

ANTECEDENTES

La Cúrcuma proviene del sureste de Asia; cerca de cuarenta especies de plantas pertenecen al género Cúrcuma, encontradas, originalmente, en la India tropical y Australia. Algunos de los nombres comunes como se la conoce en el mundo entero son: Yuquilla, Azafrán de la India, Cúrcuma longa, Tumeric, entre otros. **(Segarra, I. 2005.)**

Se la ha cultivado desde hace más de dos mil años en la India, China y Oriente Medio y en la actualidad se cultiva en todas las regiones tropicales del mundo. Se cree que es una de las antiguas especias amarillas persas que se asociaban con el culto al sol.

El olor de la Cúrcuma es picante y fresco y su sabor es amargo, con un punto de almizcle, recuerda a la naranja y el jengibre. **(Segarra, I. 2005.)**

Los árabes y persas lo emplearon con profusión sobre todo por su color, pensando que era una variedad de azafrán y lo llamaron kourkoum, palabra que los españoles convirtieron en Cúrcuma. Debemos resaltar que fueron los únicos de la Europa medieval que se sintieron atraídos por esta especia. **(Segarra, I. 2005.)**

A la Cúrcuma se la conoce también como sal del Oriente y en los tiempos bíblicos se empleaba como perfume y como especia. La referencia escrita más antigua procede de un herbario asirio del año 600 antes de Jesucristo, en el que ya se mencionan sus cualidades como planta colorante. En la edad media europea comienza tímidamente a ser empleada principalmente como sustitutivo más barato que el azafrán en la preparación de platos y salsas que por sus llamativos colores hacían necesario la presencia de sustancias que aportasen estos colores sin ser excesivamente gravosos en la economía de la cocina, el producto que reunía estas características fue la Cúrcuma. **(Segarra, I. 2005.)**

Figura i -1
Cúrcuma longa, en Colombia



Fuente: Aura Jazmín Coronel Delgado, 2015

La Cúrcuma es un tubérculo muy importante en la medicina india de Ayurvedic., como símbolo de la prosperidad y es considerado una hierba para la limpieza del cuerpo entero. Médicamente, fue utilizado como ayuda para los tratamientos digestivos; la fiebre, las infecciones, la disentería, la artritis, y la ictericia y otros problemas del hígado. Los Griegos antiguos estaban bien enterados de las propiedades curativas de la Cúrcuma. También la Cúrcuma había sido utilizada para hacer los tintes amarillo-naranja.(Guerra,C.2001).

- **La Cúrcuma Longa en la actualidad**

En la industria de los alimentos, la textura, sabor y apariencia son elementos imprescindibles en sus productos. El color forma parte de la apariencia, su percepción es fundamental en la decisión de escoger un alimento antes de probarlo. Varios estudios demuestran que esta característica influye en el consumidor al momento de aceptar o rechazar el alimento. Esta es la importancia de usar colorantes como aditivos en alimentos procesados, que van desde bebidas, lácteos, carnes, embutidos, productos de procesos fermentativos, entre otros. (Pineda, 2012)

Se ha intentado demostrar durante bastante tiempo que la Curcumina puede ser un agente preventivo y terapéutico para la mayoría de enfermedades graves por sus efectos antioxidantes, antiinflamatorios y anticancerosos. **(Figueroelo ,A , 2007).**

El uso de los colorantes naturales han adquirido una gran importancia actualmente, ya que están desplazando a los artificiales, por lo que la extracción del colorante Curcumina es relevante, pues sugiere un mejor aprovechamiento de los recursos naturales y así ayudar a la transformación de productos agrícolas bolivianos, de manera que pueda exportarse un producto con mayor valor agregado. **(Lanza, J.M.1997)**

Actualmente se han realizado estudios en los cuales se ha demostrado que los colorantes artificiales contienen sustancias dañinas al organismo, tales como sales de Bencendiazonio mejor conocidas como azo, lo que ha provocado el resurgimiento de la utilización de colorantes que provengan de una fuente natural. **(Lanza, J.M.1997)**

Las distintas propiedades de la Curcumina (colorante natural capaz de reemplazar colorantes sintéticos) en conjunto con el poco cultivo que existe en Bolivia es una oportunidad para generar productos agroindustriales de gran valor agregado. Hoy en los mercados nacionales e internacionales hay grandes oportunidades debidas a la tendencia en el consumo de productos naturales. De esta forma con este trabajo se abre un mercado para la Cúrcuma, disminuyendo y evitando costos por importación para la industria Boliviana. **(Boletín ATI, 2007).**

De otro lado, existe la necesidad en la industria química, farmacéutica, alimentaria entre otras, de tener nuevos productos como lo son los colorantes naturales, que permitan conservar y prolongar las características funcionales, sensoriales y físicas del producto con objetivo de que no se alteren o se degraden, ya sea con el tiempo o durante un proceso de transformación. **(Boletín ATI, 2007).**

Muchos de los productos colorantes existentes y empleados en la industria de alimentos corresponden a colorantes líquidos, los cuales son transformados de su estado inicial (líquido) a productos de naturaleza particulada (polvos). Los condimentos en polvo son altamente empleados en la industria alimentaria, gracias a que son de consumo masivo, y entre aquellos condimentos se encuentra la Curcumina que es uno de los colorantes alimenticios naturales de gran uso en el mundo, debido a que es empleada como condimento y es el ingrediente principal del conocido curry en polvo (Alzate, 2012).

- **Disponibilidad de Materia Prima**

En el Departamento de Tarija se produce la Cúrcuma en Entre Ríos (Provincia O'Connor) y Bermejo (Provincia Arce), se la cultiva de manera no planificada ni a escala comercial.

En Tarija y Bolivia no se tienen datos precisos que cuantifiquen su producción. Adaptando la tecnología se podrá dar valor agregado a un producto agrícola regional, fortaleciendo e impulsando su producción para así aportar y mejorar sus ingresos económicos, cultivando un producto agrícola de amplias aplicaciones y que tiene posibilidades de exportación para su uso.

Además que la generación de colorantes naturales evitará el uso de componentes tóxicos en su producción y disminuirá el uso de los colorantes artificiales.

Figura i – 2
Cúrcuma Longa



Fuente: Alternativa de desarrollo tecnológico de la Cúrcuma longa, 2001.

OBJETIVOS

OBJETIVO GENERAL

- Obtener Curcumina en polvo a partir de Cúrcuma Longa, por extracción en agua.

OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Realizar la caracterización fisicoquímica de la materia prima.
- Realizar la molienda de la Cúrcuma longa para proceder a la extracción de la Curcumina.
- Extraer la Curcumina empleando el método de maceración en agua.
- Definir los parámetros óptimos de operación para el proceso de extracción.
- Filtrar la Curcumina de compuestos no deseables.
- Realizar la caracterización fisicoquímica de la Curcumina obtenida, de acuerdo a parámetros de calidad existentes.
- Presentar, analizar y valorar los resultados del proceso de obtención de Curcumina a partir de la Cúrcuma Longa.

JUSTIFICACIÓN

Hoy en día el uso de plantas medicinales y de hierbas aromáticas y saborizantes industrializables, colorantes y/o medicinas de base natural con producción ecológica es vital en los productos puestos en los mercados, esto debido a que existe tendencia al uso de productos que no contenga químicos en su línea de producción. Representa un gran potencial para los países como Bolivia que poseen la capacidad de desarrollar cultivos de especies aclimatadas en nuestro medio, tanto nativas como importadas y lograr su aprovechamiento agroindustrial. **(Elaboración propia)**

Figura i -3

La Curcumina



Fuente: Figueruelo Arnáiz, Víctor.2007

En el departamento de Tarija la Cúrcuma Longa se produce a escala familiar y concentra su producción en Entre Ríos (Provincia O'Connor) y Bermejo (Provincia Aniceto Arce), pero no se tienen datos estadísticos que cuantifiquen su producción. Aspecto que debe ser corroborado por futuras investigaciones a nivel departamental y por parte del INE, ya que por referencias de la Cámara Agropecuaria de Tarija, se sabe que existe una importante cantidad de parcelas sembradas, en el municipio de Entre Ríos y Bermejo. **(Elaboración Propia)**

Por lo tanto se tiene los siguientes aspectos:

➤ **Aspecto del Mercado**

El motivo de realizar este trabajo es buscar alternativas de producción de Cúrcuma Longa, que es cotizado en los países vecinos como ser; Perú, Chile y Argentina para la producción de pastillas destinadas a los enfermos con enfermedades principalmente reumáticas, vemos entonces que podemos incorporar valor agregado al diversificar la producción obteniendo un nuevo producto “la Cúrcumina en polvo” para que los productores agrícolas puedan ampliar sus áreas de cultivo asegurándoles un mercado consumidor para su producción y mejorando sus ingresos económicos.

Incorporar un nuevo producto al mercado, brindará mayor valor agregado a la producción de Cúrcuma que es la materia prima para la obtención de Curcumina, consolidándose su producción con la finalidad de contribuir al desarrollo agrícola e industrial de la región.

➤ **Aspecto Tecnológico**

Se validará una tecnología que permita el aprovechamiento de la Cúrcuma Longa para ser utilizados como colorante natural de amplio uso en las industrias alimenticias y para su uso medicinal.

Desarrollar tecnologías e innovaciones que impulsen la producción nacional, eleven la eficiencia y productividad, mejoren la calidad de vida y contribuyan a la realización del buen vivir.

➤ **Aspecto Económico-Social**

Fortalecer e impulsar su producción a nivel local y así aportar en mejorar sus ingresos económicos, aportar en un producto de amplias aplicaciones que tiene posibilidades de exportación para su uso medicinal.

Las plantas medicinales y aromáticas y sus productos derivados (Cúrcuma Longa), son reconocidas en la actualidad como productos con un gran potencial de comercialización a nivel nacional e internacional.

Será un negocio rentable para las industrias de colorantes ya que obtendrán ganancias y se podrá darle un valor agregado a la producción de Cúrcuma Longa. Se incentivará a producir la Cúrcuma como cultivo; generando más puestos de empleos y mejora en la producción del agricultor.

Los beneficiarios serán tanto el productor como consumidor, al obtener un producto de gran calidad y mayor valor agregado; repercutirá tanto en el interior como exterior, ya que hay demanda del producto, y se podrá exportar. Habrá más puestos de trabajo.

➤ **Aspecto Ambiental**

Por otra parte, el proyecto de investigación pretende la producción de colorantes naturales que no emplean agentes químicos contaminantes en su línea de producción.

➤ **Por su aplicación en la salud**

La Curcumina tiene un gran potencial como agente terapéutico, y está demostrado en numerosos estudios clínicos en humanos para múltiples enfermedades, como mieloma múltiple, cáncer pancreático, cáncer de colon, psoriasis y Alzheimer. Así mismo existe gran asociación entre este tipo de enfermedades con la reducción de la ingesta de fibras y antioxidantes vegetales y el aumento del consumo de productos alimentarios industriales, azúcares refinados y almidones. También existe información circunstancial de que la Curcumina podría mejorar las facultades mentales de adultos mayores. Se ha ido desarrollando una amplia variedad de estudios con la Curcumina. Se ha intentado demostrar durante bastante tiempo que la Curcumina sea un agente preventivo y terapéutico para la mayoría de enfermedades graves por sus efectos antioxidantes, antiinflamatorios y anticancerosos. **(Figueruelo ,A , 2007).**

Figura i – 4
Planta, raíz y polvo de *Cúrcuma longa*



Fuente: Disponible en :

<https://www.ntbg.org/plants/imageonly.php?rid=905&plantid=3652;>

<http://elblogdelola.com/sabias-que-la-maravillosa-curcuma/>

No obstante, la Curcumina es un campo de notable interés en el que todavía sigue siendo deseable la obtención de extractos más puros el descubrimiento de posibles nuevas aplicaciones de los mismos en el campo médico-farmacéutico, en el cosmético, en el dietético, etc. **(Figueruelo ,A , 2007)**

CAPÍTULO I

MARCO TEÓRICO

1.1 MATERIA PRIMA : CÚRCUMA LONGA

1.1.1 ORIGEN DE LA CÚRCUMA LONGA

La Cúrcuma es una planta herbácea perteneciente a la familia Zingiberaceae. Nativa del Sur de Asia, sin embargo, se le ha cultivado en regiones tropicales y subtropicales. (Shiyou, 2011)

Sus hojas son puntiagudas y alargadas, flores de color amarillo y forma de embudo, crece de 90 a 150 cm. En la medicina adyuvénica, es principalmente usada para el tratamiento de inflamaciones y en la tradicional es utilizada como estimulante, astringente y diurético.(Li, 2011)

Figura I – 1

Cúrcuma longa l. en la Provincia de Pastaza, Ecuador.



Fuente: Martínez, Orbe.2014,

La Cúrcuma tiene unos rizomas o tallos subterráneos que son los que desde hace siglos se emplean como condimento, tinte y estimulante medicinal. Este arbusto puede alcanzar hasta un metro de altura en su fase de desarrollo pleno. La reproducción la realiza a partir de yemas o dedos que surgen en el propio rizoma en el último año de crecimiento y que da lugar a una nueva planta renovada. Estos rizomas se desarrollan mejor en climas cálidos y húmedos. (**Segarra, I.2005**)

Posee flores de color blanco amarillento y sus raíces pueden tener un grosor de cinco a ocho centímetros son pardas y muy arrugadas, las abrimos en su interior presentan un color amarillo anaranjado intenso. Su recolección se realiza a los diez meses de haberse plantado. (**Segarra, I.2005**)

1.1.2 TAXONOMÍA Y MORFOLOGÍA

Reino: Vegetal.

Clase: Angiosperma.

Subclase: Dicotiledonea.

Familia: Zingiberaceas.

Género: Cúrcuma.

Especie: lóna.

Nombre científico: Cúrcuma longa.

Figura I - 2**Planta de la *Cúrcuma longa***

Fuente: Ségarra, I. 2005

1.1.3 EXIGENCIAS ECOLÓGICAS

La *Cúrcuma longa* se desarrolla en regiones húmedas tropicales y subtropicales, dentro de un rango de altitud que oscila entre 200 y 1000 metros sobre el nivel del mar. (Segarra, I. 2005).

- Temperatura media óptima de desarrollo: entre 24 a 28 °C
- Temperatura mínima: alrededor de 18 °C
- Precipitación: 1.500 mm – 2.000 mm para los siete a diez meses de cultivo.
- La sequía reduce el desarrollo de los rizomas pequeños.
- Requerimiento del suelo: con buen drenaje franco (franco arenoso, franco arenoso - arcilloso), encharcamiento es perjudicial; arcilla pesada inhibe el desarrollo del rizoma y los suelos arenosos no son adecuados para la formación de rizomas grandes.

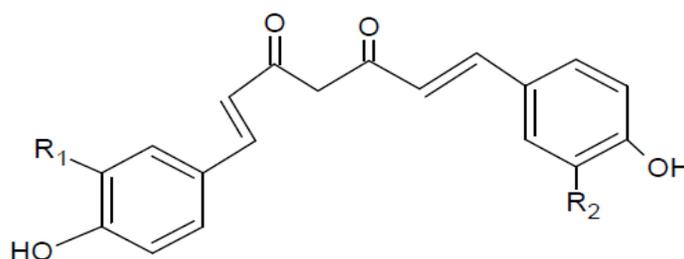
- El cultivo responde a la adición de cantidades altas de materia orgánica.
- PH ligeramente ácido (5 a 6).
- Altitud: desde el nivel del mar hasta los 1500 m.
- Clima: Tropical.
- Lugar: Campo abierto y expuesto al sol produce más rizomas.

1.2 CURCUMINOIDES

Los curcuminoides son sustancias quimiopreventivas que se encuentran presentes en la Cúrcuma. Entre los principales están la demetoxicurcumina, bisdemetoxicurcumina, siendo la curcumina la que se encuentra en mayor proporción. Muchas propiedades son atribuidas a los extractos de Cúrcuma Longa y a su componente principal la Curcumina, entre estos, su gran poder antioxidante, lo que la convierte en el compuesto fenólico más estudiado. **(Bengmark,2009)**

Figura I - 3

Curcuminoides del Extracto de Cúrcuma longa I.



	R ₁	R ₂
Curcumina	OCH ₃	OCH ₃
Demetoxicurcumina	H	OCH ₃
Bisdemetoxicurcumina	H	H

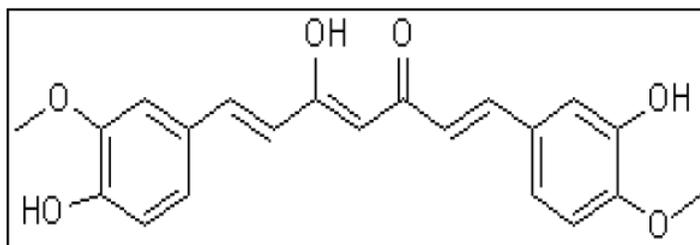
Fuente: Ramírez- Bosca, 2000

1.3 CURCUMINA

La Curcumina es un polifenol natural de color amarillo naranja, se la conoce químicamente como diferuloimetano o 1,7 -bis-(4 - hidroxí-3-metoxifenil)-1,6-heptadieno-3,5-diona, es un compuesto fenólico, con peso molecular bajo (369,37 g/mol), punto de fusión de 183 °C, coloración amarilla en medioácido (PH 2,5 – 7) ó y rojo en medio básico (PH > 7), soluble en solventes orgánicos como etanol, metanol y acetona. (Bengmark, 2009)

Figura I - 4

Estructura de la Curcumina



Fuente: Arroyave, M.2006

En la actualidad una de las técnicas para obtener Curcumina corresponde a extracción de la Cúrcuma con solventes orgánicos (agua, etanol) mediante agitación, que al final dichos solventes resultan como residuo de este compuesto, implicando la obtención de un compuesto hidrosoluble. (Bagchi, A. 2012).

La curcumina en este extracto se encuentra en muy bajas proporciones, por lo que se han buscado técnicas para que esté más concentrada, disolviéndola en glicerina y rotaevaporándola para obtener un extracto concentrado (Bagchi, A. 2012).

