

**CAPÍTULO I**  
**INTRODUCCIÓN**

## I. Introducción

### 1.1. Antecedentes

La planta de cebolla tiene un sistema radicular formado por raíces adventicias que son superficiales y se extienden hasta una profundidad de treinta centímetros. Sin embargo, estas raíces presentan pocos pelos absorbentes, lo que determina una menor capacidad de absorción de la planta, como se muestra en la figura 1 que representa la forma de la cebolla. (Martínez, 2018)

**Figura 1** Cebolla (*Allium cepa* L.) morada variedad mizqueña



**Fuente:** (Rosilla 2023).

En Bolivia el cultivo de la cebolla se distingue entre la producción de cebolla de verdeo y la producción de cebolla en bulbo o seca, la producción nacional de cebolla en bulbo, comprende la mayor parte de la superficie cultivada. El área cosechada de cebolla en conjunto logró alcanzar 7,102 hectáreas en la campaña agrícola 2018-2019, algo menor a lo observado en la campaña anterior, pero que debido a una mejora en los rendimientos se logró incrementar los volúmenes de producción hasta alrededor de 89,98 mil toneladas en dicha campaña. (DAPRO, 2020)

En Bolivia las principales regiones productoras son Cochabamba, Chuquisaca, Santa Cruz y La Paz y Tarija. (Barro, A. 2018)

El uso tradicional de la cebolla es como condimento de las comidas y es componente importante en las ensaladas y alimentos de mucho consumo en la actualidad, también tiene propiedades medicinales relacionadas con tratamientos de la diabetes, el cáncer, el asma y otros. (Barro, A. 2018)

La deshidratación o secado es uno de los métodos más antiguos de conservación de alimentos y también uno de los más utilizados en la actualidad, el secado tiene como propósito la eliminación parcial o total del agua contenida en un alimento húmedo. La cebolla deshidratada es uno de los productos más importantes elaborados a partir de esta hortaliza. (Nevárez, R. 2016)

## **1.2. Objetivos**

### **1.2.1. Objetivo general**

Obtener polvo de cebolla (*Allium cepa* L.) morada de variedad mizqueña empleando el proceso de deshidratado por aire caliente con el fin de valorizar la materia prima (cebolla).

### **1.2.2. Objetivos específicos**

- Caracterizar la materia prima (*Allium cepa* L.), con el propósito de conocer las propiedades fisicoquímicas.
- Caracterizar las propiedades microbiológicas de la materia prima (*Allium cepa* L.) y producto final.
- Realizar la parte experimental del proceso, con la finalidad de obtener el producto final.
- Caracterizar las propiedades fisicoquímicas y microbiológicas del producto final o cebolla en polvo.

- Determinar el rendimiento alcanzado del proceso experimental de la elaboración que fue seleccionado.
- Realizar el envasado al vacío para mantener la calidad del producto final en bolsas gofradas.

### **1.3. Justificación**

#### **1.3.1. Justificación económica**

La aplicación de esta práctica representa una oportunidad importante debido a que la producción de cebolla en polvo contribuirá a la diversificación de sus usos, como ser en la industria alimenticia, farmacéutica así también en el área de la cosmética, que puede y debe ser aprovechado por los productores, evitando la sobre oferta del producto natural en el mercado que genera la caída de los precios en épocas de abundancia y que no favorece al productor.

Se busca darles una utilidad a las grandes producciones de cebolla en la ciudad de Tarija, además su aprovechamiento podría fortalecer la economía del país, mediante la conversión de esta materia prima de relativo bajo costo en polvo que podrían ser de elevado valor en el mercado por su diverso uso.

#### **1.3.2. Justificación tecnológica**

El presente trabajo refleja el proceso productivo de elaboración de cebolla en polvo, es por ello que se procura recabar y utilizar toda la información científica y tecnológica para llevar a cabo el desarrollo requerido maximizando el rendimiento y potenciar la industrialización de la cebolla.

Tomando en cuenta que los equipos e insumos necesarios para la obtención de polvo de cebolla, tienen precios accesibles y son de gran alcance en el mercado local; esto facilita a los productores la oportunidad de elaborar cebolla en polvo, para posterior ser comercializada generando un ingreso económico adicional en sus ventas.

### **1.3.3. Justificación social**

El presente trabajo de investigación contribuirá principalmente al sector agrícola e industrial generando nuevas fuentes de generación de recursos como así también empleos para la sociedad, con la elaboración de cebolla en polvo producida en el departamento de Tarija, a su vez beneficia al sector gastronómico facilitando su uso considerando el esencial trato que se da a la cebolla a la hora de preparar los alimentos.

Los resultados de la investigación servirán como aporte tecnológico y científico a futuras investigaciones o proyectos que elaboren este nuevo producto, considerando el mercado local y nacional.

### **1.3.4. Justificación ambiental**

Con la obtención de polvo de cebolla se pretende reducir la contaminación que afecta a los diferentes componentes del medio ambiente, a través de la disminución de grandes volúmenes de desperdicios en las orillas de los sembradíos a causa de la sobreproducción y la caída de precios en los mercados locales por los altos índices de acidez en su desintegración, desprenden sustancias tóxicas que generan malos olores contaminando el aire, suelo, de igual manera son arrastrados con el agua contaminando los ríos y afluentes cercanos.

**CAPÍTULO II**  
**MARCO TEÓRICO**

## **II. Marco teórico**

### **2.1. Cebolla**

La cebolla morada o también conocida con nombre científico de *Allium cepa* L. Es una planta bienal que pertenece a la familia de las Liliáceas y que tiene su origen en el sudoeste de Asia, aunque actualmente es cultivada en diferentes regiones del mundo. La cebolla morada es una de las variedades más populares en todo el mundo que no solo destaca por su color tan llamativo o por su reconocible olor. (Ruiz, B. 2017)

La cebolla pertenece al género *Allium*, el más importante de la familia de las Liliáceas, que incluye más de 500 especies. En él se incluyen hortalizas tan conocidas como las cebolletas, el cebollino y el puerro. Muchas de sus especies, como es el caso de la cebolla, forman engrosamientos subterráneos del tallo, conocidos de forma popular como bulbos, y todas ellas son ricas en aceites esenciales sulfurados muy volátiles y picantes. (Eroski, 2023)

#### **2.1.1. Origen de la cebolla**

El origen primario de la cebolla es Asia Central y como centro secundario las costas del Mediterráneo. Las primeras referencias se remontan a (3200 a.C.) Fue cultivada por egipcios, griegos y romanos. En la edad media los romanos introdujeron el cultivo en países mediterráneos, donde se seleccionó variedades de bulbo grande que dieron origen a las variedades modernas. La cebolla llegó a América Central por medio de los primeros colonizadores. (Barro, A. 2018)

En Bolivia se introdujo desde el Perú, con la denominación Arequipeña Roja, primer eco tipo de la Red Creole en Sud América. La Red Creole o Arequipeña Roja, se diseminó rápidamente por las zonas hortícolas de Bolivia así adaptándose y formando eco tipos según las regiones. Siendo así que se van originando la Mizqueña Criolla Rosada, Vinteña, Caramarqueña (Cochabamba y Tarija) son eco tipos rojos y pungentes. (Barro, A. 2018)

### **2.1.2. Definición de la cebolla**

El vocablo latino *cepulla* llegó a nuestra lengua como cebolla. El término alude a una planta de huerta que pertenece al grupo familiar de las liliáceas y se caracteriza por desarrollar un bulbo compuesto por varias capas sucesivas que son comestible y con diversos usos. (Pérez y Gardey, 2017)

Por lo general el concepto de cebolla hace referencia a la planta cuyo nombre científico es *Allium cepa*, aunque existen varios tipos de cebolla que se emplean de diversos modos en la cocina. (Pérez y Gardey, 2017)

La cebolla tiene un sabor algo picante y un aroma muy intenso y característico. Su ingesta contribuye a combatir los efectos del reumatismo, a prevenir la osteoporosis y las infecciones y a proteger el sistema cardiovascular. Esto se debe a que cuenta con potasio, calcio, silicio y fósforo, entre otros nutrientes. (Pérez y Gardey, 2017)

### **2.1.3. Variedad de cebolla**

Define como variedad agronómica a un grupo de plantas semejantes, que por características de estructura y comportamiento se pueden diferenciar de otras variedades de la misma especie. (Machicado, 2022)

Las distintas variedades de cebolla se diferencian entre sí por características morfológicas, biológicas y por híbridas o de polinización abierta (OP). Con las variedades OP se obtienen rendimientos de 15 a 25 t/ha. Con híbridos se puede obtener rendimientos de 30 a 70 t/ha. (Machicado, 2022)

Las variedades de cebolla e híbridos son numerosas y pueden ser clasificados desde diferentes puntos de vista como ser; criterios foto geográficos y ecológicos; forma y color del bulbo; modo de multiplicación; tiempo en que se consume el producto; criterio comercial y utilización del producto. (Machicado, 2022)

En Bolivia la cebolla ocupa el segundo lugar de preferencia por sus diversas formas de consumo, en fresco, hojas o tallos verdes, bulbo seco, deshidratado en polvo, encurtido, existen las siguientes variedades producidas. (Machicado, 2022)



- Blancas: Ica y Blanca
- Amarillas dulces: Century, Yellow, primavera, Mercedes, Ica y Sivan.
- Rojas: Arequipeña, Red Creole, Red Star, Chata de Italia, y los Ecotiposcinteña Mizqueña, Camaneja, Navideña, Globosa, Parotani, Viloma.
- Híbridos: Matahari, Rio tinto, Rosada Milenio y Sivan.

En la figura 2, se muestran algunas variedades más comunes de cebollas.

**Figura 2** Variedades más comunes de la cebolla



**Fuente:** (Centeno, L. 2017)

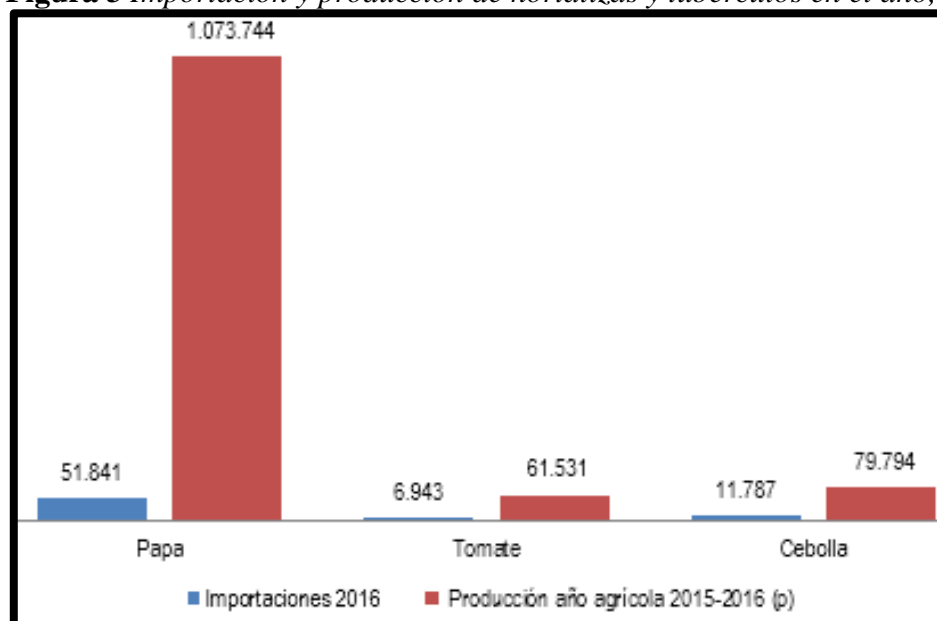
#### **2.1.3.1. Cebolla morada (mizqueña)**

Esta variedad a diferencia de las otras tiene un sabor dulce más pronunciado que de otras variedades, además se destaca mucho por su color y su bulbo grande, globoso y más achatado de otras cebollas tiene un alto contenido de flavonoides, compuestos de azufre y antioxidantes. (Centeno, L. 2017)

### 2.1.4. Producción de cebolla

La producción de cebolla en el año agrícola 2015-2016 fue de 79.794 toneladas y su importación, de 11.787 toneladas de hecho, se importa 14,77% de lo producido en el país, esto equivale a que, de cada 100 toneladas de cebolla, 15 son de importación como se muestra en la siguiente figura 3. (INE, 2017)

**Figura 3** Importación y producción de hortalizas y tubérculos en el año, 2017



**Fuente:** (INE, 2017) Instituto Nacional de Estadística (p) preliminar

#### 2.1.4.1. Zonas productoras de la cebolla

La producción de cebolla en Bolivia es importante por constituir una fuente de alimento indispensable en la dieta del poblador urbano y rural además el valor económico que genera su producción, sobre todo en las zonas de valles. (Barro, A. 2018)

Se calcula en total que nuestro país se cultiva alrededor 9000 ha con un rendimiento promedio de 18 t/ha, siendo las principales zonas productoras Culpina y Las Carreras en Chuquisaca; Mizque, Parotani, Capinota, Sacaba y Sipé Sipe en Cochabamba; El Puente, Cercado y Padcaya en Tarija; Mairana, Saipina, y Comarapa en Santa Cruz; Achacachi, La Huanchaca en La paz y Sopocachi en Oruro. (Barro, A. 2018)

#### **2.1.4.2. Producción de la cebolla morada (mizqueña) en Tarija**

En el departamento de Tarija la cebolla se cultiva en casi todas las provincias excepto el chaco, los rendimientos promedio obtenidos de cebolla fueron del departamento de Tarija 6.560 kg/ha, Cercado 6.500 kg/ha las provincias y la zona de mayor acción es el Municipio del Puente y seguido el municipio de Uriondo conocido como el valle central. (Barro, A. 2018)

#### **2.1.5. Taxonomía de la cebolla**

La cebolla (*Allium cepa* L.) pertenece a la familia de las liliaceae como podemos ver en la siguiente descripción que fue solicitado del Herbario Universitario (T.B.) perteneciente a la Facultad de Ciencias Agrícolas y Forestales de la Universidad Autónoma Juan Misael Saracho.

**Reino:** Vegetal

**Phylum:** Telemophytae

**División:** Tracheophytae

**Sub división:** Anthophyta

**Clase:** Angiospermae

**Sub clase:** Monocotyledoneae

**Orden:** Liliflorales

**Familia:** Liliaceae

**Nombre científico:** *Allium cepa* L.

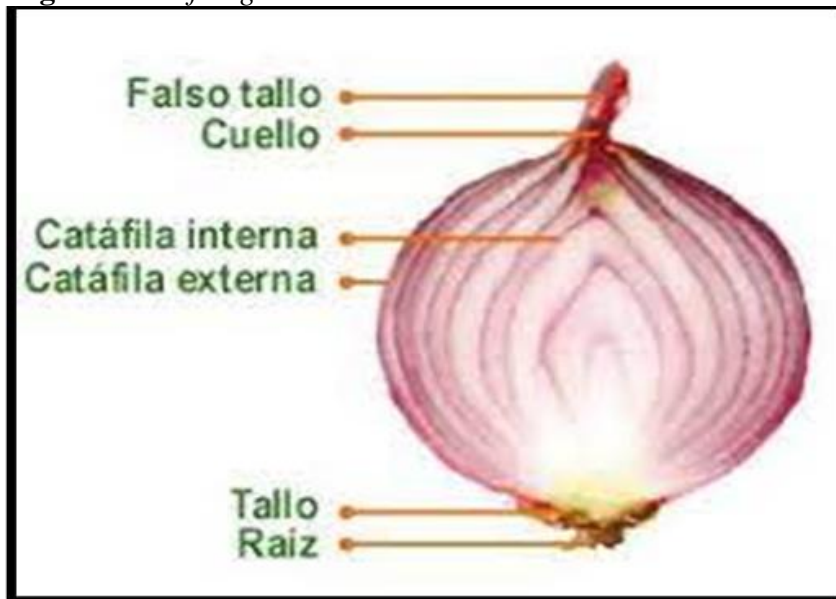
**Nombre común:** Cebolla

**Fuente:** (Acosta y Flores 2023).

### 2.1.6. Morfología de la cebolla

La morfología de una planta de cebolla es bastante peculiar debido a las modificaciones sufridas en órganos como el tallo y las hojas durante los procesos de selección natural y artificial ocurridos en la evolución de cada especie ver la figura 4. (Porta, 2010)

**Figura 4** *Morfología de la cebolla*



**Fuente:** (Porta, 2010)

#### 2.1.6.1. Semilla

La semilla de cebolla es lisa y blanquecina; a medida que va madurando cambia al color negro, pierde agua, y se torna rugosa e irregular. El embrión representa aproximadamente un décimo de la semilla, se encuentra rodeado del endospermo, tejido que contiene reservas de hidratos de carbono, proteínas y grasas. (Sánchez, 1994)

#### 2.1.6.2. Tallo

La cebolla presenta dos tipos de tallos: uno en la base de la planta o bulbo, representado por un disco subsónico de entrenudos muy cortos, y el otro tallo lo constituyen los escapos florales, desarrollados sobre la yema central o yemas axilares, y éstos pueden llegar a medir de 0,60 a 1,50 m de altura. El escapo es hueco y presenta una dilatación en la mitad inferior del mismo, una planta puede tener de uno a 12 tallos o escapos. (Sánchez, 1994)

### 2.1.6.3. Bulbo

Se trata de órganos subterráneos que las plantas utilizan como reserva de nutrientes. No son raíces ni tallos, los bulbos son solo la base de las hojas. Sí es así, los bulbos no son más que la base de las hojas de las plantas bulbosas, hojas que tienen la capacidad de aumentar de grosor. (Petter, 2016)

- Catafilos o capas: son la parte baja de las hojas que se engrosa cuando la planta almacena nutrientes en ellas.
- Disco o platillo basal: es una zona con forma circular que se encuentra por debajo del bulbo y las raíces.
- Túnica: es la envoltura exterior del bulbo, una capa fina que lo protege evitando que se deshidrate.
- Vástagos o yemas: parten del disco basal, al igual que las raíces, y tienen la capacidad de formar nuevas hojas o el tallo floral.

### 2.1.7. Composición química de la cebolla

En general, la cebolla presenta tabla 1 aproximadamente un 89,7 % de agua, es baja en calorías y tiene un contenido moderadamente alto de azúcares y fibra. Sin embargo, presenta un bajo nivel de lípidos y proteínas, siendo los aminoácidos más abundantes la arginina y el ácido glutámico. (Benítez, 2011)

**Tabla 1** Principales composición de la cebolla (% materia fresca) y valor calórico (kcal/100 g)

Composición	Contenidos	Unidades
Valor calórico	38	Kcal
Humedad	89,7	%
Proteína	1,2	g
Lípidos	0,2	g
Cenizas	0,8	g
Fibra alimentaria	1,8	g
Carbohidratos simples	8,6	g

**Fuente:** (Benítez, 2011)

La composición nutricional de la cebolla es compleja y depende de la variedad, las condiciones de crecimiento y engrosamiento del bulbo, del tiempo de recolección, así como de la duración y tipo de almacenamiento, la cebolla ha sido reconocida como unas fuentes de fibra alimentaria y de valiosos fitonutrientes, fructooligosacáridos, compuestos azufrados y flavonoides. (Benítez, 2011)

En cuanto a las vitaminas y minerales tabla 2, la cebolla tiene bajos niveles de sodio y un alto contenido de vitamina B6, ácido fólico, calcio, magnesio, fósforo y potasio. (Benítez, 2011)

**Tabla 2** Principales elementos minerales y vitaminas de la cebolla

Mineral	mg 100g <sup>-1</sup>	Vitamina	mg 100g <sup>-1</sup>
Calcio	10,00	A (Retinol)	0
Cinc	0,22	E (Tocoferol)	0,130
Cobre	0,19	B <sub>1</sub> (Tiamina)	0,042
Fósforo	20,00	B <sub>2</sub> (Riboflavina)	0,020
Hierro	0,14	B <sub>6</sub> (Piridoxina)	0,116
Magnesio	33,00	B <sub>9</sub> (Ácido fólico) (μg)	19
Manganeso	0,06	C (Ácido Ascórbico)	6,4
Potasio	3,00	-	-
Sodio	157	-	-

**Fuente:** (Benítez, 2011)

### 2.1.8. Pungencia

La pungencia es un parámetro relacionado directamente con la tipificación varietal de las cebollas, es decir, con la capacidad que presentan las diferentes variedades para acumular compuestos sulfurados en sus células. El nivel de pungencia de las cebollas puede estar relacionado con la conservación de los bulbos, de forma que el picor aumenta al incrementarse el tipo de conservación tanto a temperatura ambiente como a cámara. (Raigón, 2016)

La pungencia puede determinarse midiendo los niveles de ácido pirúvico y los niveles de azúcares, mayoritariamente sacarosa, glucosa y fructosa. El ácido pirúvico es un compuesto, producido enzimáticamente una vez que las células se rompen y homogenizan, puede determinar el grado de pungencia que presenta la cebolla, de forma que a una mayor concentración de ácido pirúvico mayor será la sensación de picor. (Ferro, L. 2022)

Concretamente, en el caso de las cebollas es muy valorado el carácter dulce, pues a medida que disminuye la pungencia el grado de dulzor se hace más notable mayormente a alta temperatura. (Ferro, L. 2022).

