

**CRIA Norte**  
**Cadena de Chile Cahabonero**

**Evaluación de procesos de transformación primaria y secundaria del Chile Cahabonero  
(*Capsicum annuum* L.) en el departamento de Alta Verapaz**



**Investigador Principal: Luis Felipe Cucul Caal**  
**Investigador adjunto: Lisbeth Johana Esmeralda Paredes Matta**  
**Investigador Auxiliar: Elder Daniel Cucul Caal**

**Guatemala, enero de 2021**



**“Este proyecto fue ejecutado gracias al apoyo financiero del Departamento de Agricultura de los Estados Unidos (USDA, por sus siglas en inglés). El contenido de esta publicación es responsabilidad de su(s) autor(es) y de la institución(es) a las que pertenecen. La mención de empresas o productos comerciales no implica la aprobación o preferencia sobre otros de naturaleza similar que no se mencionan”.**

## **Evaluación de procesos de transformación primaria y secundaria del chile Cahabonero (*Capsicum annuum* L.) en el departamento de Alta Verapaz**

### **RESUMEN**

El chile cahabonero *Capsicum annuum* L., es un cultivo valorado en el mercado por sus características, sin embargo, en el municipio de Santa María Cahabón, hasta antes del 2019, aún eran pocos esfuerzos para mejorar la calidad del producto agrotransformado y ofrecido a los consumidores que cada día son más exigentes respecto a la calidad e inocuidad de los alimentos. Se estableció el proyecto de evaluación de procesos de transformación de primaria y secundaria del chile Cahabonero (*Capsicum annuum* L.), en el Caserio San José Canihor. Se evaluó el proceso de maduración de frutos en campo. Se determinó que son 9 etapas en que maduran los frutos, la etapa 8 es la ideal y reúne las características fisicoquímicas adecuadas. Se evaluaron 10 metodologías de deshidratación solar, donde en relación al % de peso conservado únicamente el tratamiento MD-3 que corresponde al uso de plástico y parihuela es quien conserva menor proporción de su peso original de acuerdo a la prueba *Scott-Knott*. Respecto al tiempo, las metodologías que requieren menos son M-1 secado al fuego 1 día + 1 día al sol en deshidratador tipo túnel. Respecto a parámetros de color del sistema CIELab, el parámetro L\* no hay significancia entre tratamientos, el parámetro a\* es el tratamiento MD-4 de la deshidratación al suelo sobre plástico polietileno, presenta el mayor valor con una tendencia roja. Respecto a b\*, los tratamientos MD-4 correspondiente a sobre suelo con plástico polietileno y MD-2 sobre suelo sol directo, con plástico polietileno y concreto presentan mayor valor. Respecto al análisis financiero, la mayor utilidad se obtiene en el tratamiento tipo domo alto con malla sarán con 91.22% lo que representa el mejor tratamiento. Respecto al proceso de trituración, el equipo APWONE a 1 min/kg presenta las mejores calidades al retener mayor cantidad de peso en tamiz #20 y #40. Se desarrollaron propuestas para la agrotransformación del chile Cahabonero basados en el Reglamento técnico centroamericano RTCA 67.01.60:10 etiquetado nutricional de productos alimenticios preenvasados para consumo humano para la población a partir de 3 años de edad, INCAP y FAO-OMS, siendo 3 presentaciones de chile en polvo, 4 en pasta y 3 en salsa. En el almacenamiento, el mejor tratamiento corresponde al uso de silobolsas, que permite mantener frutos a los 240 días sin daño por plagas poscosecha. Finalmente se desarrolló un manual poscosecha con toda la información generada, dirigida a actores locales de la cadena de Chile cahabonero.

PALABRAS CLAVE: Agrotransformación, chile, Cahabonero, *Capsicum annuum* L., deshidratación, trituración

### **ABSTRACT**

#### **Evaluation of primary and secondary transformation processes of the cahabonero pepper (*Capsicum annuum* L.) in the department of Alta Verapaz**

