termómetro infrarrojo**

A continuación se describe las especificaciones técnicas (tabla 3.8) del termómetro infrarrojo que se utilizó en la medición de la temperatura del almidón en la operación de secado.

Figura 3.8. Termómetro infrarrojo



Tabla 3.9. Especificaciones técnicas del termómetro infrarrojo

Marca	Testo 830-T1
<b>Modelo</b>	0560 8301
<b>Tipo de sonda</b>	Infrarrojos
<b>Rango</b>	-30...+400 °C
<b>Exactitud</b>	+1.5 °C o 1.5 % del v.m.

Fuente: Elaboración propia

- **Termómetro de alcohol**

El termómetro de alcohol se lo depositó en la malla del secador de bandejas para verificar la temperatura interna en el que se encuentra el equipo. Sus características técnicas se describen a continuación en la tabla 3.10.

Tabla 3.10. Especificaciones técnicas del termómetro de alcohol

Marca	SANILAB
<b>Rango</b>	-10 a 100°C
<b>Tipo:</b>	Termómetro de mercurio
<b>Error</b>	1 °C

Fuente: Elaboración propia

- **Refractómetro de bolsillo**

Este instrumento es utilizado para la medición de los sólidos solubles totales de la materia prima realizado en la recepción. Sus características técnicas se detallan en la tabla 3.11.

Tabla 3.11. Especificaciones técnicas del refractómetro

Marca	ATAGO
<b>Rango</b>	0 a 30 °Brix
<b>Industria</b>	Japonés

Fuente: Elaboración propia

- **Vernier**

Para determinar las propiedades físicas: longitud, diámetro de la ajipa se utilizó un vernier con las especificaciones técnicas que se detallan en la tabla 3.12.

Tabla 3.12. Especificaciones técnicas del vernier

Marca	Pie del Rey
<b>Error</b>	0,001 In
<b>Industria</b>	Indonesia

Fuente: Elaboración propia

### 3.3. CARACTERIZACIÓN DE LA MATERIA PRIMA

Sus características de la materia prima utilizada en la extracción del almidón se describen en la tabla 3.13.

Tabla 3.13. Materia prima utilizada en el proceso

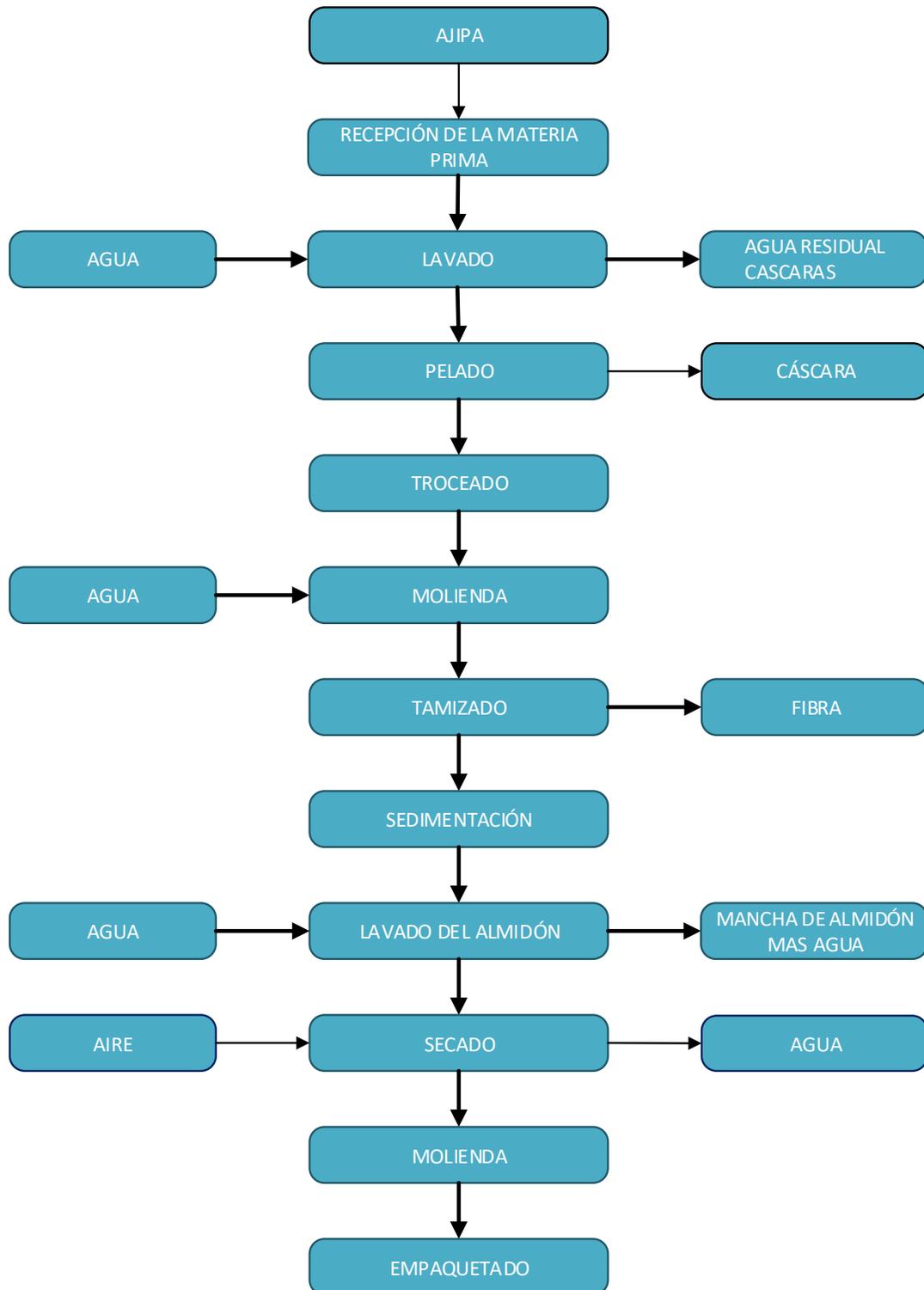
MATERIA PRIMA	DESCRIPCIÓN	ORIGEN
Ajipa	Raíz tuberosa	Pampa Grande-Tarija

Fuente: Elaboración propia

### 3.4. DIAGRAMA DE PROCESO DE EXTRACCIÓN DE ALMIDÓN DE AJIPA

En el diagrama 3.1 se muestra el proceso de extracción de almidón de ajipa.

Diagrama 3.1. Extracción de almidón a partir de ajipa



Fuente: Elaboración propia

### **3.4.1. DESCRIPCIÓN DEL PROCESO DE EXTRACCIÓN DE ALMIDÓN DE AJIPA**

Para la extracción de almidón de ajipa se realizaron las operaciones que se detallan en los siguientes puntos.

#### **3.4.1.1. RECEPCIÓN DE LA MATERIA PRIMA**

La materia prima (ajipa) con la que se desarrolló el proceso fue cultivada en la comunidad de Pampa Grande perteneciente a la primera sección de la provincia Méndez del departamento de Tarija, la misma fue adquirida en época de cosecha (de mayo a octubre), en el momento de adquisición se verificó que la misma se encuentre en buen estado y que cumpla con los parámetros de calidad fisicoquímicos y microbiológicos que fueron verificados organolépticamente, se pesó la ajipa y posteriormente fue transportada a un establecimiento para su posterior procesamiento.

#### **3.4.1.2. LAVADO Y PELADO**

El lavado de la ajipa se realizó con agua potable para poder desprender la tierra adherida a la superficie externa de la misma la cual se constituye en un contaminante físico y microbiológico.

La operación de pelado se la realizó manualmente, esta consistió en separar la capa externa (no comestible) de la ajipa de la parte comestible, para poder lograr esto se hizo uso de cuchillos de acero inoxidable y contenedores de plástico.

#### **3.4.1.3. TROCEADO**

Esta operación tiene como objetivo reducir el tamaño de las raíces tuberosas para facilitar la molienda húmeda, las mismas que fueron cortadas en cubos con una superficie expuesta de aproximadamente 8 cm<sup>3</sup>, para lo cual se utilizó un cuchillo de acero inoxidable.

#### **3.4.1.4. MOLIENDA**

El objetivo de esta operación es de fracturar la estructura celular de los cubos de ajipa, para que de esta manera pueda liberar los gránulos de almidón que contiene; para este fin se utilizó una licuadora, la molienda se realizó con agua destilada en relación de 1:1 en peso, a una velocidad y tiempo determinado en el diseño experimental.

#### **3.4.1.5. TAMIZADO**

La masa resultante se pasó a través de un tamiz de abertura 300  $\mu\text{m}$ , para separar el almidón del agua de la masa. Seguidamente esta masa remanente consistente en almidón fibra y agua se molió nuevamente en la licuadora con agua destilada, para ser tamizada nuevamente de igual manera que al inicio. Finalmente se unió la lechada resultante de ambas operaciones para tamizarla nuevamente pero esta vez con un tamiz de 150  $\mu\text{m}$  de abertura. Seguidamente, la fibra que queda sobre el tamiz se lavó con agua destilada hasta que el agua del filtrado salió transparente.

#### **3.4.1.6. SEDIMENTACIÓN**

En esta operación se separaron las sustancias insolubles entre sí mismas por medio de la diferencia de densidades, en este caso el almidón precipitó al fondo y como sobrenadante quedó el agua con partículas de fibra en suspensión. Después que se precipitó el almidón el agua se desechó por sifonamiento, el tiempo que se dejó decantar esta mezcla fue de 8 horas y a 5°C.

#### **3.4.1.7. LAVADO DEL ALMIDÓN**

Esta operación se realiza con el objetivo de obtener un almidón más blanco y con mayor pureza. Ésta consistió en adicionar 32,36 g de agua sobre el almidón precipitado y realizando movimientos envolventes delicadamente para que posteriormente esta agua sea desechada. Estos desechos son

conocidos como mancha de almidón que generalmente está compuesto de proteína y de pigmentos de color amarillento.

#### **3.4.1.8. SECADO**

El almidón sedimentado fue traspasado a bandejas para posteriormente ser deshumidificado en un secador de bandejas, las variables del secado (temperatura, velocidad del aire, espesor de la capa) fueron determinadas por el diseño experimental aplicado. El secado se realizó hasta que el almidón alcance su humedad de equilibrio.

#### **3.4.1.9. DESAGREGADO**

El almidón seco se disgregó utilizando un molino de discos (especificación técnica tabla 3.3), en el cual fue introducido con el objetivo de pulverizar el mismo; para que éste pueda cumplir con los requerimientos de calidad establecidos.

#### **3.4.1.10. ENVASADO Y ETIQUETADO**

Una vez obtenido el almidón se procedió al envasado en bolsas de polipropileno transparentes las cuales se sellaron por medio de una selladora manual (figura 3.7), y se prosiguió al etiquetado correspondiente.

### **3.5. CARACTERIZACIÓN DE LA MATERIA PRIMA**

Para la caracterización de la materia prima, se determinaron los parámetros que se presentan a continuación.

#### **3.5.1. ANÁLISIS FÍSICOQUÍMICOS DE LA MATERIA PRIMA**

Los análisis fisicoquímicos de la materia prima (ajipa) se realizaron en el Centro de Análisis de Investigación y Desarrollo (CEANID), ubicado en la Ciudad de Tarija y parte de ellos se realizó en el Centro de Investigación y Desarrollo de Tecnología de Alimentos (CIDTA), ubicado en el departamento de Santa Cruz.

En la tabla 3.14 se detalla los análisis fisicoquímicos realizados en el CEANID, método de ensayo y unidades en que se representan los mismos.

Tabla 3.14. Análisis fisicoquímicos de la ajipa

Parámetros fisicoquímicos	Método de ensayo	Unidad
<b>Ceniza</b>	NB 39034:10	%
<b>Fibra</b>	Gravimétrico	%
<b>Grasa</b>	NB 313019:06	%
<b>Hidratos de carbono</b>	NB 313010:05	%
<b>Humedad</b>	Cálculo	%
<b>Proteína (Nx6,25)</b>	NB/ISO 8968-1:08	%
<b>Valor energético</b>	Cálculo	kcal/100 g

Fuente: CEANID, 2016

Dónde: NB= Norma Boliviana

En la tabla 3.15, se detalla el análisis fisicoquímico realizado en el CIDTA, método de ensayo y unidad en que se representa el mismo

Tabla 3.15. Análisis fisicoquímico de la ajipa

Parámetros fisicoquímicos	Método de ensayo	Unidad
<b>Contenido de almidón</b>	Fehling Causse Bonnans	g/100 g

Fuente: CIDTA, 2017

### 3.5.2. ANÁLISIS MICROBIOLÓGICO DE LA MATERIA PRIMA

En la tabla 3.16 se detalla los análisis microbiológicos, método de ensayo y unidades en que se representan los análisis.

Tabla 3.16. Análisis microbiológico de la ajipa

Parámetros microbiológicos	Método de ensayo	Unidad
<b>Bacterias aerobias mesófilas</b>	NB 32003:05	UFC/g
<b>Coliformes totales</b>	NB 32005:02	UFC/g
<b>Mohos y levaduras</b>	NB 32006:03	UFC/g

Fuente: CEANID, 2016

Dónde: NB= Norma Boliviana  
UFC= Unidades Formadoras de Colonia

### **3.6. CARACTERIZACIÓN DE LAS VARIABLES DEL PROCESO**

Para realizar la caracterización de las variables del proceso de obtención de almidón de ajipa se consideró los siguientes aspectos:

#### **3.6.1. DISEÑO EXPERIMENTAL**

El diseño es una técnica estadística que permite identificar y cuantificar las causas de un efecto dentro de un estudio experimental. En un diseño experimental se manipulan deliberadamente una o más variables, vinculadas a las causas, para medir el efecto que tienen en otra variable de interés (Gutierrez, 2008).

El diseño experimental prescribe una serie de pautas relativas, qué variables hay que manipular, de qué manera, cuantas veces hay que repetir el experimento y en qué orden para poder establecer con un grado de confianza predefinido la necesidad de una presunta relación de causa-efecto (Gutierrez, 2008).

#### **3.6.2. DISEÑO EXPERIMENTAL EN LA ETAPA DE SEDIMENTACIÓN**

Para la realización del diseño experimental en la etapa de sedimentación, se tomó en cuenta dos factores: temperatura y el tiempo.

El diseño experimental a utilizar en esta etapa es el diseño factorial que se muestra en la ec 3.1.

$$2^k \qquad \text{Ec 3.1.}$$

Dónde:

2 = Número de niveles

K = Número de variables

Por lo que en la ec 3.1 se utilizará dos factores en la etapa de sedimentación, los cuales se muestran a continuación:

Temperatura (T) = 2 niveles  $\longrightarrow$  T<sub>1</sub> y T<sub>2</sub> (°C)  
 Tiempo (t) = 2 niveles  $\longrightarrow$  P<sub>1</sub> y P<sub>2</sub> (cm)

Por lo tanto la ec 3.1 será la siguiente:

$$2^2 = 2 \times 2 = 4 \text{ tratamientos}$$

Los niveles de variación de las variables se detallan en la tabla 3.17.

Tabla 3.17. Niveles de variación de las variables en la sedimentación

Variables	Unidad	Nivel Inferior	Nivel Superior
Temperatura (T)	°C	5	25 (t. ambiente)
Tiempo (t)	Horas	6	8

Fuente: Elaboración propia

En la tabla 3.18 se muestra la matriz experimental para el proceso de obtención de almidón de ajipa.

Tabla 3.18. Matriz experimental para la elaboración de almidón de ajipa

Corridas	Combinación de Tratamientos	Factores		Interacción	Respuesta
		T	t	Tt	Y <sub>i</sub>
1	1	-	-	+	Y <sub>1</sub>
2	a	+	-	-	Y <sub>2</sub>
3	b	-	+	-	Y <sub>3</sub>
4	ab	+	+	+	Y <sub>4</sub>

Fuente: Elaboración propia

Dónde:

Y<sub>i</sub> = Cantidad de precipitado (g).

### 3.6.3. DISEÑO EXPERIMENTAL EN LA ETAPA DE SECADO

Para la realización del diseño experimental en la etapa de secado, se tomó en cuenta tres factores: espesor, temperatura y velocidad.

El diseño experimental a utilizar en esta etapa es el diseño factorial que se muestra en la ec 3.1.

Por lo que en la ecuación se tomará en cuenta tres factores, los cuales se muestran a continuación:

Temperatura (T) = 2 niveles

Espesor (E) = 2 niveles

Velocidad del aire (v) = 2 niveles

Por lo tanto la ecuación 3.2 será:

$$2^3 = 2 \times 2 \times 2 = 8 \text{ tratamientos} \quad \text{Ec 3.2.}$$

Los niveles de variación de las variables se detallan en la tabla 3.19.

Tabla 3.19. Niveles de variación de las variables en el secado

Variables	Unidad	Nivel Inferior	Nivel Superior
<b>Temperatura (T)</b>	°C	50	60
<b>Espesor (E)</b>	Cm	0,5	1
<b>Velocidad (V)</b>	M/S	3	5

Fuente: Elaboración propia

En la tabla 3.20 se muestra la matriz experimental para la obtención de almidón de ajipa.