## **2.2. Polvo de cebolla**

El polvo de cebolla, como puede intuir, está hecho de cebollas deshidratadas, lo que le da un sabor concentrado capaz de combinar bien con muchos alimentos. (Sainz, 2018)

La cebolla en polvo, es una cebolla deshidratada y molida que puede hacerse con cebollas rojas, blancas y amarillas, presenta un color blanquecino en algunos casos rojizo dependiendo del proceso de producción. (Sainz, 2018)

Según la Norma ISO 7954 Microbiology of food, la cebolla en polvo debe tener un porcentaje de humedad final menor al 12% ya que este garantiza la concentración de sabor y olor respecto a propiedades, dentro de las cualidades que resaltan del deshidratado o secado es la conservación del valor nutricional de la cebolla por un lapso de entre tres y cuatro años, cuando el mismo es almacenado en recipientes herméticos. (Sainz, 2018)

El polvo de cebolla dura entre 3 y 4 años si se guarda en un recipiente hermético y se protege de la humedad o de la luz del sol para preservar por más tiempo. Si se hace cebolla en polvo fresco y casero, hay que guardarlo en el frigorífico, el polvo de cebolla casero sólo dura de 6 a 8 meses. (Sainz, 2018)

### **2.2.1. Origen del polvo de cebolla**

El origen del polvo de cebolla data desde la edad antigua donde las grandes civilizaciones como los egipcios usaban como una especia o condimento en la preparación de alimentos, por otro lado, los griegos y romanos en la medicina y algunas celebraciones religiosas. (Ramírez, B. 2020)

En el siglo XIV llega a Europa Occidental donde empieza la expansión, de esta manera a toda América dando varios usos al producto, se desconoce la fecha en la cual llega a Bolivia, según fuentes bibliográficas también se dice que los legados que dejaron las culturas precolombinas como la Tiahuanaco y la Incaica tenemos y se utiliza la cebolla en polvo producida desde los inicios del proceso de deshidratación de alimentos en el mundo. (Ramírez, B. 2020)

### **2.2.2. Beneficios del polvo de cebolla**

- **Bajo en Sodio**

El polvo de cebolla tiene un sabor intenso, pero es muy bajo en sal, con solo 2 mg por cucharadita, esto lo convierte en un buen sustituto de la sal en muchas recetas, como hamburguesas, ensaladas y sopas. La ingesta diaria recomendada de sodio no es más de 2,300 mg, un número que muchas personas en todo el mundo superan, por lo que el reducir el consumo de sal mediante el uso de cebolla en polvo al cocinar, puede ayudarles a reducir el riesgo de desarrollar presión arterial alta, enfermedades cardíacas y accidentes cerebrovasculares. (Sainz, 2018)

- **Calcio**

El calcio es un nutriente que su cuerpo necesita para tener huesos y dientes fuertes, pero también desempeña un papel importante en la transmisión nerviosa y el funcionamiento saludable de los músculos. Con las recomendaciones de ingesta diaria entre 1,000 y 1,200 mg, este número puede no parecer mucho, pero agregar este producto en polvo a sus platos favoritos puede aumentar su ingesta sin mucho esfuerzo. (Sainz, 2018).



- Bajo en Grasas y Calorías

El uso del polvo de cebolla en sus recetas favoritas aumentará el sabor de sus platillos sin agregar una cantidad significativa de grasa y calorías. Mantener una dieta moderada en ambos les permitirá controlar su peso, lo que reduce el riesgo de varias afecciones de salud, como enfermedades cardíacas y diabetes.

Una cucharadita de cebolla en su presentación de polvo contiene sólo ocho calorías y prácticamente nada de grasa, lo que le permite usar la cantidad que deseen sin obstaculizar sus objetivos de salud. (Sainz, 2018).

- Potasio

Una cucharadita de polvo de cebolla contiene 24 mg de potasio, un nutriente de suma relevancia que ayuda a regular la presión arterial. La contracción muscular y ósea, la digestión y el ritmo cardíaco saludables son otras funciones corporales que dependen de una ingesta adecuada de potasio.

Una deficiencia de este elemento podría causar espasmos musculares, latidos cardíacos irregulares y debilidad, sin embargo, agregar cebolla en polvo en sus gabinetes de especias resultará una manera fácil de aumentar su ingesta. (Sainz, 2018).

- Magnesio

El polvo de cebolla contiene una pequeña cantidad de magnesio, a saber, tan solo 3 mg por cucharadita. Este elemento contribuye a la salud ósea, el sistema inmune, la función muscular y nerviosa, asimismo ayuda a regular el azúcar en la sangre.

El magnesio se encuentra en varios vegetales y pescados, sin embargo, agregar cebollas en polvo cuando los cocinen agrega un poco de magnesio adicional a su comida. Se trata sin duda de una de las verduras deshidratadas y molidas que no puede faltar en su cocina. (Sainz, 2018).

## 2.3. Corte de cebolla

El corte de cebolla es muy importante para su procesamiento a polvo, por lo que es un factor a considerar en el proceso de deshidratación.

### 2.3.1. Tipos de corte

#### 2.3.1.1. Corte pluma o emincé

Técnica de corte que consiste en crear tiras alargadas y medianamente gruesas de 1 cm de ancho por 4 cm de largo, aproximadamente. Se utiliza para cebolla y ajo. De esta manera las láminas permanecen unidas por el nudo o disco basal, pero al cortarlas simulan la forma de una pluma, de allí viene su nombre como se muestra la siguiente figura 5. (Vila, N. 2012)

**Figura 5** *Tipo de corte pluma*



**Fuente:** (Vila, N. 2012)

#### 2.3.1.2. Corte juliana o ciselada

La corte juliana o ciselada es muy similar en el resultado a la corte pluma, con la diferencia de que las láminas no van unidas por el nudo. Para realizar este corte, se corta la cebolla a la mitad, dejando el nudo del lado opuesto a donde se va a comenzar a cortar se cortan finas láminas de 1 o 2 mm de grosor. De esta forma se logran finas tiras de cebolla que pueden utilizarse en ensaladas, rellenos, salsas, y aderezos. (Carambula, P. 2018).

**Figura 6** *Tipo de corte juliana*



**Fuente:** (Carambula, P. 2018)

### **2.3.1.3. Corte brunoise**

Es un corte que se utiliza principalmente en verduras o frutas formando cuadritos de aproximadamente 0,5 cm de grosor. Se corta primero rebanadas, y luego se hacen cortes parejos primero horizontales y luego verticales. Este tipo de corte puede hacerse con una enorme variedad de vegetales o verduras. Quedan de esa forma unos cuadritos de aproximadamente 0,5 cm de grosor. (Martínez, 2019)

**Figura 7** *Tipo de corte brunoise*



**Fuente:** (Martínez, 2019)

#### 2.3.1.4. Corte tipo aros

Este consiste en quitar el nudo y el tallo a través de un corte de lámina fina en uno de los lados céntricos de la cebolla para que se mantenga firme sobre la tabla mientras se realizan los cortes. El corte se realiza a la medida deseada para después separar los aros con las manos para obtener el resultado buscado. (Carambula, P. 2018).

**Figura 8** *Tipo de corte en aros*



**Fuente:** (Carambula, P. 2018)

#### 2.4. Conceptos de deshidratación de alimentos

La deshidratación o secado de alimentos es una de las técnicas de conservación que permite alargar la vida útil de los alimentos, y consiste en la eliminación parcial del contenido acuoso (Valencia, 2020).

Es una operación de transferencia de energía y masa simultánea. La primera hace referencia a la transferencia de calor desde los alrededores, hacia el sólido húmedo para evaporar el agua de la superficie del sólido; y la segunda se refiere al movimiento del agua dentro del sólido, para que el vapor salga hacia el exterior. (Moreno, 2017)

Durante el proceso de deshidratación debe protegerse el valor nutricional del alimento y sus características organolépticas (sabor, color, olor y textura). Las condiciones del deshidratado deben ser tales que, cuando se restituya el contenido acuoso, se obtenga un producto lo más similar posible al que le dio origen. (Cedeño, 2017)

Es importante descartar que durante la deshidratación se pierden nutrientes, esta pérdida dependerá de las condiciones del proceso (temperatura, humedad, velocidad de viento, duración, etc. (Cedeño, 2017)

Sin embargo, los nutrientes restantes en las frutas u hortalizas, se concentran, aumentando su valor energético, contenido de azúcares, minerales, antioxidantes, etc. (Cedeño, 2017)

#### **2.4.1. Diferencia entre secado y deshidratación**

Es necesario diferenciar entre secado y deshidratado, el secado es un método tradicional próximo a la desecación natural en el que el producto contiene más de 2.5% de agua base seca, como los frutos secados al sol y la deshidratación propiamente dicha que es una técnica artificial basada en una corriente de aire caliente bajo condiciones más controladas temperatura velocidad de flujo, en la que como resultado se tiene menos de 2,5% de agua. (Gasga, 2014)

Aunque ambos términos se aplican a la eliminación del agua de los alimentos, en la tecnología de los alimentos el término secado se refiere a la desecación natural, como la que se obtiene exponiendo el producto a la acción del sol y el de deshidratación designa el secado por medios artificiales, como la exposición del producto a una corriente de aire caliente. (Gasga, 2014)

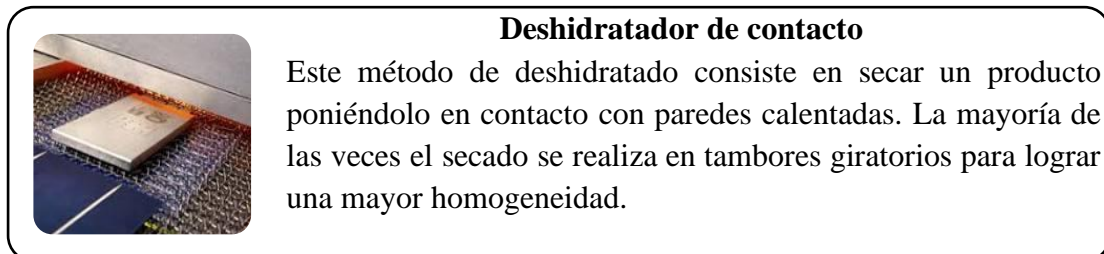
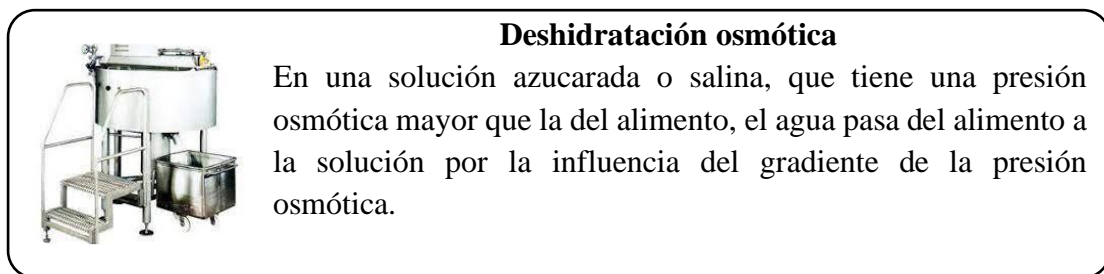
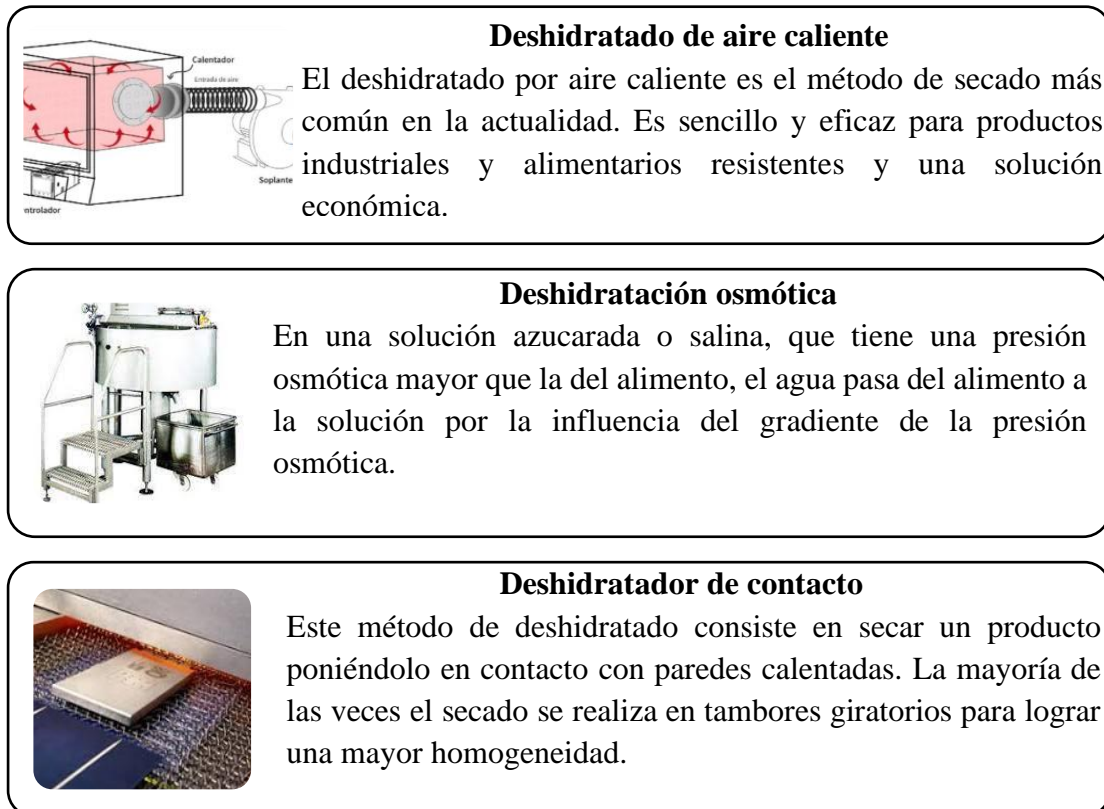
Según (Juárez, E. 2005), menciona que la deshidratación implica el control sobre las condiciones climáticas dentro de una cámara o el control de un micro medio circundante, mientras que el secado solar está a merced de los elementos climáticos. En el secado el alimento se expone directamente a una corriente de aire caliente por encima del producto y elimina el vapor de agua, para eliminar, detener o aminorar el crecimiento microbiano, así como ciertas reacciones químicas.

#### **2.4.2. Métodos de deshidratado**

Los métodos de deshidratados son varios pero los más comunes son lo que se ven el siguiente esquema son seleccionados y tomados en cuenta según la naturaleza de los

productos a tratar, ya sean alimentos o material industrial, estos métodos resultan de más fácil adaptación para la obtención de objetivos.

**Figura 9** *Métodos de deshidratado*



**Fuente:** (Juárez, E. 2005)

#### 2.4.2.1. Deshidratado por aire caliente

La deshidratación por aire caliente se define como la operación unitaria por la que el agua que contiene un sólido o una disolución se transfiere a la fase fluida que lo rodea debido al gradiente de potencial químico existente entre ambas fases (Barrera, 2007).

Durante el secado por aire caliente, el calor se transmite por convección, desde el aire de secado hasta la superficie del alimento, y por conducción, desde la superficie del alimento hasta su interior. (Barrera, 2007)

La fuerza impulsora para la transferencia de materia por el interior del alimento es el gradiente de potencial químico entre el interior, más húmedo, y la superficie, más seca por estar en contacto con el aire de secado. (Barrera, 2007)

En comparación con la deshidratación osmótica, el secado por aire caliente supone una mayor reducción del volumen de las muestras lo que, junto al empleo de elevadas temperaturas, puede ocasionar un colapso en la estructura del alimento, directamente relacionado con una menor capacidad de rehidratación, así como con una mayor pérdida, entre otros, de color y de valor nutritivo (Barrera, 2007).

Frecuentemente, el secado por aire caliente se aplica de forma combinada con el calentamiento por microondas. De esta forma se promueve el aprovechamiento de la energía aplicada, por lo que el calentamiento resulta más rápido y el proceso más eficiente. (Barrera, 2007)

En este caso, la mayor parte del agua se evapora antes de abandonar el alimento y el gradiente de presión generado es el que promueve el transporte de materia por el interior del mismo. (Barrera, 2007)

La transmisión de calor tiene lugar en el interior del alimento y está relacionada con el gradiente de temperatura existente entre su superficie y la correspondiente a la superficie del agua en el interior del alimento. Si se suministra al agua suficiente energía para su evaporación, el vapor producido se transportará desde la superficie de la capa húmeda en el interior del producto hacia la superficie de éste. (Barrera, 2007)

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. (Barrera, 2007)

#### **2.4.3. Factores que intervienen en el proceso de deshidratado**

Los parámetros que se toman en cuenta en el deshidratado son sumamente importantes para determinar el equipamiento apropiado para las condiciones de un buen deshidratado, la interdependencia entre los parámetros hace que el dimensionamiento y la optimización de los deshidratadores se realicen con cautela.

Los parámetros que influyen en el deshidratado, cuando se seca con aire caliente son los siguientes:

#### **2.4.3.1. Velocidad del aire**

La velocidad del aire dentro del secador tiene dos funciones principales, la primera es transmitir la energía requerida para calentar el agua contenida en el material para facilitar su evaporación y la segunda es que ayuda a transportar la humedad saliente del material. (Juárez, 2005)

Según (Cano Cruz, 2014), durante las primeras etapas del secado, la velocidad del aire desempeña un papel muy importante, sobre todo cuando el material contiene un alto contenido de humedad. A mayor velocidad, mayor será la tasa de evaporación y menor el tiempo de secado y viceversa. Si la velocidad del aire disminuye, la tasa de evaporación disminuye y el tiempo de secado aumenta. Por tal razón, para asegurar un secado rápido y uniforme es indispensable una circulación del aire fuerte y regular.

#### **2.4.3.2. Contenido de humedad**

El agua es el principal componente de los alimentos, ayudándoles a mantener su frescura, sabor, textura y color. Además de conocer el contenido de agua o humedad de un alimento, es imprescindible conocer si ésta está disponible para ciertas reacciones bioquímicas, enzimáticas, microbianas, o bien interactuando con otros solutos presentes en el alimento, como son, proteínas, carbohidratos, grasa, lípidos y vitaminas. (José & Carlo, 2018).

#### **2.4.3.3. Contenido de humedad en equilibrio (CHE) de la muestra**

Cuando se parte de un producto seco y se somete a atmósferas de humedad relativa elevadas, se observa una transferencia de masa del gas al sólido hasta llegar a un equilibrio, al repetir este experimento con diferentes humedades, se tienen de nuevo pares de valores que al graficarse crean la isoterma de adsorción. (Badui, S. 2006).

#### **2.4.3.4. Contenido de humedad absoluta en el aire**

Es el contenido de humedad de una mezcla aire – vapor de agua, expresado como la relación entre la masa de vapor de agua y la masa de aire seco. (Cahuana, M. 2014)



#### 2.4.3.5. Contenido de humedad relativa (Hr) da la muestra

Relación entre la presión parcial que ejerce el vapor de agua en la mezcla aire-vapor de agua y la presión de vapor del agua como líquido puro a la misma temperatura. La humedad relativa es la relación entre la fracción molar del vapor de agua existente en una determinada muestra de aire húmedo y la existente en una muestra saturada a la misma temperatura y presión. (Cahuana, M. 2014)

#### 2.4.3.6. Humedad en base húmeda (Hbh)

Según (Cedeño, 2017) el contenido de humedad en base húmeda (Hbh) se refiere a la cantidad de masa de agua por unidad de masa de sólido seco más la masa del agua. Mediante la ecuación 1, se calcula el contenido de humedad en base húmeda.

$$Hbh = \frac{\text{Masa de agua}}{\text{Masa de sólido seco} + \text{Masa de agua}} \quad \text{Ecuación 1}$$

#### 2.4.3.7. Humedad en base seca (Hbs)

Según (Cedeño, 2017) el contenido de humedad en base seca (Hbs) se refiere a la cantidad de masa de agua por unidad de masa de sólido seco en la muestra. Mediante la ecuación 2, se calcula el contenido de humedad en base seca.

$$Hbs = \frac{\text{Masa de agua}}{\text{Masa de sólido seco}} \quad \text{Ecuación 2}$$

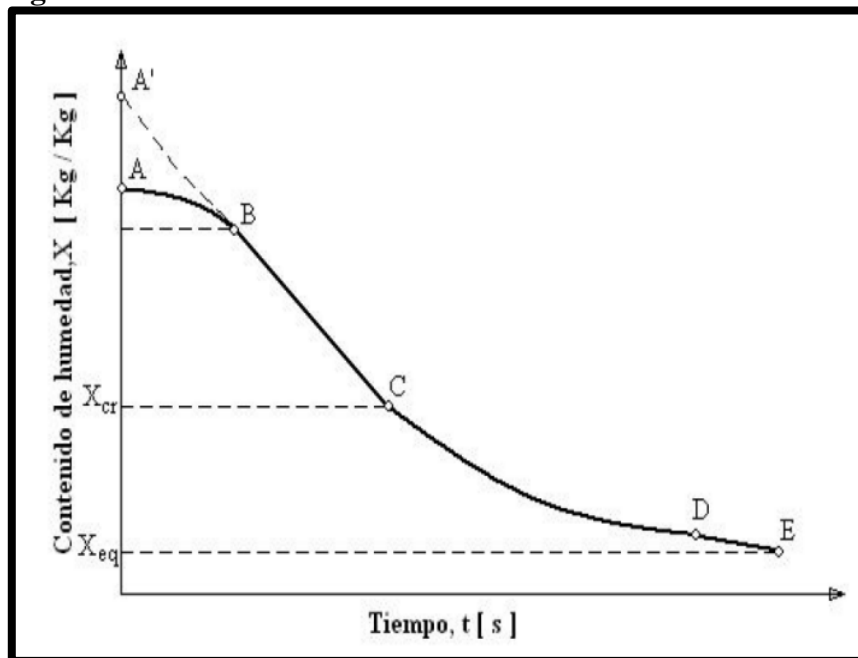
### 2.4. Cinética de secado

A continuación, (Cedeño, 2017) llega a explicar el proceso de la cinética de secado. En la cinética del secado basan los estudios en los cambios de la cantidad promedio de humedad con el tiempo, contrario a los que describe la dinámica del secado que describe los cambios de temperatura y humedad. Así la cinética del secado describe la cantidad de humedad evaporada, el tiempo y el consumo de energía. Es indispensable saber que la intensidad del secado refleja el cambio en la cantidad de humedad a través del tiempo, que es influenciado por los parámetros del secado como, temperatura, humedad.