The cahabonero pepper *Capsicum annuum* L., is a crop highly valued in the market for its characteristics, however, there were still few efforts to improve the quality of the agrotransformed product and marketed to consumers who are increasingly demanding regarding quality and food safety. In the municipality of Santa María Cahabón, Alta Verapaz, the project for the evaluation of transformation processes of primary and secondary Cahabonero pepper (*Capsicum annuum* L.) was established, in the San José Canihor village. The fruit ripening process was evaluated in the field. It was determined that there are 9 stages in which the fruits ripen, stage 8 is the ideal one and has the appropriate physicochemical characteristics. 10 solar dehydration methodologies were evaluated, where the % of weight conserved only the MD-3 treatment of the use of plastic and stretcher is the one that conserves in a smaller proportion of its original weight according to the *Scott-Knott* test. Regarding time, the methodologies that require less are M-1 dried on fire 1 day + 1 day in the sun in a tunnel type dehydrator. Regarding the color parameters of the CIELab system, the L \* parameter is not significant between treatments, the a \* parameter is the MD-4 treatment of soil dehydration on polyethylene plastic, it presents the highest value with a red tendency. Regarding b \*, the MD-4 treatments corresponding to on soil with polyethylene plastic and MD-2 on direct sun soil, with polyethylene plastic and concrete present higher value. Regarding the financial analysis, the greatest utility is obtained in the high dome type treatment with saran mesh with 91.22%, which represents the best treatment. Regarding the crushing process, the APWONE equipment at 1 min / kg presents the best qualities by retaining a greater amount of weight in # 20 and # 40 sieves. Proposals were developed for the agrotransformation of the Cahabonero pepper based on the Central American technical regulation RTCA 67.01.60: 10 nutritional labeling of pre-packaged food products for human consumption for the population from 3 years of age, INCAP and FAO-WHO, being 3 presentations chili powder, 4 in paste and 3 in sauce. In storage, the best treatment corresponds to the use of silobags, which allows keeping fruits after 240 days without damage by post-harvest pests. Finally, a post-harvest manual was developed with all the information generated, aimed at local actors in the Chilean cahabonero chain and that allows them to improve the quality of the products generated and, therefore, their economic income.

KEY WORDS: Agrotransformation, chile, Cahabonero, *Capsicum annuum* L., dehydration, crushing

## 1. Introducción

El cultivo de chile Cahabonero (*Capsicum annuum* L.) es uno de los más importantes en Guatemala por su alto consumo y uso en la gastronomía regional. La producción del chile cahabonero generalmente es a pequeña escala en algunos municipios de Alta Verapaz, principalmente Santa María Cahabón; y posteriormente comercializado a granel, secado al sol o ahumado. En la actualidad es importante la promoción de su transformación por el creciente interés de diversas instituciones u organizaciones locales como la Asociación de productores de chile Chab'il ik re Chik'ajb'om y promotores del Ministerio de Agricultura, Ganadería y alimentación (MAGA); en su mayoría actores locales activos de la cadena de chile cahabonero.

La industria de alimentos procesados, constituye una eminente estrategia para consolidar a Guatemala como fuente de producción y potencia agroalimentaria. En la actualidad se apuesta el aprovechamiento de diversas hortalizas para la agroindustria por sus propiedades organolépticas, nutricionales y comerciales, dentro de ellas está el chile Cahabonero porque es altamente cotizado por su sabor, pungencia, composición bioquímica y utilidad medicinal; además de su legendaria particularidad como colorante natural y especia (Lightbourn *et al.*, 2008). Actualmente no se cuenta con información puntual y organizada sobre los procesos de transformación primaria y secundaria del chile cahabonero, dado que se desconocen de las condiciones óptimas de cosecha, secado y molienda del mismo. Existen diversas iniciativas de transformación (valor agregado) pero aún no se han evaluado las calidades fisicoquímicas y análisis sensoriales que definan la aceptabilidad del producto final que se ofrece al consumidor, por lo que casi toda la producción en el municipio de Cahabón, se comercializa a granel en seco (fruto deshidratado) y a un precio mínimo.

Para el chile Cahabonero, se considera oportuno fortalecer los procesos de transformación mediante la evaluación de metodologías de manejo postcosecha y así prolongar la vida útil de los productos elaborados. Una de sus presentaciones preferidas es en deshidratado molido, que ofrece variadas ventajas sobre los productos frescos, por ejemplo, reducción de masa, volumen y aumento de la vida útil. Al tener un contenido de humedad mucho más bajo que el producto fresco, se reduce el desarrollo de microorganismos y la actividad enzimática.

Además, mediante procesos de envasado se mejora la presentación del producto. Se logra contener por mucho tiempo su calidad, su sabor y sus propiedades nutricionales; se detiene el crecimiento de los microorganismos y se atrasa la oxidación de las grasas.

Finalmente es importante implementar todas las técnicas o métodos de preservación de alimentos que se basan principalmente en una transferencia de energía o de masa que tienen por objetivo prolongar la vida útil de los alimentos, incluyendo: secado, conservación, etc; consecutivamente mejorar los ingresos de los actores locales y grupos organizados de productores de chile Cahabonero. Se desarrolló el proyecto de investigación con lo cual se generaron resultados que han sido puestos en práctica y la creación de un manual de manejo poscosecha del cultivo de chile Cahabonero como un aporte extra de beneficio para los actores locales, extensionistas y organizaciones relacionados al cultivo.