El secado por aspersion es uno de los métodos de secado de ingredientes agroalimentarios más empleado, ya que es económico y flexible, que produce partículas secas de alta calidad debido a que genera un mecanismo de protección a los procesos de oxidación y volatilización. (Shaikh, 2006)

1.3.1 CARACTERÍSTICAS ORGANOLÉPTICAS

La Curcumina obtenida por extracción en agua según estudios tiene las siguientes características organolépticas:

Tabla I - 1

Características Organolépticas de la Curcumina

Características	Curcumina de España
Color	Amarillo - Anaranjado
Forma	Cristalina
Olor	Similar a la vainilla
Sabor	No tiene

Fuente: Ríos, 2009

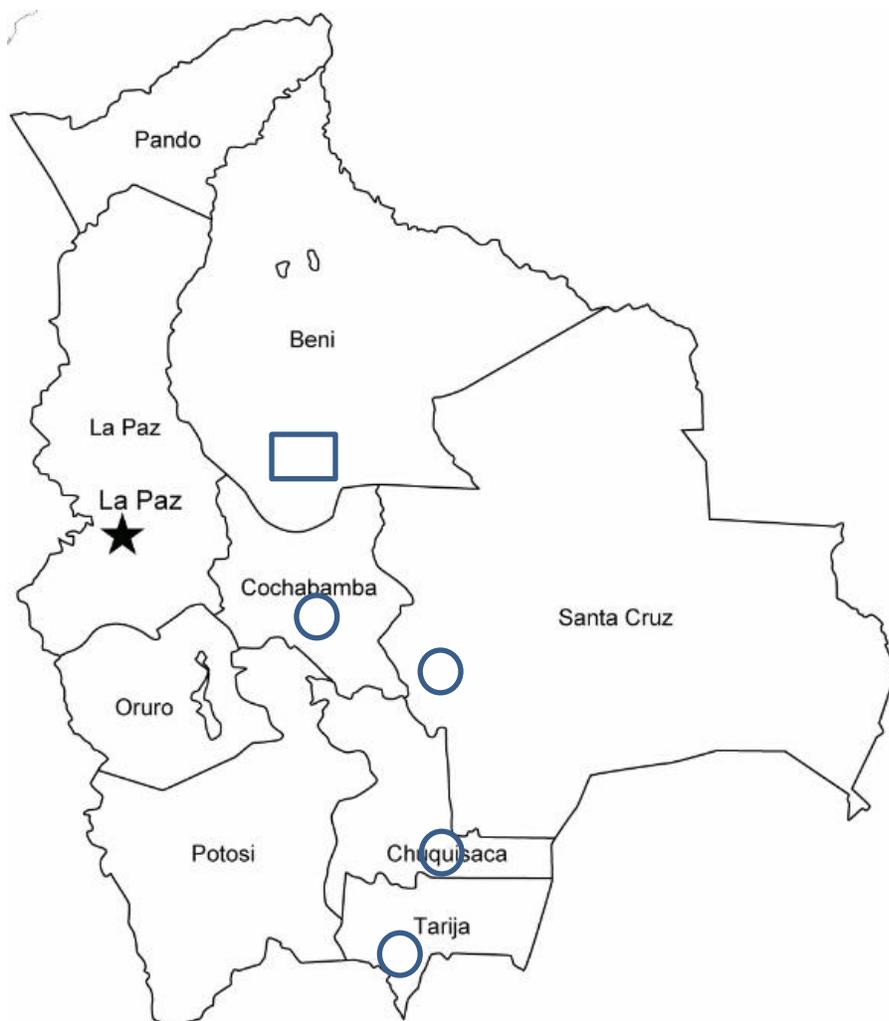
1.4 PRODUCCIÓN DE LA CÚRCUMA LONGA

La Cúrcuma Longa, se cultiva principalmente en países como China, India, Indonesia, Jamaica y Perú, encontrándose que este producto es muy importante para la industria de alimentos, debido a que cuando se emplea en preparaciones alimentarias conserva su frescura y además se encarga de proporcionar un sabor característico altamente diferenciado. **(Ríos, 2009)**

1.4.1 PRODUCCIÓN DE CÚRCUMA LONGA EN BOLIVIA

La Cúrcuma Longa se produce en las zonas tropicales de mucha densidad fluvial, en la ciudad de Cochabamba en el Chapare, en el departamento de Sucre la provincia de Monteagudo y en el departamento de Tarija en la provincia Arce en Bermejo. De acuerdo a comerciantes de Cúrcuma, datos estadísticos no se tienen por cuanto no hay una producción sostenida ni cuantificada por cuanto se produce en pequeñas parcelas y en comunidades dispersa. **(Elaboración propia, 2017)**

Figura I – 5

Mapa de Bolivia de Producción de *Cúrcuma longa*

Fuente: Mapas de Bolivia, 2017

Se produce la *Cúrcuma Longa* en las temporadas de lluvia y se cosecha en invierno desde Abril hasta Agosto, no se cosecha en verano porque el exceso de lluvia causa que se deteriore en el campo, luego realizan un proceso de secado natural para su almacenamiento y conservación. (**Elaboración propia, 2017**)

Figura I – 6

Comercialización de *Cúrcuma longa* fresca en el Mercado Campesino



Fuente: Elaboración propia, 2017

1.5 MÉTODOS DE EXTRACCIÓN DE CURCUMINA

La Curcumina ha sido extraída por diferentes métodos tales como extracción por Soxhlet, maceración, agitación, extracción asistida por microondas (MWHD), cromatografía de capa delgada y columna, extracción con fluidos supercríticos, extracción asistida con ultrasonido y cromatografía líquida de alta resolución **(Paulucci, 2013; Wakte., 2011)**.

1.5.1 EXTRACCIÓN POR SOXHLET

Se basa en la separación de compuestos que no se pueden volatilizar en la fase gaseosa, sin embargo, en presencia de solventes orgánicos y altas temperaturas se logra obtener una separación óptima de los analitos que se encuentran presentes en el compuesto; posee un rendimiento elevado y un porcentaje alto de recuperación de solventes y además no requiere equipos sofisticados. El solvente empleado para la extracción de curcumina corresponde a etanol absoluto, generalmente por 9 horas. Una desventaja corresponde a la idea que los solventes orgánicos suelen ser tóxicos y en muchas ocasiones no se logra una remoción total, lo cual conlleva a problemas de seguridad alimentaria debido al uso en la industria de alimentos **(Ríos. A.2009)**.

1.5.2 EXTRACCIÓN ASISTIDA POR MICROONDAS (EAM)

La EAM opera a través del rompimiento de la célula por sobrecalentamiento localizado interno seguido por la filtración de los componentes activos. El fenómeno de ruptura de la célula probablemente facilita la entrada de la extracción de disolvente para solubilizar el compuesto objetivo, y por lo tanto conduce a una extracción más rápida y eficiente. En comparación con otras técnicas convencionales como Soxhlet y maceración, la EAM proporciona una reducción considerable en el tiempo de extracción, el consumo de disolvente con una mejor tasa de extracción y en cierta medida la extracción selectiva.

En este método se ubica la Curcumina en un plato de vidrio delgado y se irradia por un periodo de tiempo definido a una potencia de aproximadamente 140 W.

(Vivekananda,2008; Wakte., 2011).

1.5.3 EXTRACCIÓN POR FLUIDOS SUPERCRÍTICOS

Este método surge como una alternativa a los métodos de extracción sólido-líquido Soxhlet, que consiste en emplear un solvente, el cual a condiciones ambientales se calienta y comprime hasta llevarlo por encima de su punto crítico, que se denomina fluido supercrítico. Este método se basa en cuatro operaciones básicas: extracción, expansión, separación y compresión del fluido. Uno de los disolventes más empleados en este método es el dióxido de carbono debido a que está fácilmente disponible en la naturaleza, gracias a su punto crítico (que corresponde a 304 K y 7,4 MPa), permite condiciones de una temperatura de extracción baja, por tanto, evita la degradación térmica de un producto, adicionalmente el dióxido de carbono es barato, no es tóxico y es además fácil de transportar (Gil, 2010; Sovilj, 2011).

1.5.4 EXTRACCIÓN POR MACERACIÓN EN AGUA

De acuerdo a las condiciones de nuestro medio y a la importancia de obtener un producto sin aditivos químicos dentro de un proceso de producción ecológico, la técnica que mejor puede adaptarse es la extracción en agua siguiendo una maceración para la solubilización de la Curcumina en la fase acuosa.

La maceración es un proceso de extracción sólido - líquido. El producto sólido (materia prima) posee una serie de compuestos solubles en el líquido extractante que son los que se pretende extraer.

Consiste en sumergir el producto a macerar en un líquido y dejarlo un determinado tiempo, para transmitir al líquido características del producto macerado. Los productos a macerar son varios.

Existen, básicamente, tres tipos de maceración:

1.5.4.1 MACERACIÓN EN FRÍO

Consiste en sumergir el producto a macerar en un líquido y dejarlo una determinada cantidad de tiempo, para transmitir al líquido características del producto macerado. Los productos a macerar son varios.

En gastronomía se puede destacar la infusión de especias varias en aceite de oliva virgen extra, concediendo a estos últimos aromas y paladares propios de las especias maceradas. Son especialmente recomendados para ensaladas y platos fríos.

También se podrá añadir a un recipiente con la menor cantidad de agua posible (generalmente destilada o sin cloro), sólo lo suficiente como para cubrir totalmente lo que se desea macerar. Esto se hace por un lapso más o menos largo, dependiendo de lo que se vaya a macerar.

Otra posibilidad es sumergir el material a macerar en alcohol (etanol), como se hace en la elaboración de perfumes.

La ventaja de la maceración en frío consiste en que al ser sólo con agua o etanol, se logran extraer todas las propiedades de lo que se macera, es decir, toda su esencia sin alterarla en lo más mínimo.

1.5.4.2 MACERACIÓN CON CALOR

El proceso a ejecutar en este tipo de maceración es el mismo que en la maceración en frío, solo que en este caso puede variar el medio por el cual se logra la maceración. El tiempo que se desea macerar varía mucho de la maceración en frío, ya que al utilizar calor se acelera el proceso tomando como referencia que tres meses de maceración en frío es igual a dos semanas en maceración con calor; esto es en el caso de las plantas y hierbas medicinales.

La desventaja de la maceración en calor es que no logra extraer totalmente pura la esencia del producto a macerar, ya que siempre quema o destruye alguna pequeña parte de esta (muchas veces se trata de compuestos termolábiles).

Pero muchas veces, para acortar más los tiempos de extracción y que las sustancias

pasen el menor tiempo posible a elevadas temperaturas, se hacen extracciones con corriente de vapor.

1.5.4.3 MACERACIÓN EN CALIENTE

También llamada proceso de infusión, consiste en colocar el producto en contacto con un líquido a una temperatura mayor a la ambiental y menor al punto de ebullición.

1.5.5 SECADO POR ASPERSIÓN

Es el método de secado de ingredientes alimenticios más empleado, ya que es uno de los más económicos, flexible y produce partículas secas de alta calidad siempre y cuando las condiciones de operación sean las adecuadas. Los beneficios del secado por aspersión radican en que los polvos que produce este proceso tienen un tamaño de partícula y un contenido de humedad específico. El secado por aspersión ha sido usado como un método que atrapa el material activo con una matriz protectora (material de pared) el cual es esencialmente inerte al material activo (material de núcleo), gracias a esto es aplicable a productos sensibles y también resistentes al calor (**Keshani, 2015**).

El objetivo principal de este proceso es obtener un producto en polvo a partir de una sustancia líquida que entra en contacto con un gas caliente (generalmente el gas que se emplea es aire), cuya función es servir como medio calefactor y como fluido de transporte, para finalmente obtener un producto pulverizado. El material líquido que se emplea inicialmente es una solución, emulsión o suspensión. Este proceso involucra tres etapas: dispersión o emulsión, homogenización y atomización.

Con esta técnica de secado los tiempos de residencia que se emplean son bajos, y el efecto refrigerador que se genera debido a la evaporación da la posibilidad de trabajar de una forma más eficaz con los productos que son sensibles a la temperatura (**Lozano, 2009**).

Las ventajas y desventajas del uso de secado por aspersión, son las siguientes:

Ventajas:

- Control de los parámetros de calidad del producto así como especificaciones concretas.
- Los alimentos sensibles al calor, los productos biológicos, y los productos farmacéuticos se pueden secar a presión atmosférica y a bajas temperaturas. En ocasiones, se emplea la atmósfera inerte.
- El secado por atomización permite la producción de grandes cantidades en la operación continua y con un equipo relativamente simple.
- El producto entra en contacto con las superficies del equipo en condiciones anhidras, simplificando así los problemas de la corrosión y de selección de materiales costosos en la construcción del equipo.
- Produce partículas relativamente uniformes, esféricas y con casi la misma proporción de compuestos que en la alimentación líquida.
- Puesto que la temperatura de funcionamiento del gas puede extenderse de 150 a 600°C, la eficacia es comparable a la de otros tipos de secadores directos.

Desventajas:

- Falla si se requiere un producto a granel de alta densidad.
- En general una unidad diseñada para la atomización fina puede no poder producir un producto grueso, y viceversa.
- Para una capacidad dada, se necesita generalmente una evaporación mayor que con otros tipos de secadores.
- Para realizar el proceso de secado por aspersión es necesario emplear aditivos como agentes coadyuvantes que se aplican al producto a secar y que tienen funciones de protección y recubrimiento del material de interés. **(Keshani, 2015).**

1.6 PATENTE LIBERADA

Una patente es un conjunto de derechos exclusivos concedidos por un Estado al inventor de un nuevo producto o tecnología, susceptibles de ser explotados comercialmente por un período limitado de tiempo, a cambio de la divulgación de la invención. Donde el período de tiempo se ha caducado, por eso su nombre patente liberada.

1.6.1 DESCRIPCIÓN

Procedimiento para la obtención de extractos apolares y polares de Cúrcuma y aplicaciones de los mismos.

1.6.1.1 CAMPO TECNICO DE LA INVENCION

La presente invención se encuadra dentro del campo técnico de la obtención de extractos de plantas con diferentes aplicaciones medicinales, cosméticas, dietéticas, etc.

Más especialmente, la presente invención proporciona un procedimiento para la obtención de extractos apolares y polares de Cúrcuma que tienen importantes aplicaciones como agentes captadores de radicales libres y agentes antienvjecimiento.

(Quintanilla, A,E. Díaz,A,J 1996.)

Entre las referencias bibliográficas de las patentes de mayor interés que se encuentran recogidas en los bancos de datos, destaca la solicitud FR2.655.054 (PACIFIC CHEMICAL) sobre agentes de protección celular que contienen curcuminoides (curcumina, 4-hidroxicinamoil (feruloil) metano, bis (4-hidroxicinamoil) metano, etc) obtenidos de Cúrcuma longa, ácido ascórbico y/o superóxido dismutasa (SOD). Los curcuminoides poseen un conocido efecto antioxidante, así como el ácido ascórbico y la SOD que ejercen un efecto sinérgico. **(Quintanilla, A,E. Díaz,A,J 1996.)**

En relación con los procedimientos de extracción de las fracciones polar y apolar de los rizomas de Cúrcuma longa, se trata de procedimientos convencionales que utilizan disolventes usuales (líquidos en condiciones normales) o bien CO₂ ó NO₂ líquidos o en condiciones supercríticas, lo que es igualmente usual para la extracción de aromas y aceites esenciales de plantas ("Carbon dioxide extracted ingredients for fragances", Flavours & Fragances O-5M385P, North Albert Road, Reigate, Surrey RH2 9 ER, Inglaterra). **(Quintanilla, A,E. Díaz,A,J 199**

En esta línea, la presente invención proporciona unos extractos ápolares y polares de Cúrcuma longa con importantes propiedades como agentes captadores de radicales libres y, consecuentemente, agentes antienvjecimiento celular. Asimismo, estos extractos han mostrado capacidad para reducir los niveles plasmáticos de peróxidos lipidíeos en humanos. (Quintanilla, A,E. Díaz,A,J 1996.)

1.6.2 DESCRIPCIÓN DETALLADA DE LA INVENCIÓN

La presente invención, tal y como se indica en su enunciado se refiere a un procedimiento para la obtención de extractos apolares y polares de Cúrcuma y las aplicaciones de estos extractos.

Los extractos de Cúrcuma son pigmentos amarillos denominados Curcuminoides, fundamentalmente constituidos por: Curcumina (diferuloilmetano), desmetoxicurcumina (hidroxicinamoilferuloil-metano) y bisdesoxicurcumina (dihidroxicinamoilmetano).

1.6.3 PROCEDIMIENTO PARA LA OBTENCIÓN DE EXTRACTOS APOLARES Y POLARES DE CÚRCUMA

a) Para la obtención del extracto apolar de Cúrcuma longa se efectúan las siguientes operaciones:

- Someter a un proceso de extracción en continuo durante unas 48 horas, los rizomas de Cúrcuma previamente cortados, secados y pulverizados, empleando un disolvente orgánico en una relación rizoma: disolvente de 1:7 peso/volumen, llevándose a cabo el proceso en régimen estacionario mediante regulación de la temperatura;
- Filtrar la mezcla de extracción resultante de la etapa y evaporar el disolvente del filtrado obtenido a presión reducida obteniéndose como residuo seco una oleorresina marrón de olor característico;

- Disolver la oleoresina resultante de la etapa en acetato de etilo caliente, en una proporción del 50% p/p aproximadamente y seguidamente dejar enfriar la disolución hasta la temperatura ambiente durante unas 24 horas aproximadamente, apareciendo un precipitado anaranjado que se separa por filtración.
- Secar a presión reducida, el filtrado procedente de la etapa anterior para obtener una segunda oleoresina más oscura que la anterior, cuyo contenido en Curcuminoides oscila entre 20 y 25%.
- Recristalizar el precipitado resultante en acetato de étilo al 50% (p/p) aproximadamente, para obtener un sólido con una pureza en Curcuminoides superior al 90%.

b) Para la obtención del extracto polar de *Cúrcuma longa* se efectúan las siguientes operaciones:

- Someter a un proceso de extracción con agua los rizomas de *Cúrcuma longa*, previamente cortados, secados y pulverizados, manteniéndolos en maceración durante unas 24 horas a una temperatura comprendida entre 50 y 70° C.
- Filtrar la mezcla de extracción resultante de la etapa y evaporar el agua del filtrado así obtenido a presión reducida, para obtener un residuo que es un sólido higroscópico correspondiente al extracto polar de *Cúrcuma longa*.

Las conclusiones obtenidas de este estudio son las siguientes:

- La *Cúrcuma longa* es un extracto natural que disminuye los peróxidos lipídicos plasmáticos, lo que implica un mecanismo protector de la membrana celular.
- No presenta toxicidad alguna; la toma durante 105 días de *Cúrcuma longa* no modifica las pruebas hematológicas hepáticas y renales.
- La inhibición de los peróxidos lipídicos y la captación de los radicales libres, propiedades fundamentales de la *Cúrcuma longa*. son una de las bases donde se apoyan las teorías de envejecimiento. **(Quintanilla, A,E. Díaz,A,J 1996.**

1.7 PASTILLAS DE CÚRCUMA LONGA

La Cúrcuma Longa tiene un componente llamado Curcumina el cual es un componente activo y puede ser utilizado para una amplia gama de aplicaciones.

- Funciona principalmente mediante la protección contra el daño de radicales libres, actuando como un rico antioxidante. La Cúrcuma es coadyudante en otros padecimientos como son los padecimientos gástricos, como el meteorismo, problemas intestinales, dispepsia, también protege al hígado. Por su contenido de Curcuminoides, la Cúrcuma tiene propiedades antiinflamatorias ya que las curcuminoides inhiben la formación de prostaglandinas por lo que también ayuda con los problemas inflamatorios como la artritis, síndrome de túnel carpiano así como también ayuda con los problemas respiratorios por la acción antibronquial por la respuesta antiinflamatoria.

Presentación: Caja de 30 cápsulas

Uso recomendado: Tomar como suplemento nutricional una cápsula diaria.