Tabla 3.20. Matriz experimental para la elaboración de almidón de ajipa

Corridas	Variables			Tratamientos			
	T	V	E	TV	TE	VE	TVE
<b>1</b>	-	-	-	+	+	+	-
<b>2</b>	+	-	-	-	-	+	+
<b>3</b>	-	+	-	-	+	-	+
<b>4</b>	+	+	-	+	-	-	-
<b>5</b>	-	-	+	+	-	-	+
<b>6</b>	+	-	+	-	+	-	-
<b>7</b>	-	+	+	-	-	+	-
<b>8</b>	+	+	+	+	+	+	+

Fuente: Elaboración propia

Dónde:

Variable respuesta= Contenido de humedad en función al tiempo (kg de agua/kg de aire seco).

### 3.7. CARACTERIZACIÓN DEL PRODUCTO FINAL

Los análisis fisicoquímicos y microbiológicos del producto final (almidón de ajipa) se realizó en el Centro de Análisis de Investigación y Desarrollo (CEANID), ubicado en el departamento de Tarija, en el Centro de Investigación Desarrollo de Alimentos (CIDTA), ubicado en el departamento de Santa Cruz y el Instituto de Investigaciones Químicas IIQ, ubicado en el departamento de La Paz.

#### 3.7.1. ANÁLISIS FISICOQUÍMICOS DEL PRODUCTO FINAL

En la tabla 3.21, se detalla los parámetros fisicoquímicos, método de ensayo y unidad, de los análisis fisicoquímicos realizados en el CEANID.

Tabla 3.21. Análisis fisicoquímicos del almidón de ajipa

Parámetros fisicoquímicos	Método de Ensayo	Unidad
<b>Humedad</b>	Cálculo	%

Fuente: CEANID, 2017

En la tabla 3.22, se detalla los parámetros fisicoquímicos, método de ensayo y unidad, de los análisis fisicoquímicos realizados en el CIDTA.

Tabla 3.22. Análisis fisicoquímicos del almidón de ajipa

Parámetros fisicoquímicos	Método de Ensayo	Unidad
<b>Contenido de almidón</b>	Fehling Causse Bonnans	g/100 g

Fuente: CIDTA, 2017

En la tabla 3.23, se detalla los parámetros fisicoquímicos, método de ensayo y unidad, de los análisis fisicoquímicos realizados en el Instituto de Investigaciones Químicas (IIQ) de la Facultad de Ciencias Puras y Naturales.

Tabla 3.23. Análisis fisicoquímicos del almidón de ajipa

Parámetros fisicoquímicos	Método de ensayo	Unidad
<b>Relación amilosa-amilopectina</b>	Espectrofotométrico	%
<b>Color</b>	Chroma Meter	L, hue (h°), Chroma (C)
<b>Microscopia de barrido</b>	-----	Micrografía

Fuente: IIQ, 2017

El análisis relación amilosa- amilopectina se llevó a cabo de acuerdo con el método establecido en la norma ISO 6647 (ISO, 2007) que consistió en una medición espectrocolorimétrica del complejo yodo- amilosa que se forma al hacer reaccionar los gránulos de almidón de ajipa dispersados y gelatinizados.

### 3.7.2. ANÁLISIS MICROBIOLÓGICO DEL PRODUCTO FINAL

El análisis microbiológico del almidón de ajipa se muestra en la tabla 3.24 donde se detalla los parámetros microbiológicos, métodos de ensayo y unidad.

Tabla 3.24. Análisis microbiológico del almidón de ajipa

Parámetros microbiológicos	Método de Ensayo	Unidad
<b>Bacterias aerobias mesófilas</b>	NB 32003:05	UFC/g
<b>Coliformes totales</b>	NB 32005:02	UFC/g
<b>Mohos y levaduras</b>	NB 32006:03	UFC/g

Fuente: CEANID, 2017

**CAPÍTULO IV**

**ANÁLISIS Y DISCUSIÓN**

**DE RESULTADOS**

#### 4.1. CARACTERÍSTICAS DE LA MATERIA PRIMA

Las características de la materia prima se realizaron tomando en cuenta las propiedades físicas y fisicoquímicas de la ajipa y las mismas se detallan a continuación.

##### 4.1.1. PROPIEDADES FÍSICAS DE LA AJIPA

La determinación de las propiedades físicas de la ajipa se realizó utilizando veinte muestras tomadas al azar que se detallan en la tabla 4.1.

Tabla 4.1. Propiedades físicas de la ajipa

N° de muestras	Longitud (cm)	Diámetro (cm)	Peso (g)	Peso Comestible (g)	Peso no Comestible (g)	Porción Comestible (%)	Porción no Comestible (%)
1	11,03	7,02	226,59	212,15	14,44	93,63	6,37
2	12,74	6,26	144,18	130,25	13,93	90,34	9,66
3	18,54	7,50	348,59	331,37	17,22	95,06	4,94
4	12,84	5,64	161,55	149,94	11,61	92,81	7,19
5	15,72	5,02	171,33	163,29	8,04	95,31	4,69
6	14,51	7,55	319,90	299,74	20,16	93,70	6,30
7	13,91	6,73	184,28	173,62	10,66	94,22	5,78
8	10,22	6,63	181,10	168,73	12,37	93,17	6,83
9	13,71	6,23	184,78	173,81	10,97	94,06	5,94
10	12,45	5,34	141,20	132,57	8,63	93,89	6,11
11	11,22	6,63	209,60	194,61	14,99	92,85	7,15
12	16,52	6,94	294,82	275,89	18,93	93,58	6,42
13	13,85	6,53	242,46	228,34	14,12	94,18	5,82
14	15,53	6,95	280,93	263,61	17,32	93,83	6,17
15	11,74	5,79	152,05	140,76	11,29	92,57	7,43
16	12,39	7,01	204,53	192,47	12,06	94,10	5,90
17	15,52	5,53	240,60	223,38	17,22	92,84	7,16
18	16,53	9,65	536,41	506,69	29,72	94,46	5,54
19	13,30	5,26	158,28	146,86	11,42	92,78	7,22
20	14,18	6,69	226,46	217,68	8,78	96,12	3,88
<b>Promedio</b>	<b>13,82</b>	<b>6,55</b>	<b>230,48</b>	<b>216,29</b>	<b>14,19</b>	<b>93,68</b>	<b>6,32</b>

Fuente: Elaboración propia

La tabla 4.1 muestra los resultados promedios de las propiedades físicas de la ajipa; de las cuales cabe mencionar que tiene una longitud de 13,82 cm, diámetro de 6,55 cm y peso promedio de 230,48 g. Contando con una porción comestible de 93,68 % y porción no comestible de 6,32%.

#### 4.1.2. ANÁLISIS FISICOQUÍMICOS DE LA AJIPA

Los análisis fisicoquímicos se realizaron en diferentes laboratorios como es el Centro de Análisis de Investigación y Desarrollo (CEANID), Centro de Investigación y Desarrollo de Tecnología de Alimentos (CIDTA) y en el Instituto de Investigaciones Químicas (IIQ)

En la tabla 4.2, se muestran los resultados de los análisis fisicoquímicos de la materia prima (ajipa) realizado en el CEANID.

Tabla 4.2. Análisis fisicoquímicos de la ajipa

PARÁMETROS	UNIDAD	RESULTADO
<b>Ceniza</b>	%	0,40
<b>Fibra</b>	%	1,20
<b>Grasa</b>	%	0,10
<b>Hidratos de carbono</b>	%	17,98
<b>Humedad</b>	%	78,99
<b>Proteína (Nx6,25)</b>	%	2,53
<b>Valor energético</b>	kcal/100 g	82,94

Fuente: CEANID, 2016.

En la tabla 4.2, se puede observar que la ajipa presenta un alto contenido en agua, su valor corresponde a 78,99 g en 100 g de porción comestible de ajipa, seguido por la cantidad de hidratos de carbono con un 17,98 g en 100 g de porción comestible de ajipa de los cuales gran parte es almidón.

También en esta tabla se puede observar que el valor de la proteína es de 2,53 g, fibra 1,20 g, ceniza 0,40 g y 0,10 g de grasa todos estos parámetros

ensayados en 100 g de ajipa; este último valor que corresponde a la grasa nos indica que la ajipa contiene un nivel insignificante de lípidos.

De igual manera se puede observar que 100 g de porción comestible de ajipa generan 82,94 kcal.

En la tabla 4.3, se muestra el resultado del análisis fisicoquímico de la ajipa realizado en el CIDTA.

Tabla 4.3. Análisis fisicoquímico de la ajipa

Parámetro fisicoquímico	Unidad	Resultado
<b>Almidón</b>	g/100 g	18,05

Fuente: CIDTA, 2017.

En la tabla 4.3, se observa que el contenido de almidón presente es de 18,05 g en 100 g de porción comestible de la raíz tuberosa de ajipa; por lo tanto se puede considerar que tiene un alto contenido de almidón.

#### 4.1.3. ANÁLISIS MICROBIOLÓGICO DE LA AJIPA

En la tabla 4.4 se muestra el análisis microbiológico de la ajipa, el cual fue realizado por el Centro de Análisis de Investigación y Desarrollo (CEANID).

Tabla 4.4. Análisis microbiológico de la ajipa

PARÁMETROS	UNIDAD	RESULTADO
<b>Bacterias aerobias mesófilas</b>	UFC/g	$5,0 \cdot 10^1$
<b>Coliformes totales</b>	UFC/g	<10 (*)
<b>Mohos y levaduras</b>	UFC/g	$3,0 \cdot 10^1$

Fuente: (CEANID), 2016.

Según la tabla 4.3 se considera que los resultados de los análisis microbiológicos para coliformes totales tiene un valor inferior a 10 unidades formadoras de colonia (UFC) por cada gramo de porción comestible de ajipa. Para bacterias aerobias mesófilas, mohos y levaduras tienen los valores de

5,0\*10<sup>1</sup> y 3,0\*10<sup>1</sup> (UFC) por cada gramo de porción comestible de ajipa, todos estos valores se encuentran dentro del límite de aceptabilidad.

#### **4.2. VARIABLES DE MAYOR RELEVANCIA QUE INFLUYEN EN EL PROCESO DE EXTRACCION DE ALMIDÓN DE AJIPA**

En el proceso de extracción de almidón de ajipa se siguió una serie de operaciones de las que se puede destacar las siguientes según su relevancia en el proceso:

**Troceado:** En esta operación no se realizó un diseño experimental 2<sup>k</sup>, debido a que esta solo cuenta con una sola variable de control que puede llegar a modificar el resultado en cuanto a la molienda húmeda, por lo tanto no se aplicó el mencionado diseño.

**Molienda húmeda:** En esta operación no se realizó un diseño experimental 2<sup>k</sup> debido a que la variable dependiente no podía ser cuantificada porque no se contaba con los equipos necesario para hacerlo, lo cual imposibilitó aplicar diseño.

**Tamizado:** en el tamizado no se pudo aplicar un diseño experimental puesto que solo se contaba con únicamente 2 tipos de mallas las que fueron utilizadas en serie, no pudiendo hacer variar otro factor que tenga relevancia significativa en el proceso, además que la variable dependiente (rendimiento) no podía ser cuantificada de manera precisa porque se trataba de un tamizado húmedo.

**Decantación:** esta es una de las operaciones en las que se aplicó diseño experimental 2<sup>k</sup> (2<sup>2</sup>) debido a que se contaba con los medios para poder medir los diferentes factores independientes y la variable dependiente, los cuales se detalla explícitamente en el punto 4.2.1.

**Secado:** es una de las operaciones más importantes y relevante dentro del proceso de extracción de almidón de ajipa, además es la que determina el contenido de humedad final del producto, que a su vez influye directamente en la proliferación de microorganismos, por estas razones se optó aplicar un diseño experimental  $2^k$  ( $2^3$ ); que se detalla explícitamente en el punto 4.2.3.

**Desagregado:** no se pudo realizar diseño experimental debido a que el equipo utilizado (molino de discos) no podía ser regulado, por lo cual no se podía hacer variar los factores independientes, lo cual dificultó e imposibilitó la aplicación del mencionado diseño.

#### 4.2.1. DISEÑO EXPERIMENTAL EN LA OPERACIÓN DE SEDIMENTACIÓN DEL ALMIDÓN DE AJIPA

El diseño experimental en esta operación pretende determinar las variables de mayor significancia (temperatura y tiempo) para la operación de sedimentación del almidón.

En la tabla 4.5 se tabularon los valores obtenidos en los experimentos realizados con respecto a las variables de control y a la variable respuesta, como variable respuesta se tomó en cuenta la cantidad de almidón precipitado.

Tabla 4.5. Diseño experimental de la operación de sedimentación

Tratamientos	Combinación de tratamiento	Factores		Respuestas (g)		Total $Y_i$
		T	t	I	II	
1	1	5°C	6h	95.87	94.98	190.85
2	T	25°C	6h	93.29	92.89	186.18
3	t	5°C	8h	106.52	105.77	212.29
4	Tt	25°C	8h	101.39	101.19	202.58
<b>Total <math>\Sigma Y_{ij}</math></b>				<b>397.07</b>	<b>394.83</b>	<b>791.90</b>

Fuente: Elaboración propia.

Dónde: T = Temperatura

T = Tiempo

Tt = Interacción temperatura-tiempo

Con los resultados obtenidos en la tabla 4.5 se procedió a construir la tabla 4.6 de ANOVA, para lo cual se realizó un diseño de  $2^2$  el cual se extrae del Anexo C.1.

Tabla 4.6. Análisis de varianza para la operación de sedimentación

Fuente de variación	SC	(GL)	(MC)	F <sub>cal</sub>	F <sub>tab</sub>
<b>T</b>	25.85	1	25.85	130.89	7.709
<b>t</b>	178.98	1	178.98	906.23	7.709
<b>Tt</b>	3.17	1	3.17	16.05	7.709
<b>Error</b>	0.79	4	0.1975		
<b>Total</b>	208.79	7			

Fuente: Elaboración propia.

Se observa en la tabla 4.6 que el factor (T) temperatura, el factor (t) tiempo y la interacción (T.t), son significativas en el proceso de sedimentación; debido a que  $f_{cal} > f_{tab}$  por tanto se rechaza la hipótesis planteada para un límite de confianza de 95%, por lo que existe evidencia estadística.

#### **4.2.2. INFLUENCIA DE LAS VARIABLES DE SECADO DEL ALMIDÓN DE AJIPA**

La caracterización de las variables del proceso de secado del almidón de ajipa, se realizó en base a resultados de pérdida de peso, determinándose el contenido de humedad en base seca en función del tiempo. Donde se analizó la influencia de contenido de humedad, temperatura de secado, velocidad de aire y espesor de la capa de almidón.

##### **4.2.2.1. CONTROL DE VARIACIÓN DEL CONTENIDO DE HUMEDAD**

Para determinar el contenido de humedad en base seca, se reordenó la ec 2.4, citada por Contreras (1997), obteniendo la ec 4.1.

Ec. 4.1

$$X = \frac{m_i - m_{ss}}{m_{ss}}$$

Dónde:

X: Contenido de humedad en base seca (kg agua/kg sólido seco).

$m_i$ : Masa inicial de muestra de ajipa (g).

$m_{ss}$ : Masa de sólido seco de la ajipa (g).

Para realizar los cálculos del contenido de humedad en base seca, se consideró el contenido de humedad del almidón sedimentado de 60%. La masa de sólido seco se puede estimar a través de la ec. 4.2.

$$m_{ss} = m_i - m_i(X_{m_i}^{H_2O}) \quad (\text{Ec. 4.2})$$

Dónde:

$X_{m_i}^{H_2O}$ : Fracción de contenido de humedad de la materia prima.

Por lo tanto la cantidad de sólido seco de la materia prima será:

$$m_{ss} = 151,78 \text{ g} - 151,78 \text{ g}(0,60)$$

$$m_{ss} = 60,712 \text{ g}$$

La tabla 4.7, muestra los resultados promedios de la variación del contenido de humedad en base seca del almidón de ajipa, de acuerdo a los resultados obtenidos de la variación de pérdida de peso (anexo B.1 y B.2) en las siguientes condiciones: la temperatura 50°C ( $T_1$ ), velocidad de aire de 3 m/s ( $V_1$ ) y tamaño de espesor de 0,5 cm ( $E_1$ ) y 1 cm ( $E_2$ ).

Tabla 4.7. Variación del contenido de humedad a condiciones de  $T_1V_1$

Tiempo (min)	Muestra #1		Muestra #2	
	E <sub>1</sub> (g)	X <sub>1</sub> (KgH <sub>2</sub> O/Kg SS)	E <sub>2</sub> (g)	X <sub>2</sub> (Kg H <sub>2</sub> O/Kg SS)
0	151,780	1,500	156,670	1,500
25	145,170	1,391	151,580	1,419
50	140,100	1,308	146,990	1,346
75	131,960	1,174	144,140	1,300
100	126,850	1,089	139,220	1,222
125	121,640	1,004	134,780	1,151
150	114,010	0,878	131,270	1,095
175	107,750	0,775	125,370	1,001
200	103,090	0,698	120,670	0,926
225	97,310	0,603	116,720	0,863
250	92,500	0,524	112,750	0,799
275	87,580	0,443	108,590	0,733
300	83,500	0,375	105,570	0,685
325	80,170	0,320	101,030	0,612
350	77,140	0,271	98,580	0,573
375	74,350	0,225	96,920	0,547
400	71,460	0,177	95,360	0,522
425	71,530	0,178	93,660	0,495
450	70,880	0,167	91,320	0,457
475	70,810	0,166	89,380	0,426
500	70,710	0,165	89,000	0,420
525	70,650	0,164	88,110	0,406
550	70,260	0,157	86,870	0,386
575	70,160	0,156	86,220	0,376
600	70,090	0,154	85,340	0,362
625	69,920	0,152	84,610	0,350
650	69,330	0,142	83,740	0,336
675	69,200	0,140	82,970	0,324
700	69,020	0,137	82,410	0,315
725	68,900	0,135	81,860	0,306

Continúa la tabla

Continúa de la tabla 4.7.