## **2. Marco teórico**

### **2.1. Chile cahabonero**

El chile es considerado una de las primeras plantas cultivadas de Mesoamérica; según Solís (1986) y los procesos de continuidad de su consumo se confirma desde 7,000 y 5,000 años A.C. El chile Cahabonero es una de las especies más importantes del género; (*Capsicum annuum* L.)

Según Hurtado (2010), utilizando el sistema de clasificación de Cronquist de 1981, la clasificación taxonómica del género *Capsicum* es:

División: Magnoliophyta  
Clase: Magnoliopsida  
Subclase: Asteridae  
Orden: Solanales  
Familia: Solanaceae  
Subfamilia: Solanoideae  
Tribu: Capsiceae  
Género: Capsicum

El chile cahabonero, o también llamado en otros lugares “cobanero”, constituye una de las especies hortícolas con mayor importancia en la cultura de Guatemala y en ocasiones es considerado por muchos como un condimento, que según Ayala (2003), en su momento constituye el único elemento agregado a la tortilla en la ingesta de grupos campesinos.

#### **2.1.1. Importancia gastronómica**

Los usos del chile Cahabonero son diversos, por mencionar algunos el consumo puede ser en fresco, cocido y como condimento o especia en comidas típicas. Aunque de acuerdo a Cázares (2005), existe cierta variación en el contenido de Capsaicina y Dihidrocapsaicina con base a diversos morfotipos de chile, que tiene una fuerte asociación con los usos específicos para cocinar, siendo un factor a considerar en su uso gastronómico y su transformación.

#### **2.1.2. Importancia cultural y médica**

Por otro lado, como producto medicinal se utiliza tradicionalmente para remediar el efecto del asma, de la tos, irritación de garganta y otros desordenes respiratorios; de acuerdo a Long Solís (1986).

#### **2.1.3. Importancia socioeconómica**

De acuerdo a Azurdía y Gonzáles (1985), el departamento de Alta Verapaz tiene un fuerte impacto en relación a la producción de tal cultivo, principalmente aquellas comunidades indígenas de origen *q'eqch'i*.

Por lo que es común que en los mercados locales se encuentre a la venta chile fresco, seco sin moler o en polvo (chile cobanero), el cual es obtenido a partir de los cultivares originarios de varios municipios, principalmente de Santa María Cahabón, Alta Verapaz. Algunas instituciones como Sununk, S.A; de la Fundación Fray Domingo de Vico y Asociación *Chab'il ik re Chik'ajb'om*; (ambos del municipio de Santa María Cahabón), han trabajado en industrialización del chile Cahabonero, pues

comercializan el producto molido seco en bolsas de 50 g y envases de vidrio de 200 g.

De acuerdo a Ayala (2003), casi toda la producción es distribuida en mercados locales y regionales, en otros casos es utilizado para la industria o exportación; y es consumido de forma fresca o seco molido.

En Guatemala, según MAGA (2014), la principal forma de comercialización es tostado y molido, donde el chile seco alcanzó un precio de dos mil quinientos quetzales exactos (Q 2.500,00) por quintal, en diciembre del año 2014.

## **2.2. Procesos de transformación de *Capsicum***

En las especies *Capsicum*, el único órgano de importancia económica es el fruto, y en los últimos años ha recibido particular atención por su contenido de moléculas funcionales, entre las cuales se incluyen carotenoides, flavonoides, ácido ascórbico, compuestos fenólicos y capsicinoides responsables de la pungencia (Wall, Waddell and Bosland, 2001). Las condiciones ambientales y factores fisiológicos pueden intervenir en la presencia de estos metabolitos, pero es la genética molecular el determinante en su disponibilidad cualitativa y cuantitativa dentro de la planta (Schreiner, 2005). A través de la biología molecular ha sido posible analizar directamente genes implicados en características agroindustriales. Así, por ejemplo: el color del fruto, atributo sensorial, producto de metabolitos secundarios de naturaleza antioxidante conocidos como carotenoides (Thorup et al., 2000)

La preparación y transformación de los alimentos se puede definir como “cualquier cambio efectuado a un alimento para alterar su calidad comestible o garantizar su conservación”

El hombre en su necesidad de obtener alimentos sanos ha venido estudiando la forma de conservar y entregar al consumidor un producto natural sin alguna alteración de su calidad; observa que el aporte nutricional de frutas y hortalizas se ve afectado por aplicaciones de calor, frío y químicos, analiza que el alimento entre más natural sea va a suministrar todo su potencial nutricional y es entonces cuando se estudia la postcosecha de cada producto.