1.7.1 COMPOSICIÓN

Cada cápsula blanda contiene:

Extracto seco estandarizado de rizoma de Cúrcuma longa L.

(Equivalente a 399 mg de Curcuminas totales)

Excipientes: Dióxido de silicio coloidal, estearina de soya, lecitina de soya, aceite vegetal, gelatina, glicerina, agua desmineralizada c.s.

Clasificación Terapéutica:

Medicamento fitoterápico antiinflamatorio.

Usos: En artritis reumatoidea y algunas inflamaciones agudas.

Dosis: 1 cápsula blanda 3 a 4 veces al día o de acuerdo a la prescripción médica indicada. En caso de inflamaciones crónicas debe emplearse no más de 10 semanas en forma consecutiva.

Modo de empleo: Administrar con abundante agua, lejos de las comidas principales.

Fuente: Productos Mercola, 2017

Elaborado por:

Laboratorio Procaps S.A.

Calle 80 N^o 78 B – 201

Importado, Envasado y Distribuido por:

Knop Laboratorios S.A.

Av. Industrial 1198.

PRODUCTO DE CHILE

Figura I – 7
Pastillas de Cúrcuma longa



Fuente : Elaboración Propia, 2017

CAPITULO II

PARTE EXPERIMENTAL

2.1 DESCRIPCIÓN Y ANALISIS DE MATERIA PRIMA

La muestra se la obtuvo en el Mercado Campesino del departamento de Tarija, realizando una encuesta detallada y general a los proveedores de *Cúrcuma Longa*.

Mediante un proceso minucioso de observación se seleccionaron los rizomas que no presentan alteraciones, enfermedades, ataque microbiano, y con una coloración anaranjado fuerte. Se recolecta la muestra los días domingo que es cuando los nativos de la zona sacan sus productos frescos, entre ellos la *Cúrcuma*, para ser vendidos en el Mercado Campesino del departamento de Tarija.

2.2 CARACTERISTICAS DE LA MATERIA PRIMA

Luego de su recolección de productos frescos los mismos nativos, productores de *Cúrcuma Longa*. Un día después de su recolección se la llevó al lavado para retirar cualquier elemento extraño como tierra, se cortaron los rizomas en secciones de aproximadamente de 7 mm de largo por 4 mm de ancho. Se coloca el material troceado en una bandeja expuestas al sol posteriormente se recoge la muestra seca en otra bandeja cubierta con papel film y se deja secar por tres semanas en un lugar fresco, seco y libre de luz. Luego se la comercializa como producto seco de *Cúrcuma longa* en el Mercado Campesino.

En la Figura II – 1, se muestra la *Cúrcuma longa* en base seca, que se utiliza para la parte experimental del proceso “ Obtención de Curcumina en polvo, por extracción en agua”.

Figura II – 1**Cúrcuma longa, utilizada para la parte Experimental**

Fuente: Elaboración propia, 2018

La materia prima seleccionada es la Cúrcuma Longa en base seca, comprada en el mercado campesino de acuerdo al proceso de la patente, con una revisión bibliográfica profunda acerca de la Curcuminoides.

La técnica que mejor puede adaptarse es la extracción en agua, por maceración y agitación para la solubilización de la Cúrcuma en fase acuosa.

El proceso de producción sería el mismo contenido en la bibliografía de acuerdo a la descripción detallada de la invención.

2.2.1 CARACTERISTICAS FISICOQUIMICAS DE LA MATERIA PRIMA

Tabla II - 1
Datos Fisicoquimicos de “Cúrcuma longa”

PARÁMETRO	UNIDAD	RESULTADO DEL “CEANID”
Calcio total	mg/100gr	121,00
Ceniza	%	6,27
Fibra	%	3,92
Fósforo Total	mg/100gr	54,70
Grasa	%	4,00
Hidratos de Carbono	%	68,85
Hierro total	mg/100gr	58,70
Humedad	%	10,75
Magnesio total	mg/100gr	193,00
Proteína total (N×6,25)	%	6,21
Sodio total	mg/100gr	10,90
Valor Energético	Kcal/100gr	336,24
***Curcuminoides	%	5,02

Fuente: Centro de Analisis de Investigación y Desarrollo, “CEANID”, 2017

2.3 DESCRIPCIÓN DEL PROCESO DE INVESTIGACIÓN

La metodología de análisis corresponde a un trabajo de investigación de una patente aplicada de experiencias y resultados referidos de otros países, Se ha seleccionado un proceso tecnológico que no usa agentes químicos, como lo es la extracción por maceración en agua, proceso que consideramos adecuado para la extracción y producción de colorante natural destinado a la industria de medicina y de alimentos.

De acuerdo a las condiciones de nuestro medio y a la importancia de obtener un producto sin aditivos químicos, sin soluciones de extracción química que son cancerígenas y buscando un proceso de producción ecológico para preservar la salud de los consumidores futuros.

Para ello se adquiere la materia prima seca en el Mercado Campesino del departamento de Tarija, que sirva de base para la implementación futura de una industria de producción de colorantes naturales en el país. **(Elaboración propia, 2017).**

En la Figura II – 2 se muestra el proceso de “Obtención de Curcumina en polvo a partir de Cúrcuma Longa, por extracción en agua”.

Figura II – 2

Proceso de Obtención de Curcumina en polvo a partir de *Cúrcuma Longa*, por extracción en agua



Fuente: (Elaboración propia, 2017)

2.3.1 RECEPCIÓN Y CLASIFICACIÓN

La materia prima se la obtiene en el mercado cortada y secada, posteriormente se selecciona la Cúrcuma cuidadosamente limpiado cada una de las muestras para eliminar residuos, basuras, piedras, o cualquier materia extraña que pueda afectar la pureza del producto final.

2.3.2 LAVADO

La materia prima, es lavada con agua mineral para evitar cualquier tipo microorganismos, bacterias q pueden afectar a la materia prima.

2.3.3 SECADO AMBIENTAL

Luego del lavado la materia prima sale con un peso mas elevado por el agua del proceso anterior, el cual se coloca en un recipiente plano y se esparce la materia prima y empieza el proceso de secado ambiente.

2.3.4 MOLIENDA

La molienda tiene como objetivo la disminución del tamaño de las partículas de la materia prima vegetal, para adecuarla a la etapa siguiente del proceso de extracción. La extracción de una materia prima entera o dividida en fragmentos gruesos sería incompleta, debido a la pobre penetración del solvente en el tejido vegetal, y sería igualmente muy lenta, por cuanto las membranas celulares actúan como verdaderas barreras que dificultan el proceso de extracción.

En el caso de la materia prima previamente dividida, tales membranas se encuentran parcialmente destruídas, lo que facilita la disolución de los constituyentes celulares en el líquido externo. Sin embargo, la división excesiva, con formación de polvos muy finos, puede causar problemas en el transcurso de la extracción.

Teóricamente, la eficiencia del proceso de extracción sería mayor cuanto menor sea el tamaño de las partículas, ya que así se obtiene una mayor área de contacto con el solvente. En la práctica, la presencia de partículas muy finas dificulta los procesos de filtración, pues se presenta compactación y formación de falsas vías, y los procesos

de maceración, en donde las partículas pasan al extracto, haciendo necesaria la realización de la etapa adicional de filtración, la cual no siempre es de fácil ejecución.

Por otro lado, la penetración del solvente en fragmentos mayores de la materia prima es lenta y la salida de las sustancias extraíbles es difícil. Por esta razón, se recomienda la utilización de polvos moderadamente gruesos para la gran mayoría de las materias primas. **(Soberanis,I. 2009)**

2.3.5 TAMIZADO

El proceso de cribado o tamizado, es la separación de una mezcla compuesta por sólidos de diversos tamaños de grano en dos o más porciones mediante una superficie tamiz que actúa como separador de tipo “aceptación y rechazo”, de tal manera que las porciones finales originadas en la separación estén constituidas por granos de tamaño más uniforme que en la mezcla original. **(Soberanis,I. 2009)**

El material que permanece sobre la superficie de un tamiz determinado se denomina material superior o rechazo; mientras que el material que atraviesa la superficie de tamiz se denomina material inferior o paso; estas denominaciones se repiten en cada uno de los tamices inferiores.

La superficie de tamiz puede ser de tela de alambre, seda o plástico, placas horadadas o perforadas, rejas de barras o secciones de alambre de cuña.

Las telas de alambre se especifican, en general, mediante la “malla”, que es el número de aberturas por, a contar a partir del centro de cualquier alambre hasta un punto situado exactamente a 25,4 mm (1 pulgada) de distancia; también mediante la abertura especificada en pulgadas o milímetros, que es el espacio libre entre los alambres. La malla se emplea en general para las telas de malla 2 y más finas y la abertura libre para las telas espaciadas con aberturas de 12,7 mm (1/2 pulgada) o mayores. El paso, o tamaño de abertura de la malla, es el espacio libre mínimo entre los bordes de la abertura en la superficie del tamiz y se expresa, por lo general, en pulgadas o milímetros. El área abierta de una malla es el porcentaje de aberturas reales respecto del área superficial total. y se pasa por el tamiz donde se busca la

granulometría adecuada para el mercado. En esta etapa se obtiene el tamaño de partículas deseadas y se procede a almacenar en frascos de vidrios para su siguiente etapa. **(Soberanis,I. 2009)**

2.3.6 MACERACIÓN

El proceso de maceración consiste en poner en contacto la materia prima y el solvente, durante cierto tiempo. Se trata de un proceso que da como resultado un equilibrio de concentración entre la materia prima y el solvente, y depende de factores que están unidos a la materia prima, como por ejemplo, su naturaleza, el tamaño de partícula, su contenido de humedad y cantidad y factores que están relacionados con el solvente, como por ejemplo, la selectividad y la cantidad. El rendimiento del extracto disminuye cuando la relación materia prima/solvente aumenta. El hinchamiento de la materia prima es factor importante, porque aumenta la permeabilidad de la pared celular y la difusión del solvente. La velocidad con que se obtiene el equilibrio está en función del tamaño de partícula de la materia prima molida, así como, del grado de hinchamiento de las células y de las propiedades del solvente, como por ejemplo, su viscosidad y polaridad. **(Soberanis,I. 2009)**

El proceso clásico de maceración consiste en dejar la materia prima en contacto con el solvente durante varios días, con agitación ocasional. Este proceso, también conocido como maceración simple o estática, es sumamente lento. Para abreviar el tiempo de operación, la materia prima y el solvente deben mantenerse en movimiento constante. **(Soberanis,I. 2009)**

Este procedimiento es conocido como maceración dinámica. Tanto la maceración simple como la maceración dinámica pueden ser ejecutadas a temperatura ambiente o a temperaturas más elevadas. En este último caso el procedimiento es conocido como digestión. **(Soberanis,I. 2009)**

Las grandes desventajas del proceso de maceración son la lentitud del proceso y el hecho de no ser posible alcanzar la extracción completa de la materia prima. Para disminuir las pérdidas del extracto en el residuo de la extracción, la operación de

maceración (estática o dinámica) puede repetirse dos o tres veces. Después de haber escurrido el solvente de la extracción anterior. Este procedimiento disminuye la cantidad de extracto retenido en el residuo, pero aumenta la cantidad de solvente a ser recuperado. Este inconveniente puede superarse, adoptándose el esquema de procesamiento en serie, conforme es descrito para la percolación. **(Soberanis,I. 2009)**

2.3.7 FILTRACIÓN

Muchas fases estacionarias son porosas para proporcionar una mayor superficie. Los poros pequeños proporcionan una mayor superficie mientras que los poros de mayor medida proporcionan una cinética mejor, especialmente para los compuestos de tamaño más grande; por ejemplo, una proteína que sea ligeramente más pequeña que el tamaño de los poros puede entrar, pero difícilmente saldrá con facilidad. **(Soberanis,I. 2009)**

2.3.8 SECADO

Debe garantizarse una buena circulación de aire para facilitar el proceso de secado.

La manera cómo va a ser realizado el secado debe determinarse experimentalmente para cada caso. Un secado lento puede causar alteraciones perjudiciales antes de que el proceso se haya terminado, debido a la acción de enzimas, los hongos y las bacterias. Un proceso de secado muy rápido endurece la capa superficial de las células e impide la evaporación del agua que está dentro del órgano lo que propicia la acción de enzimas en su interior, causa la volatilización de los aceites esenciales originando productos con una pésima presentación comercial.

El proceso de secado puede ser realizado al sol o a la sombra, extendiendo la Cúrcuma en capas finas, en una superficie limpia. Sin embargo, este proceso no permite tener un control de la temperatura y debe interrumpirse cuando comienza a anochecer, recogiendo las plantas y guardándolas en un local cubierto, para impedir la absorción de la humedad durante la noche. Los mejores resultados se obtienen utilizando secadores solares o secadores que operan con aire caliente. **(Soberanis,I. 2009)**

2.4 PROCEDIMIENTOS Y TÉCNICAS EMPLEADOS PARA LA OBTENCIÓN DE LOS RESULTADOS

2.4.1 DISEÑO EXPERIMENTAL

Un experimento diseñado, es una serie de pruebas en las cuales se induce cambios deliberados en las variables de entrada de un proceso o sistema, de manera que sea posible observar e identificar las causas de los cambios en la respuesta de salida. (Montgomery, 1991)

2.4.2 DISEÑO EXPERIMENTAL FACTORIAL 2^k

Los diseños factoriales son ampliamente utilizados en experimentos en los que intervienen varios factores para estudiar el efecto conjunto de estos sobre una respuesta.

Uno de los diseños es la serie 2^k que tiene solo dos factores, A y B, cada uno con dos niveles. Este diseño se conoce como diseño factorial 2^2 . Arbitrariamente, los niveles del factor pueden llamarse " inferior " y " superior ". (Montgomery, 1991)

$$2^k$$

2 = número de niveles

k = número de variables

2.4.3 DISEÑO $3^1 \times 2^1$ PARA EL PROCESO DE EXTRACCIÓN DE CURCUMINA

En la Tabla II-2 y Tabla II-3, se muestran las variables involucradas en el diseño factorial para el proceso de obtención de Curcumina en polvo a partir de *Cúrcuma longa*.

Tabla II – 2

Variables independientes involucradas en el proceso

Variables Independientes	Definición	Unidades
Temperatura de extracción	La temperatura que se necesita en el medio solvente para obtenerse la curcumina	(⁰ C) Grados Centígrados
Tamaño de partícula	El tamaño adecuado al cual se reduce la Cúrcuma longa para ser sometida a la extracción en agua	(mm) Milímetros

Fuente: Elaboración propia, 2017

Tabla II – 3

Variables dependientes involucradas en el proceso

Variables Dependientes	Definición	Unidades
Rendimiento de la extracción, es la variable respuesta.	Gramos de Curcumina obtenido por cada gramo de Cúrcuma longa	(%) Porcentaje

Fuente: Elaboración propia, 2017

2.4.4 VARIABLES

Tamaño de la Partícula

$$0,1 \text{ cm} = -1$$

$$1 \text{ cm} = +1$$

Temperatura

$$40 \text{ }^{\circ}\text{C} = -1$$

$$50 \text{ }^{\circ}\text{C} = 0$$

$$60 \text{ }^{\circ}\text{C} = +1$$

2.4.5 MATRIZ DE EXPERIMENTOS : $2^1 \times 3^1 = 6$

❖ **Número de Réplicas** $2 \times 6 = 12$ Experimentos

En la Tabla II-4 se muestra el diseño factorial, para el proceso de obtención de Curcumina a partir de *Cúrcuma longa*.

Tabla II – 4

Matriz de experimentos, plan de experimentación

Prueba	Matriz de Experimentos	Plan de Experimentación	
		Tamaño	Temperatura
1	- 1	-1	-1
2	+ 1	+1	-1
3	- 1	-1	0
4	0	+1	0
5	+ 1	-1	+1
6	-	+1	+1

Fuente : Elaboración propia,2017.

2.5 EQUIPOS E INSTRUMENTOS NECESARIOS PARA LA OBTENCIÓN DE LOS RESULTADOS

Se utilizan equipos existentes en el Laboratorio de Operaciones Unitarias LOU, que son los siguientes :

Tabla II – 5
Equipos e instrumentos utilizados

Equipo	Especificación	Cantidad
Tamiz Tayler	Aluminio	1
Equipo de Baño Maria	Corriente	1
Balanza	Corriente	1
Estufa	Convección	1
Bomba de Vacío	Corriente	1

Fuente : Elaboración propia,2017.

2.5.1 MATERIA PRIMA Y ADITIVOS E INSUMOS

La materia prima y los insumos que se utiliza son:

➤ **MATERIA PRIMA**

La materia prima que se utiliza para realizar el trabajo de investigación es la Cúrcuma Longa, la misma que fue adquirida en el Mercado Campesino del departamento de Tarija.

Figura II – 3
Cúrcuma longa seca



Fuente: Elaboración propia, 2017

➤ **ADITIVOS E INSUMOS**

Para la realización del presente trabajo de investigación se utilizan los siguientes insumos:

- Agua mineral
- Papel filtro

2.6 REQUERIMIENTO, DESCRIPCIÓN DE EQUIPOS, MATERIALES DE LABORATORIO UTILIZADOS

Para la realización del presente trabajo de investigación se describen los instrumentos utilizados en la “Obtención de Curcumina en polvo a partir de la Cúrcuma Longa”.

2.6.1 EQUIPOS DE LABORATORIO

Los equipos de laboratorio que se utilizan para llevar a cabo el trabajo de investigación se describen a continuación.

2.6.1.1 BALANZA ANALÍTICA DIGITAL

En la Figura II - 4 se muestra la balanza analítica digital, que se utiliza para pesar la cantidad de materia prima Cúrcuma Longa que entra al proceso, como también se utiliza para pesar el papel filtro, y también la cantidad de Curcumina obtenida después del secado.

Figura II – 4

Balanza Analítica



Fuente: Elaboración propia, 2017

La balanza analítica digital pertenece al Laboratorio de Química dependiente de la Universidad Autónoma Juan Misael Saracho. Las especificaciones técnicas de este equipo, se describen en la Tabla II-6.

Tabla II – 6

Especificaciones técnicas de la balanza analítica digital

Características	Detalles
Marca	KERN
Modelo	ABS 220-4
Nº de serie	WB1210334
Potencia	0,22Kw
Capacidad	220g
Legibilidad	0,1mg

Fuente: Elaboración propia, 2017

2.6.1.2 ESTUFA DE CONVECCIÓN NATURAL

En la Figura II-5, se muestra la estufa de convección natural que se utiliza para efectuar el secado de la Curcumina. Este equipo se encuentra en el Laboratorio de Operaciones Unitarias, dependiente de la Universidad Autónoma Juan Misael Saracho.

Figura II – 5
Estufa de convección natural



Fuente: Elaboración propia, 2017

Las especificaciones técnicas de la estufa de convección natural, se describen en la Tabla II-7

Tabla II – 7
Especificaciones técnicas de la estufa de convección natural

Características	Detalles
Dimensiones internas	400 mm de alto 330 mm de profundidad
Potencia	2000 W
Carga permitida	60 Kg
Intensidad de Corriente	8,6 A

Fuente: Elaboración propia, 2017

2.6.1.3 MOLINO DE DISCO

En la Figura II - 6 se muestra el molino de disco, que se utiliza para la reducción del tamaño de partículas que está formado por un cilindro giratorio horizontal que se mueve a baja velocidad con un movimiento manual.