### 2.4.1. Curva de secado

Este tipo de curva nos muestra el contenido de humedad a través del tiempo en el proceso de secado. En el periodo inicial de secado. El cambio de humedad en el material está ilustrado en la curva A – B. al terminar este primer periodo el secado toma una forma lineal donde el secado es constante en el periodo B – C el secado se mantiene igual por un periodo de tiempo hasta que llega un punto crítico (punto C) donde la línea recta tiene que curvarse y formar una asíntota con el contenido de humedad  $X$  (kg/kg) donde es el valor mínimo de humedad en el proceso de secado esto quiere decir que el punto E jamás es tocado. (Moreno, C. 2016).

**Figura 10** Curva de secado



Fuente: (Moreno, C. 2016).

### 2.5. Psicometría

Su principio de funcionamiento está basado en la medición de la temperatura ambiente (temperatura de bulbo seco) y la de una fuente de agua en evaporación (temperatura de bulbo húmedo). (Tuero, 2016)

Cuando circula una corriente de aire sobre los dos termómetros, el bulbo húmedo experimenta un descenso de su temperatura debido a la evaporación del agua presente

en el tejido en que se encuentra envuelto. Se puede afirmar que la diferencia de temperaturas entre el bulbo seco y el bulbo húmedo está relacionada con la cantidad de vapor de agua presente en el ambiente. (Tuero, 2016)

Los psicrómetros tienen ventaja en la medición de la humedad ya que no utilizan sensores de humedad, sino mediciones de temperatura. (Tuero, 2016)

Para obtener una medición precisa se determina la presión atmosférica y después calcula el valor de la humedad relativa mediante las ecuaciones del método psicrométrico. (Tuero, 2016).

### **2.5.1. Aire húmedo**

Como definición es la mezcla de aire seco y vapor de agua, la cantidad máxima de vapor de agua depende de la temperatura y presión atmosférica. (Tuero, 2016)

### **2.5.2. Temperatura de bulbo húmedo**

La temperatura de bulbo húmedo es considerada como la temperatura más baja que se puede alcanzar solo evaporando el agua. Es la temperatura que siente cuando su piel está húmeda y expuesta al movimiento del aire. A diferencia de la temperatura de bulbo seco, la temperatura de bulbo húmedo es una indicación de la cantidad de humedad en el aire. (Tuero, 2016)

### **2.5.3. Temperatura de bulbo seco**

Según (Tuero, 2016), "la temperatura de bulbo seco, es la verdadera temperatura del aire húmedo y con frecuencia se la denomina sólo temperatura del aire; es la temperatura del aire que marca un termómetro común".

### **2.5.4. Temperatura del punto de rocío**

Para una presión atmosférica dada, es la temperatura de saturación a la cual comienza la humedad a depositarse en forma de pequeñas gotas de agua o rocío, cuyo máximo contenido de HR es equivalente a la presión de saturación. Para esta condición, la temperatura del aire es igual a la temperatura de saturación y se dice que el aire está saturado. (Galarza, 2014)

### **2.5.5. Humedad relativa**

Es la relación entre la presión parcial del vapor de agua contenida en el aire ( $P_w$ ), y la presión del vapor saturante a la misma temperatura ( $P_{ws}$ ). (Galarza, 2014)

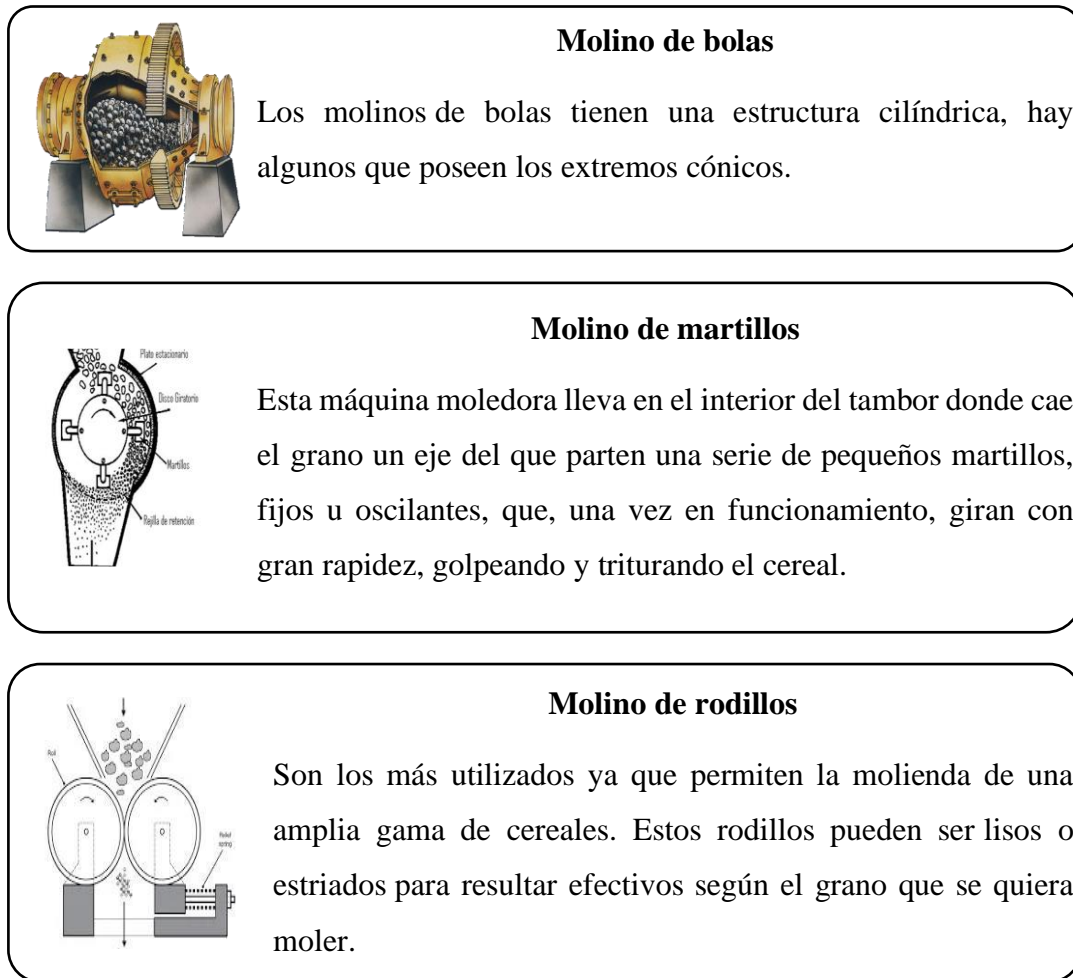
## **2.6. Molienda**

El término molienda, se refiere a la pulverización y a la desintegración del material sólido. Específicamente, la desintegración se refiere a la reducción del tamaño de agregados de partículas blandas débilmente ligadas entre sí. Es decir, que no se produce ningún cambio en el tamaño de las partículas fundamentales de la mezcla. La pulverización, por su parte, implica la reducción del tamaño de las partículas fundamentales de las sustancias. (García, 2019)

La molienda es una operación unitaria que, a pesar de implicar sólo una transformación física de la materia sin alterar su naturaleza, es de suma importancia en diversos procesos industriales, ya que el tamaño de partículas representa en forma indirecta áreas, que a su vez afectan las magnitudes de los fenómenos de transferencia entre otras cosas. La molienda es una operación unitaria que reduce el volumen promedio de las partículas de una muestra sólida. La reducción se lleva a cabo dividiendo o fraccionando la muestra por medios mecánicos hasta el tamaño deseado. Los métodos de reducción más empleados en las máquinas de molienda son compresión, impacto, frotamiento de cizalla y cortado. (García, 2019)

### **2.6.1. Tipos de molinos**

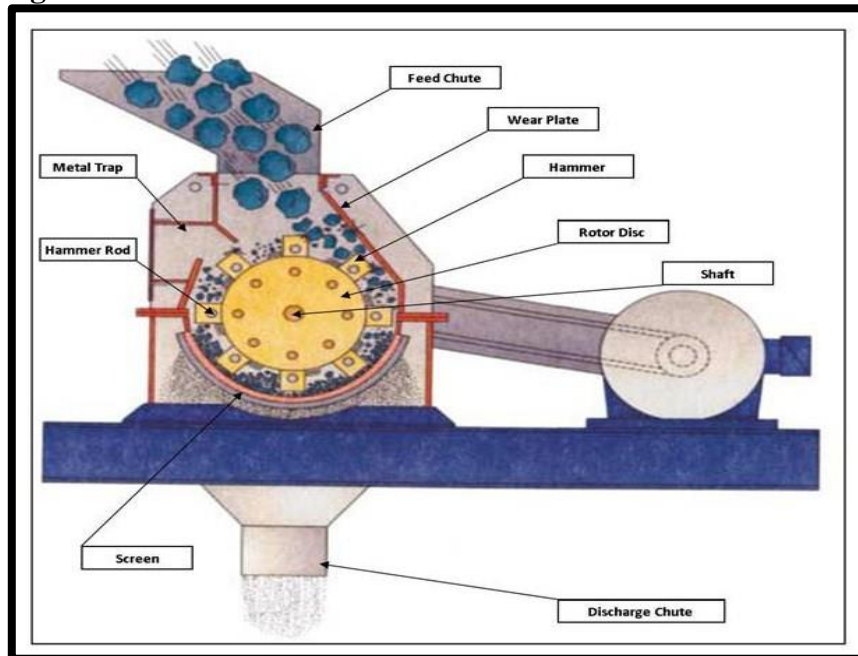
En la industria hay variedad de molinos según el grano o materia prima o energía, a continuación, se dan a conocer los molinos adecuados para la molienda de especies o harinas y son los siguientes:

**Figura 11** *Tipos de molino*

**Fuente:** (García, 2019)

### 2.6.1.1. Molino de martillos

Los molinos de rodillos se usan en diferentes industrias, ejemplo, minera, metalúrgica, agroindustria, entre otras. La molienda se da por la compresión y fricción que se le ejerce al producto a moler, cuando pasa entre los dos rodillos que giran en sentidos opuestos, estos se ajustan a la granulometría del producto que se desea, ver figura 12. Los rodillos pueden ser lisos o corrugados, con relieves poco pronunciados, lo que los diferencia de las trituradoras de rodillos. (Atarama, L. 2018)

**Figura 12** *Molino de martillos*

Fuente: (Atarama, L. 2018)

## 2.6. Tamizado

El proceso de tamizado consiste en hacer pasar una mezcla de partículas de diferentes tamaños por un tamiz, cedazo o cualquier cosa con la que se pueda colar. Las partículas de menor tamaño pasan por los poros del tamiz o colador atravesándolo y las grandes quedan atrapadas por el mismo. Un ejemplo podría ser: si se saca tierra del suelo y se espolvorea sobre el tamiz, las partículas finas de tierra caerán y las piedras y partículas grandes de tierra quedarán retenidas en el tamiz. (López, L. 2018)

Es un método muy sencillo utilizado generalmente en mezclas de sólidos heterogéneos. Los orificios del tamiz suelen ser de diferentes tamaños y se utilizan de acuerdo al tamaño de las partículas de una solución homogénea, que por lo general tiene un color amarillo el cual lo diferencia de lo que contenga la mezcla. (López, L. 2018)

El tamizado proporciona una medida indirecta de la distribución en campo del tamaño de partícula en un determinado momento que puede expresarse como el diámetro o como un porcentaje de los diferentes tamaños de agregados. (López, L. 2018)

### 2.6.1. Granulometría

La granulometría permite conocer la medida de los granos de los sedimentos y partículas presentes en una muestra. Mediante el Análisis Granulométrico se puede obtener información importante como: su origen, propiedades mecánicas y el cálculo de la abundancia de cada uno de los granos según su tamaño dentro de la escala granulométrica. (Leiva, P. 2022)

Para este análisis se hace pasar una muestra seca, disgregada y pesada por diferentes tamices dispuesto de mayor a menor abertura que van desde el de 3 pulgadas hasta tamices más finos de 0.0074 mm, agitándose para hacer pasar la muestra a través de ellos. Luego de algunos minutos, se retiran los tamices y se desensamblan, tomando por separado los pesos de material retenido en cada uno de ellos y que, en su suma, debe corresponder al peso total del material que inicialmente se colocó en la columna de tamices. (Leiva, P. 2022)

**Figura 13** Estructura del tamiz



**Fuente:** (Leiva, P. 2022)

**CAPÍTULO III**  
**PARTE EXPERIMENTAL**



### **III. Parte experimental**

El presente Trabajo de Investigación aplicado ha sido desarrollado en las instalaciones del Departamento de Procesos Industriales Biotecnológicos y Ambientales (LOU) y así también en el Taller de Alimentos perteneciente a la Facultad de Ciencias y Tecnología, de la Universidad Autónoma Juan Misael Saracho.

#### **3.1. Caracterización de la materia prima**

La cebolla (*Allium cepa* L.) morada de variedad mizqueña es una hortaliza de bulbo achatado en relación a otras variedades de cebolla producidas en el departamento de Tarija en el municipio de Uriondo.

La variedad morada mizqueña su producción de cosecha es tardía, bulbo de gran tamaño y de forma globosa, varias túnicas o capas exteriores de color morado brillante. Carne densa, blanca, jugosa y, a veces, algo picante, fácil conservación y transporte.

La cual presenta un color intenso y una propiedad muy particular que es la intensidad de la pungencia indica que es una variedad de picor moderado (6.6 micromoles) de ácido pirúvico de tejido fresco su contenido en sólidos solubles (9.6°brix) y firmeza (7.2 kg.), olor sulfuroso que se presenta en la cebolla morada característico de la variedad mizqueña en un alto porcentaje a diferencia de otras variedades que se producen en el departamento de Tarija. (Porta, 2010)

La Caracterización de la cebolla (*Allium cepa* L.) morada de variedad mizqueña como materia prima se realizó a través del análisis fisicoquímico y microbiológico de acuerdo a técnicas y/o métodos de ensayo realizados en base a las normas bolivianas como se muestran en la tabla 3 y tabla 4 según parámetros de los análisis realizados en el Centro de Análisis, Investigación y Desarrollo “CEANID” ver Anexo A

**Tabla 3** Análisis físicoquímicos de la cebolla (*Allium cepa* L.)

Parámetros	Técnica y/o método de ensayo	Unidad	Resultados
Azúcares totales	NB 38033:06	%	6,82
Calcio	Absorción atómica	mg/100g	23,5
Ceniza	NB 38025:06	%	0,53
Fibra	Gravimétrico	%	0,31
Grasa	NB 228:98	%	0,19
Hidratos de carbono	Cálculo	%	9,22
Humedad	NB 313010:05	%	88,78
Potasio	Absorción atómica	mg/100g	171
Proteína total (Nx6,25)	NB/ISO 8968-1:08	%	0,97
pH (20 °C)	SM 4500-H-B		5,77
Valor energético	Cálculo	Kcal/100g	42,47

NB: Normas Boliviana  
ISO: Organización Internacional de Normalización

(\*) – No se observa desarrollo de colonias  
mg: miligramos  
Kcal: Kilocalorías

UFC/g: Unidad Formadoras de Colonias por gramo  
<: Menor que  
%: Porcentaje

**Fuente:** (CEANID, 2022)

Los análisis microbiológicos se ven en la tabla 4 de la caracterización de la cebolla.

**Tabla 4** Análisis microbiológicos de la cebolla (*Allium cepa* L.)

Análisis microbiológicos	Técnica y/o método de ensayo	Unidad	Resultado
Bacterias aerobias mesófilas	NB 32003:05	UFC/g	$3,3 \times 10^2$
Coliformes fecales	NB 32005:02	UFC/g	$< 1,0 \times 10^1$ (*)
Coliformes totales	NB 32005:02	UFC/g	$< 1,0 \times 10^1$ (*)
Escherichia coli	NB 32005:02	UFC/g	$< 1,0 \times 10^1$ (*)
Mohos y levaduras	NB 32006:03	UFC/g	$7,0 \times 10^1$

NB: Normas Boliviana  
ISO: Organización Internacional de Normalización

(\*) – No se observa desarrollo de colonias  
mg: miligramos  
Kcal: Kilocalorías

UFC/g: Unidad Formadoras de Colonias por gramo  
<: Menor que  
%: Porcentaje

**Fuente:** (CEANID, 2022)

### **3.2. Descripción del método de investigación**

El proyecto de investigación emplea una metodología cuantitativa, siendo un trabajo de tipo documental y experimental.

- Es documental puesto que para obtener información sobre el tema se precisa la revisión de material bibliográfico referido al mismo.
- Es experimental ya que los datos se obtienen de manera directa mediante ensayos en laboratorio.

Las condiciones de investigación serán mediante el manejo de las variables independientes, es imprescindible identificar, controlar y observar variables para el logro de una buena respuesta de la variable dependiente.

Se aplicarán técnicas de análisis estadísticos basados en la selección de variables dependientes e independientes que permitan evaluar la validez y confiabilidad de los datos obtenidos a través de un diseño factorial.

#### **3.2.1. Selección del método para la elaboración del polvo de cebolla**

Para la selección del método de elaboración del polvo de cebolla se toma en cuenta la disponibilidad de equipos, con el fin de evitar el pardeamiento enzimático de la cebolla, reducir el tiempo de exposición al medio ambiente después de ser pelada y cortada, para disminuir el riesgo de contaminación en la etapa posterior del proceso de deshidratado.

### **3.3. Diseño experimental para el proceso del polvo de cebolla**

El diseño experimental, se realizó en el proceso de deshidratado en función de los niveles de variación del diseño factorial  $2^2$  de acuerdo a la tabla 5.

Donde los factores tomados en cuenta son la tempera (55 - 60) °C con un corte en aros a un tiempo de (300 - 270) min y la variable respuesta fue el contenido de humedad en base seca.

### 3.3.1. Diseño Factorial

Un diseño factorial es un tipo de experimento diseñado que permite estudiar los efectos que varios factores pueden tener en una respuesta. Al realizar un experimento y variar los niveles de todos los factores al mismo tiempo en lugar de uno a la vez, permite estudiar las interacciones entre los factores. (Gutiérrez, 2017)

Para determinar las variables significativas del presente trabajo de investigación, se plantea un diseño factorial de dos niveles y dos factores que a su vez comprende de dos repeticiones, por tanto, el número de tratamientos necesarios alcanza la suma de 8.

En la tabla 5 se muestran los niveles de variación de los factores en el proceso experimental. Según información recabada e investigada se fijó dos intervalos de temperatura y tiempo con las que se considera mantener las propiedades fisicoquímicas de la materia prima los cuales alcanzan 55 °C, 300 min y 60 °C, 270 min respectivamente.

**Tabla 5** Niveles de variación de los factores en el proceso

Nivel	Factor A temperatura (°C)	Factor B tiempo (min.)
Inferior	55	300
Superior	60	270

**Fuente:** Elaboración propia, 2023.

Tomando estos datos como punto de partida se realiza un diseño factorial  $2^2$ .

N° variables = 2

Niveles = 2

N° Experimentos =  $2^2 = 4$

Se realiza 2 repeticiones

N° experimentos =  $4 * 2 = 8$  experimentos

Como se refleja las variables independientes son el tiempo y la temperatura, se puede considerar que la variable respuesta será el porcentaje de humedad existente en la base seca del polvo de cebolla.

En la tabla 6 se presentan todas las combinaciones que puedan darse entre las variables que serán sometidas a prueba.

**Tabla 6** *Matriz de diseño experimental en el proceso*

<b>Prueba</b>	<b>Factor A temperatura (°C)</b>	<b>Factor B tiempo (min.)</b>	<b>Humedad en base seca (Hbs)</b>
1	55	270	Hbs 1
2	60	270	Hbs 2
3	55	300	Hbs 3
4	60	300	Hbs 4

**Fuente:** Elaboración propia, 2023

### **3.4. Pruebas preliminares**

Las pruebas preliminares se realizaron con el fin de establecer puntos importantes para el inicio de la parte experimental como ser la definición de la zona productora de la materia prima y así también el tipo de corte que sea más favorable para la deshidratación de la cebolla.

#### **3.4.1. Selección de la zona productora de cebolla**

Las pruebas preliminares se efectúan para establecer la zona de producción de cebolla morada de variedad mizqueña con mejores características fisicoquímicas y nutricionales para su uso en la parte experimental del presente trabajo.

El municipio de Uriondo (capital del Valle de la Concepción) y el municipio El Puente son los que presentan el más alto porcentaje en producción en el departamento de Tarija, por tal razón serán consideradas para efectuar la comparación de las características fisicoquímicas y nutricionales, de esta manera definir el lugar de producción con mayores beneficios de la materia prima, para que el producto final

también presente mayores porcentajes de características fisicoquímicas y nutricionales que sean favorables como se muestra en la siguiente tabla 7.

Los análisis realizados en el Centro de Análisis, Investigación y Desarrollo “CEANID” ver Anexo A realizados en ver Anexo A.

**Tabla 7** Cuadro comparativo de los parámetros fisicoquímicos de dos zonas productivas en el departamento de Tarija.

Parámetros	Valle de la Concepción	Unidad	El Puente
Azúcares totales	6,82	%	5,03
Calcio	23,5	mg/100g	16,4
Ceniza	0,53	%	0,37
Fibra	0,31	%	0,65
Grasa	0,19	%	0,17
Hidratos de carbono	9,22	%	10,10
Humedad	88,78	%	87,74
Potasio	171	mg/100g	134
Proteína total (N*6,25)	0,97	%	0,97
pH (20 °C)	5,77	-	5,72
Valor energético	42,47	Kcal/100g	45,81
NB: Normas Boliviana ISO: Organización Internacional de Normalización	(*) – No se observa desarrollo de colonias mg: miligramos Kcal: Kilocalorías	UFC/g: Unidad Formadoras de Colonias por gramo <: Menor que %: Porcentaje	

**Fuente:** (CEANID, 2022)

En base al cuadro comparativo efectuado a los parámetros, se puede establecer que la cebolla producida en el Municipio de Uriondo (capital del Valle de la Concepción) presenta mayores y mejores características fisicoquímicas y nutricionales a diferencia de la cebolla producida en el municipio del El Puente, los cuales favorecen a la misma para ser seccionada como la materia prima para la obtención de polvo en cebolla.