Tiempo (min)	Muestra #1		Muestra #2	
	E <sub>1</sub> (g)	X <sub>1</sub> (KgH <sub>2</sub> O/Kg SS)	E <sub>2</sub> (g)	X <sub>2</sub> (Kg H <sub>2</sub> O/Kg SS)
<b>750</b>	68,800	0,133	81,340	0,298
<b>775</b>	68,660	0,131	80,920	0,291
<b>800</b>	68,550	0,129	80,500	0,285
<b>825</b>	68,430	0,127	80,070	0,278
<b>850</b>	68,430	0,127	79,760	0,273
<b>875</b>	68,430	0,127	79,500	0,269
<b>900</b>			79,270	0,265
<b>925</b>			79,030	0,261
<b>950</b>			78,800	0,257
<b>975</b>			78,610	0,254
<b>1000</b>			78,420	0,251
<b>1025</b>			78,280	0,249
<b>1050</b>			78,280	0,249
<b>1075</b>			78,280	0,249

Fuente: Elaboración propia.

La tabla 4.8, muestra los resultados promedios de la variación del contenido de humedad en base seca del almidón de ajipa, de acuerdo a los resultados obtenidos de la variación de pérdida de peso (anexo B.3 y B.4) en las siguientes condiciones: la temperatura a 60°C de temperatura (T<sub>2</sub>), a una velocidad de 3 m/s y un espesor de 0,5 cm (E<sub>1</sub>) y 1 cm (E<sub>2</sub>).

Tabla 4.8. Variación del contenido de humedad a condiciones de  $T_2V_1$

Tiempo (min)	Muestra 1		Muestra 2	
	E <sub>1</sub> (g)	X <sub>1</sub> (KgH <sub>2</sub> O/Kg SS)	E <sub>2</sub> (g)	X <sub>2</sub> (Kg H <sub>2</sub> O/Kg SS)
0	178,840	1,500	193,420	1,500
25	162,840	1,276	181,680	1,348
50	151,570	1,119	174,360	1,254
75	142,560	0,993	166,760	1,155
100	131,740	0,842	158,480	1,048
125	125,090	0,749	153,250	0,981
150	117,950	0,649	147,780	0,910
175	109,790	0,535	141,480	0,829
200	102,370	0,431	136,490	0,764
225	96,680	0,351	133,060	0,720
250	91,070	0,273	128,610	0,662
275	86,980	0,216	125,120	0,617
300	85,220	0,191	121,650	0,572
325	84,380	0,180	119,470	0,544
350	83,650	0,169	116,530	0,506
375	82,850	0,158	114,410	0,479
400	82,200	0,149	112,070	0,449
425	81,610	0,141	109,860	0,420
450	81,030	0,133	108,350	0,400
475	80,510	0,125	106,660	0,379
500	80,180	0,121	105,740	0,367
525	79,860	0,116	104,810	0,355
550	79,640	0,113	103,230	0,334
575	79,520	0,112	102,310	0,322
600	79,520	0,112	101,980	0,318
625	79,520	0,112	101,760	0,315
650			101,580	0,313
675			101,430	0,311
700			101,340	0,310
725			101,340	0,310
750			101,340	0,310

Fuente: Elaboración propia.

La tabla 4.9, muestra los resultados promedios de la variación del contenido de humedad en base seca del almidón de ajipa, de acuerdo a los resultados

obtenidos de la variación de pérdida de peso (anexo B.5 y B.6) en las siguientes condiciones: la temperatura a 50°C de temperatura (T), a una velocidad de 5m/s y un espesor de 0,5 cm (E<sub>1</sub>) y 1 cm (E<sub>2</sub>).

Tabla 4.9. Variación del contenido de humedad a condiciones de T<sub>1</sub>V<sub>2</sub>

Tiempo (min)	Muestra 1		Muestra 2	
	E <sub>1</sub> (g)	X <sub>1</sub> (KgH <sub>2</sub> O/Kg SS)	E <sub>2</sub> (g)	X <sub>2</sub> (Kg H <sub>2</sub> O/Kg SS)
0	153,670	1,500	165,600	1,500
25	146,230	1,379	159,100	1,402
50	140,430	1,285	153,380	1,316
75	134,580	1,189	149,580	1,258
100	125,820	1,047	142,740	1,155
125	118,820	0,933	139,320	1,103
150	113,760	0,851	134,940	1,037
175	108,070	0,758	130,850	0,975
200	102,570	0,669	126,440	0,909
225	96,950	0,577	121,880	0,840
250	94,180	0,532	119,780	0,808
275	89,960	0,464	116,650	0,761
300	87,640	0,426	113,780	0,718
325	84,500	0,375	110,680	0,671
350	81,310	0,323	107,610	0,625
375	78,480	0,277	105,470	0,592
400	76,590	0,246	103,760	0,566
425	75,320	0,225	100,390	0,516
450	74,500	0,212	98,290	0,484
475	73,920	0,203	96,600	0,458
500	73,540	0,196	95,230	0,438
525	72,910	0,186	93,450	0,411
550	72,610	0,181	91,820	0,386
575	72,410	0,178	90,290	0,363
600	71,640	0,165	89,480	0,351
625	71,640	0,165	88,800	0,341
650	71,640	0,165	88,220	0,332
675			87,990	0,328
700			87,630	0,323
725			87,410	0,320
750			87,330	0,318
775			87,330	0,318
800			87,330	0,318

Fuente: Elaboración propia.

La tabla 4.10, muestra los resultados promedios de la variación del contenido de humedad en base seca del almidón de ajipa, de acuerdo a los resultados obtenidos de la variación de pérdida de peso (anexo B.7 y B.8) en las siguientes condiciones: la temperatura a 60°C de temperatura ( $T_2$ ), a una velocidad de 5m/s y un espesor de 0,5 cm ( $E_1$ ) y 1 cm ( $E_2$ ).

Tabla 4.10. Variación del contenido de humedad a condiciones de  $T_2V_2$

Tiempo (min)	Muestra 1		Muestra 2	
	$E_1$ (g)	$X_1$ (KgH <sub>2</sub> O/Kg SS)	$E_2$ (g)	$X_2$ (Kg H <sub>2</sub> O/Kg SS)
0	158,720	1,500	155,580	1,500
25	144,240	1,272	147,340	1,368
50	137,960	1,173	142,550	1,291
75	129,350	1,037	136,820	1,199
100	123,520	0,946	133,100	1,139
125	115,680	0,822	127,380	1,047
150	109,100	0,718	122,090	0,962
175	102,500	0,614	118,140	0,898
200	97,630	0,538	114,380	0,838
225	92,840	0,462	110,630	0,778
250	87,580	0,379	107,050	0,720
275	82,350	0,297	103,490	0,663
300	80,860	0,274	99,530	0,599
325	78,910	0,243	97,550	0,568
350	76,870	0,211	93,670	0,505
375	75,780	0,194	91,010	0,462
400	74,560	0,174	89,050	0,431
425	73,960	0,165	89,120	0,432
450	73,250	0,154	86,880	0,396
475	73,110	0,152	85,200	0,369
500	72,800	0,147	84,630	0,360
525	72,580	0,143	82,680	0,329
550	72,580	0,143	81,570	0,311
575	72,580	0,143	80,360	0,291
600			79,700	0,281
625			78,820	0,267
650			78,100	0,255
675			77,090	0,239
700			76,740	0,233
725			76,740	0,233
750			76,740	0,233

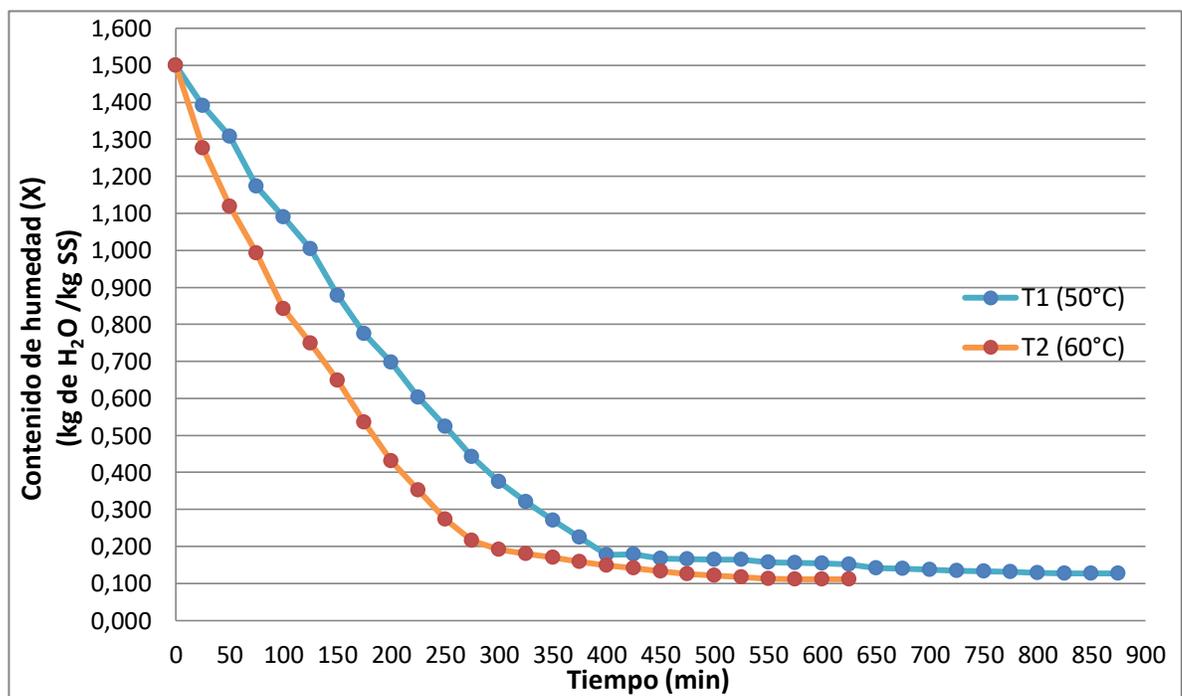
Fuente: Elaboración propia.

De acuerdo a los resultados promedios de la variación del contenido de humedad en base seca de las tablas 4.7, tabla 4.8, tabla 4.9, tabla 4.10, se observa que cuando se disminuye la velocidad del aire de (5 a 3) m/s y el espesor del almidón de ajipa de (1 a 0,5) cm y se incrementa la temperatura de (50 a 60) °C, existe diferencia de pérdida de humedad en las muestras de ajipa, afectando en el tiempo de secado.

#### 4.2.2.2. INFLUENCIA DE LA TEMPERATURA

La figura 4.1, muestra la variación del contenido de humedad en base seca de las muestras almidón de ajipa, en función del tiempo, medidos en intervalos de 25 minutos, los datos para graficar la curva son extraídos de las tabla 4.7 y tabla 4.8, dónde la temperatura varía de 50 a 60 °C y se mantiene constante la velocidad del aire a 3 m/s ( $V_1$ ) y el espesor de la capa de almidón de ajipa de 0.5 cm ( $E_1$ ).

Gráfica 4.1. Variación del contenido de humedad con la temperatura,  $V_1$  y  $E_1$  constante

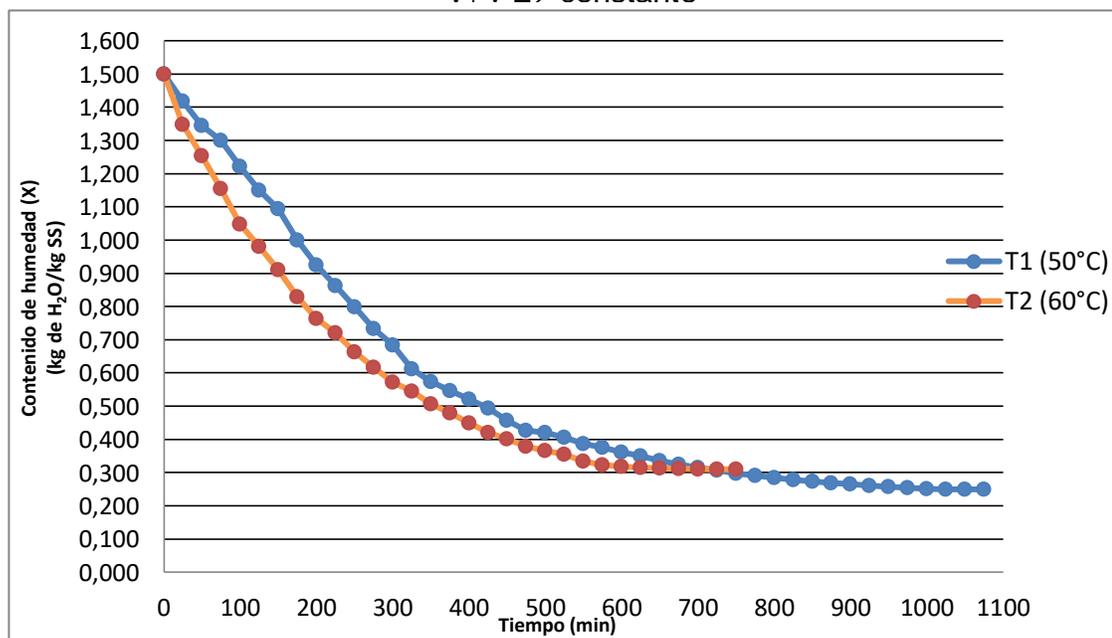


Fuente: Elaboración propia.

Se observa en la figura 4.1, que al incrementar la temperatura de 50 °C ( $T_1$ ) a 60 °C ( $T_2$ ) la operación de secado se ve favoreciendo en la variación del contenido de humedad final, es decir que a temperatura de 60°C hay un mayor incremento de pérdida de agua lo que da como resultado una humedad en base seca de 0.112 (g agua/g de sólido seco) para un tiempo de secado 575 minutos (tabla 4.8.); a diferencia de que 50°C la perdida de humedad es inferior, debido a que da como resultado un contenido de humedad en base seca de 0.156 (g agua/ g sólido seco) para un mismo periodo de tiempo.

En la figura 4.2, se muestra la variación del contenido de humedad en base seca de las muestras de almidón, en función del tiempo, medidos en intervalos de 25 minutos, los datos para graficar la curva son extraídos de las tablas 4.7 y tabla 4.8. Dónde la temperatura varía de 50 a 60 °C y se mantiene constante la velocidad del aire a 3 m/s ( $V_1$ ) y el espesor de la capa de almidón de ajija de 1 cm ( $E_2$ ).

Gráfica 4.2. Variación del contenido de humedad con la temperatura,  $V_1$  v  $E_2$  constante

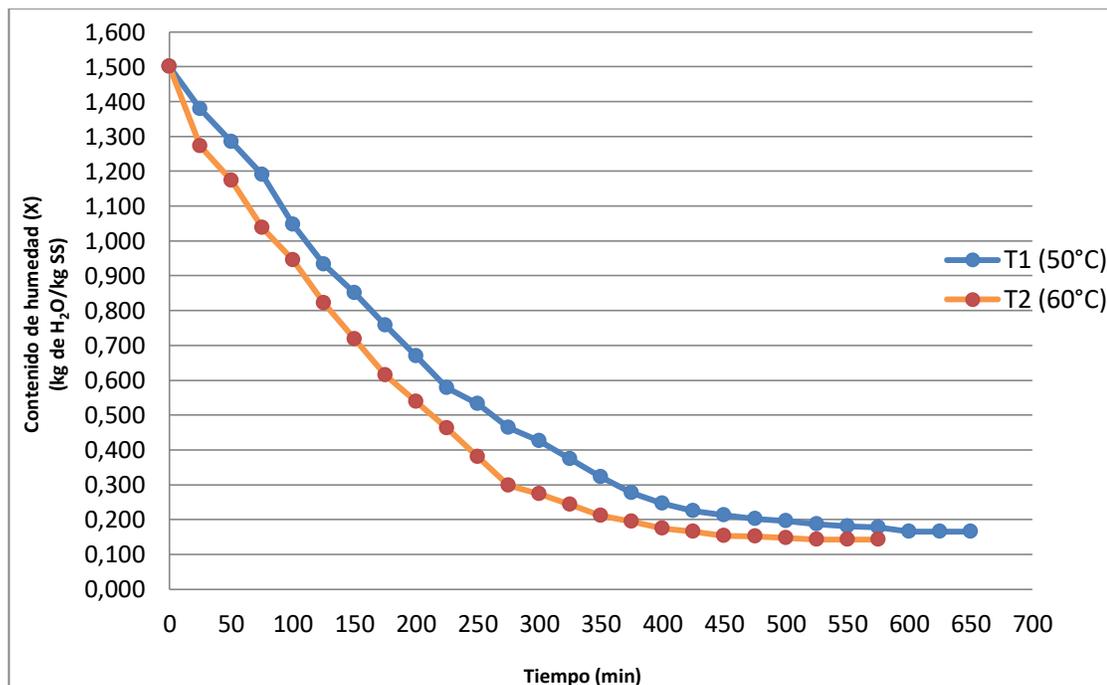


Fuente: Elaboración propia.