Figura II – 6
Molino de disco



Fuente: Elaboración propia, 2017

2.6.1.4 TAMIZ VIBRATORIO

En la Figura II-7 se muestra el tamizador, que se utiliza para conocer y poder clasificar la Cúrcuma por el tamaño de partículas.

Para este proceso de tamizado se utiliza el tamiz normal Tyler, de 200 mallas con hilos de 0,0021 pulgadas de diámetro, que dan una superficie libre de 0,0029 pulg.².

Los tamices utilizados son de 2m/m, 1m/m, 0,50m/m, 0,25m/m y 0,063m/m. Este equipo se encuentra en el Laboratorio de Operaciones Unitarias (LOU), perteneciente a la Universidad Autónoma Juan Misael Saracho de la Carrera de Ingeniería Química

Figura II – 7
Tamiz vibratorio



Fuente: Elaboración propia, 2017

Las especificaciones técnicas del tamiz vibratorio, se describen en la Tabla II - 8

Tabla II – 8

Especificaciones técnicas del tamiz vibratorio

Características	Detalles
Marca	ORTO ALRESA
Fabricado	ESPAÑA
Voltaje	230 V
Velocidad	2.500 rpm
Potencia	80 W
Frecuencia	50 Hz
Intensidad de corriente	0.4 A

Fuente: Elaboración propia, 2017

2.6.1.5 EQUIPO DE BAÑO MARÍA

En la Figura II- 8 se puede observar el Equipo de Baño Maria, termostático. Dispone de una resistencia eléctrica (que siempre debe estar protegida) que calienta el agua destilada contenida en su interior. Se utiliza agua destilada para evitar la incrustación de iones metálicos sobre la resistencia.

Figura II – 8
Equipo de baño maria



Fuente: Elaboración propia, 2017

Las especificaciones técnicas del Equipo de Baño Maria, se describen en la Tabla II - 9.

Tabla II - 9

Especificaciones técnicas del equipo de baño maría

Características	Detalles
Marca	SELECTA
Voltaje	230 V
Potencia	960 W
Frecuencia	50 Hz
Intensidad de corriente	4.1 A

Fuente: Elaboración propia, 2017

2.6.1.6 BALANZA DIGITAL

La balanza es un instrumento lo cual se puede controlar pesos, es por eso que se utilizó esta balanza para poder controlar los pesos de las muestras durante el proceso de la obtención de Curcumina, la misma que cuenta con calibración automática y una pantalla digital. La balanza de la Figura II-9, fue proporcionada gentilmente por el Ing. Jorge Tejerina Oller.

Figura II – 9
Balanza digital



Fuente: Elaboración propia, 2017

Las especificaciones técnicas de la balanza digital, se muestra en la Tabla II - 10

Tabla II-10

Especificaciones técnicas de la balanza digital

Capacidad	7kg*0,2g
Power	1.5 V x 2 AAA batería (inducida)
Modo función	g/oz

Fuente: Elaboración propia, 2017

2.6.1.7 ANALIZADOR INFRARROJO SARTORIUS

Se determinará la humedad de la Curcumina en un Analizador Infrarrojo SARTORIUS MA 100, que esta en el Laboratorio de Operaciones Unitarias de la Carrera de Ingeniería Química, para lo cual se produce como sigue.

- Tarar el platillo del analizador
- Pesar 5 gr de la muestra en la balanza del analizador
- Espacir la Curcumina
- Iniciar el proceso de secado, anotar la variación de la humedad con el tiempo hasta que este sea constante.

Los resultados dan directamente en porcentaje de humedad, no se necesita hacer ninguna clase de cálculo.

A continuación en la siguiente figura se muestra el analizador infrarrojo, usado para la determinación del contenido de humedad de la Curcumina.

Figura II – 10

Analizador infrarrojo Sartorius Ma 100



Fuente: Elaboración propia, 2017

2.6.2 MATERIALES DE LABORATORIO

En la Tabla II – 11, se muestra los materiales de laboratorio utilizados en la parte experimental durante el desarrollo de investigación que pertenecen al Laboratorio de Química, dependiente de la Universidad Autónoma Juan Misael Saracho.

Tabla II – 11
Materiales de laboratorio

Materiales	Capacidad/tamaño	Tipo de material	Cantidad
Termómetro	0-100 °C	bulbo de mercurio	1
Filtro Buchner	Mediano	plástico	2
Erlenmeyer , para conexión de vacío	1000 ml	Vidrio	2
Mangueras para conexión a vacío	Mediano	plástico	2
Cajas Petri	Pequeñas	plástico	40
Papel filtro	caja	papel	1
Frascos con tapa	Mediano	vidrio	15
Vidrio reloj	Mediano	vidrio	3
Vaso de precipitación	500 ml	vidrio	1
Piseta	Mediano	plástico	1
Guantes	Pequeños	látex	50
Barbijo	Pequeños	tela	30
Espátula	Mediana	metálico	1
Bote de agua Mineral	2 litros	plástico	3

Fuente: Elaboración propia, 2017

2.7 COMPARACIONES FISICOQUÍMICAS DE LA CÚRCUMA LONGA

Tabla II-12

Comparaciones de datos fisicoquímicas de la Cúrcuma longa

PARÁMETRO	UNIDAD	RESULTADO DEL “CEANID”	RESULTADO DE “ESPAÑA”
Calcio total	mg/100gr	121,00	168,00
Ceniza	%	6,27	6,27
Fibra	%	3,92	3,50
Fósforo Total	mg/100gr	54,70	299
Grasa	%	4,00	4,70
Hidratos de Carbono	%	68,85	63,70
Hierro total	mg/100gr	58,70	55,00
Humedad	%	10,75	12,00
Magnesio total	mg/100gr	193,00	208,00
Proteína total (N×6,25)	%	6,21	5,80
Sodio total	mg/100gr	10,90	27,00
Valor Energético	Kcal/100gr	336,24	387,24
***Curcuminoides	%	5,02	2,50

Fuente: Datos de España de la Real Academia Nacional de Farmacia, Spain,2015 y Centro de Analisis e Investigación y Desarrollo.”CEANID”,2017.

Como puede observarse en gran parte de los parámetros no existen diferencias significativas, solo se tienen diferencias importante en el contenido de fibra y fósforo total, parámetros que no afectan la calidad del producto.

CAPÍTULO III

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

3.1 LOS ANÁLISIS DE LA MATERIA PRIMA, SON LOS SIGUIENTES

3.1.1 PRESENTACIÓN ORDENADA Y SISTEMÁTICA DE LOS RESULTADOS OBTENIDOS.

➤ **Datos para la prueba N^{ro} 1**

Peso inicial de Cúrcuma = 50,357 g

Peso inicial de agua = 500 ml

T= 40°C

Tiempo de Secado 48 horas a 60 °C

Partícula D = 1 mm

Tabla III – 1

Filtración para la determinación de Curcumina,

con T = 40 °C y D= 1mm

N ^o Filtración	Peso inicial papel filtro Pf0(g)	Peso Vidrio de Reloj Pvo(g)	Peso total seco en el filtro Pmo(g)	Peso papel filtro sin muestra Pf(g)	Peso seco Cúrcumina Pm(g)	Rendimiento %
1	1,341	42	11,771	1,608	10,429	20,848
2	1,329	48	16,757	1,602	15,427	30,839
3	1,248	34	17,931	1,421	16,683	33,349
Total Curcumina					42,539	85,038

Fuente: Elaboración propia, 2017

➤ **Datos para la prueba N^o 2**

Peso inicial de Cúrcuma = 50,985 g

Peso inicial de agua = 500 ml

T = 40 °C

Partícula D = 0,25 mm

Tiempo de Secado 48 horas a 60 °C

Tabla III – 2

**Filtración para la determinación de Curcumina,
con T= 40 °C y D = 0,25 mm**

N ^o Filtración	Peso inicial papel filtro Pf0(g)	Peso Vidrio de Reloj Pvo(g)	Peso total seco en el filtro Pmo(g)	Peso papel filtro sin muestra Pf(g)	Peso seco Cúrcumina Pm(g)	Rendimiento %
1	1,363	48	5,341	1,638	3,977	7,951
2	1,328	49	4,152	1,581	2,823	5,643
3	1,180	111	3,871	1,338	2,690	5,378
4	1,351	38	3,364	1,456	2,012	4,022
5	1,351	47	2,374	1,503	1,022	2,043
6	1,205	42	1,854	1,336	0,648	1,296
7	1,073	48	2,224	1,114	1,150	2,299
8	1,362	49	3,299	1,585	1,936	3,870
9	1,186	49	3,222	1,398	2,035	4,069
10	1,338	48	5,221	1,600	3,882	7,760
11	1,324	46	5,371	1,486	4,046	8,088
12	1,321	48	4,066	1,551	2,744	5,486
13	1,348	49	4,990	1,561	3,641	7,279
14	1,165	49	5,028	1,568	3,863	7,722
15	1,324	48	5,104	1,448	3,779	7,555
Total Curcumina					40,254	80,469

Fuente: Elaboración propia, 2017

Tabla III – 3

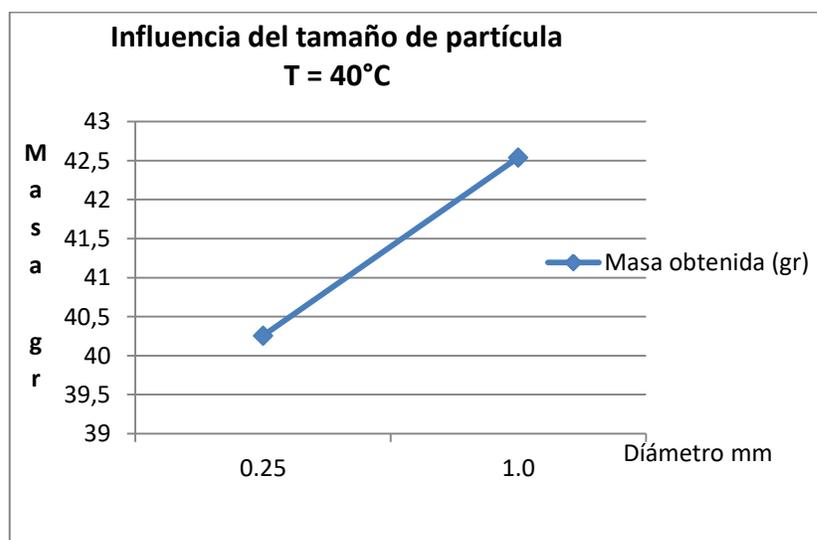
Rendimiento para T = 40 °C

Diámetro (mm)	Masa obtenida (g)	Rendimiento %
0.25	40,254	80,469
1.0	42,539	85,038

Fuente: Elaboración propia, 2017

Cuadro III – 1

Influencia del tamaño de partícula a T = 40 °C



Fuente: Elaboración propia, 2017

Se puede observar en el gráfico, que para una temperatura de 40 °C se obtiene un mayor rendimiento para una partícula mayor de diámetro, que corresponde a 1 mm, esto se debe a que la partícula más grande absorbe mayor cantidad de agua en la maceración que la partícula más pequeña que es 0,25mm.

➤ **Datos para la prueba N^{ro} 3. Réplica**

Peso inicial de Cúrcuma = 50,558 g

Peso inicial de agua = 500 ml

T = 40 °C

Partículas de D = 1mm

Tiempo de Secado 48 horas a 60 °C

Tabla III-4

**Filtración para la determinación de Curcumina,
con T = 40°C y D = 1mm. Replica**

N° Filtración	Peso inicial papel filtro Pfo(g)	Peso Vidrio de Reloj Pvo(g)	Peso total seco en el filtro Pmo (g)	Peso papel filtro sin muestra Pf(g)	Peso seco Cúrcumina Pm(g)	Rendimiento %
1	1,050	38	13,132	1,695	12,081	24,152
2	1,396	37	14,88	1,811	13,485	26,957
3	1,326	48	19,060	1,866	17,733	35,449
4	1,073	45	2,118	1,436	1,044	2,088
Total Curcumina					44,345	88,648

Fuente: Elaboración propia, 2017

➤ **Datos para la prueba N^{ro} 4. Réplica**

Peso inicial de Cúrcuma = 50, 558 g

Peso inicial de agua = 500 ml

T = 40°C

Partículas de D = 0,25 mm

Tiempo de Secado 48 horas a 60 °C

Tabla III – 5

**Filtración para la determinación de Curcumina,
con T = 40°C y D= 0,25 mm. Replica**

N° Filtración	Peso inicial papel filtro Pfo (g)	Peso Vidrio de Reloj Pvo (g)	Peso total seco en el filtro Pmo(g)	Peso papel filtro sin muestra Pf(g)	Peso seco Curcumina Pm(g)	Rendimiento %
1	1,198	36	2,78	1,311	1,582	3,162
2	1,381	42	3,828	1,491	2,446	4,890
3	1,337	45	4,512	1,295	3,174	6,346
4	1,170	50	4,685	1,603	3,514	7,024
5	1,195	47	4,838	1,404	3,642	7,281
6	1,311	50	4,335	1,583	3,023	6,044
7	1,194	54	4,889	1,429	3,694	7,385
8	1,331	45	4,054	1,543	2,722	5,442
9	1,307	57	3,825	1,566	2,517	5,032
10	1,175	48	3,593	1,312	2,417	4,831
11	1,337	52	3,598	1,343	2,260	4,519
12	1,304	49	4,522	1,446	3,218	6,432
13	1,343	46	5,141	1,464	3,797	7,591
14	1,315	46	4,984	1,556	3,668	7,333
Total Curcumina					41,679	83,319

Fuente: Elaboración propia, 2017

Tabla III - 6
Rendimiento para T = 40 °C. Replica

Diámetro (mm)	Masa obtenida (g)	Rendimiento %
0.25	41,679	83,319
1.0	44,355	88,648

Fuente: Elaboración propia, 2017

➤ **Datos para la prueba N° 5**

Peso inicial de Cúrcuma = 50, 024 g

Peso inicial de agua = 500 ml

T = 50°C

Partículas de D = 1mm

Tiempo de Secado 48 horas a 60 °C

Tabla III – 7

**Filtración para la determinación de Curcumina,
con T = 50 °C y D = 1mm**

N° Filtración	Peso inicial papel filtro Pfo(g)	Peso Vidrio de Reloj Pvo(g)	Peso total seco en el filtro Pmo(g)	Peso papel filtro sin muestra Pf(g)	Peso seco Curcumina Pm(g)	Rendimiento %
1	1,217	48	10,413	1,766	9,195	18,382
2	1,196	48	8,548	1,66	7,351	14,695
3	1,344	47	8,857	1,592	7,512	15,017
4	1,200	34	7,757	1,448	6,556	13,106
5	1,260	48	10,445	1,826	9,185	18,361
6	1,348	50	2,302	1,481	0,953	1,905
Total Curcumina					40,754	81,469

Fuente: Elaboración propia, 2017

➤ **Datos para la prueba N^{ro} 6**

Peso inicial de Cúrcuma = 50,056 g

Peso inicial de agua = 500 ml

T = 50 °C

Partículas de D = 0, 25 mm

Tiempo se secado 48 horas

Tabla III – 8

**Filtración para la determinación de Curcumina,
con T = 50 °C y D = 0,25 mm**

N° Filtración	Peso inicial papel filtro Pfo(g)	Peso Vidrio de Reloj Pvo(g)	Peso total seco en el filtro Pmo(g)	Peso papel filtro sin muestra Pf(g)	Peso seco Curcumina Pm(g)	Rendimiento %
1	1,165	45	6,890	1,578	5,724	11,443
2	1,461	36	10,638	1,735	9,177	18,346
3	1,397	42	10,398	1,697	9,000	17,992
4	1,334	45	10,289	1,4	8,954	17,899
5	1,597	48	8,044	1,765	6,447	12,887
6	1,119	49	1,746	1,491	0,627	1,254
7	1,193	46	1,702	1,360	0,508	1,016
Total Curcumina					40,440	80,841

Fuente: Elaboración propia, 2017

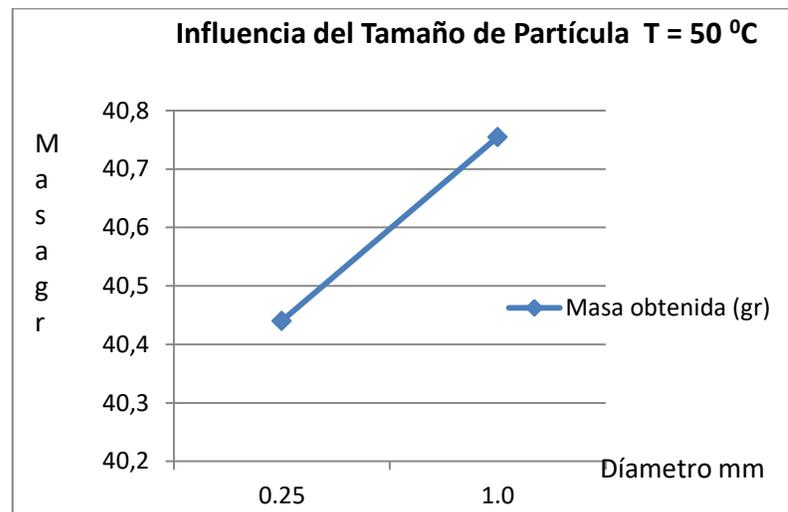
Tabla III - 9
Rendimiento para T = 50°C

Diámetro (mm)	Masa obtenida (g)	Rendimiento %
0.25	40,441	80,844
1.0	40,755	81,469

Fuente: Elaboración propia, 2017

Cuadro III – 2

Influencia del tamaño de partícula a T = 50°C



Fuente: Elaboración propia, 2017

Se puede observar en el gráfico, que para una temperatura de 50 °C se obtiene un mayor rendimiento para una partícula mayor de diámetro, que corresponde a 1 mm, esto se debe a que la partícula más grande absorbe mayor cantidad de agua en la maceración que la partícula más pequeña que es 0,25, lo cual adquiere mayor rendimiento de Curcumina que la partícula de 0,25 que se obtiene menor rendimiento.