### 3.4.2. Selección del tipo de corte

Para la selección del tipo de corte se tomó en cuenta dos de estos: el corte cubos y el corte aros para lo cual se realizó el deshidratado con una masa inicial de (200 – 202) g. a una temperatura de 55°C, con una velocidad de flujos de 4 m/s en un respectivo tiempo, con intervalos de 15 minutos haciéndose un total de 16 muestras, en un lapso de 3 horas y 45 minutos, donde se tomó en cuenta el contenido de humedad inicial en base húmeda 88,78 % determinado en el Centro de Análisis, Investigación y Desarrollo (CEANID).

Según (Ibarz & Barbosa, 2005) el contenido en humedad de las muestras se define como la relación entre la cantidad de agua en el alimento y la cantidad de sólido seco y se calcula según la ecuación 3:

$$X = \frac{M_i - SS}{SS} \quad \text{Ecuación 3}$$

Para calcular el sólido seco, se tomó en cuenta en función de la ecuación 4:

$$SS = M_i(1 - Hbh) \quad \text{Ecuación 4}$$

Donde:

X = Contenido de humedad en base seca (g agua/g sólido seco)

SS = Sólido seco (g)

M<sub>i</sub> = Peso de muestra inicial (%)

Hbh = Humedad en base húmeda (%)

Sólido seco para el corte aros con un peso de muestra inicial de 200 g:

$$SS = 200 (1 - 0,8878) = 22,44 \text{ g}$$

En la tabla 8 se ve la pérdida de masa en un respectivo corte tipo aros.

**Tabla 8** Datos de corte tipo aros

N°	Tiempo (min.)	Masa de cebolla (g)	X (g agua/g sólido seco)
1	0	200,00	7,91
2	15	192,17	7,56
3	30	146,58	5,53
4	45	102,17	3,55
5	60	81,50	2,63
6	75	62,30	1,78
7	90	50,06	1,23
8	105	42,01	0,87
9	120	34,42	0,53
10	135	31,51	0,40
11	150	28,96	0,29
12	165	27,93	0,24
13	180	26,72	0,19
14	195	26,18	0,17
15	210	25,85	0,15
16	225	25,28	0,13

**Fuente:** Elaboración propia 2023.

Sólido seco para el corte aros con un peso de muestra inicial de 202 g:

$$SS = 202 \text{ g} (1 - 0,8878)$$

$$SS = 22,66 \text{ g.}$$



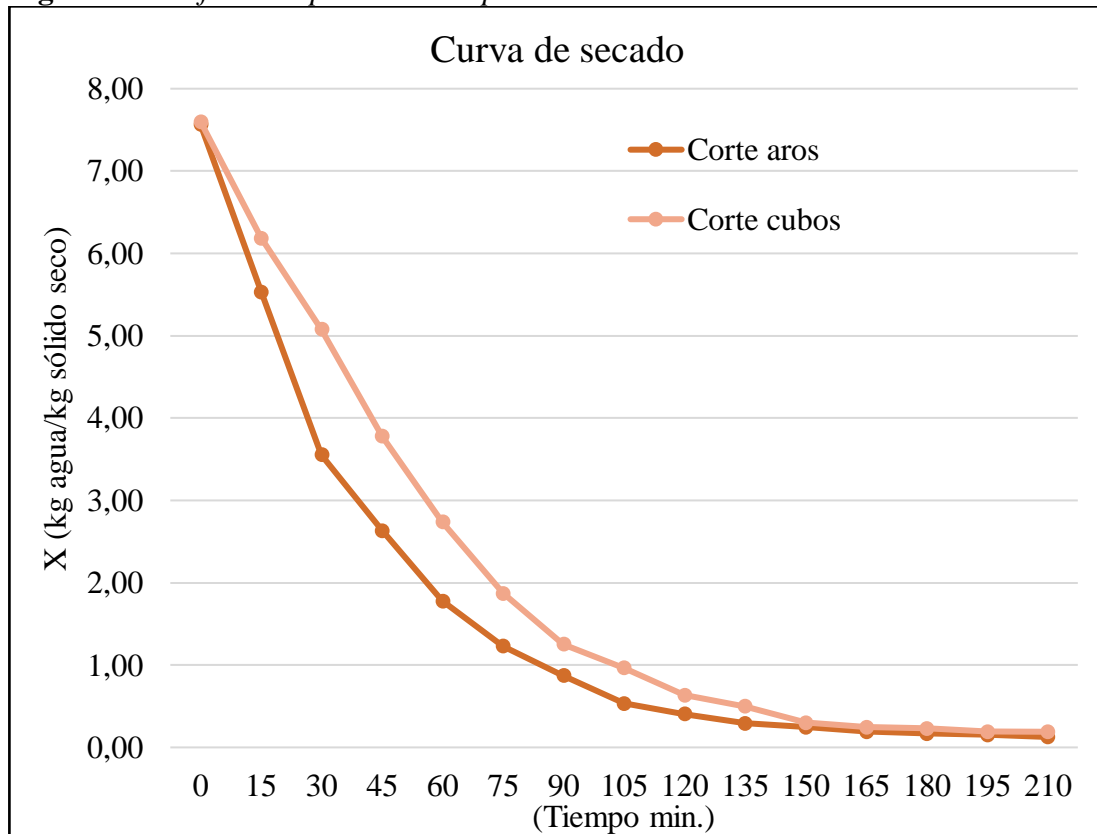
En la tabla 9 se ve la pérdida de masa en un respectivo corte tipo cubos

**Tabla 9** *Datos de corte tipo cubos*

N°	Tiempo (min.)	Masa de cebolla (g)	X (g agua/g sólido seco)
1	0	202,00	0,8878
2	15	192,96	7,60
3	30	161,24	6,19
4	45	136,32	5,07
5	60	107,20	3,78
6	75	83,82	2,74
7	90	64,43	1,87
8	105	50,58	1,25
9	120	44,10	0,97
10	135	36,71	0,64
11	150	33,62	0,50
12	165	29,21	0,30
13	180	27,99	0,25
14	195	27,58	0,23
15	210	26,73	0,19
16	225	26,70	0,19

**Fuente:** Elaboración propia 2023.

Con los datos obtenidos de la tabla 8 y tabla 9 se realizó una curva de secado de contenido de humedad base seca vs tiempo como se muestra en la figura 14.

**Figura 14** Gráfica comparativa de tipos de cortes

**Fuente:** Elaboración propia 2023

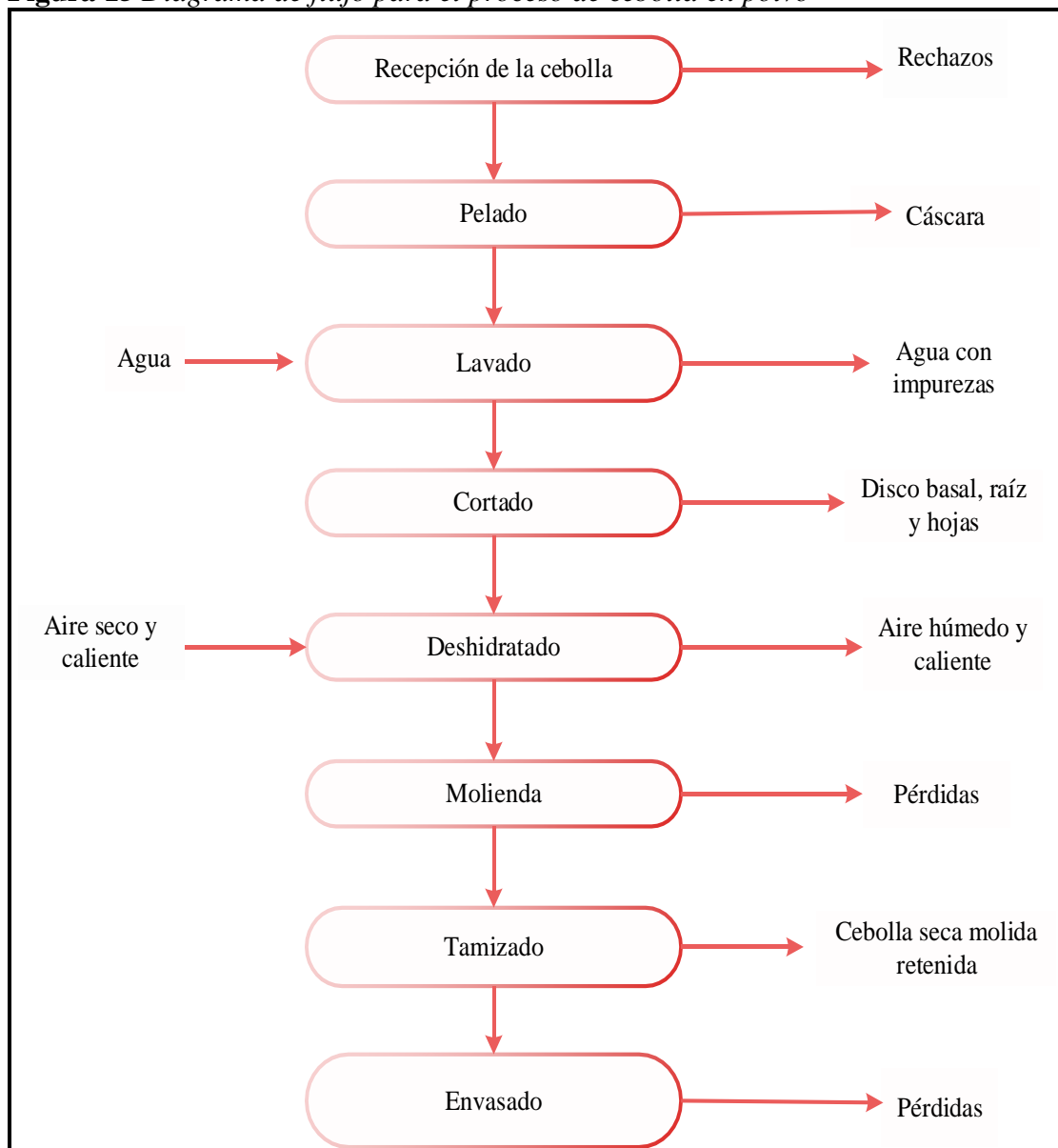
En la figura 14 se muestra una gráfica comparativa de una curva de secado, (X) contenido de humedad en base seca vs (t) tiempo, se observa que entre los dos cortes el que presenta una mejor analogía en la curva es el corte aros, por lo cual fue seleccionado para el proceso.

Por otro lado, en el aspecto físico del polvo de cebolla obtenido del corte cubos presento un olor a quemado ocasionado por la diferencia existente en las dimensiones de los cubos cortados, en cambio el corte aros presentó un mejor aspecto tanto en color como en olor, por lo cual fue ratificado que el mejor corte a seleccionar y el más apto para el proceso a desarrollar es el tipo de corte en aros.

### 3.5. Proceso para la obtención del polvo de cebolla

Para la elaboración del polvo de cebolla, se toma en cuenta el proceso que controla las diferentes variables, siendo este el deshidratado por aire caliente como se ve en el siguiente diagrama de flujos ver la figura 15.

**Figura 15** Diagrama de flujo para el proceso de cebolla en polvo



**Fuente:** Elaboración propia 2023.

### 3.5.1. Descripción del proceso para obtener del polvo de cebolla

Las operaciones involucradas para obtener del polvo de cebolla, se describen a continuación:

#### 3.5.1.1. Recepción de la cebolla

La adquisición de la materia prima, cebolla morada de variedad mizqueña se realizó en el municipio de Uriondo (capital del Valle de la Concepción) del departamento de Tarija, posteriormente se llevó a realizar la caracterización del producto en el Centro de Análisis, Investigación y Desarrollo “CEANID” ver Anexo A.

En esta parte del proceso como es la recepción de la cebolla también se tomó en cuenta el estado de la cebolla, desechando las cebollas dañadas y no aptas para el proceso, también se realizó el pesado del producto para tener una cantidad inicial, ver figura 16.

**Figura 16** *Recepción de la cebolla*



**Fuente:** elaboración propia 2023.

El proceso de selección se realiza en la etapa de recepción de la cebolla se realizó de forma manual donde se consideran los diferentes tamaños existentes de la cebolla, con la finalidad de tener uniformidades al momento de trabajar en los cortes, ya sean grandes, medianas y/o pequeñas, que posteriormente serán tomadas en cuenta para los distintos procesos.

Después de la selección, estos pasan a una báscula para ser pesadas, de esta manera cuantificar la cantidad con la cual se va a trabajar, ver la figura 17.

**Figura 17** Selección de la cebolla



**Fuente:** Elaboración propia 2023.

### **3.5.1.2. Pelado**

El proceso de pelado es de vital importancia, la misma se realiza de forma manual donde se quita las hojas secas del exterior de la cebolla y las posibles impurezas que pueda tener, dejando los tallos frescos y limpios de residuos.

De igual forma efectuado el pelado de la cebolla esta pasa a una báscula con el fin de establecer las pérdidas a consecuencia de la cáscara e impurezas que se pueda tener, ver figura 18.

**Figura 18** Acondicionamiento de la cebolla



**Fuente:** Elaboración propia 2023.

#### **3.5.1.3. Lavado**

Para terminar con el acondicionamiento de la materia prima, se realiza el lavado en aspersión con agua y así reducir la cantidad de contaminantes y microbios que puedan existir en la superficie.

#### **3.5.1.4. Cortado de la cebolla**

Después del acondicionamiento realizado, teniendo la cebolla limpia, en primera instancia se procede a realizar el corte de las raicillas del extremo inferior con un cuchillo de acero inoxidable, para después efectuar el corte del disco basal de la cebolla, los desechos generados por este procedimiento también se consideran como pérdidas.

El proceso de cortado tipo aros, siendo la más óptima de acuerdo a las pruebas preliminares, se realizó con cortador manual de acero inoxidable, obteniendo rodajas con un grosor aproximado de 2 mm como se muestra en la figura 19.

**Figura 19** *Cortado de aros de la cebolla*



**Fuente:** Elaboración propia 2023.

#### **3.5.1.5. Deshidratado de la cebolla**

Toda vez que la cebolla se encuentra acondicionada y con el corte determinado en condiciones asépticas. Se prepara el deshidratador de aire caliente, en un tiempo de 40 minutos para que la temperatura interna alcance los 55 °C, un flujo de aire de 4 mm/s.

Alcanzado los parámetros mínimos requeridos los aros de cebolla son introducidos al deshidratador y se da inicio con el deshidratado de la cebolla con un intervalo de tiempo controlado de 15 minutos.

Se realizó el control de temperatura y la variación del peso en cada intervalo de tiempo ya determinado, hasta que el peso es constante, para la determinación de la pérdida de peso en función al tiempo, se toma en cuenta el contenido de humedad, según la caracterización de la materia prima como se ven en los análisis fisicoquímico en la (Tabla 3) la cebolla contiene 88,78% de Humedad en estado natural, logrando reducir el contenido de Humedad de la cebolla a 4,82% con el proceso de deshidratación como se ve la figura 20.

**Figura 20** *Deshidratación de la cebolla*



**Fuente:** Elaboración propia 2023.

### **3.5.1.6. Molienda**

La cebolla deshidratada que proviene de la etapa anterior con una Humedad de 4,82% es llevado a molienda, mismo proceso es realizado en un molino de martillos como se ve en la figura 21 con la finalidad de obtener el polvo con menor tamaño de partícula, para así tener el producto objeto de investigación “polvo de cebolla”.



**Figura 21** *Molienda de la cebolla deshidratada*



**Fuente:** Elaboración propia 2023.

#### **3.5.1.7. Tamizado**

Habiendo desarrollado la molienda de los aros de cebolla deshidratados, se realiza el tamizado del polvo de cebolla para obtener la uniformidad en el tamaño de partículas, retirando así las partículas de mayor volumen, este proceso de tamizado se la realiza en tamices de abertura de malla de 0,5 mm y 0,25 mm con un tiempo óptimo y recomendado a realizar esta etapa es de 15 minutos a una velocidad de 2500 rpm, como se muestra en la figura 22.

**Figura 22** *Tamizado de la cebolla en polvo*



**Fuente:** Elaboración propia 2023.

### **3.5.1.8. Envasado**

El envasado al vacío preserva todas las propiedades del producto y garantiza su absoluta seguridad, protegiéndolo de la humedad y la contaminación provocada por la exposición directa al aire circundante, que puede provocar adherencias y, por tanto, acortar su vida útil.

Las bolsas gofradas están hechas de plástico extruido con un aspecto rugoso por un lado y liso por el otro, están hechas de polietileno para crear un efecto barrero y están termoselladas para mantener la bolsa hermética y el producto en buen estado por ello el envasado al vacío del polvo de cebolla se realizó de esa manera como se muestra en la figura 23.

**Figura 23** *Envasado de la cebolla en polvo*



**Fuente:** Elaboración propia 2023.

### 3.6. Material de laboratorio, utensilios y equipos utilizados

Para llevar a cabo la parte experimental se utilizó lo siguiente materiales:

#### 3.6.1. Material de laboratorio y utensilios

En la siguiente tabla 10 se detalla el material de laboratorio que fue utilizado en la parte experimental.

**Tabla 10** *Material de laboratorio*

Material	Capacidad	Composición	Cantidad
Termómetro de mercurio	(0-300) °C	Vidrio	1

**Fuente:** Elaboración propia 2023.

En la siguiente tabla 11 se detalla los utensilios que fueron usados en la parte experimental.

**Tabla 11** *Utensilios usados en el proceso*

Utensilio	Capacidad	Composición	Cantidad
Cuchillo	Mediano	Acero inoxidable	1
Recipiente	500 ml	Plástico	2
Tabla de corte	15*10 cm	Madera	1
Cortador	400 g.	Plástico y acero inoxidable	1

**Fuente:** Elaboración propia 2023.

### 3.6.2. Equipos

Los equipos que se utilizaron en la parte experimental se detallan en la tabla 12, para mayor detalle de los equipos se puede ver en el Anexo B.

**Tabla 12** *Equipos de laboratorio*

Equipo	Marca	Cantidad	Descripción
Anemómetro	Amprobe	1	Instrumento para medir la velocidad del aire, temperatura ambiente, humedad, punto de rocío, bulbo húmedo, sensación térmica.
Deshidratador de aire caliente	Esztergom	1	Utilizado para deshidratar la cebolla.
Balanza infrarroja	Sartorius	1	Utilizado para medir la humedad de la materia prima y producto final.
Balanza analítica	Gibertini	1	Utilizado para medir el peso de la muestra en cada proceso.
Tamizador	Orto-Alresa	1	Utilizado para unificar el tamaño de partículas de la cebolla en polvo.
Molino de martillos	Webwr Bros	1	Utilizado para reducir el tamaño de las partículas de cebolla deshidratada.

**Fuente:** Elaboración propia 2023.

**CAPÍTULO IV**  
**RESULTADOS Y DISCUSIONES**

#### **IV. Resultados y discusiones**

Efectuada la parte experimental, prosigue la evaluación de resultados por intermedio de cálculos, de los datos obtenidos durante el desarrollo de la parte experimental alcanzando como producto final el polvo de cebolla. De igual forma realizamos un análisis estadístico de las variables reflejadas en el proceso, para determinar la cinética y el mejor modelo matemático de la deshidratación.

##### **4.1. Deshidratado por aire caliente de la cebolla**

Después de efectuar el acondicionamiento de la cebolla, se procedió al cortado en tipo aros con un espesor de 2 mm, para después introducirlo en el deshidratador por aire caliente previa preparación a 55 - 60 °C de temperatura con un flujo de aire de 4 m/s, realizando controles periódicos en un rango de tiempo de 15 minutos, hasta que el peso de la cebolla deshidratada se mantenga constante durante tres controles realizados.

##### **4.1.1. Contenido de humedad en base seca en el proceso de deshidratado**

Según (Ibarz & Barbosa, 2005) el contenido en humedad de las muestras se define como la relación entre la cantidad de agua en el alimento y la cantidad de sólido seco y se calcula según la ecuación 5

$$X = \frac{M_i - SS}{SS} \quad \text{Ecuación 5}$$

Para calcular el sólido seco, se tomó en cuenta en función de la ecuación 6

$$SS = M_i(1 - Hbh) \quad \text{Ecuación 6}$$

Donde:

X = Contenido de humedad en base seca (g agua/g sólido seco)

SS = Sólido seco (g)

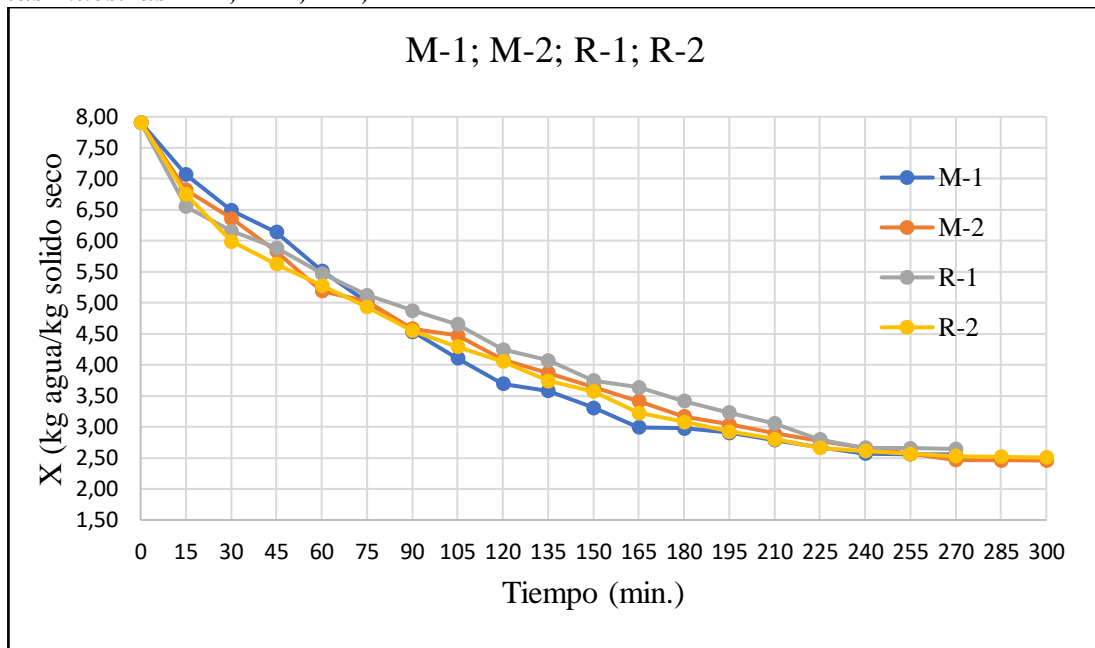
M<sub>i</sub> = Peso de muestra inicial (%)

Hbh = Humedad en base húmeda (%)

#### 4.1.1.1. Variación del contenido de humedad en base seca respecto al tiempo de las muestras M-1, M-2, R-1, R-2

En la figura 24, se muestra la variación del contenido de humedad en base seca en función del tiempo de las muestras (M-1, M-2, R-1, R-2) que fueron controlados cada 15 minutos variando el tiempo entre (270 – 300) minutos y manteniendo constante la temperatura (55°C) y velocidad de secado (4 m/s) los datos obtenidos para realizar las curvas se encuentran en las (tabla C-1), (tabla C-2), (tabla C-5) y (tabla C-6) ubicados en el Anexo C.