En la figura 4.2 se observa, que a la temperatura de 50 °C ( $T_1$ ) la operación de secado se ve favorecida con la variación de humedad final, es decir que a 50°C hay un mayor incremento de pérdida de agua que da como resultado una humedad en base seca de 0.249 (g agua/g sólido seco) para un tiempo de secado de 1025 minutos, a diferencia que a una temperatura de 60°C el contenido de humedad en base seca es de 0.310 (g agua/g sólido seco) para un tiempo de secado de 700 min, inferior al tiempo empleado para el secado a 50°C.

La figura 4.3, muestra la variación del contenido de humedad en base seca de las muestras almidón de ají, en función del tiempo, medidos en intervalos de 25 minutos, los datos para graficar la curva son extraídos de las tablas 4.9 y tabla 4.10, donde la temperatura varía de 50 a 60 °C y se mantiene constante la velocidad del aire a 5 m/s ( $V_2$ ) y el espesor de la capa de almidón de ají de 0.5 cm ( $E_1$ ).

Gráfica 4.3. Variación del contenido de humedad con la temperatura,  $V_2$  y  $E_1$  constante

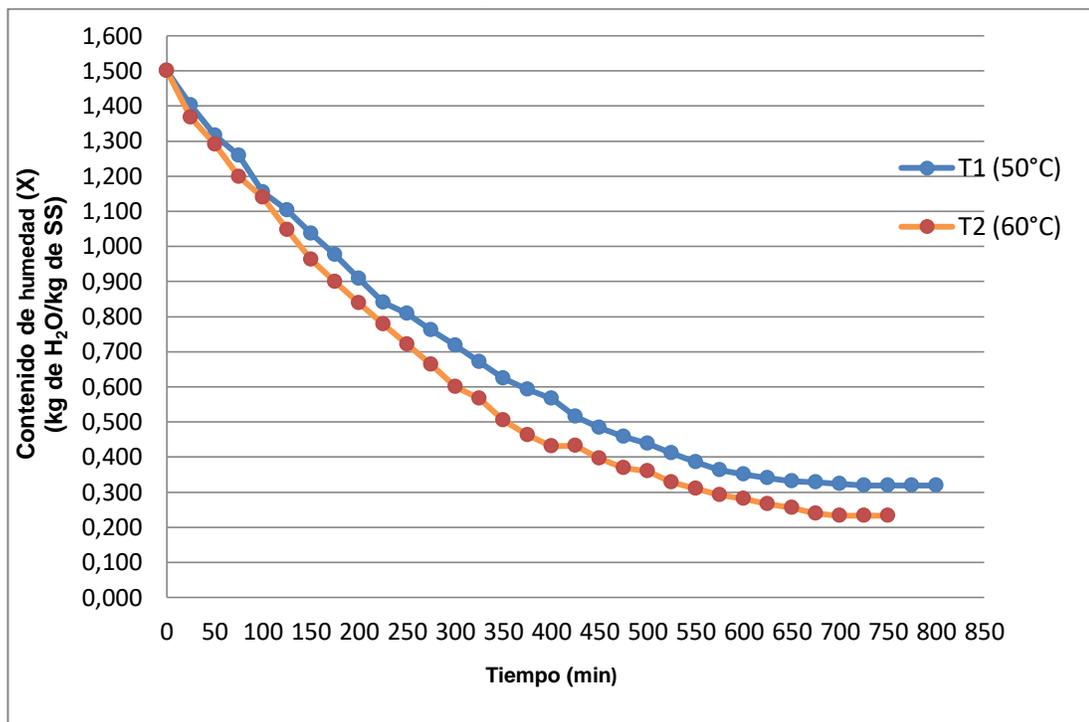


Fuente: Elaboración propia.

Se observa en la figura 4.3, que al incrementar la temperatura de 50 °C ( $T_1$ ) a 60°C ( $T_2$ ) la operación de secado se ve favoreciendo en la variación del contenido de humedad final, es decir que a temperatura de 60°C hay un mayor incremento de pérdida de agua lo que da como resultado una humedad en base seca de 0.143 (g agua/g de sólido seco) para un tiempo de secado 525 minutos (tabla 4.10.); a diferencia de que 50°C la pérdida de humedad es inferior, debido a que da como resultado un contenido de humedad en base seca de 0.186 (g agua/ g sólido seco) para un mismo periodo de tiempo.

La figura 4.4, muestra la variación del contenido de humedad en base seca de las muestras almidón de ajipa, en función del tiempo, medidos en intervalos de 25 minutos, los datos para graficar la curva son extraídos de las tablas 4.9 y tabla 4.10, dónde la temperatura varía de 50 a 60 °C y se mantiene constante la velocidad del aire a 5 m/s ( $V_2$ ) y el espesor de la capa de almidón de ajipa de 1 cm ( $E_2$ ).

Gráfica 4.4. Variación del contenido de humedad con la temperatura,  $V_2$  y  $E_2$  constante



Fuente: Elaboración propia.

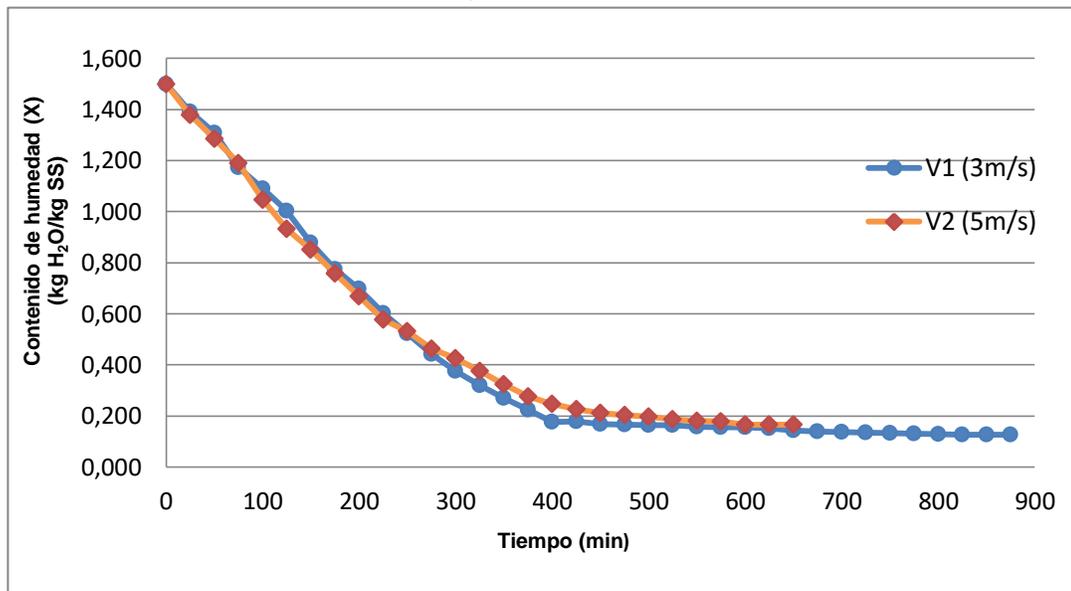
Se observa en la figura 4.4, que al incrementar la temperatura de 50 °C ( $T_1$ ) a 60 °C ( $T_2$ ) la operación de secado se ve favoreciendo en la variación del contenido de humedad final, es decir que a temperatura de 60°C hay un mayor incremento de pérdida de agua lo que da como resultado una humedad en base seca de 0.223 (g agua/g de sólido seco) para un tiempo de secado 700 minutos (tabla 4.10.); a diferencia de que 50°C la pérdida de humedad es inferior, debido a que da como resultado un contenido de humedad en base seca de 0.323 (g agua/ g sólido seco) para un mismo periodo de tiempo.

#### 4.2.2.3. INFLUENCIA DE LA VELOCIDAD DEL AIRE

La figura 4.5, muestra la variación del contenido de humedad en base seca de las muestras almidón de ajipa, en función del tiempo, medidos en intervalos de 25 minutos, los datos para graficar la curva son extraídos de las

tablas 4.7 y tabla 4.9, dónde la velocidad del aire varia de 3 a 5 m/s y se mantiene constante la temperatura a 50°C ( $T_1$ ) y el espesor de la capa de almidón de ajipa de 0.5 cm ( $E_1$ ).

Gráfica 4.5. Variación del contenido de humedad con la velocidad del aire,  $T_1$  y  $E_1$  constante



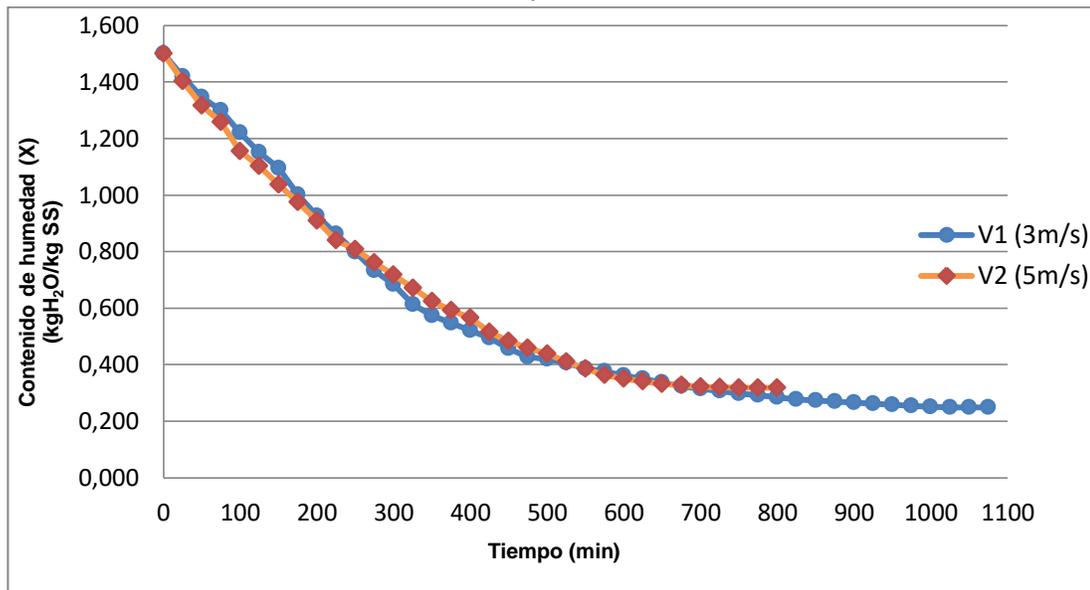
Fuente: Elaboración propia.

En la figura 4.5 se observa, que a la velocidad de aire de 3m/s ( $V_1$ ) la operación de secado se ve favorecida con la variación de humedad final, es decir que a 3 m/s hay un mayor incremento de pérdida de agua que da como resultado una humedad en base seca de 0.127 (g agua/g sólido seco) para un tiempo de secado de 825 minutos, a diferencia que a una velocidad de aire de 5m/s el contenido de humedad en base seca es de 0.165 (g agua/g sólido seco) para un tiempo de secado de 600 min, inferior al tiempo empleado para el secado a una velocidad del aire de 3m/s.

La figura 4.6, muestra la variación del contenido de humedad en base seca de las muestras almidón de ajipa, en función del tiempo, medidos en intervalos de 25 minutos, los datos para graficar la curva son extraídos de las tablas 4.7 y tabla 4.9, dónde la velocidad del aire varia de 3 a 5 m/s y se

mantiene constante la temperatura a 50°C ( $T_1$ ) y el espesor de la capa de almidón de ajipa de 1 cm ( $E_2$ ).

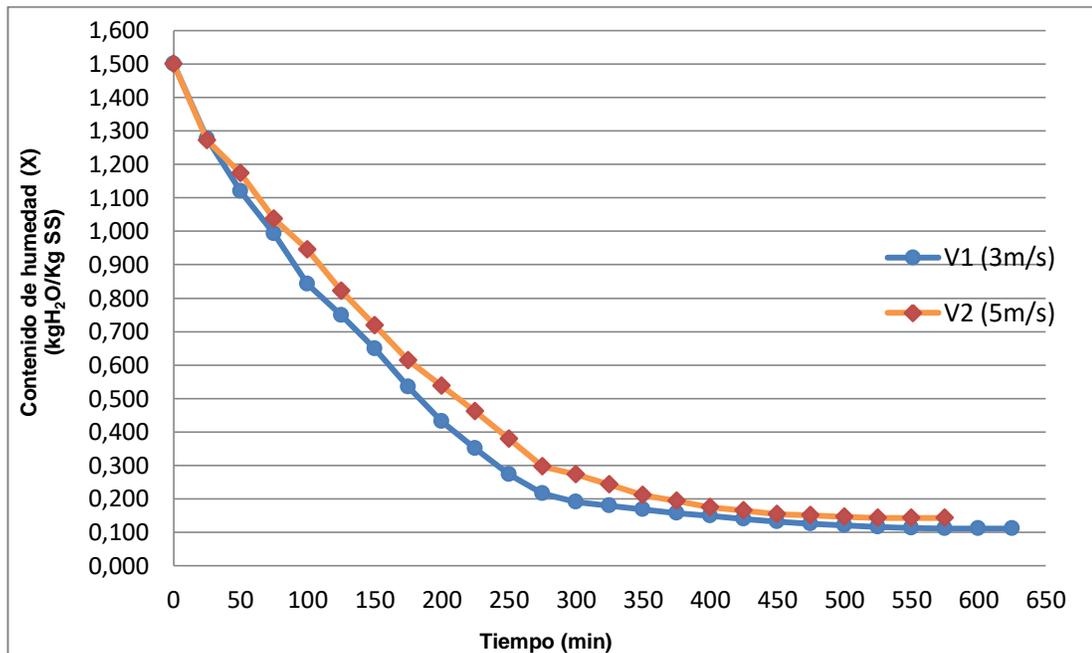
Gráfica 4.6. Variación del contenido de humedad con la velocidad del aire,  $T_1$  y  $E_2$  constante



En la figura 4.6 se observa, que a la velocidad de aire de 3m/s ( $V_1$ ) la operación de secado se ve favorecida con la variación de humedad final, es decir que a 3 m/s hay un mayor incremento de pérdida de agua que da como resultado una humedad en base seca de 0.249 (g agua/g sólido seco) para un tiempo de secado de 1025 minutos, a diferencia que a una velocidad de aire de 5m/s el contenido de humedad en base seca es de 0.318 (g agua/g sólido seco) para un tiempo de secado de 750 min, inferior al tiempo empleado para el secado a una velocidad del aire de 3m/s.

La figura 4.7, muestra la variación del contenido de humedad en base seca de las muestras almidón de ajipa, en función del tiempo, medidos en intervalos de 25 minutos, los datos para graficar la curva son extraídos de las tablas 4.8 y 4.10, dónde la velocidad del aire varía de 3 a 5 m/s y se mantiene constante la temperatura a 60°C ( $T_2$ ) y el espesor de la capa de almidón de ajipa de 0.5 cm ( $E_1$ ).

Gráfica 4.7. Variación del contenido de humedad con la velocidad del aire,  $T_2$  y  $E_1$  constante

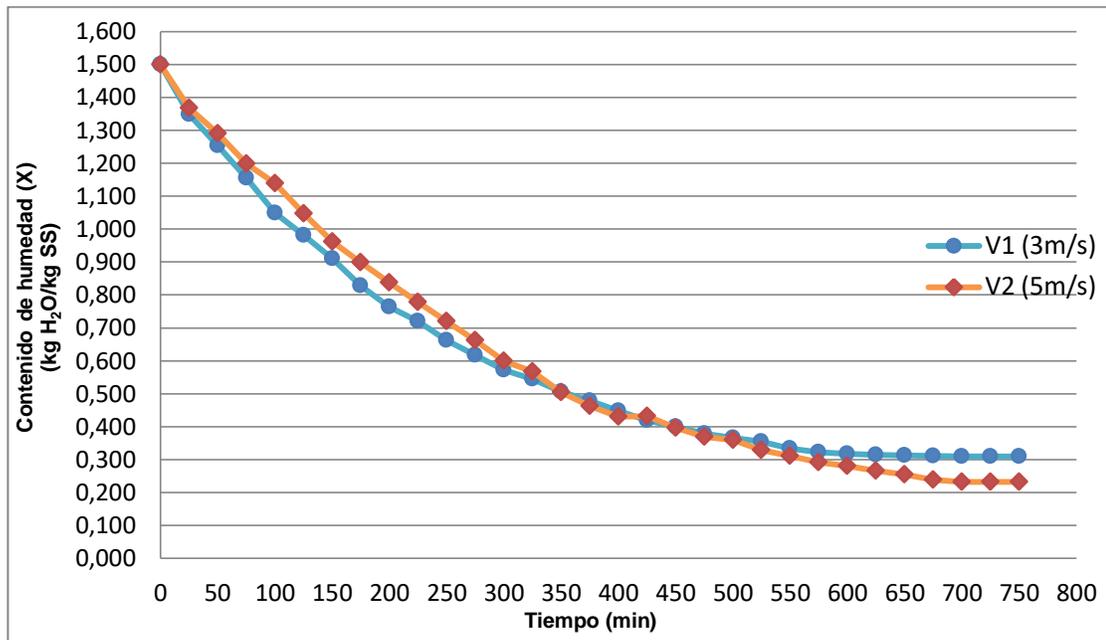


Fuente: Elaboración propia.