➤ **Datos para la prueba N^{ro} 7. Replica**

Peso inicial de Cúrcuma = 50,015 g

Peso inicial de agua = 500 ml

T = 50°C

Partículas de D = 1mm

Tiempo de Secado 48 horas a 60°C

Tabla III - 10

**Filtración para la determinación de Curcumina,
con T = 50°C y D = 1mm. Replica**

N° Filtración	Peso inicial papel filtro Pfo(g)	Peso Vidrio de Reloj Pvo(g)	Peso total seco en el filtro Pmo(g)	Peso papel filtro sin muestra Pf(g)	Peso seco Curcumina Pm(g)	Rendimiento %
1	1,196	57	10,156	1,448	8,960	17,911
2	1,335	47	15,235	2,169	13,900	27,787
3	1,131	47	15,268	1,659	14,137	28,261
4	1,321	49	6,766	1,730	5,445	10,885
5	1,324	37	4,716	1,649	3,392	6,781
Total Curcumina					45,836	91,628

Fuente: Elaboración propia, 2017

➤ **Datos para la prueba N^{ro} 8. Replica**

Peso inicial de Cúrcuma = 50,047 g

Peso inicial de agua = 500 ml

T = 50°C

Partículas de D = 0,25 mm

Tiempo de Secado 48 horas a 60°C

Tabla III - 11

Filtración para la determinación de Curcumina,
con T = 50°C y D = 0,25 mm. Replica

N° Filtración	Peso inicial papel filtro Pfo(g)	Peso Vidrio de Reloj Pvo(g)	Peso total seco en el filtro Pmo(g)	Peso papel filtro sin muestra Pf(g)	Peso seco Cúrcumina Pm(g)	Rendimiento %
1	1,223	27	9,569	1,767	8,345	16,683
2	1,352	48	9,239	1,983	7,887	15,767
3	1,226	45	9,302	1,781	8,075	16,143
4	1,218	50	5,961	1,608	4,742	9,480
5	1,347	51	6,127	1,770	4,779	9,554
6	1,193	50	3,608	1,356	2,414	4,826
7	1,320	47	7,463	1,803	6,143	12,280
8	1,334	47	1,846	1,518	0,512	1,023
9	1,148	54	2,704	1,687	1,555	3,109
Total Curcumina					44,456	88,870

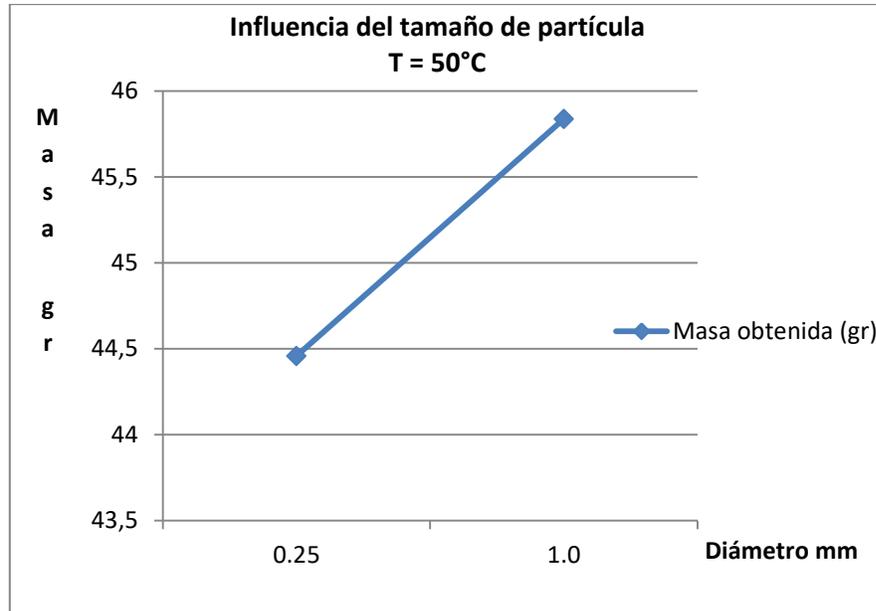
Fuente: Elaboración propia, 2017

Tabla III - 12

Rendimiento para T = 50°C. Replica

Diámetro (mm)	Masa obtenida (g)	Rendimiento %
0.25	44,456	88,870
1.0	45,836	91,628

Fuente: Elaboración propia, 2017

Cuadro III – 3**Influencia del tamaño de partícula a T = 50°C. Replica**

Fuente: Elaboración propia, 2017

➤ **Datos para la prueba N^{ro} 9**

Peso inicial de Cúrcuma = 50,086 g

Peso inicial de agua = 500 ml

T = 60°C

Partículas de D = 1 mm

Tiempo de Secado 48 horas a 60°C

Tabla III – 13

Filtración para la determinación de Curcumina,
para T = 60°C y D = 1 mm

N° Filtración	Peso inicial papel filtro Pf0(g)	Peso Vidrio de Reloj Pvo(g)	Peso total seco en el filtro Pmo(g)	Peso papel filtro sin muestra Pf(g)	Peso seco Curcumina Pm(g)	Rendimiento %
1	1,308	48	12,727	1,694	11,418	22,798
2	1,159	50	13,142	1,85	11,982	23,953
3	1,332	36	16,884	2,073	15,551	31,088
4	1,214	46	5,294	1,444	4,079	8,155
Total Curcumina					43,032	86,023

Fuente: Elaboración propia, 2017

➤ **Datos para la prueba N° 10**

Peso inicial de Cúrcuma = 50,089 g

Peso inicial de agua = 500 ml

T = 60°C

Partículas de D = 0,25 mm

Tiempo de Secado 48 horas a 60°C

Tabla III – 14
Filtración para la determinación de Curcumina,
para T = 60°C y D = 0,25 mm

N° Filtración	Peso inicial papel filtro Pf0(g)	Peso Vidrio de Reloj Pvo(g)	Peso total seco en el filtro Pmo(g)	Peso papel filtro sin muestra Pf(g)	Peso seco Curcumina Pm(g)	Rendimiento %
1	1,322	47	6,676	1,737	5,353	10,702
2	1,314	27	4,765	1,692	3,450	6,896
3	1,319	37	5,42	1,675	4,101	8,198
4	1,208	48	4,79	1,536	3,581	7,159
5	1,313	50	9,079	1,83	7,765	15,523
6	1,349	49	4,476	1,665	3,126	6,249
7	1,176	49	7,632	1,573	6,455	12,905
8	1,070	50	4,449	1,419	3,378	6,753
9	1,347	47	7,395	1,709	6,047	12,089
Total Curcumina					43,260	86,479

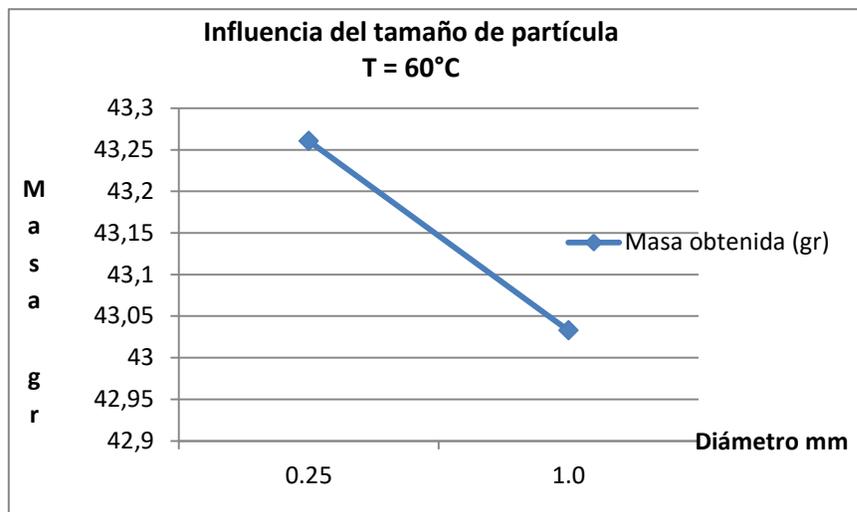
Fuente: Elaboración propia, 2017

Tabla III – 15
Rendimiento para T = 60°C

Diámetro (mm)	Masa obtenida (g)	Rendimiento %
0.25	43,260	86,479
1.0	43,032	86,023

Fuente: Elaboración propia, 2017

Cuadro III – 4
Influencia del tamaño de partícula, T = 60°C



Fuente: Elaboración propia, 2017

➤ **Datos para la prueba N^{ro} 11. Replica**

Peso inicial de Cúrcuma = 50,044 g

Peso inicial de agua = 500 ml

T = 60°C

Partículas de D= 1mm

Tiempo de Secado 48 horas a 60 °C

Tabla III - 16
Filtración para la determinación de Curcumina,
para T = 60°C y D = 1 mm. Replica

N° Filtración	Peso inicial papel filtro Pf0(g)	Peso Vidrio de Relog Pvo(g)	Peso total seco en el filtro Pmo(g)	Peso papel filtro sin muestra Pf(g)	Peso seco Curcumina Pm(g)	Rendimiento %
1	1,211	48	13,793	1,645	12,581	25,120
2	1,303	54	15,18	1,836	13,876	27,739
3	1,340	47	18,706	2,096	17,365	34,713
Total Curcumina					43,823	87,604

Fuente: Elaboración propia,2017

➤ **Datos para la prueba N° 12. Replica**



Peso inicial de Cúrcuma = 50,048 g

Peso inicial de agua = 500 ml

T = 60°C

Partículas de D= 0,25 mm

Tiempo de Secado 48 horas a 60 °C

Tabla III - 17

Filtración para la determinación de Curcumina,
para T = 60°C y D = 0,25 mm. Replica

N° Filtración	Peso inicial papel filtro Pf0(g)	Peso Vidrio de Reloj Pvo(g)	Peso total seco en el filtro Pmo(g)	Peso papel filtro sin muestra Pf(g)	Peso seco Curcumina Pm(g)	Rendimiento %
1	1,301	45	5,051	1,582	3,749	7,496
2	1,197	45	3,797	1,477	2,599	5,196
3	1,199	57	4,009	1,493	2,81	5,617
4	1,311	45	4,456	1,699	3,144	6,286
5	1,313	48	4,139	1,695	2,825	5,649
6	1,512	52	6,051	1,67	4,538	9,072
7	1,340	42	4,307	1,679	2,966	5,929
8	1,305	54	2,982	1,456	1,677	3,352
9	1,305	47	4,006	1,581	2,701	5,399
10	1,344	48	3,607	1,613	2,262	4,522
11	1,345	48	7,739	1,891	6,393	12,781
12	1,206	111	6,999	1,65	5,792	11,579
Total Curcumina					41,460	82,881

Fuente: Elaboración propia, 2017

Tabla III - 18

Rendimiento para T = 60°C. Replica

Diámetro (mm)	Masa obtenida (g)	Rendimiento %
0.25	41,460	82,881
1.0	43,823	87,604

Fuente: Elaboración propia, 2017

3.2 RENDIMIENTOS DE PRODUCTOS

3.2.1 RENDIMIENTO PARA EL DIÁMETRO DE 0,25 MM

Tabla III – 19

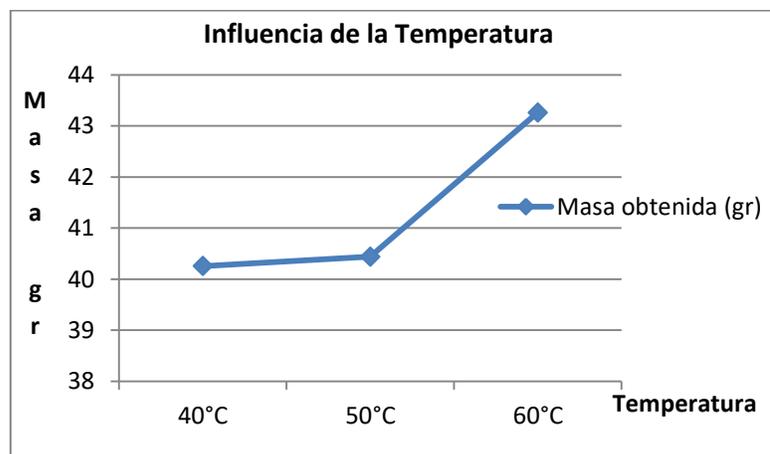
Rendimientos de productos para D = 0,25 mm

Diámetro 0.25 mm		
Temperatura	Masa obtenida (g)	Rendimiento %
40°C	40,254	80,469
50°C	40,440	80,841
60°C	43,260	86,479

Fuente: Elaboración propia, 2017

Cuadro III – 5

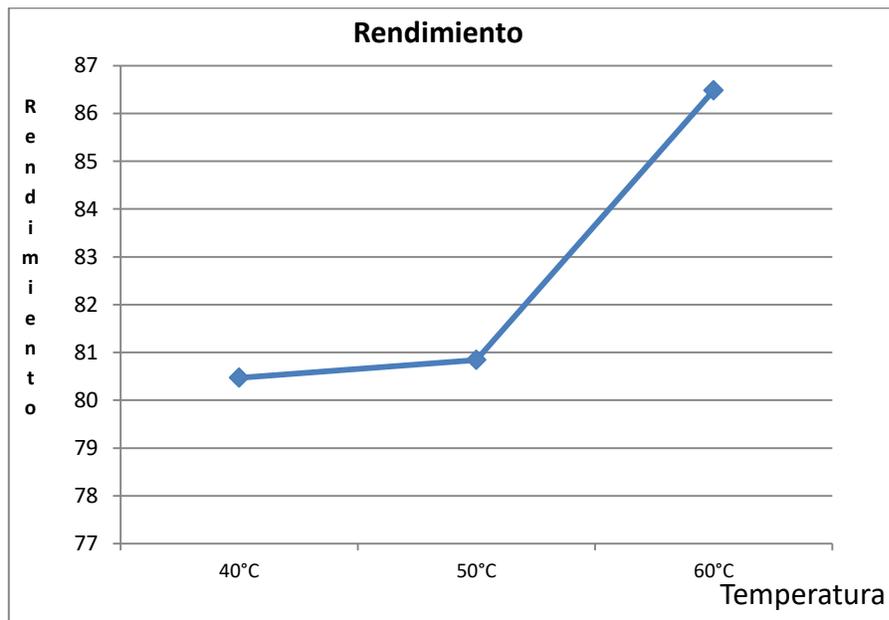
Influencia de la temperatura y masa de producto
para D= 0,25 mm



Fuente: Elaboración propia, 2017

Se puede observar en el siguiente gráfico que para un diámetro de 0.25mm, a temperaturas de 40°C, 50°C, 60°C, se obtiene una mayor cantidad de masa de Curcumina a 60°C, debido a la temperatura elevada en la maceración.

Cuadro III – 6
Influencia de la temperatura y rendimientos de productos,
para D = 0,25 mm



Fuente: Elaboración propia, 2017

Se puede observar en el siguiente gráfico que para un diámetro de 0.25mm, a temperaturas de 40°C, 50°C, 60°C, se obtiene un mayor rendimiento de Curcumina para 60°C, debido a la temperatura que se obtuvo en la maceración de la partícula de diámetro 0,25 en cual absorbe y se homogeniza mas a temperatura elevada.

3.2.2 RENDIMIENTO PARA EL DIÁMETRO DE 1 MM

Tabla III - 20

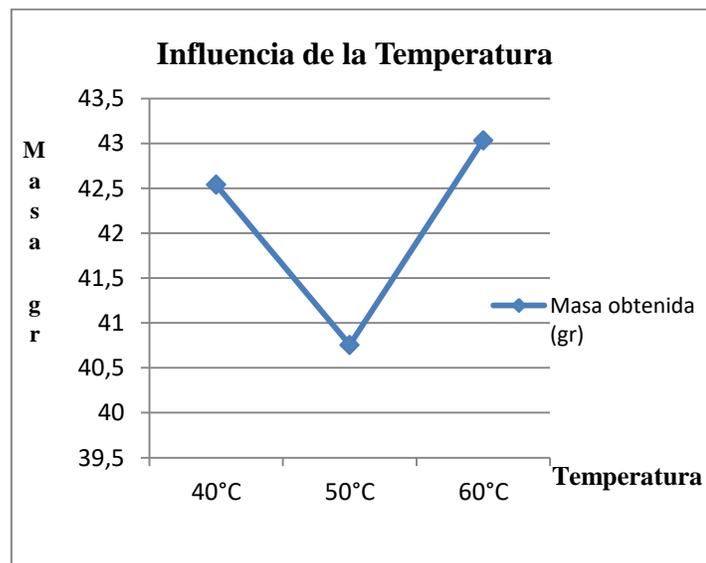
Rendimientos de productos para D= 1mm

Diámetro 1mm		
Temperatura	Masa obtenida (g)	Rendimiento %
40°C	42,539	85,038
50°C	40,754	81,469
60°C	43,032	86,023

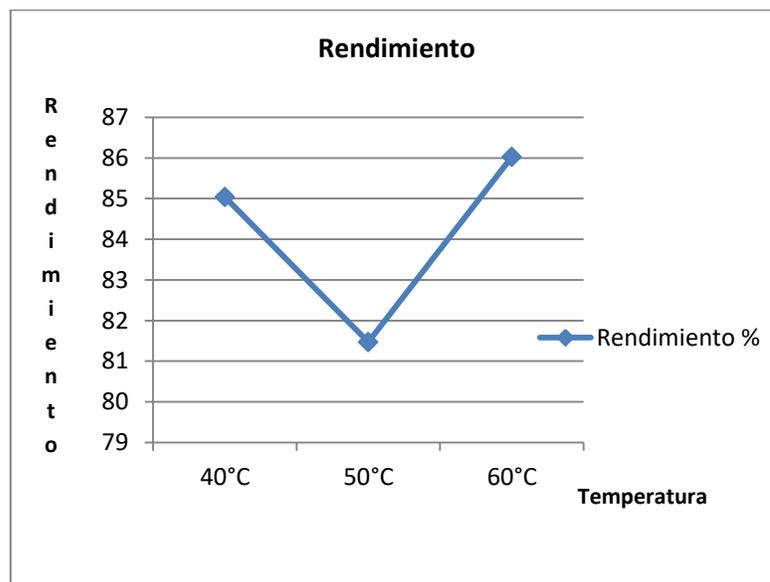
Fuente: Elaboración propia, 2017

Cuadro III – 7

Influencia de la temperatura y masa de productos, para D = 1 mm



Fuente: Elaboración propia, 2017

Cuadro III – 8**Influencia de la temperatura y rendimientos de productos,
para D = 1 mm**

Fuente: Elaboración propia, 2017

Se puede observar en el Cuadro III - 8, que para el diámetro de 1mm a temperaturas de 40°C, 50°C, 60°C, se obtiene un mayor rendimiento de Curcumina a 60°C, debido a la temperatura con más calor el cual se obtiene en la maceración donde absorbe más cantidad de agua el cual provoca la hinchazón de la partícula a temperatura más elevada obteniendo así un mejor rendimiento para 60°C, y para la temperatura de 50°C, se obtiene un menor rendimiento debido a problemas de corte de luz en estufa de secado en el Laboratorio de Química, pero se toma en cuenta la mayor cantidad de masa que es para 60°C.

3.3 DETERMINACIÓN DE HUMEDAD

Se realizó el análisis de humedad en el Analizador Infrarrojo SARTORIUS MA 100 en el Laboratorio de Operaciones Unitarias.

Este Analizador Infrarrojo SARTORIUS MA 100 permite registrar la variación del porcentaje de humedad evaporada respecto al tiempo. Se programa la balanza para que realice el secado de la Curcumina a 105°C , siendo la muestra de 5 gr aproximadamente.

Finaliza el proceso cuando el peso es constante.

En la siguiente tabla se muestran los datos registrados de porcentaje de humedad evaporada respecto al tiempo de la Curcumina.