**Figura 24** Variación del contenido de humedad en base seca respecto al tiempo de las muestras M-1, M-2, R-1, R-2



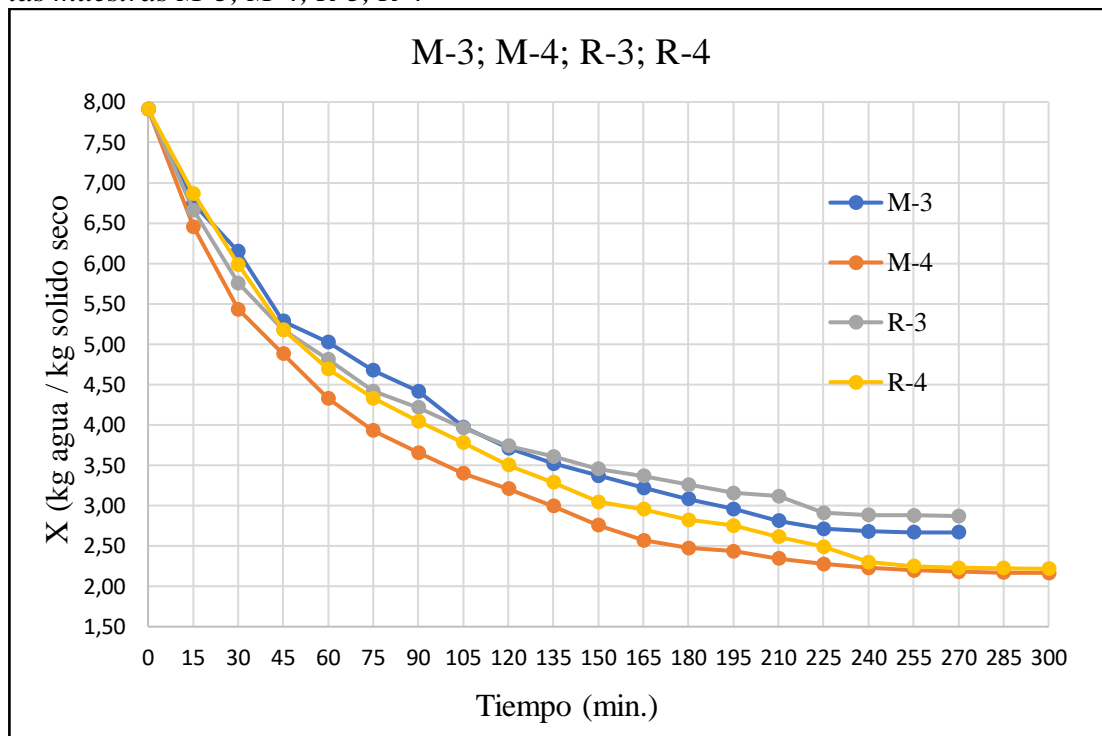
**Fuente:** Elaboración propia 2023.

La Figura 24 muestra que la mejor gráfica y los datos más precisos durante la deshidratación es la R-2, siendo la réplica de la muestra de M-2, que muestra una disminución mínima pero favorable en el contenido humedad 2,51 kg agua/kg solido seco.

#### 4.1.1.2 Variación del contenido de humedad en base seca respecto al tiempo de las muestras M-3, M-4, R-3, R-4

En la figura 25, se muestra la variación del contenido de humedad en base seca en función del tiempo de las muestras (M-3, M-4, R-3, R-4) que fueron controlados cada 15 minutos variando el tiempo entre (270–300) y manteniendo constante la temperatura (60 °C) y velocidad de secado (4 m/s) los datos obtenidos para realizar las curvas se encuentran en la (tabla C-3), (tabla C-4), (tabla C-7) y (tabla C-8) del Anexo C.

**Figura 25** Variación del contenido de humedad en base seca respecto al tiempo de las muestras M-3, M-4, R-3, R-4



**Fuente:** Elaboración propia 2023.

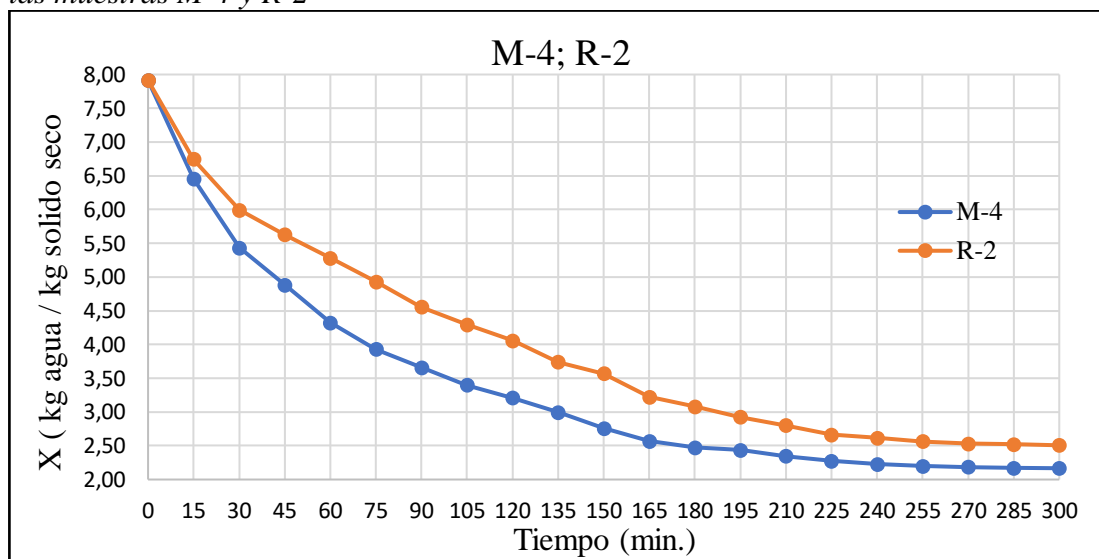
En la figura 25, se puede observar que la mejor gráfica y datos más precisos que favorece el secado es la muestra M-4 se observa una disminución mínima de contenido de humedad final 2,17 kg agua/kg de sólido seco.



#### 4.1.1.3 Variación del contenido de humedad en base seca respecto al tiempo de las muestras M-4 y R-2

En la figura 26, observamos dos curvas de las muestras M-4 y R- 2 las que son comparadas para la definición de la mejor muestra para trabajar en los siguientes cálculos, la mejor muestra es M-4.

**Figura 26** Variación del contenido de humedad en base seca respecto al tiempo de las muestras M-4 y R-2



**Fuente:** Elaboración propia 2023.

#### 4.1.2 Contenido de humedad en base seca de la muestra M-4

Experimentalmente para determinar el contenido de humedad en base seca, se toma en cuenta el valor del contenido de Humedad en base húmeda (88,78) % según los análisis fisicoquímicos de la materia prima que se realizaron en el Centro de Análisis, Investigación y Desarrollo (CEANID) ver el anexo A

Para el cálculo se trabaja con la ecuación 6 para saber la cantidad de sólido seco en a la muestra.

$$S_s = 305,12 (1 - 0,8878)$$

$$S_s = 34,23 \text{ g}$$

Con los datos obtenidos reemplazamos en ecuación 4 para establecer el contenido de humedad en base seca (kg agua/kg sólido seco) para cada control efectuado, como se muestra en la siguiente tabla 13.

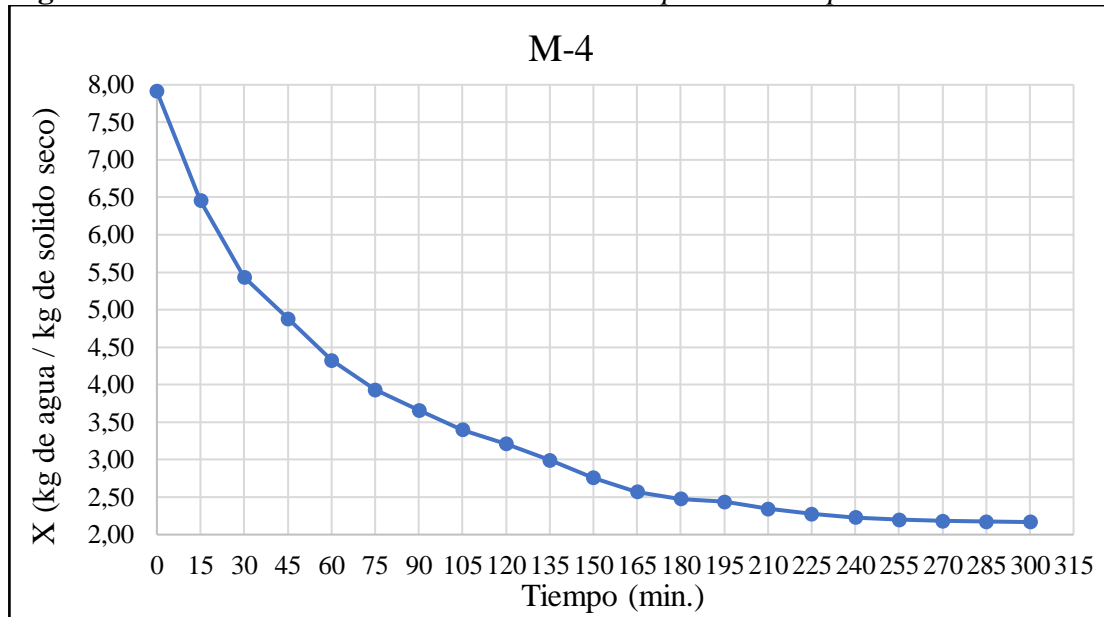
**Tabla 13** *Datos para el cálculo de la humedad en base seca*

<b>Tiempo (min.)</b>	<b>masa de cebolla</b>	<b>X (kg de agua/ kg solido seco)</b>
0	305,12	7,91
15	255,25	6,46
30	220,24	5,43
45	201,32	4,88
60	182,29	4,32
75	168,82	3,93
90	159,43	3,66
105	150,58	3,40
120	144,1	3,21
135	136,71	2,99
150	128,62	2,76
165	122,21	2,57
180	118,99	2,48
195	117,65	2,44
210	114,48	2,34
225	112,18	2,28
240	110,54	2,23
255	109,45	2,20
270	108,98	2,18
285	108,56	2,17
300	108,42	2,17

**Fuente:** Elaboración propia 2023.

La figura 27 se representa con el contenido de humedad en base seca respecto al tiempo de la muestra 4.

**Figura 27** *Contenido de humedad de base seca respecto al tiempo muestra M-4*



**Fuente:** Elaboración propia 2023.

#### 4.1.3. Cinética del deshidratado

En la tabla 14 se muestra los resultados obtenidos para realizar la cinética de secado de las muestras de cebolla deshidratada donde los parámetros controlados fueron: temperatura 60 °C y un tiempo de 300 minutos con control de intervalos de cada 15 minutos con una velocidad del aire 4 m/s, con un tipo de corte en aros de 2 mm de grosor y donde las condiciones de secado fueron las siguientes:

Tamaño de la bandeja: 25 x 25 cm

Área de la bandeja: 0,063 m<sup>2</sup>

Cantidad de muestra: 3005,12 g

Contenido de humedad: 88,78 %

Contenido de sólido seco: 34,24 g

Tiempo de secado: 5 horas.

**Tabla 14** Variación de humedad y velocidad de secado para la muestra M-4

N°	Tiempo (min)	Peso de cebolla (g)	X (kg de agua/kg de sólido seco)	X media (kg/kg)	$\Delta\Theta$ (h)	$\Delta X$ (kg/kg)	$\Delta X/\Delta\Theta$ (kg/kg h)	N (kg/m <sup>2</sup> h)
1	0	305,12	7,913					
2	15	268,25	6,836	7,374	0,250	0,943	3,772	0,737
3	30	241,24	6,047	6,441	0,250	0,885	3,540	0,692
4	45	236,32	5,903	5,975	0,250	0,875	3,500	0,684
5	60	228,2	5,666	5,784	0,250	0,864	3,456	0,675
6	75	183,82	4,369	5,018	0,250	0,844	3,376	0,660
7	90	164,43	3,803	4,086	0,250	0,753	3,012	0,589
8	105	150,58	3,398	3,601	0,250	0,646	2,584	0,505
9	120	134,10	2,917	3,158	0,250	0,605	2,420	0,473
10	135	126,71	2,701	2,809	0,250	0,617	2,468	0,482
11	150	113,62	2,319	2,510	0,250	0,491	1,964	0,384
12	165	110,21	2,219	2,269	0,250	0,529	2,116	0,413
13	180	95,99	1,804	2,012	0,250	0,499	1,996	0,390
14	195	92,65	1,706	1,755	0,250	0,433	1,732	0,338
15	210	89,96	1,628	1,561	0,250	0,429	1,716	0,335
16	225	81,15	1,370	1,499	0,250	0,404	1,616	0,316
17	240	75,98	1,219	1,258	0,250	0,399	1,596	0,312
18	255	70,54	1,060	1,095	0,250	0,386	1,544	0,302
19	270	68,90	1,013	0,895	0,250	0,268	1,072	0,209
20	285	68,70	1,007	0,558	0,250	0,155	0,620	0,121
21	300	68,40	0,998	0,345	0,250	0,095	0,380	0,074

**Fuente:** Elaboración propia 2023.

Donde:

$X$  = Humedad en base seca de las rodajas de piña (kg de agua/kg de sólido seco).

$\Delta X$  = Gradiente de humedad en base seca (kg de agua/kg de sólido seco).

$\Delta \theta$  = Gradiente de tiempo (h).

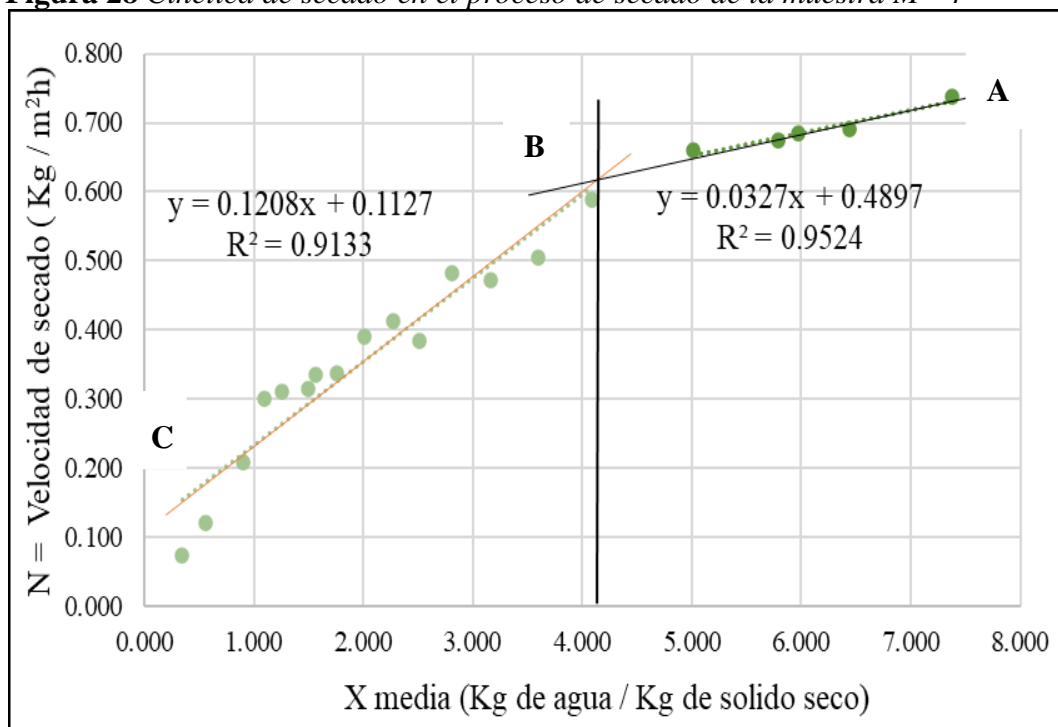
$\Delta X/\Delta \theta$  = Gradiente de humedad en base seca sobre el gradiente de tiempo (kg/kg h).

$X$  media = Humedad promedio (kg de agua/kg de sólido seco).

$N$  = Velocidad de secado ( $\text{kg}/\text{m}^2 \text{ h}$ ).

En la figura 28 se muestra la curva de velocidad de secado de la muestra de la cebolla deshidratada en función del contenido de humedad promedio de datos obtenidos de la tabla 14. Los resultados experimentales fueron realizados mediante regresión lineal en Excel 2016.

**Figura 28** Cinética de secado en el proceso de secado de la muestra M - 4



**Fuente:** Elaboración propia 2023

En la figura 28, se puede observar el comportamiento de pérdida de humedad de la muestra M-4 con la velocidad de secado donde se observa dos tramos distintos (A - B), (B - C) y los cuales se describen a continuación.

En el tramo (A - B) periodo ante crítico cuya velocidad de secado es relativamente constante, se puede observar que finaliza cuando el contenido medio de humedad alcanza la humedad crítica por lo tanto la ecuación matemática de la regresión lineal ajustada con el coeficiente de regresión R<sup>2</sup> (0,9524) para el tramo A - B, se describe en la ecuación 7.

$$y = 0,0327x + 0,04897 \quad \text{Ecuación 7}$$

En el punto B se puede ver la humedad de equilibrio que se muestra en la figura 28 con la intersección de los dos tramos A-B y B-C.

En el tramo B-C periodo de secado post crítico, la velocidad de secado decrece hasta que el contenido de humedad alcanza el equilibrio por lo tanto la ecuación matemática de la regresión lineal ajustada con el coeficiente de regresión R<sup>2</sup> (0,9133) para el tramo B-C, se describe en la ecuación 8.

$$y = 0,1208x + 0,1127 \quad \text{Ecuación 8}$$

#### **4.1.3.1. Modelo matemático para la cinética**

Los modelos matemáticos son empleados para predecir la cinética de deshidratación, considerando el agua que se evapora de la materia prima con respecto a un determinado tiempo, esto nos ayuda a comprender el funcionamiento y manipuleo óptimo del equipo utilizado en el proceso.

Según (Soliman Ahmed H, 1969) estudió el efecto de diversos factores sobre la velocidad de deshidratación demostrando la proporcionalidad entre dicha velocidad con respecto a la diferencia en el contenido de humedad de la materia seca y el contenido de humedad de equilibrio.

Como refleja la siguiente ecuación 9:

$$\frac{dM}{dt} \propto (M - M_e) \quad \text{Ecuación 9}$$

Añadiendo una constante K para demostrar su igualdad como la ecuación 10:

$$\frac{dM}{dt} = -K(M - M_e) \quad \text{Ecuación 10}$$

El signo negativo es añadido debido a que la humedad disminuye en el experimento.

Integrando la ecuación para obtener la relación de humedad con respecto al tiempo.

Donde:

$$\frac{dM}{(M - M_e)} = -Kdt \quad \text{Ecuación 11}$$

$$\int \frac{dM}{(M - M_e)} = \int -Kdt \quad \text{Ecuación 12}$$

Empleando condiciones de frontera:

Para M

Para t

C. F. I. =  $M_0$

C. F. I. = t

C. F. I. =  $M_i$

C. F. I. = 0

Se obtiene la ecuación 13:

$$\ln \left( \frac{M_i - M_e}{M_0 - M_e} \right) = -kt \quad \text{Ecuación 13}$$

Donde:

$M_i$  = Contenido de humedad después de un tiempo i, % (base seca)

$M_e$  = Contenido de humedad de equilibrio, % (base seca)

$M_0$  = Contenido de humedad inicial de la materia % (base seca)

$k$  = Constante de secado

$t$  = Tiempo

En sus investigaciones (Soliman Ahmed H, 1969) empleo la relación de humedad

$$RH = \frac{M_i - M_e}{M_0 - M_e} \quad \text{Ecuación 14}$$

Esta ecuación puede ser reducida a:

$$RH = \frac{M_i}{M_0} \quad \text{Ecuación 15}$$

Esto debido a la fluctuación no uniforme de la radiación que se tiene en los equipos de deshidratación.

Donde:

RH = relación de humedad (base seca)

$$\ln \left( \frac{M_i}{M_0} \right) = -kt \quad \text{Ecuación 16}$$

$$\ln (RH) = -kt \quad \text{Ecuación 17}$$

$$RH = e^{-kt} \quad \text{Ecuación 18}$$

Esta ecuación también fue evaluada a través de diversos estudios, en su búsqueda de mecanismos generales de secado generando nuevos modelos matemáticos similares al planteado por (Soliman Ahmed H, 1969).