La vida útil de varias especies del género (*Capsicum annuum* L); como el caso del chile cahabonero, se ve afectada debido a que el fruto es altamente perecedero por su alto contenido de humedad, el cual se encuentra entre 85 a 89% (Yun-Hon, 2015; García *et al.*, 2009); y este alto contenido de humedad disponible permite el desarrollo de microorganismos que deterioran de manera ágil el producto (Gill y Ruiz, 2010).

Mediante algunos procesos de transformación se puede aumentar el tiempo de vida útil, conservando las propiedades físico-químicas del alimento relacionadas con la calidad y disminuyendo la actividad del agua (Abdelwahed *et al.*, 2006; Amores, 2011), el producto deshidratado, presenta ventajas con respecto al fresco, debido a que se reduce el espacio de almacenamiento, facilita su envasado y transporte, pero principalmente aumenta su vida útil (González *et al.*, 2008).

### **2.2.1. Industrialización del Chile**

En los últimos años, en los países más desarrollados, el deseo de mejorar la calidad de los productos de consumo, evitando la presencia de elementos nocivos para la salud, ha influido en los procesos de fabricación industrial. Se ha reducido el uso de colorantes artificiales e incrementado el de productos naturales, con propiedades colorantes, de baja o nula toxicidad.

De ahí el interés de las industrias cárnica, láctea, conservera, farmacéutica y cosmética por los *Capsicum* (deshidratado-seco-, triturado o molido), y por el extracto líquido que se pueda obtener.

### **2.2.2. Valor agregado a la producción**

La elaboración de los alimentos ofrece a los habitantes de los poblados la posibilidad de diversificar sus fuentes de ingresos. Cuando se transforman los productos agrícolas ayuda a evitar la caída de precios y las pérdidas económicas en temporadas de abundancia. También permite a los productores que cosechan alimentos básicos de baja cuantía económica, agregarles valor a estos productos e incrementar sus ganancias. Por ejemplo, en muchos países africanos, la transformación del sorgo en cerveza y de la yuca en gari u otros bocadillos puede sentar las bases para una pequeña empresa con resultados sorprendentes; mismos que se podría dar en cultivos como Chile cahaonero en la región.

La transformación primaria beneficia a las comunidades de varias formas:

- Permite el almacenamiento de reservas para los períodos de escasez
- Fortalece la seguridad alimentaria (poniendo a disposición alimentos en cantidades suficientes y ricos de nutrientes esenciales durante todo el año)
- Consiente la venta de productos agrícolas fuera de temporada, cuando los precios son mayores.

### **2.2.3. Transformación primaria**

La elaboración primaria, sirve para estabilizar los alimentos después de la recolección y, a veces, a transformarlos para un mejor almacenamiento. Entre estos tenemos: el secado de los granos básicos, la molienda de los cereales y la extracción de aceites de semillas. Incluyen los procesos que permiten conservar la materia prima, seleccionar la parte útil, limpiarla, triturarla o molturarla y obtener los principios activos (extracción y destilación).

Todos estos procesos se deben realizar cumpliendo los requisitos higiénicos de manipulación.

Respecto al primer tratamiento que se le da al fruto de algunos tipos de Chile para conseguir el colorante, es preciso señalar las operaciones que componen el proceso de preparación de la cáscara. Es decir, deshidratar (secar) el fruto; separar la cáscara de las semillas (briznar) y pedúnculos (desrabar); y triturarla o molerla.

De acuerdo a Gómez (1990), en la cáscara reside la riqueza de pigmentos carotenoides, de ahí que la intensidad de color y el precio del producto final, está en

función de que se consiga una adecuada selección de la cáscara, eliminando la mayor proporción posible de semillas y pedúnculo.

En los inicios de esta industrialización el deshidratado se hacía al sol, en secaderos próximos al área de cultivo, por lo que se utilizaban variedades con poco contenido de agua, para que no se pudriesen en este período previo a la deshidratación.

#### **A. Deshidratación**

Durante la deshidratación se produce una serie de cambios en el componente original de las cosechas agrícolas, los cuales afectan en la calidad del producto final. Una de las variables más importantes en el secado por aire caliente, es la temperatura, influyendo no sólo en el tiempo de secado sino en las reacciones degradativas que afectan las propiedades organolépticas y el valor nutricional de los mismos. Con tiempos de secado prolongados se obtienen productos de baja calidad por caramelización de azúcares, reacciones de Maillard, reacciones enzimáticas, degradación de pigmentos y oxidaciones de ácidos (Potter y Hotchkiss, 1999).