Tabla III - 21

Variación del porcentaje de humedad a temperatura 40°C

y diámetro 0,25mm

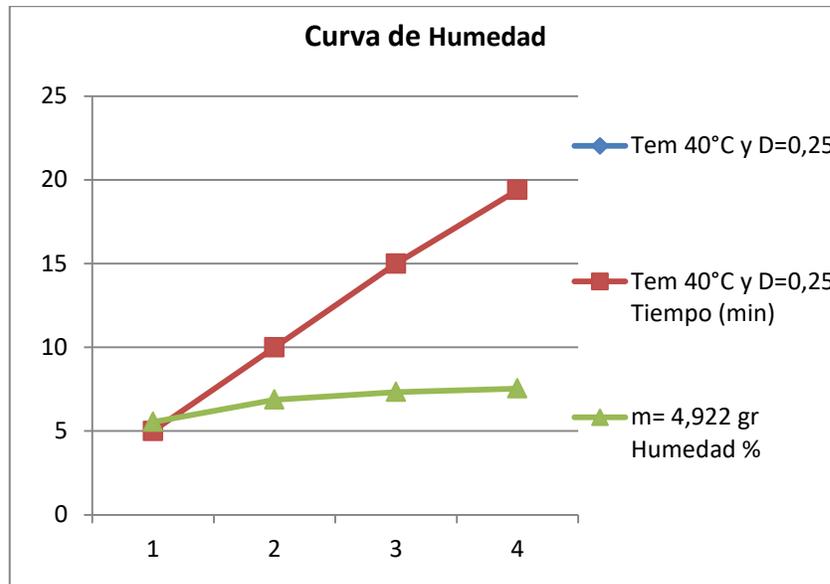
T = 40°C y D=0,25mm	m= 4,922 g
Tiempo (min)	Humedad %
5,0	5,544
10,0	6,872
15,0	7,330
19,4	7,543

Fuente: Elaboración propia, 2017

Según los datos de la Tabla III - 21, el porcentaje de humedad evaporada de la Curcumina se hace constante a los 19 min con un porcentaje de humedad evaporada de 7,543 %, la masa final es 4,922 g.

Cuadro III - 9

Curva de humedad para $T = 40^{\circ}\text{C}$ y diámetro 0,25mm



Fuente: Elaboración propia, 2017

Tabla III - 22

Variación del porcentaje de humedad a temperatura 40°C
y diámetro 1mm

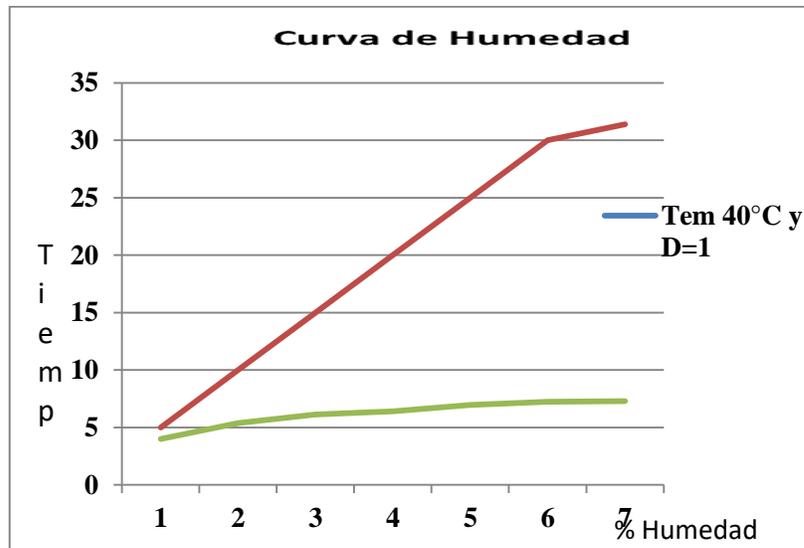
$T = 40^{\circ}\text{C}$ y $D=1\text{mm}$	$m= 4,954\text{ g}$
Tiempo (min)	Humedad %
5,0	3,997
10,0	5,397
15,0	6,119
20,0	6,422
25,0	6,975
30,0	7,244
31,4	7,307

Fuente: Elaboración propia, 2017

Según los datos de la Tabla III-22, el tiempo de humedad evaporada de la Curcumina se hace constante a los 31,4 min, con un porcentaje de humedad evaporada de 7,307 %, la masa final es 4,954 g.

Cuadro III – 10

Curva de humedad para 40 °C y diámetro 1mm



Fuente: Elaboración propia, 2017

Tabla III - 23

Variación del porcentaje de humedad a temperatura 50 °C y diámetro 0,25 mm

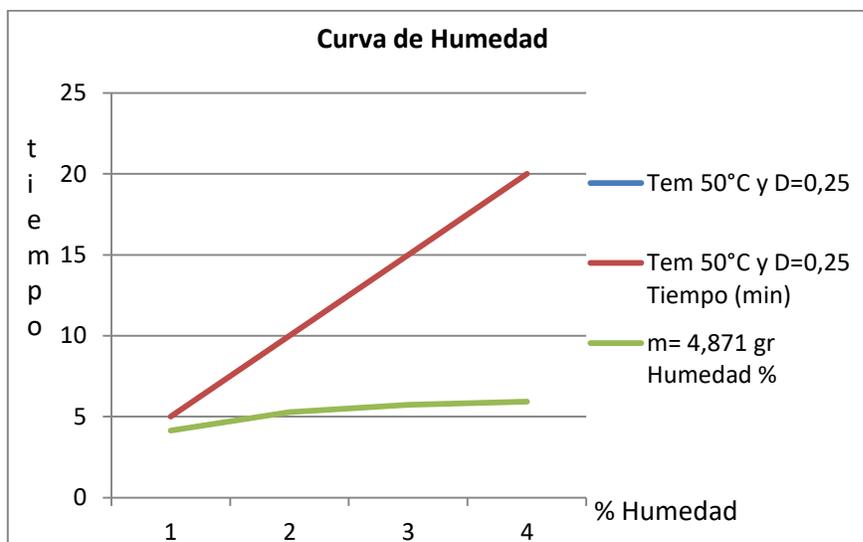
T = 50°C y D=0,25 mm	m= 4,871 g
Tiempo (min)	Humedad %
5	4,142
10	5,285
15	5,734
20	5,933

Fuente: Elaboración propia, 2017

Según los datos de la Tabla III-23, el tiempo de humedad evaporada de la Curcumina se hace constante a los 20 min, con un porcentaje de humedad evaporada de 5,933 %, la masa final es 4,871 g.

Cuadro III - 11

Curva de humedad para 50°C y diámetro 0,25mm



Fuente: Elaboración propia, 2017

Tabla III - 24

**Variación del porcentaje de humedad a temperatura 50 °C
y diámetro 1 mm**

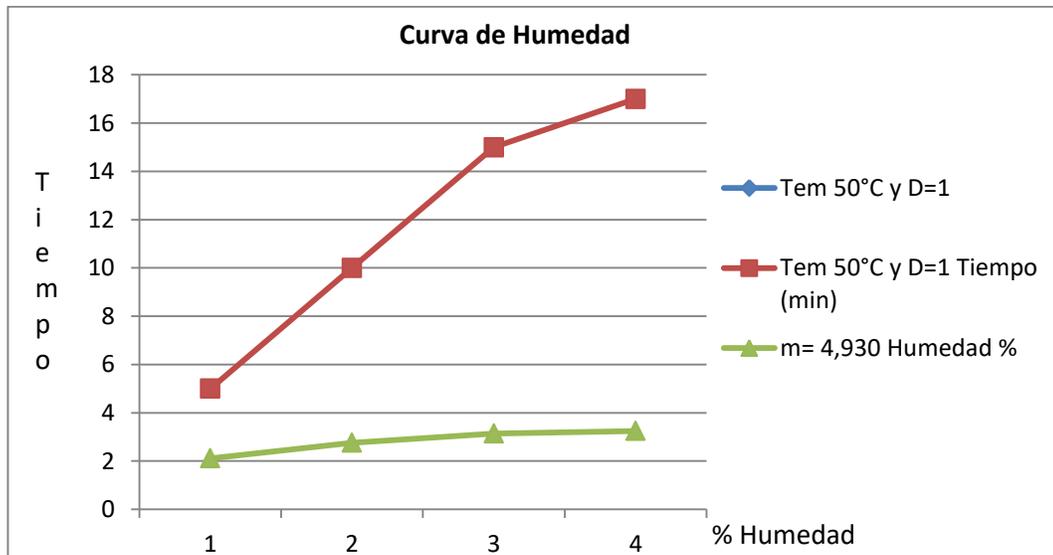
Tem 50°C y D=1 mm	m= 4,930 g
Tiempo (min)	Humedad %
5	2,116
10	2,757
15	3,141
17	3,249

Fuente: Elaboración propia, 2017

Según los datos de la Tabla III-24, el tiempo de humedad evaporada de la Curcumina se hace constante a los 17 min, con un porcentaje de humedad evaporada de 3,249 % y la masa final es 4,930 g.

Cuadro III - 12

Curva de humedad para 50 °C y diámetro 1 mm



Fuente: Elaboración propia, 2017

Tabla III - 25

**Variación del porcentaje de humedad a temperatura 60 °C
y diámetro 0,25 mm**

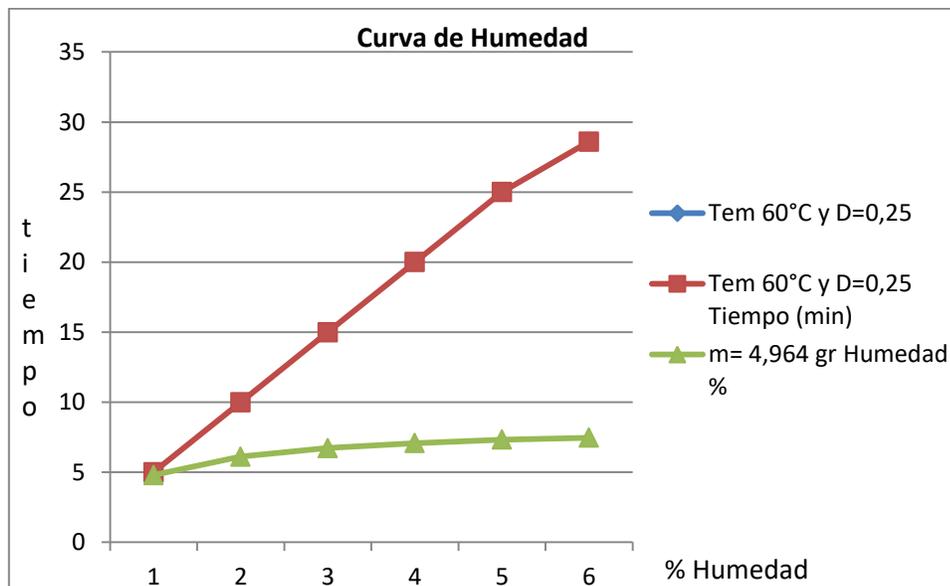
T = 60°C y D=0,25 mm	m= 4,964 g
Tiempo (min)	Humedad %
5,0	4,797
10,0	6,116
15,0	6,730
20,0	7,078
25,0	7,329
28,6	7,930

Fuente: Elaboración propia, 2017

Según los datos de la Tabla III-25 el tiempo de humedad evaporada de la Curcumina se hace constante a los 28,6 min, con un porcentaje de humedad evaporada de 7,93 % y la masa final es 4,964 g.

Cuadro III - 13

Curva de humedad para 60 °C y diámetro 0,25mm



Fuente: Elaboración propia, 2017

Tabla III - 26
Variación del porcentaje de humedad a temperatura 60 °C
y diámetro 1 mm

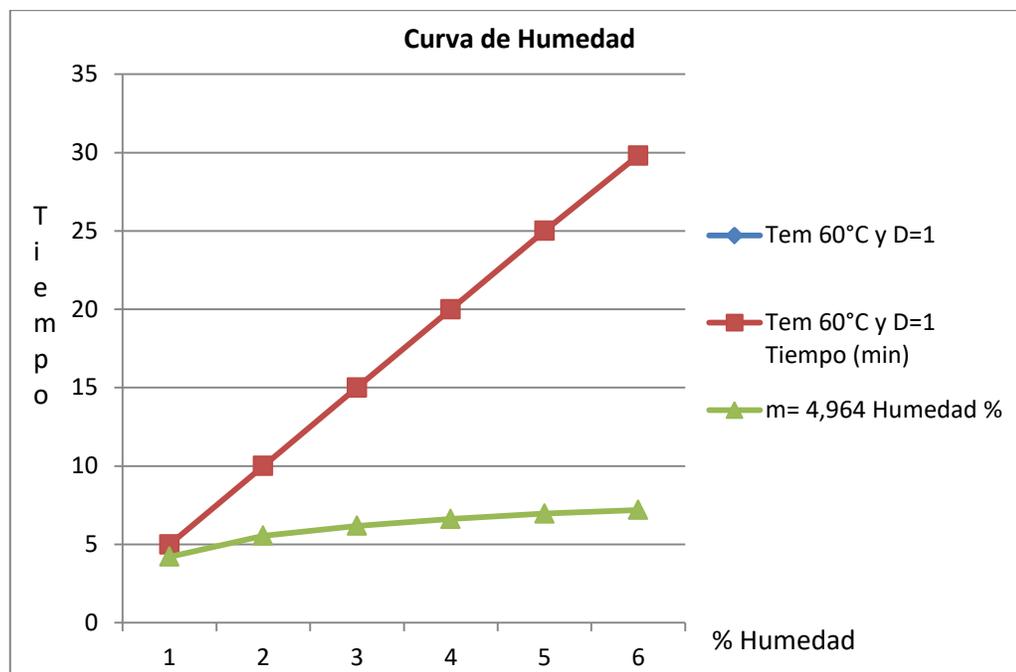
T= 60°C y D=1 mm	m= 4,952 g
Tiempo (min)	Humedad %
5,0	4,214
10,0	5,558
15,0	6,183
20,0	6,625
25,0	6,963
29,8	7,198

Fuente: Elaboración propia, 2017

Según los datos de la Tabla III-26, el tiempo de humedad evaporada de la Curcumina se hace constante a los 29,8 min, con un porcentaje de humedad evaporada de 7,198 % y la masa final es 4,952g.

Cuadro III - 14

Curva de humedad para 60 °C y diámetro 1mm



Fuente: Elaboración propia, 2017

3.4 ANÁLISIS ESTADÍSTICO DEL DISEÑO FACTORIAL

El Análisis estadístico de diseño factorial, se realiza para determinar las variables del proceso de Obtención de Curcumina, calculando el rendimiento : volumen de masa de Curcumina extraída. Utilizando los niveles del tamaño de la partícula: 1mm, 0,25 mm y temperatura de maceración: 40 °C, 50 °C, 60 °C.

Tabla III - 27

Rendimiento en el proceso de Obtención de Curcumina

Prueba	Matriz de Experimentos	Variables		Rendimiento
		Tamaño	Temperatura	
1	- 1	0,25mm	40 °C	R ₁
2	+ 1	1mm	40 °C	R ₂
3	- 1	0,25mm	50 °C	R ₃
4	0	1mm	50 °C	R ₄
5	+ 1	0,25	60 °C	R ₅
6	-	1mm	60 °C	R ₆

Fuente : Elaboración propia,2017

3.4.1 RENDIMIENTO DEL DISEÑO EXPERIMENTAL

El Rendimiento del proceso se calcula pesando el producto obtenido en el secado y se divide por el total de sólidos en suspensión. (**Tonon., 2008**)

$$\%Rendimiento\ del\ Proceso = \frac{Total\ de\ Sólidos\ finales}{Total\ de\ Sólidos\ iniciales} \times 100\%$$

Tabla III - 28

Datos experimentales del proceso de extracción de Curcumina

Prueba	Matriz de Experimentos	Variables		Variable respuesta (g)	Rendimiento % por cada 50gr de muestra
		Tamaño	Temperatura		
PRIMERA REPETICIÓN					
1	- 1	0,25mm	40 ° C	40,254	80,469
2	+ 1	1mm	40 ° C	42,539	85,038
3	- 1	0,25mm	50 ° C	40,440	80,841
4	0	1mm	50 ° C	40,754	81,469
5	+ 1	0,25	60 ° C	43,260	86,479
6	-	1mm	60 ° C	43,032	86,023
SEGUNDA REPETICIÓN					
1	- 1	0,25mm	40 ° C	41,679	83,319
2	+ 1	1mm	40 ° C	44,355	88,648
3	- 1	0,25mm	50 ° C	44,456	88,870
4	0	1mm	50 ° C	45,836	91,628
5	+ 1	0,25	60 ° C	41,460	82,881
6	-	1mm	60 ° C	43,823	87,604

Fuente : Elaboración propia,2017

En la Tabla III – 28, se observa que el rendimiento de masa extraída de Curcumina es mayor a un diámetro de 0,25 mm y temperatura de maceración a 60 °C. Con esto se concluye que a menor temperatura de 40 °C y mayor diámetro de 1 mm de partícula, menor es el rendimiento siendo 80,469 % con 40,254 g. Esto es debido al

apelmazanamiento que dificulta el paso de temperatura a la partícula obteniendo así un menor rendimiento.

Se observa que el rendimiento es mayor a una temperatura elevada 60 °C y a un tamaño de 0,25 mm, ya que entre más pequeña sea la partícula mayor será el área de contacto entre la especie sólida: Cúrcuma y el líquido: agua, obteniendo un mayor rendimiento.

3.5. CARACTERÍSTICAS Y COMPONENTES DE LA CURCUMINA

3.5.1 CARACTERÍSTICAS ORGANOLEPTICAS

En la siguiente tabla se muestra una comparación de las características organolépticas de la Curcumina obtenida, con datos de bibliografía.

Tabla III – 29

Comparacion de las características organolépticas de la Curcumina en polvo.

Características	Curcumina España	Curcumina obtenida en Tarija
Color	Amarillo brillante o naranja intenso	Amarillo anaranjado
Olor	Similar a la vainilla	Similar a la vainilla
Sabor	No tiene	No tiene

Fuente : Elaboración propia,2017

Los datos tanto de color, olor y aspecto de ambos productos de Curcumina son iguales, con esto se determina que la curcumina obtenida en Tarija se encuentra dentro de los parámetros requeridos según la bibliografía.

Realizadas todas las extracciones, estas se registran en tablas el rendimiento expresado en volumen obtenido, la temperatura empleada, la materia prima, el uso de insumos necesarios para las condiciones del proceso, rendimiento de molino y tamiz.

Con estos datos de la Tabla III - 28, el mejor rendimiento es la primera repetición a un tamaño de diámetro de 0,25 mm y temperatura = 60 °C, se toma en cuenta la primera repetición porque en la repetición hubo corte de luz lo cual no se cumplió estrictamente el tiempo de secado.

Con los siguientes datos de mayor rendimiento, se construye la siguiente Tabla III -30 para la realización del balance de materia y energía.