En la figura 4.7 se observa, que a la velocidad de aire de 3m/s ( $V_1$ ) la operación de secado se ve favorecida con la variación de humedad final, es decir que a 3 m/s hay un mayor incremento de pérdida de agua que da como resultado una humedad en base seca de 0.112 (g agua/g sólido seco) para un tiempo de secado de 575 minutos, a diferencia que a una velocidad de aire de 5m/s el contenido de humedad en base seca es de 0.143 (g agua/g sólido seco) para un tiempo de secado de 525 min, inferior al tiempo empleado para el secado a una velocidad del aire de 3m/s.

La figura 4.8, muestra la variación del contenido de humedad en base seca de las muestras almidón de ajipa, en función del tiempo, medidos en intervalos de 25 minutos, los datos para graficar la curva son extraídos de las tablas 4.8 y tabla 4.10, dónde la velocidad del aire varía de 3 a 5 m/s y se mantiene constante la temperatura a 60°C ( $T_2$ ) y el espesor de la capa de almidón de ajipa de 1 cm ( $E_2$ ).

Gráfica 4.8. Variación del contenido de humedad con la velocidad del aire,  $T_2$  y  $E_2$  constante



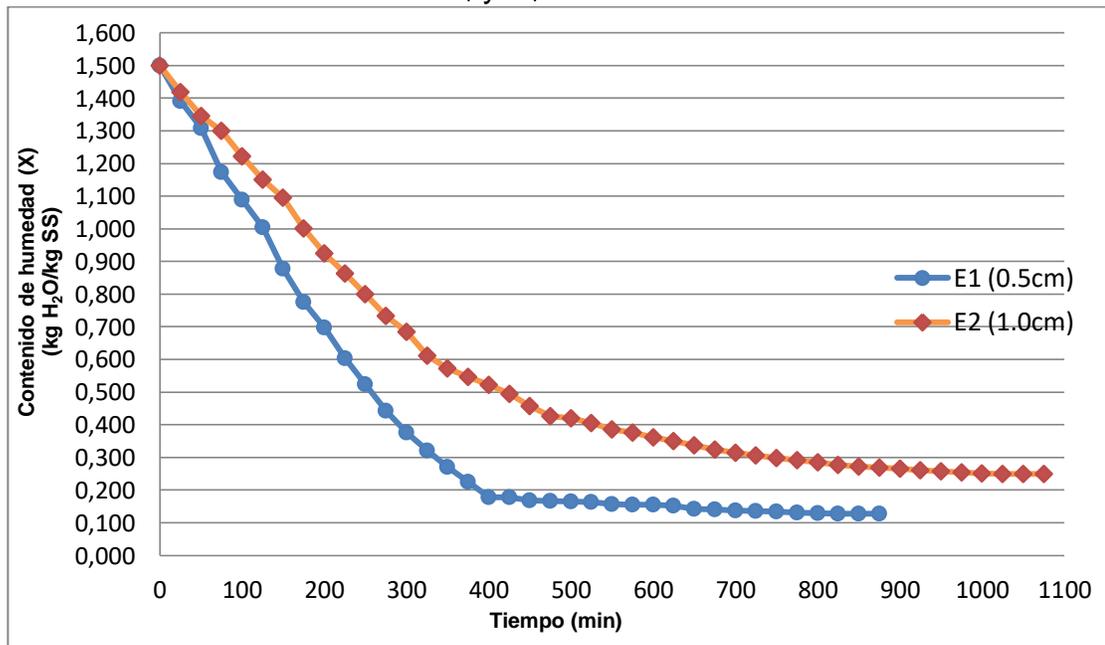
Fuente: Elaboración propia.

Se observa en la figura 4.8, que al incrementar la velocidad del aire de 3 m/s ( $V_1$ ) a 5 m/s ( $V_2$ ) la operación de secado se ve favoreciendo en la variación del contenido de humedad final, es decir que a una velocidad del aire de 5 m/s hay un mayor incremento de pérdida de agua lo que da como resultado una humedad en base seca de 0.233 (g agua/ g de sólido seco) para un tiempo de secado 700 minutos (tabla 4.10.); a diferencia de que a una velocidad de aire de 3m/s la pérdida de humedad es inferior, debido a que da como resultado un contenido de humedad en base seca de 0.310 (g agua/ g sólido seco) para un mismo periodo de tiempo.

#### 4.2.2.4. INFLUENCIA DEL ESPESOR DEL ALMIDÓN

La figura 4.9, muestra la variación del contenido de humedad en base seca de las muestras almidón de ajipa, en función del tiempo, medidos en intervalos de 25 minutos, los datos para graficar la curva son extraídos de la tabla 4.7, dónde el espesor varía de 0.5 a 1 cm y se mantiene constante la temperatura a 50°C ( $T_1$ ) y la velocidad del aire a 3 m/s ( $V_1$ ).

Gráfica 4.9. Variación del contenido de humedad con el espesor del almidón,  $T_1$  y  $V_1$  constante

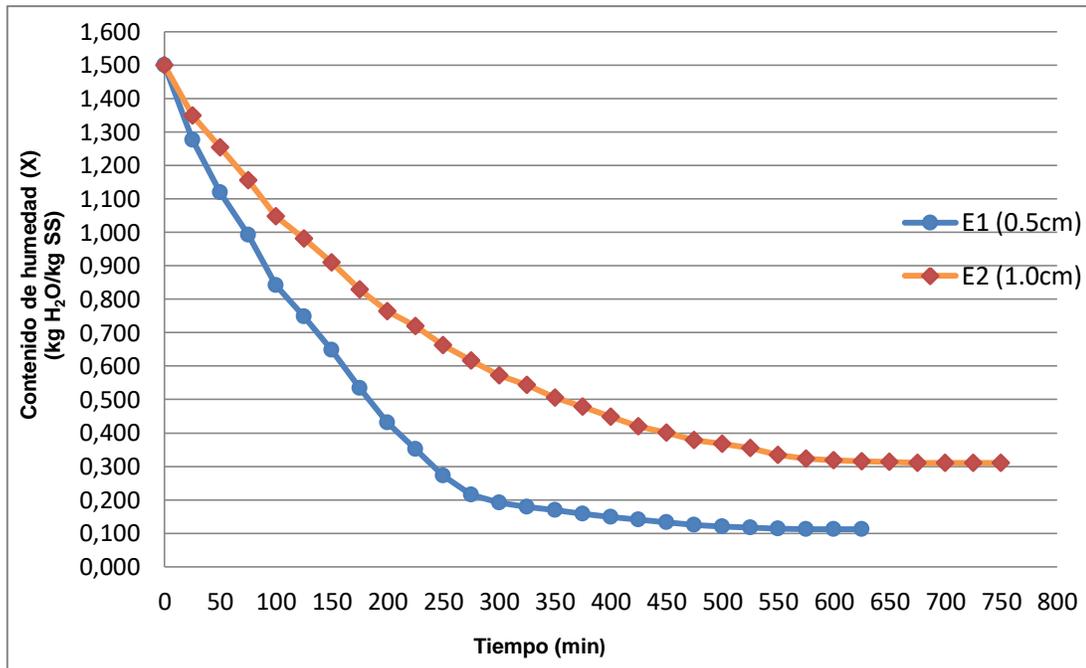


Fuente: Elaboración propia.

Se observa en la figura 4.9, que al disminuir el espesor de la capa del almidón de 1 cm ( $E_1$ ) a 0.5 cm ( $E_2$ ) la operación de secado se ve favoreciendo en la variación del contenido de humedad final, es decir que a un espesor de 0.5 cm hay un mayor incremento de pérdida de agua lo que da como resultado una humedad en base seca de 0.127 (g agua/g de sólido seco) para un tiempo de secado 825 minutos (tabla 4.7.); a diferencia de que a un espesor de 1 cm la pérdida de humedad es inferior, debido a que da como resultado un contenido de humedad en base seca de 0.278 (g agua/ g sólido seco) para un mismo periodo de tiempo.

La figura 4.10, muestra la variación del contenido de humedad en base seca de las muestras almidón de ajipa, en función del tiempo, medidos en intervalos de 25 minutos, los datos para graficar la curva son extraídos de la tabla 4.8, dónde el espesor varía de 0.5 a 1 cm y se mantiene constante la temperatura a 60°C ( $T_2$ ) y la velocidad del aire a 3 m/s ( $V_1$ ).

Gráfica 4.10. Variación del contenido de humedad con el espesor del almidón,  $T_2$  y  $V_1$  constante

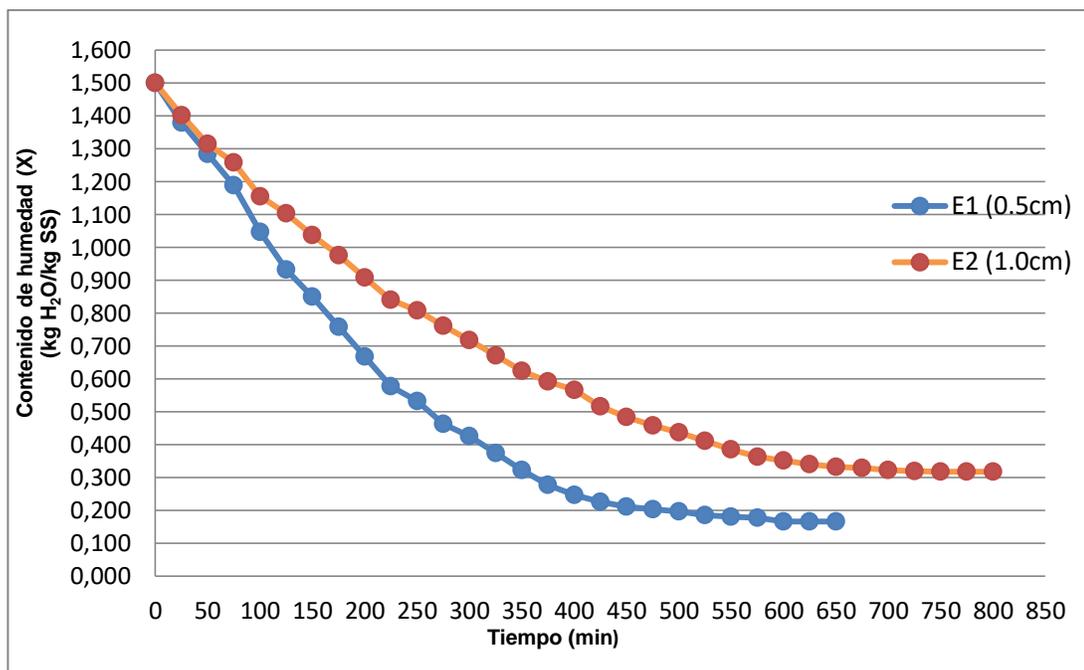


Fuente: Elaboración propia.

Se observa en la figura 4.10, que al disminuir el espesor de la capa del almidón de 1 cm ( $E_1$ ) a 0.5 cm ( $E_2$ ) la operación de secado se ve favoreciendo en la variación del contenido de humedad final, es decir que a un espesor de 0.5 cm hay un mayor incremento de pérdida de agua lo que da como resultado una humedad en base seca de 0.112 (g agua/g de sólido seco) para un tiempo de secado 575 minutos (tabla 4.8.); a diferencia de que a un espesor de 1 cm la pérdida de humedad es inferior, debido a que da como resultado un contenido de humedad en base seca de 0.322 (g agua/ g sólido seco) para un mismo periodo de tiempo.

La figura 4.11, muestra la variación del contenido de humedad en base seca de las muestras almidón de ajipa, en función del tiempo, medidos en intervalos de 25 minutos, los datos para graficar la curva son extraídos de la tabla 4.8, dónde el espesor varía de 0.5 a 1 cm y se mantiene constante la temperatura a 50°C ( $T_1$ ) y la velocidad del aire a 5 m/s ( $V_2$ ).

Gráfica 4.11. Variación del contenido de humedad con el espesor del almidón,  $T_1$  y  $V_2$  constante

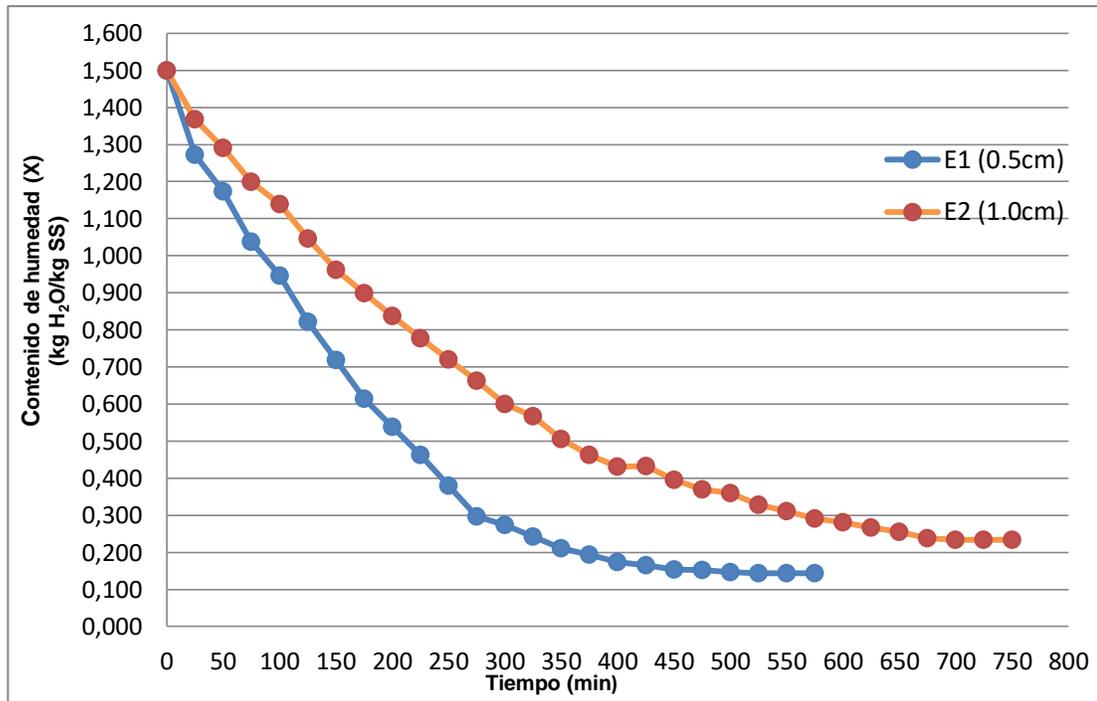


Fuente: Elaboración propia.

Se observa en la figura 4.11, que al disminuir el espesor de la capa del almidón de 1 cm ( $E_1$ ) a 0.5 cm ( $E_2$ ) la operación de secado se ve favoreciendo en la variación del contenido de humedad final, es decir que a un espesor de 0.5 cm hay un mayor incremento de pérdida de agua lo que da como resultado una humedad en base seca de 0.165 (g agua/g de sólido seco) para un tiempo de secado 600 minutos (tabla 4.9.); a diferencia de que a un espesor de 1 cm la pérdida de humedad es inferior, debido a que da como resultado un contenido de humedad en base seca de 0.351 (g agua/ g sólido seco) para un mismo periodo de tiempo.

La figura 4.12, muestra la variación del contenido de humedad en base seca de las muestras almidón de ajipa, en función del tiempo, medidos en intervalos de 25 minutos, los datos para graficar la curva son extraídos de la tabla 4.10, donde el espesor varía de 0.5 a 1 cm y se mantiene constante la temperatura a 60°C ( $T_2$ ) y la velocidad del aire a 5 m/s ( $V_2$ ).

Gráfica 4.12. Variación del contenido de humedad con el espesor del almidón,  $T_2$  y  $V_2$  constante



Fuente: Elaboración propia.

Se observa en la figura 4.12, que al disminuir el espesor de la capa del almidón de 1 cm ( $E_1$ ) a 0.5 cm ( $E_2$ ) la operación de secado se ve favoreciendo en la variación del contenido de humedad final, es decir que a un espesor de 0.5 cm hay un mayor incremento de pérdida de agua lo que da como resultado una humedad en base seca de 0.143 (g agua/g de sólido seco) para un tiempo de secado 525 minutos (tabla 4.10.); a diferencia de que a un espesor de 1 cm la pérdida de humedad es inferior, debido a que da como resultado un contenido de humedad en base seca de 0.329 (g agua/g sólido seco) para un mismo periodo de tiempo.