El sabor, color, textura, aroma y propiedades de rehidratación, son los atributos de calidad más importantes en los alimentos deshidratados. La selección de las condiciones apropiadas de secado, son necesarias para minimizar el choque térmico, eliminar el resecado y mantener los componentes que determinan la calidad del producto final (Barbosa Canovas y Vega Mercado, 2000).

El objetivo de la deshidratación es

- Mantener los frutos debajo del 12% de humedad y que no puedan actuar las enzimas.
- Evitar el ataque de bacterias y hongos.
- Facilitar el transporte (bajo peso).

#### **B. Molienda**

Es una actividad que tiene la finalidad de reducir la materia prima a partículas más pequeñas. Éste proceso es importante para el chile cahabonero, dado que el chile seco molido es una de las presentaciones más comercializadas a nivel regional. La granulometría es crítica para lograr un buen proceso de mezclado y homogenización, por tal motivo, el proceso de reducción de tamaño de partículas debe monitorearse constantemente.

### **2.2.4. Transformación secundaria**

En la cual los alimentos frescos o los productos de la elaboración primaria son transformados en una amplia gama de productos derivados.

#### **A. Envasado y etiquetado**

El envase protege el producto y reduce el riesgo de ataques de plagas.

- La materia prima debe ser envasada en recipientes limpios y secos, preferiblemente nuevos, cajas o bolsas.

- La etiqueta debe ser clara, no desprenderse del envase y no puede estar hecha de productos tóxicos.
- Los recipientes deben estar limpios y secos.

La principal función del envasado de alimentos es protegerlos y preservarlos de la contaminación exterior. Esta función incluye el retardo de su deterioro, la extensión de la vida del producto, y el mantenimiento de la calidad y seguridad del alimento envasado. Para ello, el envasado protege a los alimentos de factores ambientales como el calor, la luz, la humedad, el oxígeno, la presión, los falsos olores, los microorganismos, los insectos, la suciedad, etc.

De acuerdo a Cruz-Pérez (2007), si bien, no es menos cierto que otro importante objetivo es prolongar la vida de los alimentos. Esto implica retardar las reacciones enzimáticas, microbianas y bioquímicas, algo que se consigue mediante diversas estrategias como el control de la temperatura, el control de la humedad; la adición de productos como sal, azúcar, dióxido de carbono, o ácidos naturales; sustracción del oxígeno; o una combinación de éstos con un envasado efectivo.

## **B. Etiquetas y tarjetas**

- Las etiquetas y tarjetas que acompañan los alimentos deben ajustarse a las leyes que rigen en la jurisdicción en términos de calidad alimentaria.
- Las etiquetas deben ser recibidas, manipuladas y almacenadas de manera tal que no se traspapelen y que contribuya a lograr que cada etiqueta sea colocada en el alimento que corresponde.
- Todos los alimentos, sean ensacados o a granel, deben ser adecuadamente etiquetados; la información provista por la etiqueta debe incluir instrucciones apropiadas.

## **3. Objetivos**

### **3.1 General**

- Contribuir a la generación de información y transferencia de tecnologías sobre procesos de transformación primaria y secundaria del chile Cahabonero (*Capsicum annuum* L.)

### **3.2 Específicos**

- Evaluar diferentes metodologías de transformación primaria y secundaria del chile cahabonero.
- Determinar a través de variables cuantitativas y cualitativas, los mejores procesos de transformación del chile cahabonero.

- Identificar la mejor ruta de transformación del chile cahabonero con base a calidades microbiológicas, nutricionales y físico-químicas; y bajo costo de producción.
- Generar diferentes presentaciones del chile cahabonero transformado, con las normas de calidad vigentes en el país.

## **4. Hipótesis**

### **4.1 Hipótesis de trabajo**

La mejor metodología de deshidratación de chile cahabonero será mediante el uso de una estructura tipo domo que ofrece un menor tiempo y rentabilidad del proceso.

El proceso de trituración a través de un equipo de molienda permitirá obtener una mejor granulometría y las demás variables de estudio cualitativas y cuantitativas

El proceso óptimo de envasado para almacenamiento será mediante el uso de silobolsas al evitar el ingreso de microorganismos dañinos a la materia prima y conservación de calidades fisicoquímicas.

## **5. Metodología**

### **5.1 Localidad y época**

La investigación se realizó principalmente en un espacio físico cedido en San José Canihor, Santa María Cahabón por el actor local Mauricio Reyes; mismo de acuerdo a la disposición de actores locales de la cadena de chile cahabonero en conjunto con miembros de la Asociación de productores de chile cahabonero Chab'ik re Chik'ajb'om y promotores del Ministerio de Agricultura, Ganadería y Alimentación (MAGA) en el municipio en mención.