Tabla III – 30
Datos del mejor rendimiento con una temperatura de 60 °C
y un diámetro de 0,25 mm.

Características	Resultado
Temperatura de extracción	60 °C
Diámetro de partícula	0,25 mm
Masa de materia prima	54,66 g
Humedad de la materia prima(Cúrcuma)	10,57%
Cantidad óptima para lavado de la Cúrcuma	108,23 g
Cantidad de agua para la maceración	500,70 g de H ₂ O
Cantidad de agua luego de la filtración	201,5 g de H ₂ O
Cantidad de producto de Curcumina	42,36 g
Humedad del producto obtenido (Curcumina)	7,93 %
Temperatura de entrada del agua maceración	12°C
Temperatura de salida del agua de maceración	60°C
Temperatura de entrada de la estufa	12°C
Temperatura de salida de la estufa	60°C

Fuente : Elaboración propia,2017

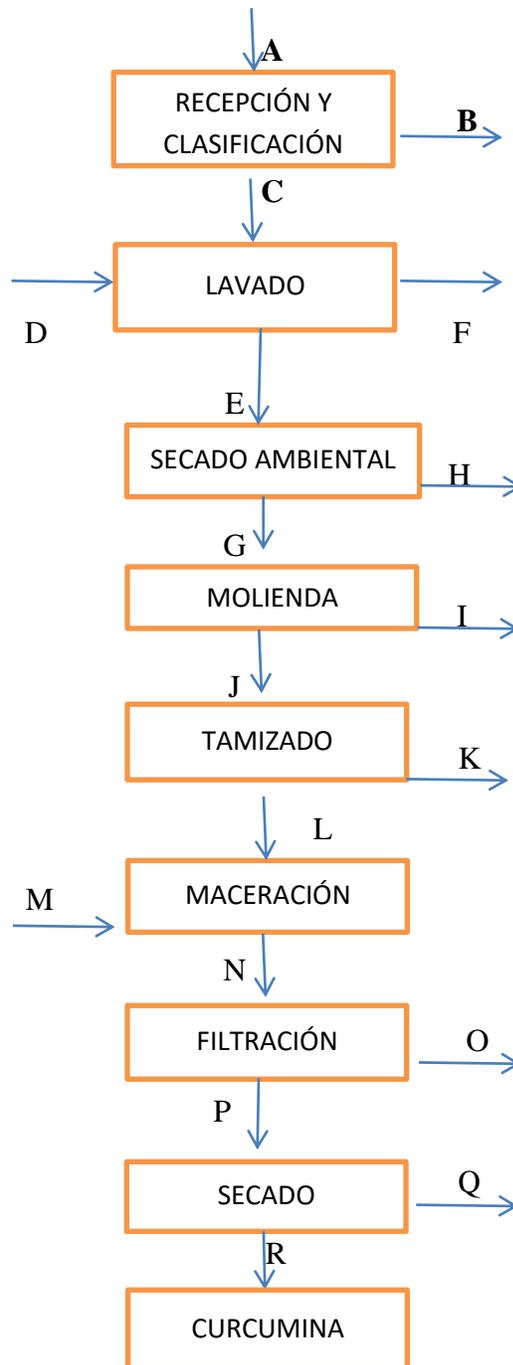
3.6 BALANCE DE MATERIA

Los balances de materia y energía son una contabilidad de entradas y salidas de materiales y energía de un proceso o de una parte de este. Los balances, se basan en las leyes de conservación de la masa y energía. Estas leyes indican que la masa y energía son constantes y por lo tanto la masa y la energía entrante a un proceso, deben ser iguales a la masa de energía salientes a menos que se produzca una acumulación dentro del proceso. (**Valiente,1994**)

En la Figura III-1, se muestra el diagrama de bloques para realizar el balance de materia en de la Obtención de Curcumina en polvo, por extracción en agua.

Figura III - 1

Diagrama de bloque para el balance de materia



Fuente: Elaboración propia, 2017

Dónde:

A = Cantidad de Cúrcuma (g)

B = Ímpurezas no deseables (g)

C = Cantidad de Cúrcuma clasificada (g)

D = Cantidad agua para lavado óptimo (g)

E = Cantidad de Cúrcuma limpia (g)

F = Cantidad de agua sucia (g)

G = Cantidad de Cúrcuma seca (g)

H = Vapor de agua (g)

I = Cantidad de pérdidas de Cúrcuma (g)

J = Cantidad de Cúrcuma molida (g)

K = Cantidad de pérdidas de Cúrcuma (g)

L = Cúrcuma tamizado (g)

M = Cantidad de agua para la maceración (g)

N = Cantidad de masa macerada (g)

O = Cantidad de agua luego de la filtración (g)

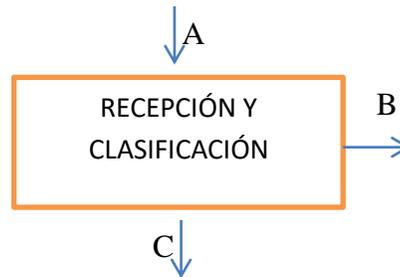
P = Cantidad de masa de filtrado (g)

Q = Cantidad de vapor de agua (g)

R = Cantidad de producto de Curcumina (g)

H = Humedad de producto obtenido %

3.6.1 BALANCE DE MATERIA EN LA RECEPCIÓN Y CLASIFICACIÓN



- Balance general de masa para el proceso de recepción y clasificación

$$A = B + C \quad (1)$$

Dónde:

A = Cantidad de Cúrcuma (g) = 54,66 g

B = Ímpurezas no deseables (g) = 1%

C = Cantidad de Cúrcuma clasificada (g)

Humedad = 10,57 %

Fórmula para un porcentaje de masa de un componente, dentro de la masa total.

$$\%A = \frac{m_A}{m_{Total}} \times 100 \quad (2)$$

Fórmula de fracción másica de un componente dentro de la masa total.

$$\%X_A = \frac{m_A}{m_{Total}} \times 100 \quad (3)$$

Entonces reemplazando datos:

$$\%1 = \frac{m_B}{m_A} \times 100 \quad (4)$$

$$m_B = \frac{1 \times 54,66 \text{ g}}{100} = 0,55 \text{ g}$$

$$m_C = m_A - m_B \quad (5)$$

$$m_C = 54,66 \text{ g} - 0,55 \text{ g} = 54,11 \text{ g}$$

Para Flujo C :

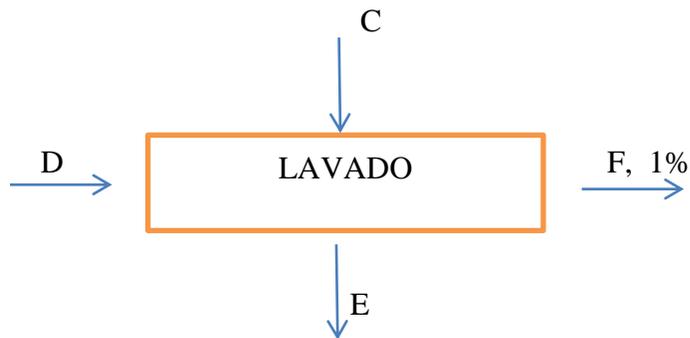
$$m_{Cúrcuma.c} = C \times \frac{89,3}{100} \quad (6)$$

$$m_{Cúrcuma.c} = 54,11g \times \frac{89,3}{100} = 48,23 g$$

$$m_{agua.c} = C \times \frac{10,7}{100} \quad (7)$$

$$m_{agua.c} = 54,11g \times \frac{10,7}{100} = 5,79g$$

3.6.2 BALANCE DE MATERIA EN EL PROCESO DE LAVADO



- Balance general de masa para el proceso de lavado

$$D + C = F + E \quad (8)$$

Dónde:

C = Cantidad de Cúrcuma clasificada (g) = 54,11 g

D = Cantidad agua para lavado óptimo (g) = 108,23 g

E = Cantidad de Cúrcuma limpia (g)

F = Cantidad de agua sucia (g)

$$m_{agua\ Absorbida.Cúrcuma} = 9,66 g$$

Para la masa de impurezas

$$\%1 = \frac{m_I}{m_{Total}} \times 100 \quad (9)$$

Despejando m_I de la ecuación

$$m_I = \frac{1 \times 54,11 \text{ g}}{100} = 0,54 \text{ g}$$

Para Flujo E

$$E = C + m_{\text{agua Absorbida.Cúrcuma}} - m_{\text{Imp}} \quad (10)$$

$$E = 54,11 + 9,66 - 0,54$$

$$E = 63,24 \text{ g}$$

Para Flujo F

$$m_{H_2O.F} = m_{H_2O.D} - m_{\text{agua Absorbida.Cúrcuma}} \quad (11)$$

$$m_{H_2O.F} = 108,23 \text{ g} - 9,66 \text{ g} = 98,57 \text{ g}$$

Para Flujo E = 63,24 g

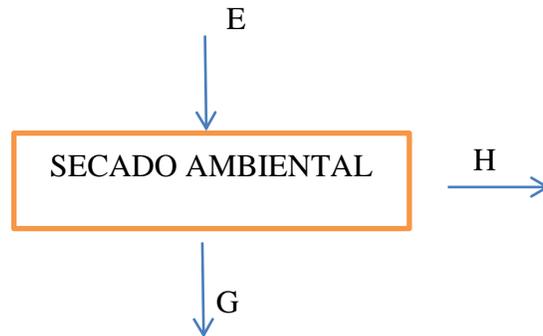
$$m_{\text{Cúrcuma.E}} = m_{\text{Cúrcuma.c}} - m_{\text{Imp}} \quad (12)$$

$$m_{\text{Cúrcuma.E}} = 48,32 \text{ g} - 0,54 \text{ g} = 47,78 \text{ g}$$

$$m_{H_2O.E} = m_{H_2O.c} + m_{H_2O.Abs} \quad (13)$$

$$m_{H_2O.E} = 5,79 \text{ g} + 9,66 \text{ g} = 15,45 \text{ g}$$

3.6.3 BALANCE DE MATERIA EN EL PROCESO DE SECADO AMBIENTAL



Dónde:

E = Cantidad de Cúrcuma limpia Humeda (g) = 63,24 g

G = Cantidad de Cúrcuma seca (g)

H = Vapor de agua (g)

Húmedad = 10,7 %

$$m_{Cúrcuma.G} = m_{Cúrcuma.E} = 47,78 \text{ g} *$$

- Balance general de masa para el proceso de secado

$$E = H + G \quad (14)$$

Para Flujo G

$$\%X_G = \frac{m_{Cúrcuma.G}}{G} \times 100 \quad (15)$$

$$89.3 \% = \frac{m_{Cúrcuma.G}}{G} \times 100$$

Despejando la Ecuación (15)

$$G = \frac{m_{Cúrcuma.G}}{X_G} \times 100 \quad (16)$$

$$G = \frac{47,78 \text{ g}}{89,3\%} \times 100\% = 53,51 \text{ g}$$

Reemplazando en el balance general

$$H = E - G = 63,24 \text{ g} - 53,51 \text{ g} = 9,73 \text{ g}$$

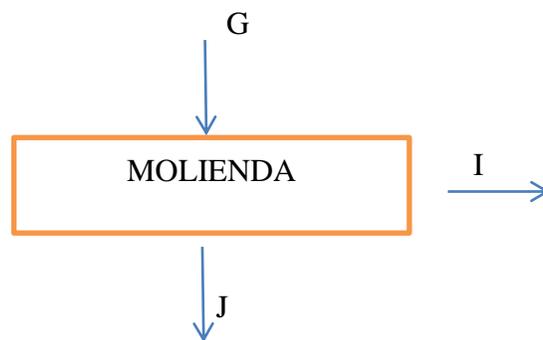
Para Flujo G

$$m_{\text{cúrcuma.G}} = 47,78 \text{ g}$$

$$m_{H_2O.G} = \frac{G \times 10,7}{100}$$

$$m_{H_2O.G} = \frac{G \times 10,7}{100} = \frac{53,51 \times 10,7}{100} = 5,73 \text{ g}$$

3.6.4 BALANCE DE MATERIA EN EL PROCESO DE MOLIENDA



Dónde :

G = Cantidad de Cúrcuma seca (g) = 53,51 g

I = Cantidad de pérdidas de Cúrcuma (g)

J = Cantidad de Cúrcuma molida (g)

Rendimiento de molienda 95 %

- Balance general de masa para el proceso de molienda

$$G = I + J \quad (17)$$

Para masa de pérdidas

$$\%5 = \frac{m_{\text{pérdidas.I}}}{m_{\text{Total}}} \times 100$$

$$I = m_{\text{pérdidas.I}} = \frac{G \times 5\%}{100\%} = \frac{53,51 \times 5}{100} = 2,68 \text{ g} \quad (18)$$

Despejando la ecuación (17)

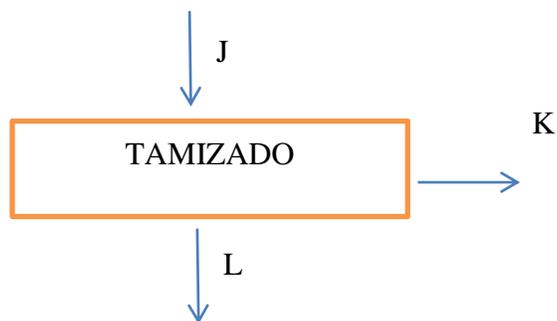
$$J = G - I = 53,51g - 2,68g = 50,83 g$$

Para Flujo J

$$m_{Cúrcuma.J} = J \times \frac{89,3}{100} = 45,39 g$$

$$m_{H_2O.J} = J \times \frac{10,7}{100} = 5,44 g$$

3.6.5 BALANCE DE MATERIA EN EL PROCESO DE TAMIZADO



Dónde :

J = Cantidad de Cúrcuma molida (g) = 50,83 g

K = Cantidad de pérdidas de Cúrcuma (g)

L = Cúrcuma tamizada (g)

$$\text{Rendimiento de tamizado} = \frac{L}{J} \times 100\% = 98,5 \%$$

- Balance general de masa para el proceso de tamizado

$$J = K + L \quad (19)$$

Para masa de pérdidas de Tamizado

$$1,5\% = \frac{K}{J} \times 100\% \quad (20)$$

$$K = m_{Pérdidas.K} = \frac{J \times 1,5\%}{100\%} = \frac{50,83 g \times 1,5}{100} = 0,76 g$$

Reemplazando en la ecuación (19)

$$L = J - K = 50,83g \times 0,76g = 50,07 g$$

Para Flujo L

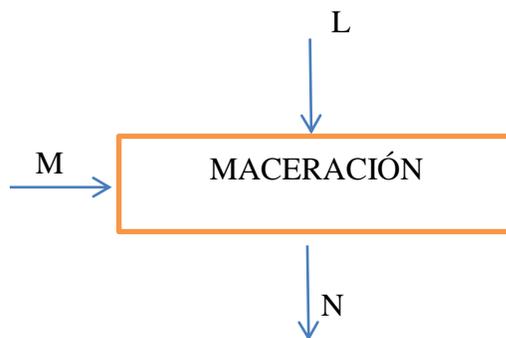
$$m_{\text{Cúrcuma.L}} = L \times \frac{89,3}{100}$$

$$m_{\text{Cúrcuma.L}} = 50,07 \times \frac{89,3}{100} = 44,71 g$$

$$m_{\text{H}_2\text{O.L}} = L \times \frac{10,7}{100}$$

$$m_{\text{H}_2\text{O.L}} = 50,07 \times \frac{10,7}{100} = 5,36 g$$

3.6.6 BALANCE DE MATERIA EN EL PROCESO DE MACERACIÓN



Dónde :

$L = \text{Cúrcuma tamizada (g)} = 50,07$

$M = \text{Cantidad de agua para la maceración (g)} = m_{\text{H}_2\text{O.M}} = 500,70 g$

$N = \text{Cantidad de masa macerada (g)}$

- Balance general de masa para el proceso maceración

$$L + M = N \quad (21)$$

$$N = 500,70 g + 50,07g$$

$$N = 550,77g$$

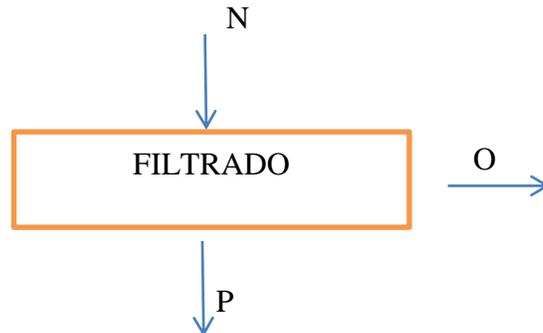
Para Flujo N

$$m_{\text{Cúrcuma.N}} = m_{\text{Cúrcuma.L}} = 44,71 g$$

$$m_{H_2O.N} = m_{H_2O.L} + m_{H_2O.M} \quad (22)$$

$$m_{H_2O.N} = 500,70 \text{ g} + 5,36 \text{ g} = 506,05 \text{ g}$$

3.6.7 BALANCE DE MATERIA EN EL PROCESO DE FILTRADO



Dónde :

N = Cantidad de masa macerada = 550,77 g

O = Cantidad de agua luego de la filtración = 201,5 g de H_2O

P = Cantidad de masa de filtrado (g)

$m_{Cúrcuma.R} = 39 \text{ g}$, resultado del proceso de secado por convección natural

$m_{Cúrcuma.N} = m_{Cúrcuma.L} = 44,71 \text{ g}$, masa de secado final por convección natural

- Balance general de masa para el proceso de filtrado

$$N = O + P \quad (24)$$

Despejando la ecuación (23)

$$P = N - O$$

$$P = 550,77 \text{ g} - 201,5 \text{ g}$$

$$P = 349,27 \text{ g}$$

Rendimiento del Filtrado

$$\% \text{ Rendimiento} = \frac{P}{N} \times 100\% = \frac{349,27}{550,77} \times 100\%$$

$$\% \text{ Rendimiento} = 63,42 \%$$

$$\text{Para } O = m_{H_2O.O} + m_{Cúrcuma.pérdida.o} \quad (24)$$

$$m_{Cúrcuma.pérdida.o} = m_{Cúrcuma.N} - m_{Cúrcuma.R} \quad (25)$$

$$m_{Cúrcuma.pérdida.o} = 44,71 \text{ g} - 39 \text{ g} = 5,71 \text{ g}$$

$$\%X_{Cúrcuma.o} = \frac{m_{Cúrcuma.o}}{O} \times 100\% \quad (26)$$

$$\%X_{Cúrcuma.o} = \frac{5,71 \text{ g}}{201,5 \text{ g}} \times 100\% = 2,83 \%$$

$$\text{Fracción másica del filtrado } 100\% = \%X_{Cúrcuma.o} + \%X_{H_2O.O} \quad (27)$$

Despejando la ecuación (27)

$$\text{Para } \%X_{H_2O.O} = 100\% - \%X_{Cúrcuma.o}$$

$$\%X_{H_2O.O} = 100\% - 2,83\% = 97,17\%$$

$$m_{H_2O.O} = O - m_{Cúrcuma.o} = 201,5 \text{ g} - 5,71 \text{ g} = 195,79 \text{ g} \quad (28)$$