#### 4.2.3. DISEÑO ESTADÍSTICO DE LA OPERACIÓN DE SECADO

El análisis estadístico del proceso de secado del almidon de ajipa, se realiza a partir de datos experimentales sin tratamiento. Utilizando las variables de la operación de secado: espesor de capa de (0,5-1) cm, temperatura de (50-

60) °C, velocidad del aire de (3–5) m/s; cuya variable respuesta es el contenido de humedad en base seca en función del tiempo.

En la tabla 4.11, se muestra la matriz de resultados de las variables del proceso de secado de la capa de almidón con dos réplicas y dos niveles; tomando como base el contenido de humedad final en base seca (Anexo C.2.), para lo cual se desarrolla un diseño de  $2^3$ .

Tabla 4.11. Diseño experimental del secado en la extracción de almidón de ajipa

Combinación de tratamientos	Factores			Resultados		Yi
	T	V	E	I	II	
<b>1</b>	50°C	3m/s	0,5cm	0,156	0,157	0,313
<b>T</b>	60°C	3m/s	0,5cm	0,112	0,111	0,223
<b>V</b>	50°C	5m/s	0,5cm	0,178	0,179	0,357
<b>TV</b>	60°C	5m/s	0,5cm	0,143	0,142	0,285
<b>E</b>	50°C	3m/s	1cm	0,376	0,375	0,751
<b>TE</b>	60°C	3m/s	1cm	0,322	0,324	0,646
<b>VE</b>	50°C	5m/s	1cm	0,363	0,361	0,724
<b>TVE</b>	60°C	5m/s	1cm	0,291	0,294	0,585
<b>Total</b>				1,941	1,943	3,884

Fuente: Elaboración propia.

La tabla 4.12, muestra los resultados de varianza (ANOVA), (tabla C.2) del diseño  $2^3$ .

Tabla 4.12. Análisis de varianza para la operación de secado

Fuente de variación	SC	GL	CM	F <sub>cal</sub>	F <sub>tab</sub>
<b>Factor T</b>	0,010302	1	0,010302	7492,545	5,32
<b>Factor V</b>	0,000020	1	0,000020	14,727	5,32
<b>Factor E</b>	0,145924	1	0,145924	106126,545	5,32
<b>Interacción TV</b>	0,000016	1	0,000016	11,636	5,32
<b>Interacción TE</b>	0,000420	1	0,000420	305,636	5,32
<b>Interacción VE</b>	0,002352	1	0,002352	1710,727	5,32
<b>Interacción TVE</b>	0,000169	1	0,000169	122,909	5,32
<b>Error</b>	0,000011	8	0,000001		
<b>Total</b>	0,159215	15			

Fuente: Elaboración propia.

Se observa en la tabla 4.12, que el factor (T) temperatura, factor (t) tiempo, (E) espesor y las interacciones (T.V), (T.E), (V.E) y (TVE) son significativas en la operación de secado; debido a que  $f_{cal} > f_{tab}$  por tanto se rechaza la hipótesis planteada para un límite de confianza de 95%, por lo que existe evidencia estadística.

### 4.3. CINÉTICA DE SECADO DE LA CAPA DE ALMIDÓN

La tabla 4.13, muestra los resultados ajustados de la cinética de secado de la capa de almidón, para un espesor de 0,5 cm, temperatura de secado de 60°C y una velocidad del aire de 3m/s. los resultados experimentales fueron obtenidos mediante regresión lineal por Windows 8, Excel, (2013).

Las condiciones del proceso de secado a nivel experimental fueron las siguientes:

Área de la bandeja de secado 0,0392 m<sup>2</sup>

Cantidad de materia prima 178,84 g

Contenido de humedad 107.304 g

Contenido de materia seca 71.536 g

Tiempo de secado 9.583 horas

Temperatura de secado 60°C

Tabla 4.13  
Ajuste de la variación del contenido de humedad y velocidad de secado

tiempo (min)	peso (kg)	X ( $\frac{\text{kg } H_2O}{\text{kg SS}}$ )	$\Delta X$ ( $\frac{\text{kg } H_2O}{\text{kg SS}}$ )	$\Delta \theta$ (hr)	X media ( $\frac{\text{kg } H_2O}{\text{kg SS}}$ )	N ( $\frac{\text{kg } H_2O}{m^2 \cdot h}$ )
0	178,840	1,500				
25	162,840	1,276	0,224	0,4167	1,388	979,513
50	151,570	1,119	0,158	0,4167	1,198	950,890
75	142,560	0,993	0,126	0,4167	1,056	948,370
100	131,740	0,842	0,151	0,4167	0,917	945,920
125	125,090	0,749	0,093	0,4167	0,795	805,470
150	117,950	0,649	0,100	0,4167	0,699	659,570
175	109,790	0,535	0,114	0,4167	0,592	499,552
200	102,370	0,431	0,104	0,4167	0,483	454,249
225	96,680	0,351	0,080	0,4167	0,391	348,339
250	91,070	0,273	0,078	0,4167	0,312	343,442
275	86,980	0,216	0,057	0,4167	0,244	250,388
300	85,220	0,191	0,025	0,4167	0,204	107,746
325	84,380	0,180	0,012	0,4167	0,185	51,424
350	83,650	0,169	0,010	0,4167	0,174	44,690
375	82,850	0,158	0,011	0,4167	0,164	48,976
400	82,200	0,149	0,009	0,4167	0,154	39,793
425	81,610	0,141	0,008	0,4167	0,145	36,120
450	81,030	0,133	0,008	0,4167	0,137	35,507
475	80,510	0,125	0,007	0,4167	0,129	31,834
500	80,180	0,121	0,005	0,4167	0,123	20,202
525	79,860	0,116	0,004	0,4167	0,119	19,590
550	79,640	0,113	0,003	0,4167	0,115	13,468
575	79,520	0,112	0,002	0,4167	0,112	7,346
600	79,520	0,112	0,000	0,4167	0,112	-
625	79,520	0,112	0,000	0,4167	0,112	-

Fuente: Elaboración propia.

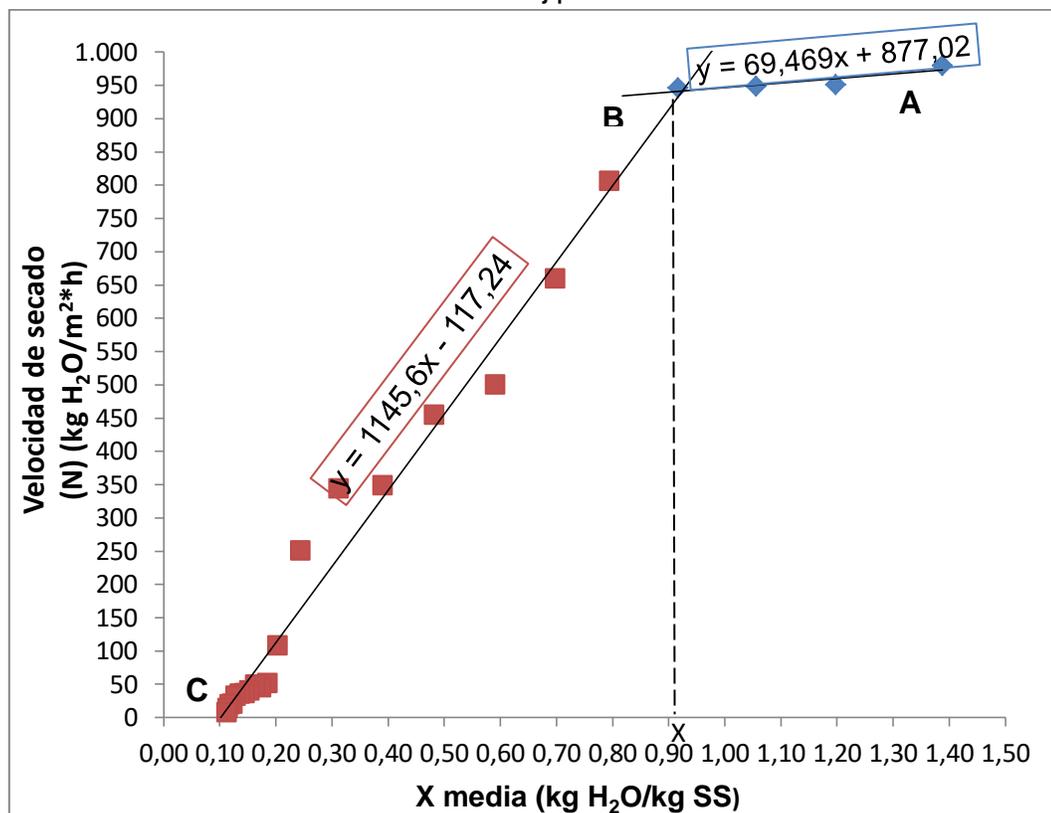
Dónde:

N= Velocidad de secado

X media= Contenido de humedad media

En la Figura 4.1, muestra la curva ajustada de la cinética de secado del almidón de Ajipa y la humedad media en base seca, a partir de datos obtenidos en condiciones experimentales establecidas en el laboratorio

Figura 4.1. Cinética en la operación de secado para obtener almidón de Ajipa



Fuente: Elaboración propia.

En la Figura 4.13, se muestra el comportamiento del contenido de humedad media; en relación con la velocidad de secado donde se puede establecer dos tramos distintos:

El período ante crítico (tramo A-B), cuya velocidad es relativamente constante hasta que el contenido de humedad de las muestras alcanza un valor crítico, cuya expresión matemática ajustada, se demuestra en la ecuación 4.3.

$$y = 69,469x + 877,02 \quad (\text{Ec. 4.3})$$

El período post crítico representa el (tramos B-C) donde la velocidad de secado, decrece linealmente hasta que el contenido de humedad de las muestras alcance el valor de equilibrio; cuya expresión matemática ajustada, se demuestra en la ecuación 4.4.

$$y = 1145,6x + 117,24 \quad (\text{Ec. 4.4})$$

#### **4.4. ANÁLISIS FÍSICOQUÍMICO Y MICROBIOLÓGICO DEL PRODUCTO FINAL**

##### **4.4.1. ANÁLISIS FÍSICOQUÍMICO DEL ALMIDÓN DE AJIPA**

La tabla 4.14, muestra el resultado del análisis fisicoquímico realizado al almidón de ajipa (anexo A), obtenido de la operación de desagregado en el proceso de extracción. El mismo fue realizado en el CEANID.

Tabla 4.14. Análisis fisicoquímico del almidón de ajipa

Parámetro fisicoquímico	Unidad	Resultado
<b>Humedad</b>	%	6,26

Fuente: CEANID, 2017

En la tabla 4.14 se observa que el almidón de ajipa tiene un contenido de 6,26 g de agua en 100 g de almidon, por lo que se encuentra con un valor inferior a los almidones comerciales por tanto no representa riesgo para la proliferación de microorganismos.

En la tabla 4.15, se muestra el resultado del análisis fisicoquímico realizado al almidón de ajipa (anexo A), obtenido de la operación de desagregado en el proceso de extracción. El mismo fue realizado en el CIDTA.

Tabla 4.15. Análisis fisicoquímico del almidón de ajipa

Parámetro fisicoquímico	Unidad	Resultado
<b>Almidón</b>	g/100 g	60,40

Fuente: CIDTA, 2017

En la tabla 4.15 se muestran los resultados del contenido de almidón del producto final, el mismo tiene un valor de 60,40 g en 100 g de almidón de ajipa, por lo que se considera que el producto final cuenta con una pureza de 60,40%.

En la tabla 4.16 y 4.17, se muestran los resultados de los análisis fisicoquímicos realizados al producto final (almidón de ajipa), (anexo A). Los mismos fueron realizados en el IIQ.

Tabla 4.16. Análisis fisicoquímico del almidón de ajipa

Parámetro fisicoquímico	Unidad	Resultado
Relación amilosa-amilopectina	%	12,05±0,4 - 87,95±0,4

Fuente: IIQ, 2017

En la tabla 4.16 se observa que el contenido de amilosa corresponde a 12,05%, mientras que la amilopectina tiene un valor de 87,95%, por lo que se puede asumir que se trata de un almidón rico en amilosa.

Tabla 4.17. Análisis fisicoquímico del almidón de ajipa

Parámetro fisicoquímico	Unidad	Resultado
<b>color</b>	L= Luminosidad hue (h°)= Especifica el croma Chroma (C)= Denota el ángulo en una medición polar	L = 92.5 ± 0.7 hue (h°) = 86.7 ± 0.5 Chroma (C) = 4.2 ± 0.4

Fuente: IIQ, 2017

En la tabla 4.17, se observa que el valor de  $L = 92.5$  lo cual nos indica que es un almidón bastante blanco debido a que un valor de  $L=0$  significa que es negro o posee absorción total, mientras que un valor de  $L=100$  significa luminosidad total, para demostrar este efecto se optó por calcular el IB (índice de blancura), el cual representa la blancura total de la muestra ( $IB=100$ ), de acuerdo a la ecuación descrita por Chin-Lin et al. (2003).

$$IB = 100 - \sqrt{(100 - L)^2 + a^2 + b^2}$$

$$IB = 100 - \sqrt{(100 - 92,5)^2 + (-0,061)^2 + (-1,061)^2}$$

$$IB = 92,42$$

Donde  $a$  y  $b$  fueron obtenidas gracias a la correlaciones descritas en X-Rite, Incorporated – World Headquarters (2002)

$$L^* = 116 (Y/Y_n)^{1/3} - 16$$

$$a^* = 500 [(X/X_n)^{1/3} - (Y/Y_n)^{1/3}]$$

$$b^* = 200 [(Y/Y_n)^{1/3} - (Z/Z_n)^{1/3}]$$

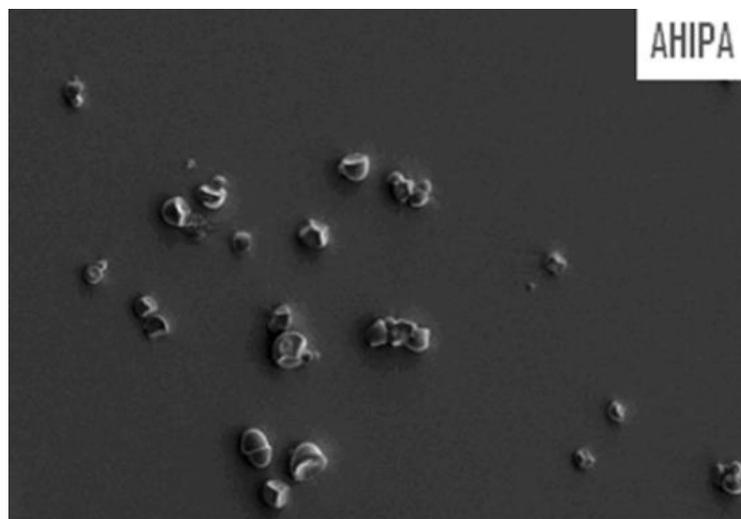
$$L^* = 116 (Y/Y_n)^{1/3} - 16$$

$$C^* = (a^2 + b^2)^{1/2}$$

$$h^\circ = \arctan (b^*/a^*)$$

- **Micrografía**

Figura 4.2. Micrografía de los gránulos del almidón



Fuente: IIQ, 2017

Tabla 4.18. Microscopía de los gránulos del almidón

Diámetro promedio ( $\mu\text{m}$ )	Diámetro equivalente del círculo ( $\mu\text{m}$ )
11,5 $\pm$ 4,3	9,2 $\pm$ 3,3

Fuente: IIQ, 2017

- En la figura 4.2, se observa que los gránulos de almidón de ajipa no se asociaron como racimos al igual que los almidones de maíz, yuca y trigo.
- Estos gránulos exhibieron formas redondas y poligonales con bordes irregulares.
- También se puede observar que los gránulos no fueron dañados durante el procedimiento de extracción del almidón, ya que se observaron superficies lisas sin grietas.
- Gránulos de almidón de ajipa exhibieron tamaño monomodal recto en distribuciones que variaban entre 4 y 22  $\mu\text{m}$ , con un valor medio de 11,5  $\pm$  4,3  $\mu\text{m}$ .

#### 4.4.2. ANÁLISIS MICROBIOLÓGICO DEL ALMIDÓN DE AJIPA

La tabla 4.17, muestra los resultados de los análisis microbiológicos realizados al almidón de ajipa obtenido de la operación de tamizado en el proceso de extracción (Anexo A).