Según (Lema A, 2004), los modelos matemáticos más empleados para el proceso de deshidratación en capa delgada son los descritos en la siguiente tabla 15.

**Tabla 15** Modelos matemáticos seleccionados para describir la cinética de deshidratación en capa delgada.

N°	Nombre del modelo matemático	Expresión matemática
1	Newton	$RH = e^{-kt}$
2	Page	$RH = e^{-kt^n}$
3	Henderson & Pabis	$RH = a e^{-kt}$

**Fuente:** Elaboración propia 2023



Empleando dichos modelos matemáticos, el análisis de regresión no lineal fue realizado mediante un programa de computación denominado Minitab 20, evaluando el ajuste de los modelos matemáticos propuestos con los datos experimentales.

Asimismo, se calculó el coeficiente de determinación  $R^2$  para analizar estadísticamente cuán cerca se encuentra la expresión predicha de la experimental como también el residual que se tiene entre estas.

$$R^2 = \frac{\sum_{i=1}^n (RH_{Predicha} - \overline{RH})^2}{\sum_{i=1}^n (RH_{experimental} - \overline{RH})^2} \quad \text{Ecuación 19}$$

$$\text{Residual} = RH_{experimental} - RH_{predicha} \quad \text{Ecuación 20}$$

Donde  $RH_{experimental}$  y  $RH_{Predicha}$  son las relaciones de humedad experimental y predicha por los modelos respectivamente, N es el número de experimentos.

Obteniendo las siguientes expresiones y datos según la regresión no lineal con el uso de ya mencionados modelos matemáticos, ver tabla 16.

**Tabla 16** Resultados de la regresión no lineal

Nº	Nombre del modelo matemático	Expresión matemática	Constantes	Coefficiente de determinación
1	Newton	$RH = e^{-kt}$	k= 0,00796187	$R^2 = 0,9981$
2	Page	$RH = e^{-kt^n}$	k= 0,0112188 n=0,930329	$R^2 = 0,9986$
3	Henderson & Pabis	$RH = a e^{-kt}$	a=0,975686 k=0,00774493	$R^2 = 0,9977$

**Fuente:** Elaboración propia 2023

Empleando los modelos matemáticos obtenidos por regresión en el software estadístico se recalcula el  $RH_{Predicha}$  para posteriormente calcular el residual, mostrando cuán lejano se encuentran estos valores, tanto el valor del experimental y del valor predicho junto con el coeficiente de determinación.

**Tabla 17** Regresiones y residuales según cada modelo matemático

N°	$RH = \frac{X_i}{X_0}$	Tiempo (min)	Modelo Newton		Modelo de Page		Modelo de Henderson & Pabis	
			RH <sub>Predicha</sub>	residual	RH <sub>Predicha</sub>	residual	RH <sub>Predicha</sub>	residual
1	1,000	0	1,000	0,000	1,000	0,000	0,976	0,024
2	0,864	15	0,887	-0,024	0,870	-0,006	0,869	-0,005
3	0,764	30	0,788	-0,023	0,767	-0,003	0,773	-0,009
4	0,672	45	0,699	-0,027	0,679	-0,007	0,689	-0,016
5	0,616	60	0,620	-0,004	0,603	0,014	0,613	0,003
6	0,552	75	0,550	0,002	0,536	0,016	0,546	0,006
7	0,481	90	0,488	-0,008	0,478	0,003	0,486	-0,005
8	0,430	105	0,433	-0,004	0,427	0,003	0,433	-0,003
9	0,369	120	0,385	-0,016	0,381	-0,013	0,385	-0,017
10	0,341	135	0,341	0,000	0,341	0,000	0,343	-0,002
11	0,293	150	0,303	-0,010	0,305	-0,012	0,305	-0,012
12	0,280	165	0,269	0,012	0,273	0,007	0,272	0,009
13	0,228	180	0,239	-0,011	0,245	-0,017	0,242	-0,014
14	0,216	195	0,212	0,004	0,220	-0,004	0,215	0,000
15	0,206	210	0,188	0,018	0,197	0,008	0,192	0,014
16	0,173	225	0,167	0,006	0,177	-0,004	0,171	0,002
17	0,154	240	0,148	0,006	0,159	-0,005	0,152	0,002
18	0,134	255	0,131	0,003	0,143	-0,009	0,135	-0,001
19	0,128	270	0,117	0,011	0,129	-0,001	0,121	0,007
20	0,127	285	0,103	0,024	0,116	0,012	0,107	0,020
21	0,126	300	0,092	0,034	0,104	0,022	0,096	0,031

**Fuente:** Elaboración propia 2023

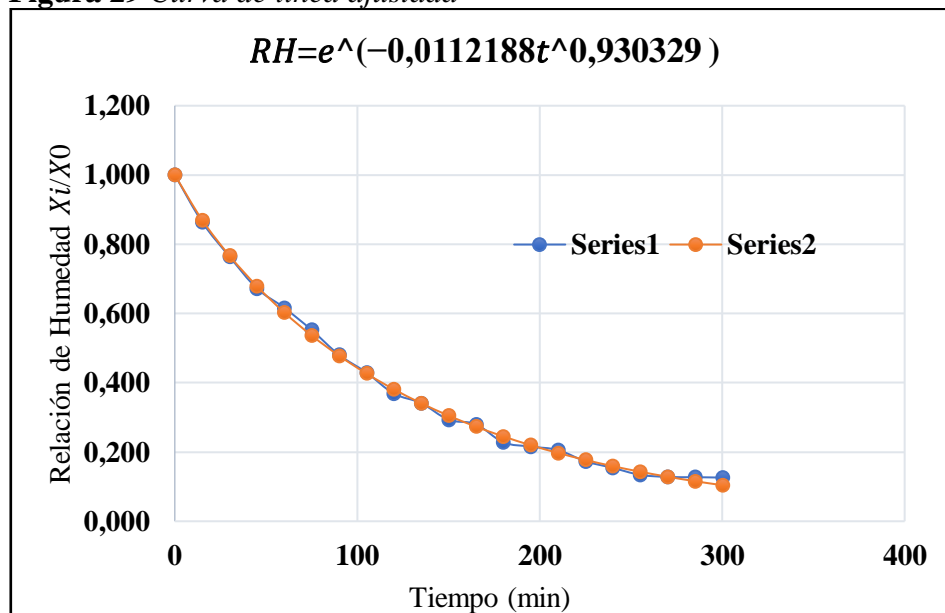
En la tabla 17 se puede notar que el coeficiente de determinación es mayor empleando el modelo de Page  $R^2 = 0,9986$ , de igual manera también se puede ver en la tabla que los residuales son menores entre  $RH_{experimental}$  y  $RH_{Predicha}$ .

De esta forma la ecuación de cinética de deshidratación queda de la siguiente manera:

$$RH = e^{-0,0112188t^{0,930329}}$$

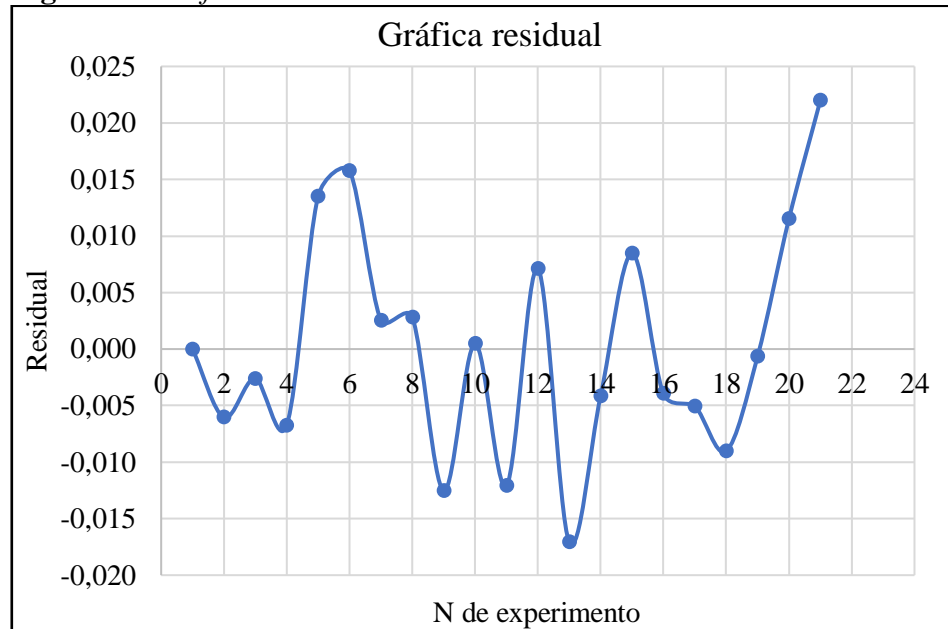
En la siguiente figura 29 se puede ver la curva de  $RH_{experimental}$  y  $RH_{Predicha}$  usando el modelo de Page:

**Figura 29** Curva de línea ajustada



**Fuente:** Elaboración propia 2023.

Mientras que los residuales no muestran una notable diferencia entre el  $RH_{experimental}$  y  $RH_{Predicha}$  como se puede ver en la siguiente figura 30.

**Figura 30** *Gráfica residual*

**Fuente:** Elaboración propia 2023.

Se puede observar que la mayor diferencia existente aplicando el modelo de regresión exponencial, se obtuvo en el experimento según el tiempo 21, seguido del experimento según el tiempo 6, siendo diferente al  $RH_{\text{experimental}}$  que se realizó en el laboratorio.

#### 4.2. Análisis de varianza del diseño experimental

Los valores numéricos que intervinieron en el proceso de la cebolla en polvo según el diseño factorial son los presentados en la tabla 18, para introducirlo en el programa estadístico SPSS (Statistical Package for the Social Sciences), los datos obtenidos de rendimiento nos ayudan a generar la tabla ANOVA (Analysis of Variance).

**Tabla 18** Datos para el análisis de varianza

N° de ensayo	Variables independientes		Variable respuesta
	Temperatura	Tiempo	Humedad relativa
1	55	270	4,02
2	55	300	2,46
3	60	270	2,67
4	60	300	2,17
Réplica			
1	55	270	4,21
2	55	300	2,51
3	60	270	2,87
4	60	300	2,14

**Fuente:** Elaboración propia 2023.

El análisis de varianza ANOVA particiona la variabilidad de la variable respuesta (humedad en base seca) en piezas separadas para cada uno de los efectos (variables independientes e interacciones entre dichas variables) dando como resultado la significancia estadística de estas, para aceptar o rechazar las hipótesis tanto nula como alternativa que fueron planteadas en el proyecto de investigación. Los resultados se detallan en la tabla 19.

**Tabla 19** Resultados del análisis de varianza

Pruebas de efectos inter-sujetos					
Variable dependiente:	Hbs				
Origen	Tipo III de suma de cuadrados	gl	Media cuadrática	F	Sig.
Modelo corregido	4,438 <sup>a</sup>	3	1,479	148,862	0,000
Intersección	66,413	1	66,413	6683,050	0,000
Temperatura	1,403	1	1,403	141,164	0,000
Tiempo	2,520	1	2,520	253,586	0,000
Temperatura * Tiempo	0,515	1	0,515	51,835	0,002
Error	0,040	4	0,010		
Total	70,891	8			
Total, corregido	4,478	7			

a. R al cuadrado = 0,991 (R al cuadrado ajustada = 0,984)

**Fuente:** elaboración propia 2023.

Donde:

gl = grados de libertad

F = Prueba de Fisher

Sig. = significancia estadística

Según la tabla 19 se puede aceptar la hipótesis alterna para las variables independientes (tiempo y temperatura) como también para las interacciones, debido a que estos efectos tienen un valor de significancia menor a 0.05, debido a que se utilizó un intervalo de confianza del 99 %, por lo tanto, estos efectos influyen en la variable respuesta que en nuestro caso es la humedad en base seca.

#### 4.2.1. Regresión lineal múltiple

Para la determinación de su respectivo modelo matemático se discriminan los valores con una significancia mayor a 0,05 de la tabla 20, debido a que no tienen una apreciable influencia en la variable respuesta.

**Tabla 20** *Determinación de su respectivo modelo matemático*

Modelo		Coeficientes <sup>a</sup>				
		Beta		Coeficientes estandarizados	t	Sig.
1	(Constante)	134,065	15,438		8,684	0,001
	Tiempo	-0,427	0,054	-8,551	-7,885	0,001
	Temperatura	-2,096	0,268	-7,004	-7,814	0,001
	Temperatura * Tiempo	0,007	0,001	10,124	7,200	0,002

a. Variable dependiente: Hbs

**Fuente:** Elaboración propia 2023.

De la tabla 20 se obtiene el modelo matemático:

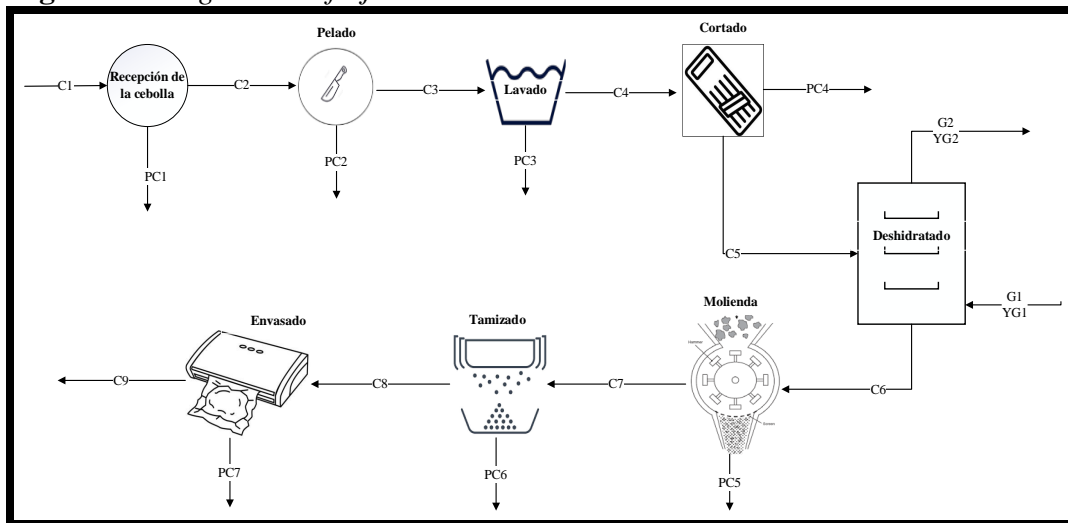
$$X = 134,065 - 0,427 * \text{tiempo} - 2,096 * \text{temperatura} + 0,007 * \text{tiempo} * \text{temperatura}$$

Este modelo matemático se emplea para describir una variable de respuesta continua como una función de las varias variables predictoras empleadas e interacciones entre ellas. Puede ayudar a comprender y predecir el comportamiento al emplear distintos valores de las variables independientes.

### 4.3. Balance de materia del proceso

Para el polvo de cebolla se realizó varios procesos como muestra el diagrama donde se identifican las corrientes y pérdidas como se muestra en la figura 31.

**Figura 31** Diagrama de flujo del balance de materia



**Fuente:** Elaboración propia 2023

Donde:

C1 = Cantidad de cebolla inicial (g)

C2 = Cantidad de cebolla idónea para el pelado (g)

C3 = Cantidad de cebolla pelada (g)

C4 = Cantidad de cebolla lavada (g)

C5 = Cantidad de cebolla cortada (g)

C6 = Cantidad de cebolla deshidratada (g)

C7 = Cantidad de cebolla molida (g)

C8 = Cantidad de polvo de cebolla tamizada (g)

C9 = Cantidad de polvo de cebolla final (g)

PC1 = Pérdida de cebolla en mal estado (g)

PC2 = Pérdida de cascara de cebolla (g)



PC3 = Pérdida de impurezas de la cebolla (g)

PC4 = Pérdida del tallo de la cebolla (g)

PC5 = Pérdida de cebolla en la molienda (g)

PC6 = Pérdida del polvo de cebolla en el tamiz (g)

PC7 = Pérdida del polvo de cebolla en el envasado (g)

G1 = Caudal másico del aire a la entrada del deshidratador (kg aire seco/h)

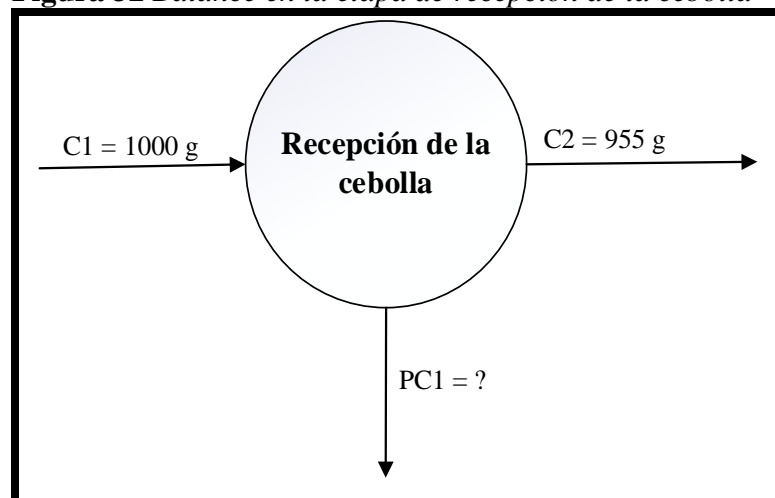
G2 = Caudal másico del aire a la salida del deshidratador (kg aire seco/h)

#### 4.3.1. Balance de materia en el proceso de recepción de la cebolla

En la figura 32, se muestra el proceso de balance de materia en la etapa de recepción iniciando con 1000 g de cebolla que entra en la C1 es la cantidad de cebolla inicial (g).

Se puede notar pérdidas en el peso, esto debido a las cebollas en mal estado y el acondicionamiento realizado para continuar con siguiente proceso, que es el pelado de la materia prima mismo que asciende a 955 g, datos tomados en la parte experimental del trabajo.

**Figura 32** Balance en la etapa de recepción de la cebolla



**Fuente:** Elaboración propia 2023.

Balance de materia en la etapa de recepción de la cebolla según la ecuación siguiente:

$$C1 = PC1 + C2 \quad \text{Ecuación 21}$$

Despejando el dato faltante que sería PC1 perdida de cebolla en mal estado.

$$PC1 = C1 - C2$$

Reemplazando los datos:

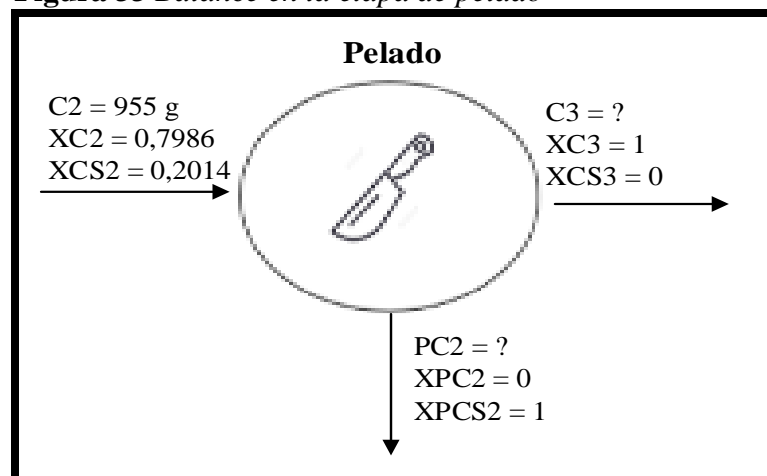
$$PC1 = 1000 \text{ g} - 955 \text{ g}$$

$$PC1 = 45 \text{ g perdida de cebolla en mal estado.}$$

#### 4.3.2. Balance de materia en el proceso de pelado

En la figura 33, se muestra el proceso de pelado donde entra C2 cantidad de cebolla idónea para el pelado con una masa de 955 g y con fracción de cebolla 0,7986 y fracción de cascará de cebolla 0,2014 para el proceso de pelado de la cebolla donde también se quitará el disco basal de la misma.

**Figura 33** Balance en la etapa de pelado



**Fuente:** Elaboración propia 2023.

XC2 = Fracción de cebolla en la corriente C2

XC3 = Fracción de cebolla en la corriente C3

XCS2 = Fracción de cascará de cebolla en la corriente C2

XCS3 = Fracción de cascara de cebolla en la corriente C3

XPC2 = Fracción de pérdida de cebolla

XPCS2 = Fracción de pérdida de cascara de cebolla

El balance de materia en la etapa del pelado:

$$C2 = PC2 + C3 \quad \text{Ecuación 22}$$

Entonces:

$$C2 * XC2 = PC2 * XPC2 + C3 * XC3$$

$$955 \text{ g} * 0,7986 = PC2 * 0 + C3 * 1$$

Despejando:

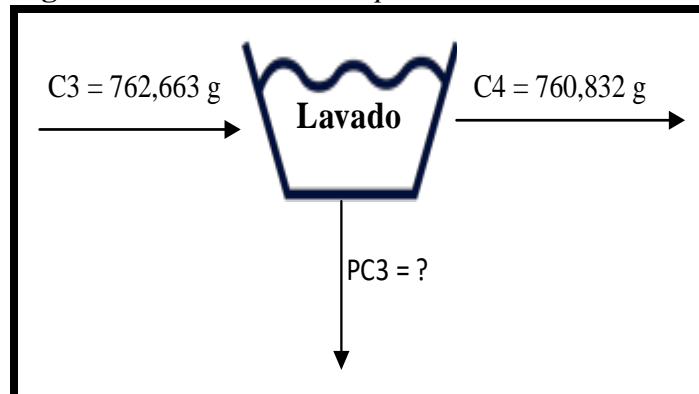
$$C3 = 955 \text{ g} * 0,7986$$

$$C3 = 762,663 \text{ g de cebolla pelada}$$

#### 4.3.4. Balance de materia en el proceso del lavado

En la figura 34, se muestra la etapa del lavado de la cebolla que forma parte del balance de materia previamente pelada, el lavado realizado es por aspersión con una masa entrante al lavado es de 762,663 g y una masa de salida que fue pesada en una balanza analítica 760,832 g la diferencia de masa es la pérdida de impurezas en el proceso de lavado de la cebolla.