Las coordenadas GTM municipio son: longitud (X): 578093; latitud (Y): 1726302; y la comunidad en mención se encuentra a aproximadamente 20 Km del centro del municipio de Santa María Cahabón hacia el municipio de Lanquín, Alta Verapaz; por la Ruta Ecológica.

Algunas actividades de laboratorio, se realizaron en las instalaciones del Centro Universitario del Norte (CUNOR), las cuales se trasladaron y aplicaron posteriormente en el área destinada para la investigación en Santa María Cahabón.

### **5.2 Diseño experimental**

Para el análisis de las variables fisicoquímicas que definen la madurez de frutos para la descripción de la etapa ideal para la cosecha, se efectuó a través del análisis de correlación de Pearson entre todas las variables, y la construcción de grupos de coloración con un análisis de conglomerados (clústers), prueba de *Hotelling* y etapas de maduración de frutos de chile cahabonero.

El diseño experimental utilizado para las variables cuantitativas en proceso de secado, molienda, envasado y molienda; fue de completo al azar para la construcción del análisis de varianza (ANDEVA). Para los resultados obtenidos de las variables evaluadas del % de pérdida de peso, sólidos solubles pH, granulometría, color fueron analizados y a través de un análisis de diferencia de medias se estableció el mejor tratamiento.

### 5.3. Tratamientos

Los tratamientos considerados para los procesos de deshidratación fueron los siguientes:

**Tabla 1.**

*Metodologías de deshidratación evaluadas*

Código	Metodología de deshidratación
MD-1	Fuego + Sol en estructura tipo domo
MD-2	Sol directo, con plástico polietileno y concreto
MD-3	Parihuela y plástico polietileno
MD-4	Sobre suelo con plástico polietileno
MD-5	Parihuela y malla tipo sombra – sarán
MD-6	Secado al fuego
MD-7	Parihuela y petate de calá
MD-8	Tipo domo alto y plástico polietileno
MD-9	Tipo domo alto y malla tipo sombra –sarán
MD-10	Tipo domo compacto y malla tipo sombra - sarán

Fuente: Elaboración propia, 2020

### 5.4. Modelo estadístico

#### 5.4.1. Para variables cuantitativas

Se utilizó un diseño experimental completamente aleatorizado con tres repeticiones. Las observaciones fueron analizadas a través de un análisis de varianza (ANAVA) (SAS, 1998). Para ello se utilizó el software *Infostat 2020*

Se utilizará el modelo lineal aditivo:  $y = \mu + \alpha_i + \beta_j + \epsilon_{ij}$

Donde:

$y$  = Observaciones de las variables (horas de deshidratación, % de peso conservado, y otras variables fisicoquímicas)

$\mu$  = Media poblacional

$\beta_j$  = Efecto del tiempo

$\alpha_i$  = Efecto de la temperatura

$\epsilon_{ij}$  = Error experimental

Las interacciones entre los efectos simples fueron no significativas, por lo tanto se excluyeron del modelo lineal.

## 5.5. Variables de respuesta

### 5.5.1. Proceso 1: Obtención del material

- **pH:** Determinado en una escala de 1 a 14.
- **Sólidos solubles:** Se determinó con un refractómetro Brix 0-32% y gravedad específica 1.000-1.120
- **Color:** La determinación de color se utilizó el sistema de CIELAB (1971) para lo cual se utilizará un colorímetro triestímulo; la respuesta es procesada por el equipo a valores triestímulos a, b y L, coordenadas de claridad o brillantez (L) y cromaticidad(a).
- **Dureza de frutos:** Para ello se utilizó un penetrómetro y se midió la firmeza y dureza a 0.5 mm y 0.8 mm.
- **Humedad:** Para ello se utilizó un medidor de humedad universal (medidor de humedad de grano digital), siendo su valor en %, el valor máximo 100.

### 5.5.2. Proceso 2: Deshidratación

- **% Peso conservado:** La determinación del peso que se mantiene a partir del peso inicial establecido, a través de los diferentes métodos de deshidratación.
- **Tiempo de deshidratación:** Se midió el tiempo en horas a partir de su colocación en las estructuras o espacios correspondientes.