Tabla 4.19. Análisis microbiológico del almidón de ajipa

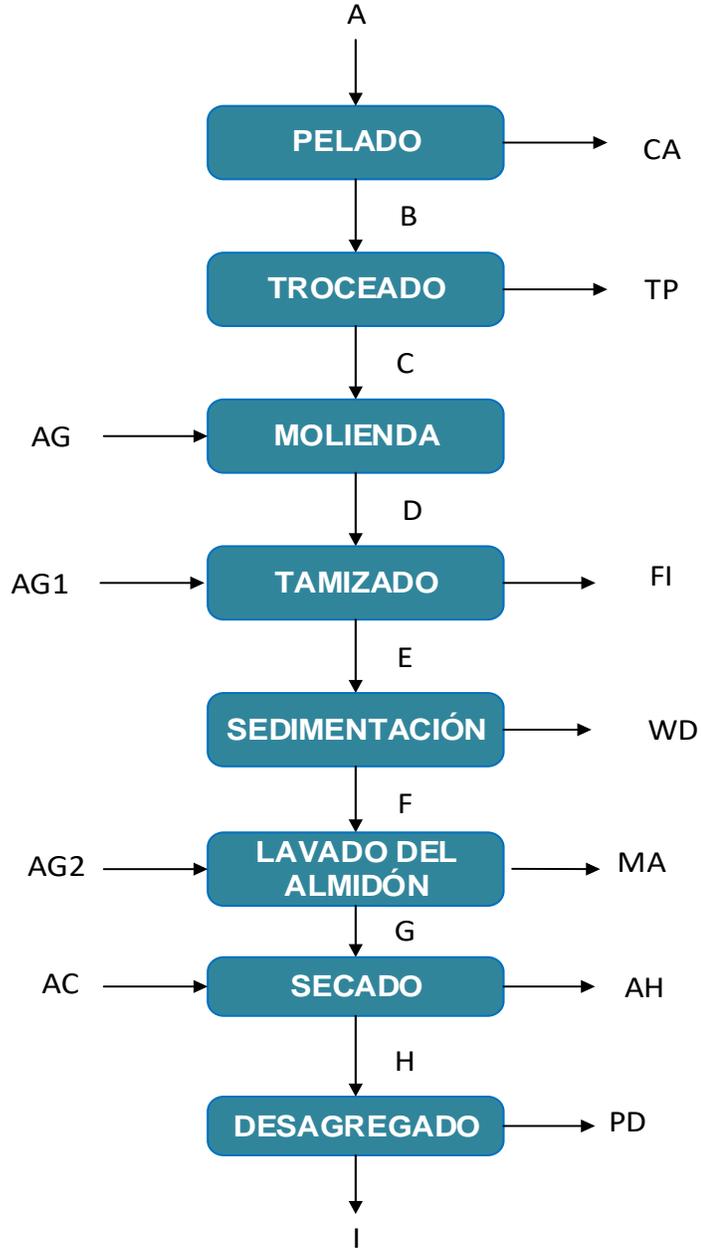
Parámetro	Unidad	Resultado
<b>Bacterias aerobias mesófilas</b>	UFC/g	$9,7 \times 10^3$
<b>Coliformes totales</b>	UFC/g	$8,5 \times 10^2$
<b>Mohos y levaduras</b>	UFC/g	$2,5 \times 10^2$

Fuente: CEANID, 2017

#### 4.5. BALANCE DE MATERIA PARA LA OBTENCIÓN DE ALMIDÓN DE AJIPA

El balance de materia para la extracción de almidón de ajipa se realizó tomando en cuenta el diagrama de bloques presentado en el diagrama 4.1.

Diagrama 4.1.  
Diagrama de bloques del balance de materia en el proceso de extracción de almidón de ajipa



Fuente: Elaboración propia.

Dónde:

A = Cantidad de ajipa (g)

B = Cantidad de ajipa sin cáscara (g)

C = Cantidad de ajipa troceada (g)

D = Cantidad de ajipa molida (g)

E = Cantidad de lechada de almidón de ajipa (g)

F = Cantidad de almidón precipitado (g)

G = Cantidad de almidón lavado (g)

H = Cantidad de almidón seco (g)

I = Cantidad de almidón de ajipa (g)

CA = Cantidad de cáscaras de ajipa (g)

TP = Cantidad de ajipa perdida en el troceado (g)

AG = Cantidad de agua que ingresa a la molienda húmeda (g)

AG1 = cantidad de agua que ingresa al tamizado (g)

FI = Cantidad de fibra húmeda (g)

WD = Cantidad de agua (g)

AG2 = Cantidad de agua que regresa al lavado del almidón (g)

MA = Cantidad de mancha de almidón con agua (g)

AC = Cantidad de aire caliente (g)

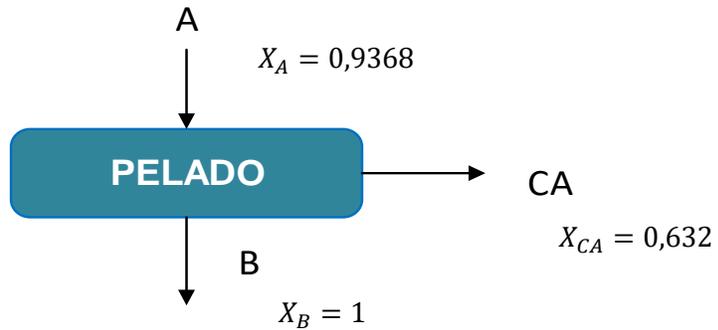
AH = Cantidad de aire húmedo (g)

PD = Cantidad de almidón perdido en el desagregado (g)

#### **4.5.1. BALANCE DE MATERIA PARA EL PELADO**

En el diagrama 4.2, se muestra el bloque que representa la operación del pelado el cual se realizó con 1082,13 g de ajipa, la cual tiene 93,68% de porción comestible, la diferencia le corresponde al contenido de cáscara que llega a ser un 6,32%. Que cantidad de materia se inició

Diagrama 4.2.  
Descascarado de la materia prima ajipa



Balance de materia global de la operación de pelado

$$A = B + CA \quad \text{Ec 4.5.}$$

Balance de materia parcial para la porción comestible

$$AX_A^{PC} = BX_B^{PC} + CA X_{CA}^{PC} \quad \text{Ec 4.6.}$$

Despejando B de la ec 4.6.

$$B = \frac{AX_A^{PC}}{X_B^{PC}} = \frac{1082,13 \times 0,9368}{1}$$

$$B = 1013,74 \text{ g}$$

Despejando CA la ec, 4.5

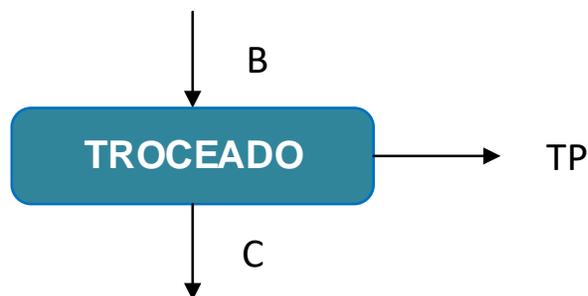
$$CA = A - B \quad \text{Ec 4.7.}$$

$$C = 1082,13 - 1013,74 = 68,39 \text{ g}$$

#### 4.5.2. BALANCE DE MATERIA PARA EL TROCEADO

En el diagrama 4.3, se muestra el bloque que representa la operación de troceado la cual se realizó con 1013,74 g de ajipa y al trocear las mismas se perdió la cantidad de 13,19 g de materia prima.

Diagrama 4.3.  
Troceado de la ajipa



Balance de materia global de la operación de troceado

$$B = C + TP \quad \text{Ec 4.8.}$$

Despejando C de la ec 4.8.

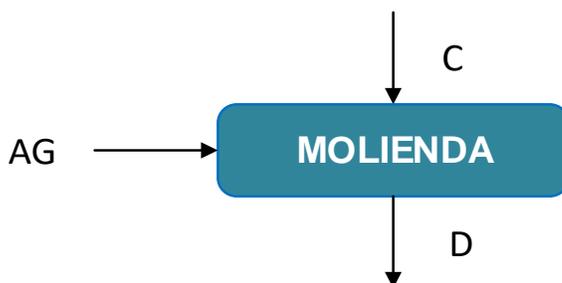
$$C = B - TP \quad \text{Ec 4.9.}$$

$$C = 1013,74 - 13,19 = 1000,55 \text{ g}$$

#### 4.5.3. BALANCE DE MATERIA PARA LA MOLIENDA HÚMEDA

En el diagrama 4.4, se muestra el bloque que representa la operación de limpieza la cual se realizó con 1000,55 g de ajipa troceada y para realizar la operación se agregó agua en relación de 1:1 de la materia prima.

Diagrama 4.4.  
Molienda de los trozos de ajipa



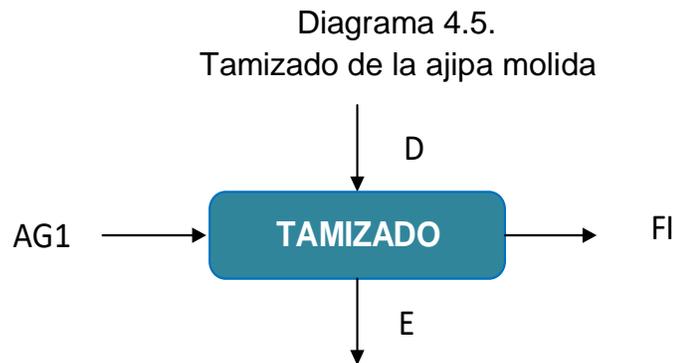
Balance de materia global de la operación de molienda

$$C + AG = D \quad \text{Ec 4.10.}$$

$$\therefore D = 1000,55 + 1000,55 = 2001,1 \text{ g}$$

#### 4.5.4. BALANCE DE MATERIA PARA EL TAMIZADO

En el diagrama 4.5, se muestra el bloque que representa la operación de tamizado la cual se dio inicio con 2001,10 g, en la cual se introdujo 1042,36 g de agua, se separó un 6,72% de fibra húmeda en función al peso de la masa molida.



Balance de materia global de la operación de tamizado

$$D + AG1 = FI + E \quad \text{Ec 4.11.}$$

Aquí:

$$FI = D \times 6,72\% \quad \text{Ec 4.12.}$$

$$FI = 2001,1 \times 0,0672 = 134,47 \text{ g}$$

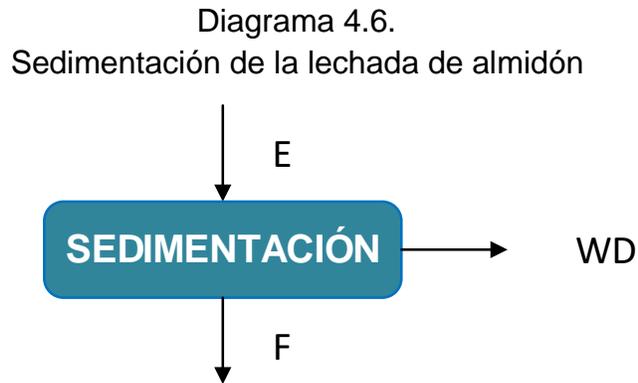
Despejando E de la ec 4.11.

$$E = D + AG1 - FI \quad \text{Ec 4.13.}$$

$$E = 2001,1 + 1042,36 - 134,47 = \mathbf{2908,99 \text{ g}}$$

#### 4.5.5. BALANCE DE MATERIA PARA LA SEDIMENTACIÓN

En el diagrama 4.6, se muestra el bloque que representa la operación de sedimentación la cual se realizó con 2908,99 g de la lechada de almidón de ajipa y al realizar la decantación se eliminó 2727,05 g de agua.



Balance de materia global de la operación de sedimentación

$$E = F + WD \quad \text{Ec 4.14.}$$

Despejando F de la ec 4.14.

$$F = E - WD \quad \text{Ec 4.15.}$$

$$F = 2908,99 - 2727,05 = 181,94 \text{ g}$$

#### 4.5.6. BALANCE DE MATERIA PARA EL LAVADO DEL ALMIDÓN

En el diagrama 4.7, se muestra el bloque que representa la operación del lavado del almidón el cual inicia con 189,94 g del almidón, donde entra una corriente de agua que es el 15% en función del almidón decantado y sale una mancha de almidón de 30,39 g.

Diagrama 4.7.  
Lavado del almidón



Balance de materia global

$$F + AG2 = G + MA \quad \text{Ec4.16.}$$

Aquí:

$$AG2 = F \times 15\% \quad \text{Ec 4.17.}$$

$$AG2 = 181,94 \times 0,15 = 27,29 \text{ g}$$

Despejando G de la ec 4.16.

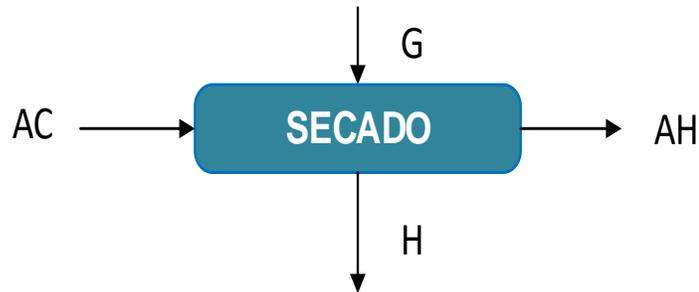
$$G = F + AG - MA \quad \text{Ec 4.18.}$$

$$G = 181,94 + 27,29 - 30,39 = 178,84 \text{ g}$$

#### 4.5.7. BALANCE DE MATERIA PARA EL SECADO DEL ALMIDÓN

En el diagrama 4.8, se detalla la operación de secado del almidón, para realizar el balance de materia se consideró la cantidad de almidón húmedo entrante al secador es de 178,84 g, mientras que el flujo de aire que ingresa (AC), el aire húmedo que sale (AH) y la cantidad de almidón seco (H) se encuentran como incógnitas.

Diagrama 4.8.  
Secado del almidón



Balance de materia global para la operación de secado

$$G + AC = H + AH \quad \text{Ec 4.19.}$$

Balance parcial en base seca

$$GW_G + ACY_{AC} = HW_H + AHY_{AH} \quad \text{Ec 4.20.}$$

Aquí:

$$G = H = G_1$$

$$AC = AH = A_1$$

Reordenando la ec. 4.20.

$$G_1W_6 + A_1Y_{AC} = G_1WH_H + A_1Y_{AH} \quad \text{Ec 4.21.}$$

$$G_1W_6 + G_1W_H = A_1Y_{AH} + A_1Y_{AC} \quad \text{Ec 4.22.}$$

$$G_1(W_6 + W_H) = A_1(Y_{AH} + Y_{AC}) \quad \text{Ec 4.23.}$$

La tabla 4.18 muestra los resultados obtenidos de las propiedades psicrométricas del aire de entrada y salida del secador. Las cuales fueron determinadas, utilizando un software Akton de psicrometría (Martínez - Arnold, 1996), según las condiciones de presión 610,05 mmHg de la ciudad de Tarija (Geografía y vida, 2000; citada en Flores, 2006).

Tabla 4.20. Propiedades psicrométricas del aire

Propiedades	Aire frío	Aire caliente	Aire saturado
Tbs (°C)	24,2	60,0	46,0
Tbh (°C)	17,0	25,6	24,3
HR (%)	52,2	7,99	19,5
Y (kg agua/kg aire)	0,0123	0,0123	0,0153
H (KJ/kg)	55,44	92,23	85,58
V <sub>e</sub> (m <sup>3</sup> /kg)	1,07	1,198	1,153

Fuente: Martínez-Arnold, 1996

Dónde:

HR = Humedad relativa (%)

Y = Humedad absoluta (kg agua/kg aire)

H = Entalpía (KJ/kg)

V<sub>e</sub> = volumen específico (m<sup>3</sup>/kg)

Para calcular la cantidad de sólido seco del alimento se tomó en cuenta la expresión matemática (4.2), reordenándola en función de la figura 4.17, tenemos:

Ec 4.24.

$$m_{ss} = G \times X_6^s$$

$$m_{ss} = 178,84 \times 0,40$$

$$m_{ss} = 71,536 \text{ g}$$

Para calcular la cantidad de agua evaporada en el secador, se utiliza la expresión matemática (4.28), citada por valiente, 1994.

$$AE = A_1 \times (X_6 - X_H) \quad \text{Ec 4.25.}$$

Dónde:

AH = Cantidad de agua evaporada en (g)

m<sub>ss</sub> = masa del sólido seco (g)

$X_6$  = Cantidad de humedad en base seca del almidón (g de agua/g de sólido seco)

$X_H$  = Cantidad de humedad en base seca del producto deshidratado (g de agua/g de sólido seco)

$$X_6 = 1,50 \frac{g \text{ de } H_2O}{g \text{ S.S}} \quad \text{Extraído de la tabla 4.5.}$$

$$X_H = 0,112 \frac{g \text{ de } H_2O}{g \text{ S.S}} \quad \text{Extraído de la tabla 4.5.}$$

$$AE = 71,53 \times (1,50 - 0,112) = 99,32 \text{ g}$$

Despejando de la ec. 4.22:

$$G_1 = \frac{A_1 \times (Y_{AH} - Y_{AC})}{(W_6 - W_H)} \quad \text{Ec 4.26.}$$

$$G_1 = \frac{99,32}{0,0153 - 0,0123} = 33106,67 \text{ g de aire seco}$$

$$G_1 = \frac{33106,67}{9,583} = 3454,73 \frac{g \text{ de aire seco}}{h} = m_{aire}$$

Según (Valiente, 1994), el volumen específico del aire está dado por la siguiente expresión:

$$G_0 = G_1 \times V_H \quad \text{Ec 4.27.}$$

Dónde:

$G_1$  = Flujo másico de aire seco en (g/l)

$V_H$  = Volumen específico del aire húmedo ( $m^3/g$ )

$$V_H = 1,153 \frac{m^3}{kg} = 0,001153 \frac{m^3}{g} \quad \text{Extraído de la tabla 4.5.}$$

$$G_0 = 3454,73 \frac{g}{h} \times 0,001153 \frac{m^3}{g} = 3,98 \frac{m^3}{h}$$

Ec 4.28.