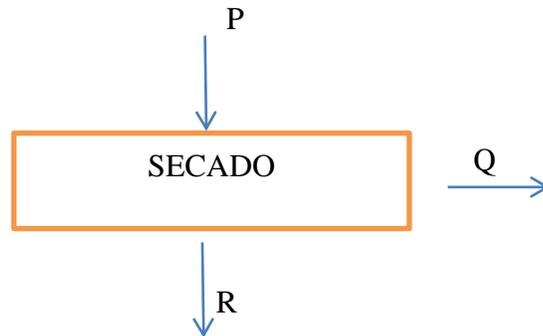
Para Flujo P

$$m_{H_2O.P} = m_{H_2O.N} - m_{H_2O.O} \quad (29)$$

$$m_{H_2O.P} = 506,05 \text{ g} - 195,79 \text{ g} = 310,26 \text{ g}$$

$$m_{Cúrcuma.P} = m_{Cúrcuma.R} = 39 \text{ g}$$

3.6.8 BALANCE DE MATERIA EN EL PROCESO DE SECADO



Dónde:

P = Cantidad de masa de filtrado (g) = 349,27 g

Q = Cantidad de vapor de agua (g)

R = Cantidad de producto de Curcumina (g) = 42,36 g

H = Humedad de producto obtenido% = 7,93 %

- Balance general de masa para el proceso de secado

$$P = Q + R \quad (30)$$

Despejando la ecuación (30)

$$Q = P - R$$

$$Q = 349,27g - 42,36g = 306,91g$$

Para Flujo R

$$m_{H_2O.R} = R \times \frac{7,93\%}{100\%} \quad (31)$$

$$m_{H_2O.R} = 42,36g \times \frac{7,93\%}{100\%} = 3,36g$$

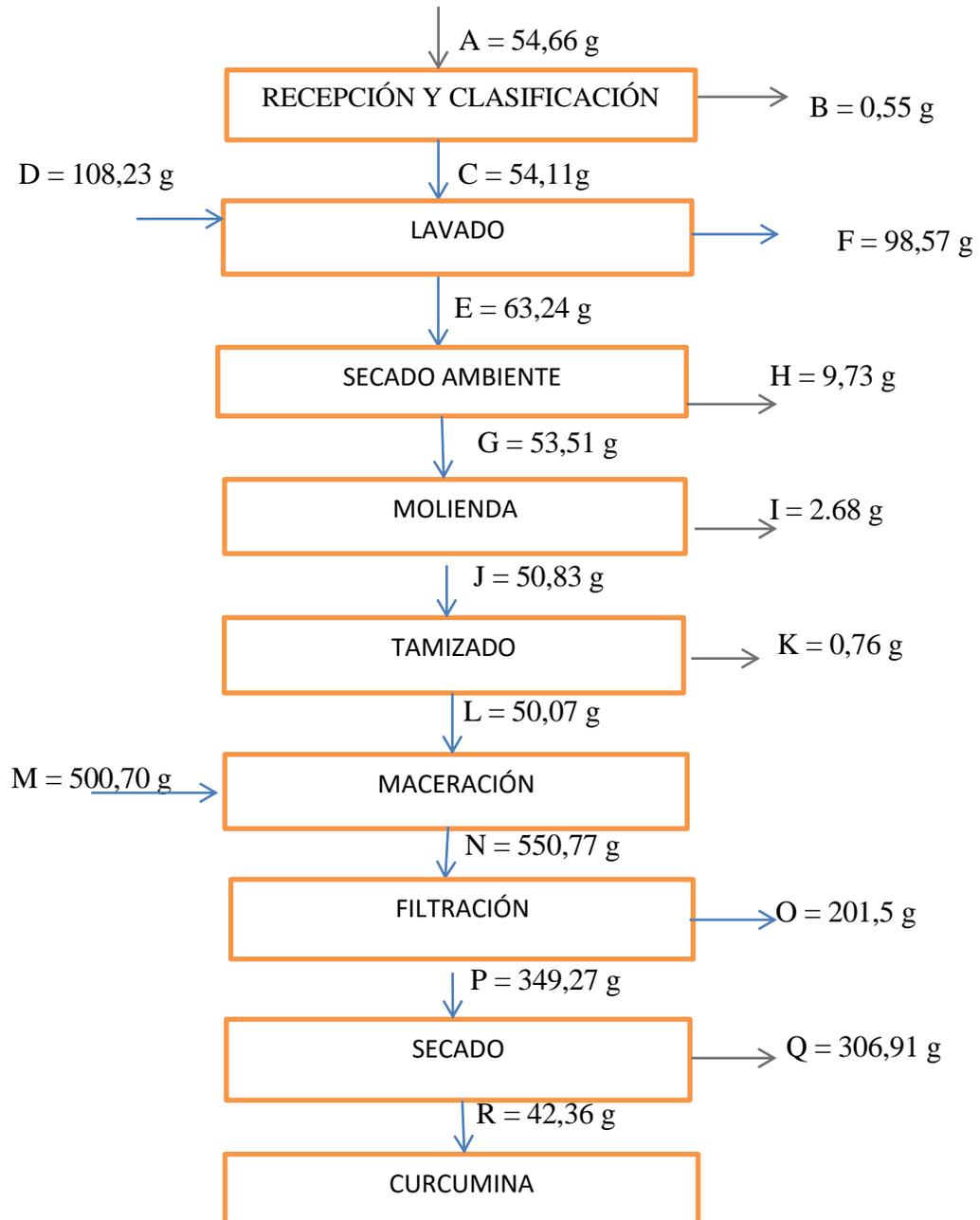
$$m_{Cúrcuma.R} = R \times \frac{92,1\%}{100\%} \quad (32)$$

$$m_{Cúrcuma.R} = 42,36 \times \frac{92,1\%}{100\%} = 39,00g$$

En la Figura III -2 se muestra el resumen general del balance de materia para “Obtención de Curcumina en polvo, por extracción en agua”.

Figura III - 2

Resumen general para el balance de materia

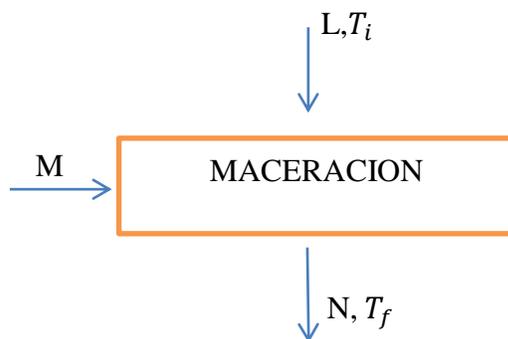


Fuente: (Elaboración propia, 2017)

3.7 BALANCE DE ENERGIA

El balance de energía para la Obtención de Curcumina en polvo, a partir de la Cúrcuma se realiza en dos procesos, estimando que en ambos procesos hay una transferencia de calor al producto. Los balances se realizan para el proceso de maceración y proceso de secado.

3.7.1 BALANCE DE ENERGIA EN EL PROCESO DE MACERACIÓN



Para determinar la cantidad de calor requerida durante el proceso de maceración se toma en cuenta la siguiente ecuación citada por (Lomas, 2002)

$$Q = m \times C_p \times \Delta T \quad (32)$$

Dónde:

Q_M = Cantidad de calor para el escaldado (Kcal)

$m_{Cúrcuma}$ = Cantidad de masa de la Cúrcuma (Kg)

$Cp_{Cúrcuma}$ = Calor Específico de la Cúrcuma ($KJ/Kg^{\circ}K$)

ΔT = Cambio de temperatura en la Cúrcuma ($^{\circ}K$)

Cp_{H_2O} = Calor Específico del agua ($KJ/Kg^{\circ}K$)

m_{vidrio} = Cantidad de masa del vidrio (Kg)

Cp_{vidrio} = Calor Específico del vidrio ($KJ/Kg^{\circ}K$)

$X_{Cúrcuma}$ = Fracción másica de la Cúrcuma

X_{H_2O} = Fracción másica de agua

Considerando que es un sistema abierto tenemos:

$$Q_{GANADO} = - Q_{CEDIDO} \quad (33)$$

Ordenando la ecuación(32), en función de las condiciones de proceso (recipiente de vidrio y muestras de Cúrcuma) tenemos:

$$Q_{GANADO} = m_{Cúrcuma Humeda} \times C_m \times \Delta T + m_{vidrio} \times C_p \times \Delta T$$

$$\Delta T = 60^\circ C - 12^\circ C$$

$$Cp_{H_2O} = 4,186 \frac{J}{g^\circ C} \quad (\text{Lewis, 1993})$$

$$Cp_{Cúrcuma} = 2,45 \times 10^{-3} \frac{J}{Kg^\circ C} \times \frac{1Kg}{1000g} = 2,45 \times 10^{-6} \frac{J}{g^\circ C}$$

$$X_{Cúrcuma} = 0,081$$

$$X_{H_2O} = 0,919$$

$$Cp_{vidrio} = 0,180 \frac{Kcal}{Kg^\circ C} \times \frac{1Kg}{1000g} \times \frac{4184J}{1Kcal} = 0,753 \frac{J}{g^\circ C}$$

$$Cp_M = X_{Cúrcuma} \times Cp_{Cúrcuma} + X_{H_2O} \times Cp_{H_2O} \quad (34)$$

$$Cp_M = 0,081 \times 2,45 \cdot 10^{-6} + 0,919 \times 4,186$$

$$Cp_M = 3,847 \frac{J}{g^\circ C}$$

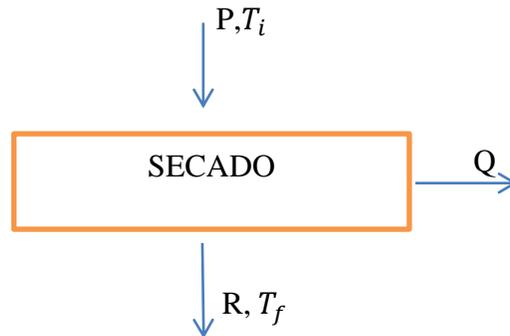
$$Q_{GANADO} = m_{Cúrcuma Humeda} \times C_m \times \Delta T + m_{vidrio} \times C_p \times \Delta T \quad (35)$$

$$Q_{GANADO} = 550,77 \text{ gr} \times 3,847 \frac{J}{g^\circ C} \times (60^\circ C - 12^\circ C) + 375 \text{ gr} \times 0,753 \frac{J}{g^\circ C} (60^\circ C - 12^\circ C)$$

$$Q_{GANADO} = 115256,98 J = 115,25 KJ$$

$$Q_{GANADO} = 27,56 Kcal$$

3.7.2 BALANCE DE ENERGIA EN EL PROCESO DE SECADO



Para determinar el calor requerido en el secado de la Curcumina se utiliza la expresión matemática (36), citada por Valiente (1994).

$$Q_{vap} = m_{aire} \times Cp_{aire} \times \Delta T \quad (36)$$

Dónde:

$$Q_{vap} = \text{Cantidad de calor por evaporización } \left(\frac{Kcal}{h}\right)$$

$$m_{aire} = \text{Caudal másico del aire } \left(\frac{Kg}{h}\right)$$

$$Cp_{aire} = \text{Calor específico del agua } (Kcal/Kg^{\circ}C)$$

$$\Delta T = \text{Variación de la temperatura } (^{\circ}C)$$

$$\Delta H = Q_{vap} = m_{aire} \times Cp_{aire} \times \Delta T \quad (37)$$

Esta ecuación es válida cuando no existe reacción química o cambio de estado entre los componentes que intervienen en el proceso de transformación agroalimentario. Es decir, para sistema abierto.

La expresión matemática (37), se puede expresar como una función del cambio de entalpías iniciales y finales, del aire en el secador:

$$Q_{vap} = m_{aire} \times Cp_{aire} \times \Delta T = m_{aire} \times (H^{\circ}_{final} - H^{\circ}_{inicial}) \quad (38)$$

Reemplazando los valores encontrados de propiedades psicométricas, para el aire tenemos:

$$Fm_{aire} = 7,76764 \left(\frac{Kg}{h} \right)$$

$$Cp_{aire} = 1,012 \frac{J}{g^{\circ}C}$$

$$Q_{vap} = 7767,64 \frac{g}{h} \times 1,012 \frac{J}{g^{\circ}C} \times (60^{\circ}C - 12^{\circ}C) \times 48 h$$

$$Q_{vap} = 18111402,27 J = 18111,402 KJ$$

$$Q_{vap} = 4328,78 Kcal$$

La cantidad de calor requerida para la producción de "Curcumina" será

$$Q_{total} = Q_{vap} + Q_{maceración}$$

Reemplazando los valores obtenidos:

$$Q_{total} = 4328,78 Kcal + 27,54 Kcal$$

$$Q_{total} = 4356,27 Kcal$$

3.8. ANALISIS FISICOQUÍMICO DEL PRODUCTO FINAL

Tabla III-31

Análisis fisicoquímico del producto Curcumina

PARÁMETRO	UNIDAD	RESULTADO
Calcio total	mg/100gr	178
Ceniza	%	3,59
Fibra	%	10,36
Fósforo Total	mg/100gr	219
Grasa	%	0,30
Hidratos de Carbono	%	75,25
Hierro total	mg/100gr	34,6
Humedad	%	5,00
Magnesio total	mg/100gr	98,7
Proteína total (N×6,25)	%	5,50
Sodio total	mg/100gr	12,2
Valor Energético	Kcal/100gr	325,7
Coliformes fecales	UFC/g	$< 1,0 \times 10^1$
Coliformes totales	UFC/g	$< 1,0 \times 10^1$
Mohos y levaduras	UFC/g	$< 1,0 \times 10^1$
*Curcuminoides	%	5,59

Fuente: Centro de Analisis de investigación y desarrollo “CEANID”,2017

y Centro de investigaciones químicas .S,R,L,MARCELOBASCOPE,2017

Como puede verse en la Tabla III-31, se observa el análisis fisicoquímico de la "Curcumina", donde existe un cambio significativo en algunos parámetros especialmente en el aumento de la fibra, y baja humedad, factor importante para la almacenización del producto. Luego en los parámetros microbiológicos no se observa ningún tipo de microbios que pueden afectar al producto "Curcumina".

3.9 PROPUESTA DE APLICACIÓN DE LA OBTENCIÓN DE CURCUMINA, COMO MEDICINA PARA EL CONSUMO HUMANO.

Existen diversas formas de hacer pastillas de Curcumina, pero este no es objeto de estudio del presente trabajo de investigación, lo que se pretende es darle una aplicación a la Curcumina por extracción en agua obtenida.

Una de ellas es usando a los jugos, comidas, ensaladas de frutas.

Teniendo a la Curcumina en polvo sin aroma, se añade la Curcumina y se agita, para luego consumirlo como una fuente de antioxidante rica en fibra natural con un poder desinflamatorio muy excelente. (Elaboración propia,2017)

CAPITULO IV

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

4.1 CONCLUSIONES

- De acuerdo a la propuesta y diseño experimental planteado para ejecutar el proyecto, se ha obtenido Curcumina en polvo, por el método de “Maceración por extracción en agua” haciendo uso del equipo de Baño María que tiene el Laboratorio de Operaciones Unitarias de la Carrera de Ingeniería Química.
- Para la caracterización física de la materia prima se determina que el porcentaje de humedad en la materia prima "Cúrcuma Longa" es de 10,75% y para el producto final que es "Curcumina el polvo" es 7,93%.
- De acuerdo al Laboratorio “CEANID” las características fisicoquímicas para la humedad de la Cúrcuma Longa de Tarija es de 10,75%, comparando este dato con los datos bibliográficos de España donde la humedad de la Cúrcuma es de un 12,85 %, se concluye que las diferencias de humedad se debe a las diferentes temperaturas y humedades del ambiente considerando que dichos estudios fueron realizados en diferentes países.
- Se validó el proceso experimental de la obtención de Curcumina en polvo, siguiendo las etapas del proceso de extracción en agua de Cúrcuma proporcionado por la patente bibliográfica.
- Se determinó como variables el tamaño de la partícula de la muestra y la temperatura de la maceración en agua de Cúrcuma Longa, que influyen directamente sobre el rendimiento expresado en la cantidad de masa de Curcumina total de la muestra.
- El mayor rendimiento de la Curcumina por extracción en agua es de 86,02% que es a una temperatura de 60 °C y a una partícula de diámetro 0,25 mm, datos bibliográficos dicen que el rendimiento de la Curcumina están entre el rango esperado.

- El rendimiento de la Curcumina obtenida es de 86 %, en volumen de Curcumina gramo / peso de la muestra gramo, se encuentra en el rango esperado y recomendado ya que no existen muchas pérdidas de muestra.
- La obtención de Curcumina por extracción en agua, se obtiene a través de una temperatura mayor de maceración que permite el área de contacto entre la Cúrcuma y vapor de agua permitiendo así un mayor rendimiento a una temperatura de 60 °C.
- La Curcumina obtenida por extracción en agua presenta un color ligeramente mostaza, y sin ningún sabor en aspecto sólido, los mismos coinciden con los resultados de la bibliografía.
- Habiéndose realizado las determinaciones de los parámetros fisicoquímicos de la Cúrcuma y Curcumina en el “CEANID” (Centro de Análisis Investigación y Desarrollo), determinándose propiedades de humedad, proteínas y cenizas, dando resultados de parámetros óptimos, no se cuenta con una Norma que aprueben los parámetros determinados de la Curcumina, pero sin embargo se hace una comparación con diferentes estudios realizados en Investigaciones de Universidades con respecto al tema, dicho esto; se puede decir que los resultados encontrados son óptimos.
- Se concluye que los resultados de propiedades químicas de la materia prima "Cúrcuma" y producto obtenido "Curcumina " realizadas en el Centro de Investigaciones Químicas del departamento de Cochabamba son casi similares, con un rango de porcentaje mayor la “Curcumina” que es un producto puro sin otros compuestos como ser la “Cúrcuma Longa” que tiene otros compuestos químicos.

4.2 RECOMENDACIONES

- Promover la investigación para el presente proyecto ya que se tiene un gran potencial, conociendo el impacto a la salud que tiene.
- Es recomendable controlar de manera efectiva y segura la temperatura de maceración ya que es un factor muy importante al momento de realizar la extracción en agua.
- Se recomienda tener mucho cuidado al momento de colocar toda la muestra en la estufa de convección natural ya que la temperatura aumenta bruscamente produciéndose la quema total del producto.
- Promover la investigación en la que se tiene un gran potencial en la medicina especialmente en la ciudad de Tarija, donde existen muchas enfermedades crónicas por diferentes tipos de contaminaciones.
- En investigaciones futuras se podría aumentar la cantidad de materia prima a utilizar para la obtención de Curcumina, una concentración de maceración más grande sólido-líquido ya que es un factor muy importante al momento de la extracción de Curcumina.
- El presente trabajo de investigación brinda información importante para realizar en un futuro un estudio de Prefactibilidad. Posteriormente producir una planta a escala piloto con el fin de promover el proceso nivel industrial.