#### A. Para variables cualitativas en secado

- **pH :** Misma metodología que la planteada en el proceso 1
- **Sólidos solubles:** Misma metodología que la planteada en el proceso 1
- **Color:** Misma metodología que la planteada en el proceso 1

### 5.5.3. Proceso 3: Molienda

- **Tiempo de molienda:** Se midió el tiempo en minutos que requirió la trituradora en reducir a partículas más pequeñas el chile Cahabonero deshidratado.
- **Granulometría:** Para la determinación de granulometría se utilizó el método propuesto por Alvarado y Aguilera (2001) el cual mide la uniformidad de las partículas del polvo de chile seco. Para ello se utilizó un set de cinco (5) tamices, colocando el más grueso en la parte superior y el más fino en la parte inferior; al final se colocó una bandeja que recoge las partículas más finas.

Se colocó la muestra en el tamiz más grueso (parte superior), se procedió a agitar manualmente el set de tamices, cinco veces cada vez. Los tamices fueron previamente pesados antes de colocar las muestras y

después de la agitación. Se calculó el porcentaje de muestra retenido en cada tamiz, los tamices utilizados fueron: número 20, 40, 60, 80 y 100. Se colocó la muestra en el tamiz más grueso (parte superior), se procedió a agitar manualmente de un lado a otro el set de tamices, cinco veces, posteriormente una pausa y nuevamente las cinco veces, hasta hacer un total de 25 agitaciones.

Cada malla o tamiz es representado por un número que indica la cantidad de hilos cruzados por cada pulgada cuadrada, por ejemplo: la malla número 8, tiene 8 hilos verticales y 8 hilos horizontales, formando una cuadrícula por cada pulgada cuadrada.

El cribado es un método de separación de una mezcla de granos o partículas en dos o más fracciones de tamaño, los materiales de gran tamaño son atrapados por encima de una malla, mientras que los materiales de menor tamaño pueden pasar a través de esta y ser retenidos por otras mallas inferiores.

**Tabla 2.**

*Características de tamices utilizados en la prueba de granulometría de frutos de chile Cahabonero deshidratados y molidos*

Número de Tamiz	Características	Marca comercial	Fuente del equipo utilizado	Diferencias respecto a los demás tamices
# 20	Marco de latón, tela metálica de latón.  Altura completa (3-1/4" de profundidad a la tela de alambre).	Advantech 20BB8F Brass Brush Sieves, 8" de diámetro, malla # 20, altura completa	Propiedad de Laboratorio de Botánica, Carrera de Agronomía, CUNOR-USAC	Éste tamiz es de mayor abertura. <ul style="list-style-type: none"> <li>• Abertura en mm = 0.841</li> <li>• Abertura en pulgadas = 0.0331</li> </ul> En éste se retienen las partículas más grandes de chile cahabonero molido
# 40	El número de serie está grabado en cada tamiz y está contenido en una etiqueta con código de barras,	Advantech 20BB8F Brass Brush Sieves, 8" de diámetro, malla # 40, altura completa	Propiedad de Laboratorio de Suelos, Carrera de Agronomía, CUNOR-USAC	Éste tamiz es de menor abertura que la #20, pero mayor a la #40. <ul style="list-style-type: none"> <li>• Abertura en mm = 0.420</li> <li>• Abertura en pulgadas = 0.0165</li> </ul>
# 60	que rastrea información vital.  Viene con el Certificado de cumplimiento	Advantech 20BB8F Brass Brush Sieves, 8" de diámetro, malla # 60, altura completa	Propiedad de Laboratorio de la Carrera de Geología, CUNOR-USAC	Éste tamiz es de menor abertura que la #40, pero mayor a la #80. <ul style="list-style-type: none"> <li>• Abertura en mm = 0.250</li> <li>• Abertura en pulgadas = 0.0098</li> </ul>
# 80	aplicable a las especificaciones de Sociedad Estadounidense para Materiales	Advantech 20BB8F Brass Brush Sieves, 8" de diámetro, malla # 80, altura completa	Propiedad del investigador principal, Luis Felipe Cucul	Éste tamiz es de menor abertura que la #50, pero mayor a la #100. <ul style="list-style-type: none"> <li>• Abertura en mm = 0.177</li> <li>• Abertura en pulgadas = 0.0070</li> </ul>

# 100	de Prueba (ASTM E 11).	Advantech 20BB8F Brass Brush Sieves, 8" de diámetro, malla # 100, altura completa	Propiedad del investigador principal, Luis Felipe Cucul	<p>Éste tamiz es de menor abertura que la #80.</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Abertura en mm = 0.149</li> <li>• Abertura en pulgadas= 0.0059</li> </ul> <p>En éste se retienen las partículas más finas de chile cahabonero molido</p>
-------	------------------------	---	---	--

Fuente: Elaboración propia, 2019

## 5.7. Análisis de la información

Las variables cuantitativas de tipo completo azar, fueron sometidas a un análisis de varianza (ANDEVA) para determinar la existencia de diferencia significativa entre los tratamientos. En los casos donde existió diferencias significativas, los datos fueron evaluados posteriormente mediante la agrupación *Scott-Knott* para establecer los mejores tratamientos.