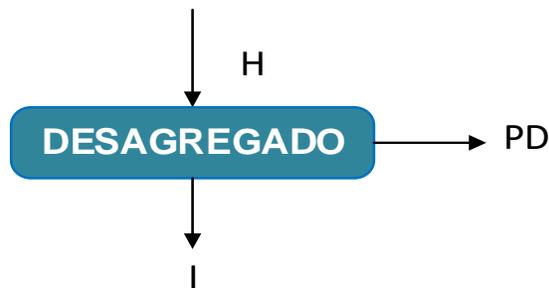
$$\therefore H = G - AE$$

$$H = 178,84 - 99,32 = 79,52 \text{ g}$$

#### 4.5.8. BALANCE DE MATERIA PARA EL DESAGREGADO DEL ALMIDÓN

En el diagrama 4.9, se muestra el bloque que representa la operación de desagregado del almidón el cual inicia con 79,52 g del almidón, de la cual se acumuló 2,1% en el molino con respecto al flujo de ingreso.

Diagrama 4.9.  
Desagregado del almidón



Balance de materia global para la operación de desagregado

$$H = I + PD \quad \text{Ec 4.29.}$$

Aquí:

$$PD = H \times 2,1\% \quad \text{Ec 4.30.}$$

$$PD = 79,52 \times 0,021 = 1,67 \text{ g}$$

Despejando I de la ec 4.29.

$$I = H - PD \quad \text{Ec 4.31.}$$

$$I = 79,52 - 1,67$$

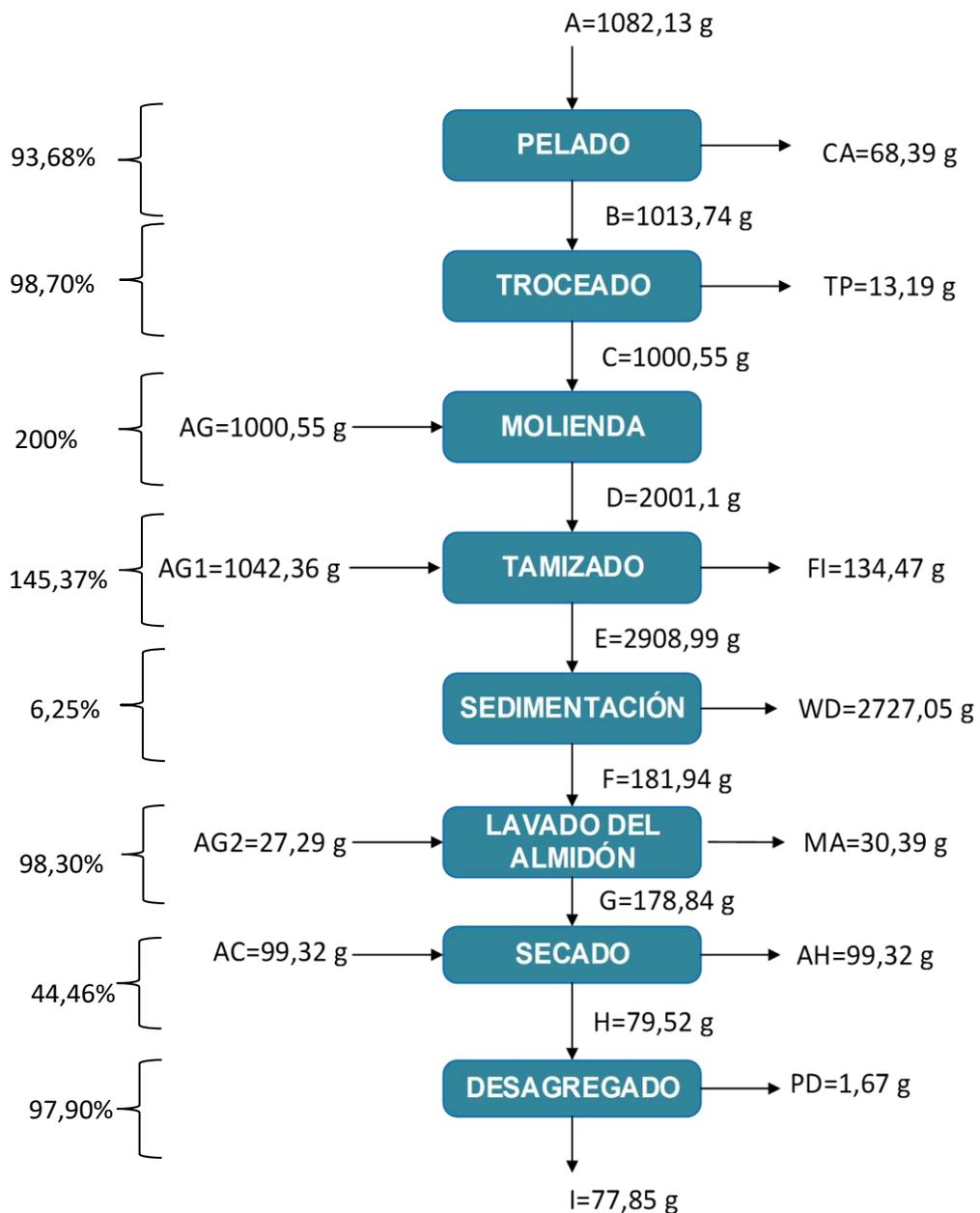
$$I = 77,85 \text{ g}$$

#### 4.6. RESUMEN GENERAL DEL BALANCE DE MATERIA

En el diagrama 4.10, se muestra el resumen general del balance de materia en el proceso de extracción de almidón a partir de ajipa.

Diagrama 4.10.

Resumen general del balance de materia y rendimiento en el proceso de obtención de almidón de ajipa



Fuente: Elaboración propia.

#### 4.7. RENDIMIENTO EN EL PROCESO DE EXTRACCIÓN DE ALMIDÓN A PARTIR DE AJIPA

$$\text{Rendimiento \%} = \frac{\text{Almidón Obtenido (g)}}{\text{Pulpa Comestible (g)} \times 0,21} \times 100$$

$$\text{Rendimiento \%} = \frac{77.85 \text{ g}}{1013.74 \text{ g} \times 0,21} \times 100$$

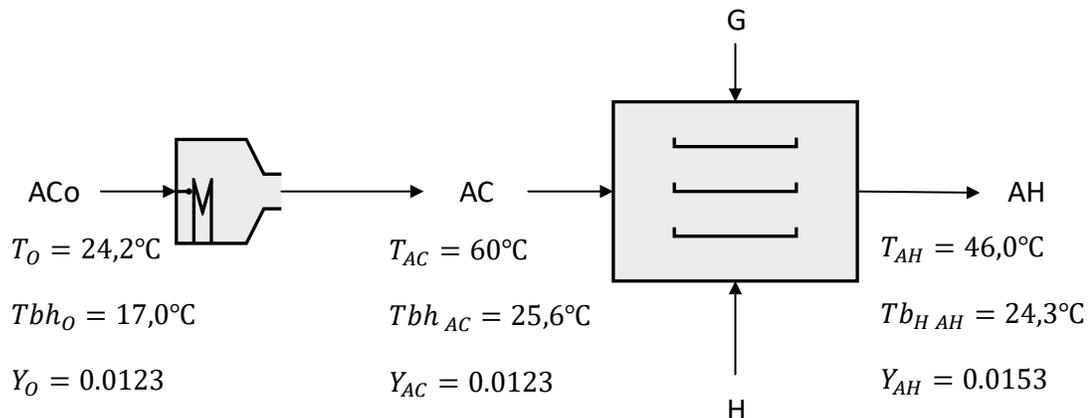
$$\text{Rendimiento} = 36,55 \%$$

#### 4.8. BALANCE DE ENERGÍA EN EL PROCESO PARA LA OBTENCIÓN DE ALMIDÓN DE AJIPA

El balance de energía para el proceso de extracción de almidón de ajipa se realizó tomando en cuenta el diagrama 4.11.

Diagrama 4.11.

Balance de energía de la operación de secado del almidón húmedo



Dónde:

G = Cantidad de almidón húmedo (g)

H = Cantidad de almidón seco (g)

AC<sub>0</sub> = Cantidad de aire frío (g)

T<sub>0</sub> = Temperatura de bulbo seco del ambiente (°C)

Tbh<sub>0</sub> = Temperatura de bulbo húmedo del ambiente (°C)

$Y_o$  = humedad absoluta del ambiente (kg agua/kg aire seco)

AC = cantidad de aire caliente (g)

$T_{AC}$  = temperatura del aire caliente ( $^{\circ}C$ )

$T_{bh_{AC}}$  = Temperatura de bulbo húmedo del aire caliente ( $^{\circ}C$ )

$Y_{AC}$  = humedad absoluta del aire caliente (kg agua/kg aire seco)

AH = Cantidad de aire húmedo saturado (g)

$T_{AH}$  = temperatura del aire caliente ( $^{\circ}C$ )

$T_{bh_{AH}}$  = Temperatura de bulbo húmedo del aire caliente ( $^{\circ}C$ )

$Y_{AH}$  = humedad absoluta del aire caliente (kg agua/kg aire seco)

$$H(Ep_H + Ec_H + EPe_H + U_H) - G(Ep_G + Ec_G + EPe_G + U_G) + \frac{d}{d\theta}(U\rho V) = Q - \tau \quad \text{Ec. 4.32.}$$

Dónde:

$Ep$  = energía potencial

$EC$  = Energía cinética

$EP_e$  = energía de presión

$U$  = Energía interna

$C, E$  = Flujo másico

$V$  = Volumen

$P$  = densidad

$T$  = Trabajo

$Q$  = Calor

Por definición:

$$H = U + PV \quad \text{Ec.4.33.}$$

Dónde:

$H$  = Entalpía

Aquí:

$$\Delta H_{aire} = H_f - H_i = C_{p_{aire}} \times \Delta T_{aire} \quad \text{Ec. 4.34.}$$

$$\therefore Q = m_{aire} \times \Delta H_{aire} \quad \text{Ec. 4.35.}$$

$$Q = m_{aire} (C_{p_{aire}} + C_{p_{vapor}} \times Y_o) \times \Delta T_{aire} \quad \text{Ec. 4.36.}$$

Dónde:

$$m_{aire} = 33106,67 \text{ g}$$

$$Y_o = 0,0123$$

$$T_{secado} = 60 \text{ }^\circ\text{C}$$

$$T_i = 24,2 \text{ }^\circ\text{C}$$

Según la tabla de termodinámica para ingenieros M. C Potter:

$$C_{p_{aire}} = 1,01 \text{ KJ/Kg }^\circ\text{C}$$

$$C_{p_{vapor}} = 1,93 \text{ KJ/Kg }^\circ\text{C}$$

$$Q = 33,107 \text{ kg} \left( 1,01 \frac{\text{KJ}}{\text{Kg }^\circ\text{C}} + 1,93 \frac{\text{KJ}}{\text{Kg }^\circ\text{C}} \times 0,0123 \right) \times (60 - 24,4)^\circ\text{C}$$

$$Q = 1218,36 \text{ KJ}$$

**CAPÍTULO V**

**CONCLUSIONES Y  
RECOMENDACIONES**

## 5.1. CONCLUSIONES

En el presente trabajo experimental de extracción de almidón a partir de ajipa, según los resultados obtenidos se llegó a las siguientes conclusiones:

De acuerdo a las propiedades físicas determinadas en la raíz tuberosa de ajipa procedente de la comunidad de Pampa Grande perteneciente a la primera sección de la provincia Méndez, se pudo establecer la longitud promedio de 13.82cm, diámetro promedio de 6.55cm, peso promedio de 216.29g, porción comestible de 93.68% y mientras que la porción no comestible de 6.92% en peso.

Según los ensayos fisicoquímicos realizados a la raíz tuberosa de la ajipa presento un contenido de humedad de 78.99%, ceniza 0.40%, azúcares totales 17.98%, proteína 2.53%, grasa 0.10%, fibra 1.20%, contenido de almidón de 18.05g por cada 100g de ajipa y un valor energético de 82.94 kcal/100g.

Según los ensayos microbiológicos realizados a la raíz tuberosa de la ajipa por el Centro de Análisis de Investigación y Desarrollo (CEANID), presento  $5 \times 10^1$ ,  $< 10$  y  $3 \times 10^1$  Unidades Formadoras de Colonias (UFC) por cada gramo de ajipa, para recuentos de bacterias mesófilas aerobias, coliformes totales y mohos y levaduras respectivamente, todos esos valores se encuentran dentro de los límites permisibles de aceptabilidad.

Según las variables analizadas en la operación de sedimentación se pudo apreciar que la cantidad de almidón sedimentado se ve incrementada al combinar los factores T1 y t2 (temperatura de 5°C y tiempo de 8 horas), a comparación de las combinaciones T1-t1 (5°C y 6h); T2-t1 (25°C y 6h) y T2-t2 (25° y 8h), por lo que es el tratamiento adecuado para proseguir con el proceso.

Conforme los resultados del diseño factorial perteneciente a la operación de sedimentación se pudo constatar que las variables T (temperatura), t (tiempo) y la interacción (T-t) existe diferencia significativa, por lo cual estas variables y la interacción tienen significancia dentro de la operación de sedimentación.

Con respecto a las variables analizadas en la operación de secado se pudo asumir que esta operación se favorecida debido a que el contenido de humedad en base seca es inferior al combinar los factores T2-V1-E1 (temperatura 60°C, velocidad del aire 3m/s y espesor de la capa de 0.5 cm), este valor de humedad corresponde a 0.112 kg de agua/ kg de solido seco alcanzado en 9 horas con 35 minutos, a comparación de los demás tratamientos que pierden menos humedad en el mismo lapso de tiempo.

De acuerdo con los resultados del diseño factorial perteneciente a la operación de secado se pudo constatar que las variables (T) temperatura, (t) tiempo, (E) espesor y las interacciones (T.V), (T.E), (V.E) y (TVE), existe diferencia significativa, por lo cual estas variables y la interacción tienen significancia dentro de la operación de secado.

Conforme el resultado obtenido del análisis fisicoquímico realizado al almidón de ajipa se pudo comprobar que tiene un contenido de humedad de 6.26%.

De acuerdo al resultado obtenido del ensayo fisicoquímico realizado por el instituto de investigación química (IIQ) se pudo evidenciar que el almidón de ajipa posee un 12,05±0,4% de amilosa mientras que por diferencia se calcula que tiene un 87,95,04% de amilopectina, lo cual lo convierte un almidón rico en amilopectina.

Con respecto al color del almidón se estableció que este posee un IB (índice de blancura) de 92,42 y una luminosidad de 92,5±0,7 ambos en la escala de 0 a 100, estos valores denotan la blancura del producto obtenido.

Mediante las pruebas físicas se logró observar la morfología de los gránulos del almidón extraído, los cuales tienen formas redondas y poligonales con bordes irregulares, estos gránulos poseen tamaño que variaban entre 4 y 22  $\mu\text{m}$ , con un valor medio de  $11,5 \pm 4,3$ ; por lo tanto son catalogados como gránulos pequeños.

De acuerdo al ensayo realizado para la determinación del punto de gelatinización, se evidenció que éste se encuentra en el rango de 75 a 78°C, lo cual es característico de acuerdo al tamaño de gránulo que posee.

Según los ensayos microbiológicos realizados al almidón de ajipa por el Centro de Análisis de Investigación y Desarrollo (CEANID), presentó  $9,7 \times 10^3$ ;  $8,5 \times 10^2$  y  $2,5 \times 10^2$  Unidades Formadoras de Colonias (UFC) por cada gramo de almidón, para recuentos de bacterias mesófilas aerobias, coliformes totales y mohos y levaduras respectivamente, todos esos valores por debajo de los límites máximos de aceptabilidad.

Según los cálculos realizados en el balance de materia se determinó que para obtener 1 kg de almidón de ajipa con un contenido de humedad de 6,26%, se requiere 7,19 kg de ajipa con un contenido de humedad de 78,99%.

El rendimiento del proceso de extracción de almidón a partir de la ajipa se calculó en función a la cantidad de almidón obtenido y la cantidad de pulpa comestible, lo cual dio un resultado de 36,55%.

De acuerdo a los cálculos realizados en el balance de energía se determinó que la cantidad de calor necesaria para secar el almidón sedimentado de 60% de humedad hasta 6,26% de humedad, con un espesor de la capa de 0,5 cm es de 1218,36 KJ.

## 5.2. RECOMENDACIONES

A partir de las conclusiones se elaboran las siguientes recomendaciones:

- Cuantificar la producción de la ajipa en todo el país y en especial en el departamento de Tarija, debido a que no existen estudios estadísticos en ninguna institución, además debido a que este cultivo se encuentra en plena expansión.
- Realizar la extracción de almidón utilizando otro método, para poder comparar el rendimiento de extracción y la calidad del almidón por medio de ensayos fisicoquímicos.
- Continuar con el estudio para la obtención de maltodextrina y/o jarabe de glucosa a partir de almidón, debido a que el objetivo de este trabajo inicialmente era la elaboración de jarabe de glucosa por hidrolisis enzimática, la cual no se realizó por las limitaciones de tiempo, equipamientos e insumos.
- Realizar un estudio de prefactibilidad para el almidón de ajipa obtenido, para determinar el mercado, costos de producción y la correspondiente evaluación económica.