**Figura 34** Balance en la etapa de lavado



**Fuente:** Elaboración propia 2023.

Balance de materia en la etapa de lavado de la cebolla pelada:

$$C3 = C4 + PC3 \quad \text{Ecuación 23}$$

Entonces:

$$762,663 \text{ g} = 760,832 \text{ g} + PC3$$

Despejando:

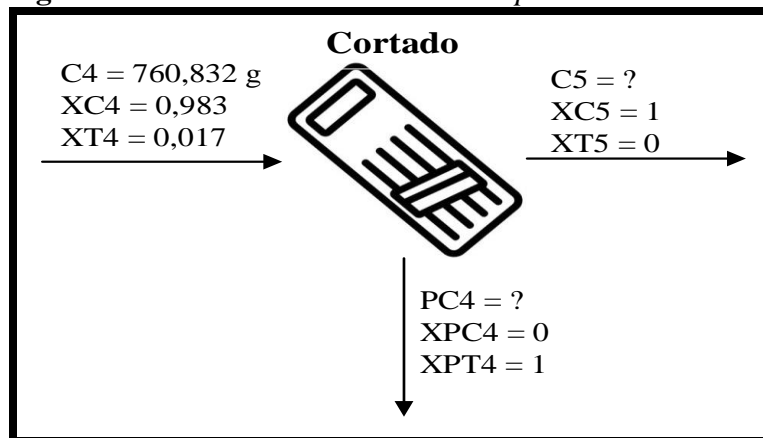
$$PC3 = 762,663 \text{ g} - 760,832 \text{ g}$$

$$PC3 = 1,831 \text{ g perdida de impurezas de la cebolla.}$$

#### 4.3.5. Balance de materia en el proceso de cortado

En la figura 35, se muestra el proceso de balance de materia en la etapa del cortado de la cebolla el cual inicia con una cantidad de 760,832 g después del proceso de lavado.

**Figura 35** Balance de materia en la etapa de cortado



**Fuente:** Elaboración propia 2023.

$XC4$  = Fracción de cebolla en la corriente  $C4$

$XC5$  = Fracción de cebolla en la corriente  $C5$

$XT4$  = Fracción de tallo de la cebolla

$XT5$  = Fracción de tallo de la cebolla

$XPC4$  = Fracción de pérdidas de cebolla

$XPT4$  = Fracción de pérdidas de tallos de la cebolla

Balance de materia en la etapa de cortado de la cebolla según la siguiente ecuación:

$$C4 = C5 + PC4 \quad \text{Ecuación 24}$$

Entonces:

$$C4 * XC4 = C5 * XC5 + PC4 * XPC4$$

$$760,832 \text{ g} * 0,983 = C5 * 1 + PC4 * 0$$

Despejando:

$$C5 = 760,832 * 0,983$$

$$C5 = 747,898 \text{ g de cebolla cortada en aros}$$

Para el cálculo de pérdidas en la etapa de cortado de cebolla se reemplaza en la ecuación:

$$C4 * XT4 = C5 * XT5 + PC4 * XPT4$$

$$760,832 \text{ g} * 0,017 = C5 * 0 + PC4 * 1$$

$$PC4 = 760,382 \text{ g} * 0,017$$

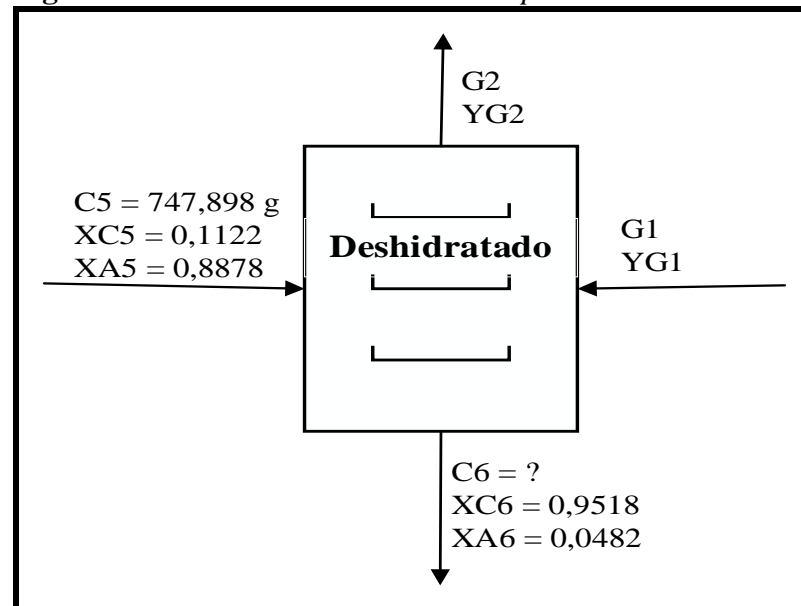
$$PC4 = 12,926 \text{ g perdida del tallo de la cebolla}$$

#### **4.3.6. Balance de materia en el proceso de deshidratado**

Una vez que se termina la etapa del cortado se pasa de manera inmediata a lo que es el deshidratado por aire caliente de la cebolla cortada.

En la figura 36, se muestra la etapa del deshidratado de la cebolla que sale del proceso de cortado con una cantidad de cebolla cortada entrante e inicial de 747,898 g, con una Humedad inicial en base húmeda al 88,78 %, al final del proceso en la corriente C6 aun para la determinación y el cálculo de la cantidad de masa la cual sale con una Humedad final en base seca del de la cebolla deshidratada es 4,82 % que fueron determinados en el Centro de Análisis, Investigación y Desarrollo (CEANID) ver Anexo A.

**Figura 36** Balance de materia en la etapa del deshidratado



**Fuente:** Elaboración propia 2023.

$XC5$  = Fracción de cebolla en la corriente  $C5$

$XC6$  = Fracción de cebolla en la corriente  $C6$

$XA5$  = Fracción de agua en la corriente  $C5$

$XA6$  = Fracción de agua en al corriente  $C6$

El balance de materia en la etapa de deshidratación de la cebolla:

$$C5 + G1 = C6 + G2 \quad \text{Ecuación 25}$$

Balance parcial de materia para el componente sólido seco

$$C5 * XC5 = C6 * XC6 \quad \text{Ecuación 26}$$

Despejando  $C6$  en la ecuación 26 se obtiene:

$$C6 = \frac{C5 * XC5}{XC6}$$

Remplazando valores:

$$C6 = \frac{747,898 \text{ g} * 0,1122}{0,9518}$$

$C6 = 88.1636$  g cebolla deshidratada en aros

Balance parcial en bases seca en la etapa de deshidratado donde se tomó en cuenta la ecuación 25 mencionada por (Singh & Heldman, 2009).

$$C5 * X5 + G1 * YG1 = C6 * X6 + G2 * YG2 \quad \text{Ecuación 27}$$

Donde:

$X5$  = Humedad en base seca inicial

$X6$  = Humedad en base seca final

Para la determinación de la cantidad de aire seco en el deshidratador se considera que el caudal masico del aire y el sólido seco son iguales por ellos se entiende:

$G1 = G2 = G$  = Caudal másico del aire (kg de aire/ hora)

$C5 = C6 = C$  = Caudal másico del producto (kg de sólido seco/ hora)

$X$  = Humedad base seca (kg de agua/kg de sólido seco)

$Y$  = Humedad del aire (kg de agua/kg de aire seco)

Remplazando las variables en la ecuación 27:

$$C * X5 + G * YG1 = C * X6 + G * YG2 \quad \text{Ecuación 28}$$

Dividiendo la ecuación 28 entre el caudal masico del producto  $C$ , se tiene:

$$X5 + G * YG1 / C = X6 + G * YG2 / C \quad \text{Ecuación 29}$$

Ordenando la ecuación 29 se tiene:

$$\frac{G * YG1}{C} - \frac{G * YG2}{C} = X5 - X6 \quad \text{Ecuación 30}$$

Factorizando G/C de la ecuación 30 se tiene:

$$G = \frac{(X5 - X6) * C6}{YG2 - YG1} \quad \text{Ecuación 31}$$

A partir de la ecuación 31, se puede determinar la cantidad de aire seco en la etapa de deshidratado.

Para calcular el contenido de humedad inicial y final de las cebollas en base seca, determine de acuerdo con la siguiente ecuación 32. (Singh & Heldman, 2009).

$$X = \frac{X_{\text{agua}}}{X_{\text{sólido seco}}} = \text{kg de agua/kg de sólido seco} \quad \text{Ecuación 32}$$

De acuerdo a la ecuación 32, se calcula el contenido de humedad en base seca inicial en el deshidratado donde:

$$X = X5 = \text{Humedad en base seca inicial}$$

$$X_{\text{agua}} = XA5 = \text{fracción de agua en la corriente C5}$$

$$X_{\text{sólido seco}} = XC5 = \text{fracción de cebolla deshidratada en la corriente C5.}$$

$$X5 = \frac{XA5}{XC5}$$

$$X5 = \frac{0,8878}{0,1122}$$

$$X5 = 7,9126 \text{ kg de agua/kg de sólido seco}$$

De acuerdo a la ecuación 32, se calcula el contenido de humedad en base seca final en el deshidratado donde:



$X = X_6 =$  Humedad en base seca final

$X_{\text{agua}} = X_{A6}$  =fracción de agua en la corriente C6

$X_{\text{sólido seco}} = X_{C6}$  = fracción de cebolla deshidratada en la corriente C6.

$$X_6 = \frac{X_{A6}}{X_{C6}}$$

$$X_6 = \frac{0,0482}{0,9518}$$

$$X_6 = 0,0506 \text{ kg de agua/kg de sólido seco}$$

En la tabla 37, se muestra las propiedades psicométricas en base a los datos obtenidos de temperatura de bulbo seco y temperatura de bulbo húmedo medidos a la entrada y salida del deshidratador que fueron introducidos al software visor de carta psicométrica 4.1.0 (DAIKIN) a 1866 msnm según (INE, 2002).

**Figura 37** *Propiedades psicométricas del aire*

Propiedades	Aire frío	Aire saturado
Tbs (°C)	28,56	35,89
Tbh (°C)	22,72	25,22
HR (%)	63,24	45,35
Y (g agua/kg aire seco)	19,40	21,10
PVP (Kpa)	2,471	2,680

**Fuente:** Elaboración propia 2023.

Donde:

PVP = Presión parcial de vapor de agua

Y = Humedad absoluta (g de agua/kg de aire seco)

Tbs = Temperatura de bulbo seco (°C)

Tbh = Temperatura de bulbo húmedo (°C)

HR = Humedad relativa (%)

Para la cantidad de cebolla cortada en aros 747,898 g la relación de cantidad de materia seca (C6) de la cebolla en aros es 88,1636 g de sólido seco.

Reemplazando los valores a la ecuación 31 para calcular la cantidad de masa de aire seco.

$$G = \frac{(7,9126 - 0,0506) \frac{\text{g de agua}}{\text{g solido seco}} * 88,1636 \text{ g solido seco}}{(21,1 - 19,4) \frac{\text{g de agua}}{\text{kg de aire seco}}}$$

$$G = 407,73 \text{ kg de aire seco}$$

Para calcular la masa de agua evaporada se tomó en cuenta la siguiente ecuación:

$$AE = (X5 - X6) * C6 \quad \text{Ecuación 33}$$

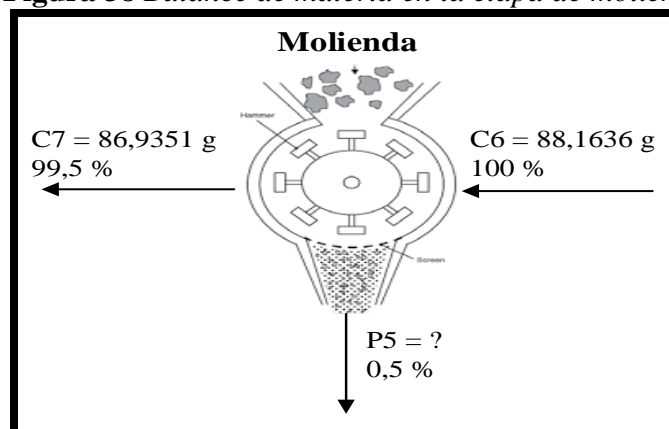
$$AE = (7,9126 - 0,0506) * 88,1636 \text{ g.}$$

$$AE = 693,142 \text{ g. de agua evaporada}$$

#### 4.3.7. Balance de materia en el proceso de molienda

En la figura 38, se muestra el balance de la etapa de molienda de la cebolla deshidratada con una cantidad de ingreso en la corriente C7 es de 88,1636 g, la cantidad obtenida efectuado el proceso de molienda es de 86,9351 g que fueron pesados en la balanza analítica.

**Figura 38** Balance de materia en la etapa de molienda



**Fuente:** Elaboración propia 2023.

Balance de materia en la etapa de la molienda de la cebolla deshidratada:

$$C6 = C7 + PC5 \quad \text{Ecuación 34}$$

Balance para calcular la cantidad de pérdida en la etapa de la molienda:

$$PC5 = \frac{C7 * 0,5 \%}{100 \%}$$

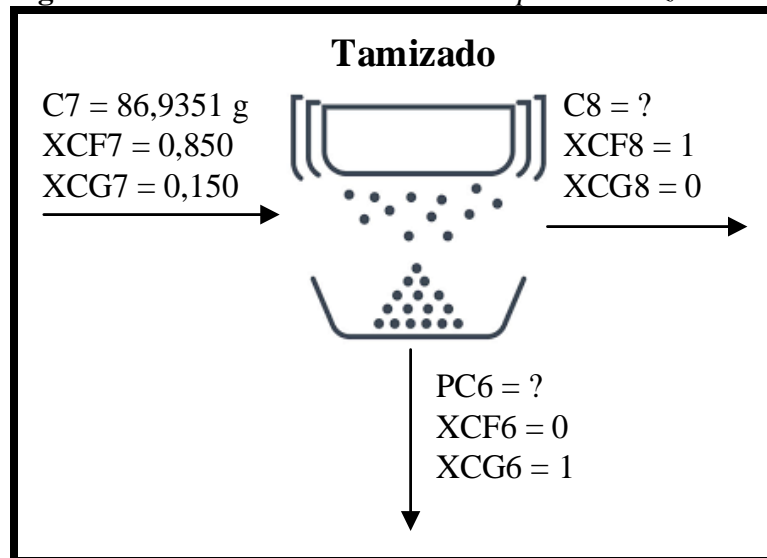
$$PC5 = \frac{86,9351 \text{ g} * 0,5 \%}{100\%}$$

$$PC5 = 0,4347 \text{ g de pérdida de cebolla en la molienda.}$$

#### 4.3.8. Balance de materia en el proceso de tamizado

En la figura 39, se muestra el balance de materia en la etapa del tamizado, a la cual ingresa 86,9351 g cantidad de cebolla molida, para efectuar la separación según el tamaño de partícula.

**Figura 39** Balance de materia en la etapa del tamizado



**Fuente:** Elaboración propia 2023.

XCF6 = Fracción de pérdida de partícula fina en la corriente PC6

XCF7 = Fracción de partícula fina en la corriente C7.

XCF8 = Fracción de partícula fina en la corriente C8.

$XCG6$  = Fracción de pérdida de partícula gruesa en la corriente PC6.

$XCG7$  = Fracción de partícula gruesa en la corriente C7.

$XCG8$  = Fracción de partícula gruesa en la corriente C8.

Balance de materia en la etapa de tamizado de la cebolla deshidratada molida:

$$C7 = C8 + PC6 \quad \text{Ecuación 35}$$

Balance para materia fina en la etapa del tamizado.

$$C7 * XCF7 = C8 * XCF8 + PC6 * XCF6$$

$$86,9351 \text{ g} * 0,850 = C8 * 1 + PC6 * 0$$

Despejando:

$$C8 = 73,89 \text{ g de cebolla molida de partícula fina.}$$

Balance para materia gruesa en la etapa del tamizado.

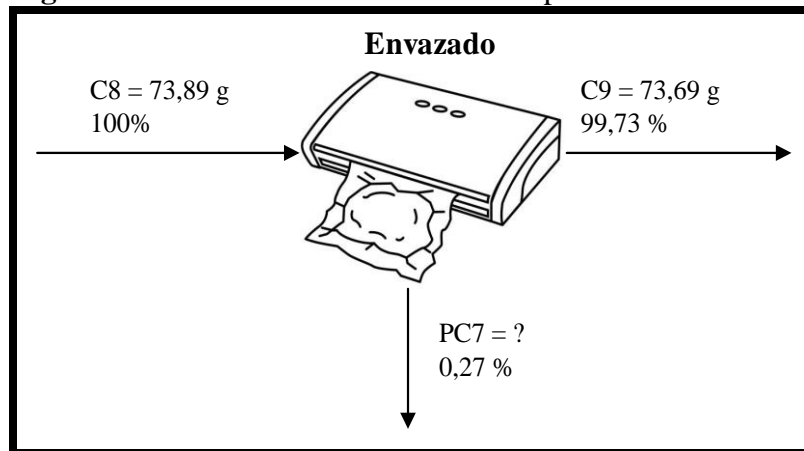
$$C7 * XCG7 = C8 * XCG8 + PC6 * XCG6$$

$$86,9351 \text{ g} * 0,150 = 73,89 \text{ g} * 0 + PC6 * 1$$

$$PC6 = 6,287 \text{ g pérdida de polvo de cebolla en el tamiz.}$$

#### **4.3.9. Balance de materia en el proceso de envasado**

La Figura 40 muestra el balance de materia en el proceso de envasado al vacío basado en la masa real de C8 que ingresa al proceso, que es de 73,89 g al principio y la cantidad final es el producto en sí, como es el polvo de cebolla en la corriente de C9 es de 73,69 g teniendo así en cuenta la diferencia de masa en el proceso de envasado al vacío como pérdida del polvo de cebolla.

**Figura 40** Balance de la materia en la etapa de envasado

**Fuente:** Elaboración propia 2023.

Balance de materia en la etapa de envasado:

$$PC7 = \frac{C8 * 0,27 \%}{100 \%} \quad \text{Ecuación 36}$$

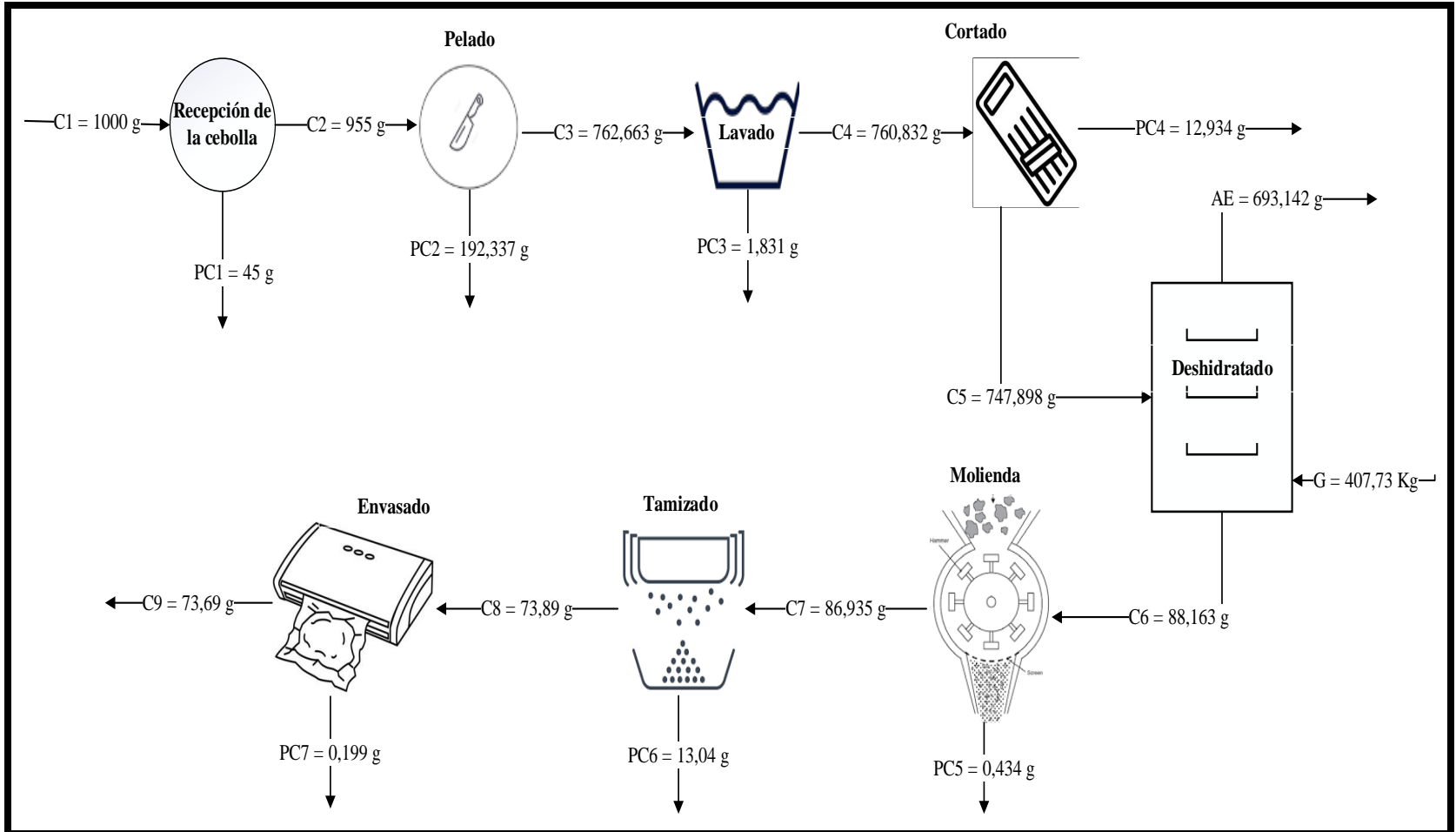
$$PC7 = \frac{C8 * 0,27 \%}{100 \%}$$

$$PC7 = \frac{73,89 \text{ g} * 0,27 \%}{100 \%}$$

$PC7 = 0,199 \text{ g}$  de pérdida del polvo de cebolla en el envasado.

4.3.10. Resumen del balance de materia de todo el proceso

Figura 41 Balance de materia resumido del proceso



Fuente: Elaboración propia 2023.

#### 4.4. Rendimientos

Se realiza los cálculos de rendimiento según la siguiente ecuación 37:

$$\% R = \frac{\text{masa final}}{\text{masa inicial}} * 100 \quad \text{Ecuación 37}$$

##### 4.4.1. Rendimiento en el deshidratado

El rendimiento en el proceso de deshidratado se considera la cantidad de cebolla entrante con la cantidad de cebolla ya deshidratada con la ecuación 37:

$$\%Rh = \frac{88,163 \text{ g}}{747,898 \text{ g}} * 100$$

$$\% Rh = 11,79$$

##### 4.4.2. Rendimiento del proceso

El rendimiento del proceso se considera los procesos anteriores a la deshidratación y los procesos posteriores también se calcula con la ecuación 37:

$$\%Rp = \frac{73,69 \text{ g}}{1000 \text{ g}} * 100$$

$$\% Rp = 7,369$$

#### 4.5. Balance de energía del proceso

Para realizar el balance de energía se deben considerar los procesos que impliquen un intercambio de energía dentro del sistema.

Aplicando la primera ley de la termodinámica “Ley de la conservación de la energía”. Si la frontera de un sistema no permite el transporte de materia entre el sistema y sus alrededores, entonces se dice que el sistema es cerrado, descrito mediante la siguiente ecuación. (Smith, J. 1996).

$$\Delta E_{\text{cinética}} + \Delta E_{\text{potencial}} + \Delta U = Q + W \quad \text{Ecuación 38}$$

Los sistemas cerrados a menudo experimentan procesos donde la energía cinética y potencial son tan pequeños que pueden considerarse a estos como despreciables, sino solamente en su energía interna (Smith J., 1996).

$$\Delta E_{\text{cinética}} + \Delta E_{\text{potencial}} = 0$$

Como el sistema se encuentra en un estacionario el volumen se mantiene constante por lo cual no se efectúa el trabajo en el sistema (Smith J., 1996).

$$W = 0$$

Entonces la ecuación es:

$$\Delta U = Q \quad \text{Ecuación 39}$$

$$Q_{\text{cedido}} = Q_{\text{ganado}}$$

Según (Smith J., 1996), para un sistema estacionario a volumen constante el calor sensible y latente es igual a:

$$Q_{\text{sensible}} = m C_p \Delta T \quad \text{Ecuación 40}$$

$$Q_{\text{latente}} = m * \lambda \quad \text{Ecuación 41}$$

Donde:

$m$  = Masa del componente (kg)

$C_p$  = Capacidad calorífica (kcal/ kg °C)

$\Delta T$  = Diferencial de temperatura (°C)

$T_f$  = Temperatura final (°C)

$T_i$  = Temperatura inicial (°C)

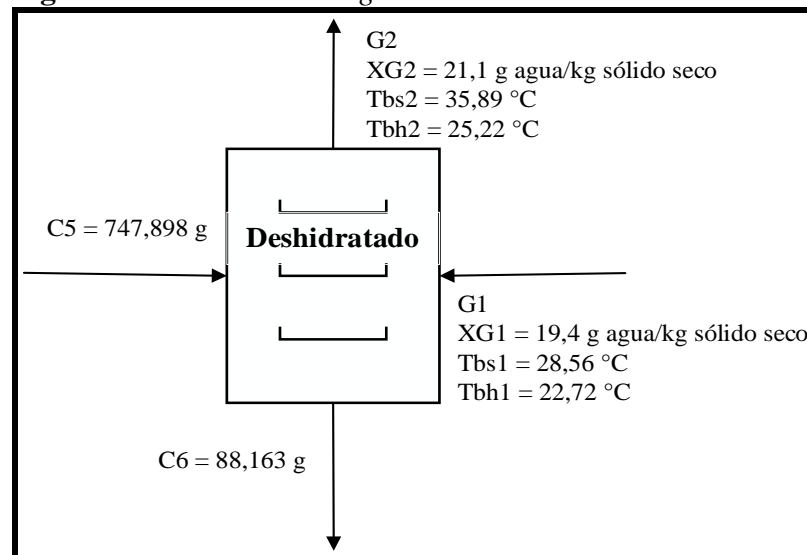
$\lambda$  = Calor latente de vaporización (kcal/kg)



#### 4.5.1. Balance de energía en la etapa de deshidratado de la cebolla

En la figura 42 se muestra el balance de energía para la cebolla proveniente de la etapa de corte. Así mismo, se extrajeron valores de humedad relativa, temperatura del bulbo seco y temperatura del bulbo húmedo de la tabla 37.

**Figura 42** Balance de energía en el deshidratado



Fuente: elaboración propia 2023.

Donde:

C5 = Cantidad de cebolla cortada (g)

C6 = Cantidad de cebolla deshidratada (g)

G1 = Cantidad de aire caliente a la entrada del deshidratador (g)

XG1 = Humedad absoluta (kg de agua/ kg aire seco)

Tbs1 = Temperatura de bulbo seco a la entrada de deshidratador (°C)

Tbh1 = Temperatura de bulbo húmedo a la entrada del deshidratador (°C)

G2 = Cantidad de aire húmedo a la salida del deshidratador (g)

XG2 = Humedad absoluta (kg de agua/ kg aire seco)

Tbs2 = Temperatura de bulbo húmedo a la salida del deshidratador (°C)

Tbh2 = Temperatura de bulbo húmedo a la salida del deshidratador (°C)

Balance combinado de materia y energía en el proceso de deshidratado a continuación, se detalla la ecuación.

$$C5 * H5 + G1 * HG1 + QP = C6 * H6 + G2 * HG2 \quad \text{Ecuación 42}$$

Donde las variables:

$G1 = G2 = G =$  Caudal másico del aire (kg de aire seco/h)

$C6 = C7 =$  Caudal másico del producto (kg de sólido seco/h)

$H6 = H7 =$  Entalpia del producto (kJ/kg de sólido seco)

$QP =$  Calor aportado al sistema (kJ)

Reemplazando variables en la ecuación se obtiene:

$$C * H5 + G * HG1 + QP = C * H6 + G * HG2 \quad \text{Ecuación 43}$$

Despejando  $QP$  y ordenando las variables de la ecuación se tiene:

$$QP = G (HG2 - HG1) + C (H6 - H5) \quad \text{Ecuación 44}$$

Para calcular la entalpía del aire, se tomó en cuenta la ecuación mencionada por (Singh, P. & Heldman, D. 2009).

$$Ha = Cs (Ta - To) + Y * HL \quad \text{Ecuación 45}$$

Donde:

$Cs =$  Calor húmedo (kJ/kg de sólido seco °C)

$Ta =$  Temperatura del aire (°C)

$To =$  Temperatura de referencia = (0 °C)

$Y =$  Humedad absoluta (g de agua/kg de aire seco)

$HL =$  Calor latente de vaporización del agua (kJ/kg de agua)

El calor húmedo del aire se calculó mediante la ecuación 46 citada por (Singh & Heldman, 2009).

$$C_s = 1,005 + 1,88 Y \quad \text{Ecuación 46}$$

Reemplazando la ecuación 44 en 45, se tiene:

$$H_a = (1,005 + 1,88 Y) * (T_a - T_o) + Y * H_L \quad \text{Ecuación 47}$$

El valor de calor latente de vaporización a la salida del deshidratador se extrajo de la tabla del anexo D.

Donde:

$$H_L = 2433,856 \text{ kJ/kg agua a } 28,56 \text{ }^\circ\text{C}$$

$$Y_{G1} = 0,0194 \text{ kg agua/ kg aire seco}$$

$$T = 28,56 \text{ }^\circ\text{C}$$

$$T_o = 0 \text{ }^\circ\text{C}$$

Reemplazando los valores en la ecuación 47 para la entalpía al ingreso del deshidratador se obtiene:

$$H_{G1} = 0,81 \text{ [kJ/kg }^\circ\text{C]} + 1,51 \text{ [kJ/kg }^\circ\text{C]} * 0,0194 \text{ [kJ/kg]} (28,56 - 0) \text{ }^\circ\text{C} + 0,0194 \text{ [kJ/kg]} * 2433,856 \text{ [kJ/kg]}$$

$$H_{G1} = 48,863 \text{ [kJ/kg]}$$

El valor de calor latente de vaporización a la salida del deshidratador se extrajo de la tabla del anexo D.

Donde:

$$H_L = 2460,68 \text{ kJ/kg entalpía del agua a } 35,89 \text{ }^\circ\text{C}$$

$$Y_{G2} = 0,0211 \text{ kg de agua/ kg aire seco}$$

$$T_{G2} = 35,89 \text{ }^\circ\text{C}$$

$$T_o = 0 \text{ }^\circ\text{C}$$

Reemplazando los valores en la ecuación 47 para la entalpia a la salida del secador se obtiene:

$$HG2 = 0,81 \text{ [ kJ/kg } ^\circ\text{C]} + 1,51 \text{ [ kJ/kg } ^\circ\text{C]} * 0,0211 \text{ [ kJ/kg]} (35,89 - 0) ^\circ\text{C} + 0,0211 \text{ [ kJ/kg]} * 1975,02 \text{ [ kJ/kg]}$$

$$HG2 = 43,626 \text{ [ kJ/kg]}$$

Para el cálculo de la entalpia del producto se tomó en cuenta la ecuación descrita por (Singh & Heldman, 2009).

$$H_P = C_p(T_P - T_O) + X_P C_{PX}(T_P - T_O) \quad \text{Ecuación 48}$$

Donde:

$C_p$  = Calor específico del producto (kJ/kg °C)

$T_p$  = Temperatura del producto (°C)

$X_p$  = Humedad del producto (kg de agua/kg de sólido seco)

$C_{px}$  = Calor específico del agua (kJ/kg °C)

Para calcular el calor específico (kJ/kg °C) de la cebolla se utilizó la ecuación 49 descrita por (Singh & Heldman, 2009).

$$C_p = X_C * C_{p_c} + X_R * C_{p_r} + X_g * C_{p_g} + X_f * C_{p_f} + X_a * C_{p_a} + X_w * C_{p_w} \quad \text{Ecuación 49}$$

Donde:

$C_{p_c} = 1,4 \text{ (kJ/kg } ^\circ\text{K)} = \text{Calor específico de los carbohidratos (Lewis, M. 1993)}$

$C_{p_r} = 1,6 \text{ (kJ/kg } ^\circ\text{K)} = \text{Calor específico de las proteínas (Lewis, M. 1993)}$

$C_{p_g} = 1,7 \text{ (kJ/kg } ^\circ\text{K)} = \text{Calor específico de las grasas (Lewis, M. 1993)}$

$C_{p_f} = 1,5 \text{ (kJ/kg } ^\circ\text{K)} = \text{Calor específico de la fibra (Lewis, M. 1993)}$

$C_{p_a} = 0,8 \text{ (kJ/kg } ^\circ\text{K)} = \text{Calor específico de las cenizas (Lewis, M. 1993)}$

$C_{p_w} = 4,18 \text{ (kJ/kg } ^\circ\text{K)} = \text{Calor específico del agua (Lewis, M. 1993)}$

$X_c$  = Fracción másica de los carbohidratos

$X_r$  = Fracción másica de la proteína

$X_g$  = Fracción másica de la grasa

$X_f$  = Fracción másica de la fibra

$X_a$  = Fracción másica de las cenizas

$X_w$  = Fracción másica del agua

En la tabla 21 muestra los datos de la composición fisicoquímica de la cebolla, estos valores son utilizados para calcular el calor específico y son reemplazados en la ecuación 49

**Tabla 21** *Composición fisicoquímica de la cebolla.*

Componente	Símbolo	Fracción másica
Carbohidratos	$X_c$	0,0922
Proteína	$X_p$	0,0097
Grasa	$X_g$	0,0019
Fibra	$X_f$	0,0031
Ceniza	$X_a$	0,0053
Humedad	$X_w$	0,8878

**Fuente:** elaboración propia 2023.

Reemplazando valores de la tabla en la ecuación 49:

$$C_{p1} = 0,0922 * 1,4 + 0,0097 * 1,6 + 0,0019 * 1,7 + 0,0031 * 1,5 + 0,0053 * 0,8 + 0,8878 * 4,18$$

$$C_{p1} = 3,867 \text{ kJ/kg } ^\circ\text{K de la cebolla}$$

A partir de la ecuación 48, se obtiene la entalpía de la muestra de cebolla en la entrada del deshidratador:

$$H_1 = 3,867 \text{ kJ/kg}^\circ\text{K} * (301,71 - 0) + 7,9126 \text{ kg/kg} * 4,18 \text{ kg/kg } ^\circ\text{K} * (301,71 - 0) ^\circ\text{K}$$

$$H_1 = 11145,681 \text{ kJ/kg entalpía de la cebolla}$$

En la tabla 22 muestra los datos de la composición fisicoquímica de la cebolla en polvo, estos valores son utilizados para calcular el calor específico y son reemplazados en la ecuación 49.

**Tabla 22** *Composición fisicoquímica de la cebolla en polvo*

Componente	Símbolo	Fracción másica
Carbohidratos	X <sub>c</sub>	0,787
Proteína	X <sub>p</sub>	0,0551
Grasa	X <sub>g</sub>	0,007
Fibra	X <sub>f</sub>	0,024
Ceniza	X <sub>a</sub>	0,0353
Humedad	X <sub>w</sub>	0,0182

**Fuente:** elaboración propia 2023.

Reemplazando valores de la tabla en la ecuación 49.

$$C_{p2} = 0,787 * 1,4 + 0,0551 * 1,6 + 0,007 * 1,7 + 0,024 * 1,5 + 0,0353 * 0,8 + 0,0182 * 4,18$$

$$C_{p2} = 1,342 \text{ kJ/kg } ^\circ\text{K del polvo cebolla.}$$

A partir de la ecuación 48, se obtiene la entalpía de la muestra de cebolla en la salida del deshidratador:

$$H_2 = 1,342 \text{ kJ/kg}^\circ\text{K} * (309,04 - 0) + 0,0323 \text{ kg/kg} * 4,18 \text{ kg/kg}^\circ\text{K} * (309,04 - 0) ^\circ\text{K}$$

$$H_2 = 448,404 \text{ kJ/kg entalpía de la cebolla en polvo}$$

Reemplazando datos en la ecuación 44, se tiene:

$$Q_p = 372,86 \text{ kg} * (48,863 - 43,626) [\text{kJ/kg}] + 0,080437 \text{ kg} * (11145,671 - 448,404) [\text{kJ/kg}]$$

$$Q_p = 2813,124 \text{ kJ}$$

$$Q_p = 672,353 \text{ kcal}$$

El calor necesario para el proceso de deshidratado de la cebolla es de 672,353 kcal.

## 4.6. Consumo de energía de los equipos

### 4.6.1. Consumo de energía en la etapa de deshidratado

Mediante la ecuación se calcula el consumo de energía:

$$P = \frac{T}{t} \quad \text{Ecuación 50}$$

Donde:

P = Potencia del equipo (kw)

T = Trabajo realizado = Energía = E= (kw/h)

t = Tiempo empleado (h)

T= E

Reemplazando y despejando E de la ecuación 50:

$$P = \frac{E}{t} \quad \text{Ecuación 51}$$

$$E = P * t \quad \text{Ecuación 52}$$

Datos:

Potencia del deshidratador = 2,2 kW

Tiempo de secado = 5 h

Reemplazando datos de la ecuación 52:

$$E = 2.2 \text{ kW} * 5 \text{ h}$$

$$E = 11 \text{ kWh}$$

### 4.6.2. Consumo de energía en la etapa de molienda

Mediante la ecuación 52, se calcula el consumo de energía de la etapa de molienda

$$E = P * t$$

Datos:

Potencia del molino eléctrico = 0,15 kW

Tiempo de molido= 0,5 h

Reemplazando datos en la ecuación 52:

$$E = 0,15 \text{ kW} * 0,5 \text{ h}$$

$E = 0,075 \text{ kW h}$  de energía consumida en la etapa de molienda.

#### 4.6.3. Consumo de energía en la etapa del tamizado

Mediante la ecuación 52, se calcula el consumo de energía de la etapa de tamizado

$$E = P * t$$

Datos:

Potencia de tamizador = 0,08 kW

Tiempo de tamizado = 0,33 h

Reemplazando datos en la ecuación 52:

$$E = 0,08 \text{ kW} * 0,33 \text{ h}$$

$E = 0,0267 \text{ kW h}$  de energía consumida en la etapa de tamizado

#### 4.6.4. Energía total consumida en el proceso

La energía total será la sumatoria de todas las energías en los equipos utilizados según la ecuación 53:

$$E_T = E_D + E_M + E_T \quad \text{Ecuación 53}$$

$$E_T = 11 \text{ kW h} + 0,075 \text{ kW h} + 0,0267 \text{ kW h}$$

$$E_T = 11,1017 \text{ kW}$$



**CAPÍTULO V**  
**CONCLUSIONES Y**  
**RECOMENDACIONES**

## V. Conclusiones

Según los resultados obtenidos del presente trabajo experimental para la obtención de cebolla en polvo de variedad morada mizqueña que se produce en el departamento de Tarija en el municipio de Uriondo (capital del valle de la Concepción) se llegó a las siguientes conclusiones:

- Caracterización de la materia prima se realizó según los análisis fisicoquímicos de la misma, también se realizó una selección y verificación de la calidad de la misma para que no presenten cebollas dañadas el cual se da pie al inicio de la parte experimental.
- En base a los análisis fisicoquímicos de la cebolla se obtuvo: Ceniza total 0,53 %; Fibra 0,31%; Grasa 0,19%; Hidratos de carbono 9,22%; Humedad 88,78 %; Proteína total 0,97 % y Valor energético 42,47 kcal/100 g. Así mismo, realizado los análisis micronutrientes de minerales se tiene: Calcio 23,5 mg/100 g y Potasio 171 mg/100g.
- En base a los análisis microbiológicos de la cebolla presentó: Coliformes fecales  $1,0 \times 10^1$  UFC/g; Coliformes totales  $1,0 \times 10^1$  UFC/g y Escherichia coli  $1,0 \times 10^1$  UFC/g sin desarrollo de coliformes totales.
- Para realizar las pruebas preliminares en la cual se define el tipo de corte en aros y con el espesor más óptimo de 2 mm a una temperatura de 55 °C en el deshidratado por aire caliente con una velocidad de flujo de aire de (4,0 m/s).
- Para la elaboración de polvo de cebolla se seleccionó el método de deshidratado por aire caliente considerando la disponibilidad del equipo, pardeamiento enzimático de la cebolla, exposición al ambiente y riesgos de contaminación en la etapa del deshidratado.
- A partir del diseño factorial  $2^2$  para el proceso de elaboración del polvo de cebolla morada de variedad mizqueña, se demuestra en el análisis de varianza que para la

operación de deshidratado la temperatura y tiempo es significativa frente a la Humedad en base seca como variable dependiente de las mismas.

- En base al análisis fisicoquímico del producto terminado (polvo de cebolla) se obtuvo: Humedad 4,82 %; Ceniza 3,53%; Fibra 2,40; Grasa 0,70%; Hidratos de carbono 78,70%; Proteína total 5,51% y Valor energético 348,5%. Así mismo, realizado los análisis micronutrientes de minerales tiene calcio 153 mg/100g y potasio 1182 mg/100g.
- De acuerdo a los análisis microbiológicos del producto final:” polvo de cebolla” se obtiene: Bacterias aerobias mesófilas  $8,5 \times 10^4$  UFC/g; Coliformes fecales  $<1,0 \times 10^1$  UFC/g; Coliformes totales  $8 \times 10^1$  UFC/g y Escherichia coli  $<1,0 \times 10^1$  UFC/g.
- Según la recolección de datos del nuevo análisis (Anexo A) se comprueba que los parámetros observados anteriormente están en límites permisibles según la norma de inocuidad de alimentos como referencia del ajo en polvo NB/317026:2010 ya que no se encuentra una norma específica para el producto como es el polvo de cebolla los datos obtenidos de los análisis son los siguientes: Bacterias aerobias mesófilas  $1,3 \times 10^4$  UFC/g; Coliformes totales  $<1,0 \times 10^1$  UFC/g
- En base al balance de materia y energía, se determinó que la cantidad de calor necesario es de 672,353 kcal para deshidratar las muestras de cebolla morada que contiene una Humedad inicial de 88,78 % y 4,82 % de Humedad final como se puede ver en el Anexo A.

### 5.1. Recomendaciones

- Se recomienda, para proyectos futuros similares realizar un deshidratado con flujo de aire caliente variable y se puede evitar el desprendimiento de azúcares en la superficie de los aros de cebolla.
- Se debe tomar en cuenta una buena higiene y desinfección de los equipos previos a ser utilizados así también de la materia prima para poder tener una mejor inocuidad de alimentos.
- Para futuros proyectos a mayor escala que se realicen empleando como materia prima la cebolla se debe tomar en cuenta las propiedades y los beneficios de la misma, como por ejemplo el diseño de una planta para el proceso de elaboración del polvo de cebolla de cualquier variedad.
- Tomar en cuenta para futuros proyectos respecto a la cebolla que la humedad en el proceso de deshidratado no tiene que superar un valor superior a 5 %, para evitar los grumos en la molienda y el tamizado.
- Considere el espacio de almacenamiento y el embalaje, ya que las cebollas pueden absorber contaminantes ambientales