Se efectuó un análisis de correlación de Pearson en el caso de variables fisicoquímicas relacionadas a la madurez de frutos de chile Cahabonero.

Se generaron gráficos *Box-plot* para explicar el comportamiento de los parámetros, L\*, a\* y b\* del sistema de color CIELab y en el establecimiento de plagas poscosecha en el envase de chile Cahabonero deshidratado.

Se generaron dendogramas a través del Análisis de conglomerados en la constitución de grupos de coloración de madurez de chile Cahabonero.

## 5.8. Manejo del experimento

### 5.8.1. Identificación y establecimiento de estructuras para transformación primaria y secundaria

Se determinó los espacios físicos que reunían las condiciones adecuadas para el establecimiento de estructuras para secado del chile cahabonero, en el área disponible en el Caserío San José Canihor, su posterior medición e identificación mediante rótulos y mantas vinílicas.

### 5.8.2. Identificación de parcelas de producción de chile cahabonero para su transformación

Se realizó un monitoreo de las plantaciones que proveyeron el material necesario para la investigación, además se llevó un control de las calidad y características fisicoquímicas de los frutos, para su posterior traslado al reunir condiciones de madurez fisiológica.

### **5.8.3. Construcción áreas de secado de chile cahabonero**

#### ***A. Secadora al sol directo (tipo parihuela)***

Se procedió a la construcción de tres estructuras de madera de 2,0 m de largo y 1,3 m de ancho con una altura de 1,0 m. Las variaciones se dieron en el material utilizado para la colocación del chile cahabonero que fueron plástico negro, malla sarán y petate de calá.

#### ***B. Secadora tipo domo alto***

La secadora solar tipo domo consistió básicamente en una estructura de madera y tubo PVC, piso con arena, cubierta de plástico para invernadero con protección UV. Midió 3,40 m de ancho x 10 m de largo x 2,25 m de altura, la entrada de aire frío fue de 40 cm en la parte baja, las ventanas de ventilación midieron 30 cm x 80 cm y tuvieron una cortina del mismo nylon para cubrirlas en la noche.

Se generó dos modalidades, una con malla sarán y otra con plástico; para la disposición del chile fresco Cahabonero.

#### ***C. Secadora al fuego***

Se construyó una galera, utilizando 8 láminas de 6 pies de largo, y rodeado de madera; posteriormente se colocó una zaranda a 1 m de altura sobre el suelo y en ella se colocarán los frutos de chile cahabonero. Se utilizó leña disponible en el área.

#### ***D. Secado al sol + Secado al fuego***

Se procedió a iniciar su secado al fuego, al alcanzar el 30% de humedad, en el segundo día fue trasladado al túnel de deshidratación.

### **5.8.4. Molienda de material secado**

#### ***A. Molienda en molino de grano Estrella***

Se procedió a la colocación de frutos secos (12%) de humedad para su triturado y molienda hasta alcanzar la granulometría comercial. Se utilizó el molino manual marca Estrella; con discos de molienda en hierro aleado de alta resistencia al desgaste, con recubrimiento de estaño garantizando la higiene total de los alimentos procesados.

#### ***B. Trituradoras***

Se colocaron frutos secos en su interior; equipo de trabajo con diésel. Equipado con potente rotor con cuchillas y martillos, muele, pica y tritura.

#### **5.8.5. Envasado de productos**

Se procedió a generar diversas propuestas de transformados de chile Cahabonero, basados en diferentes proporciones e ingredientes. Para tal se generó la tabla nutricional de acuerdo a lo indicado por las normas COGUANOR, Reglamento Técnico Centroamericano (RTCA) y lo indicado por FAO-OMS.

#### **5.8.6. Envasado para almacenamiento**

Se procedió a la colocación de frutos deshidratados para el almacenamiento en dos espacios o modalidades:

- ***Silobolsa:*** El Silo-bolsa es una bolsa plástica blanca o negra, de tres capas y filtro de rayos ultravioletas. Con capacidad de hasta 1 quintal.
- ***Almacenamiento en recipientes plásticos (bolsas):*** Constituida por una bolsa con capacidad de 15 libras de chile deshidratado, formada por nylon transparente.

#### **5.8.7. Seguimiento de calidad de material procesado y productos**

Durante toda la investigación se dió seguimiento a las calidades fisicoquímicas del producto; materia prima o transformada mediante el uso de refractómetros, potenciómetros y colorímetros.

#### **5.8.8. Manual de manejo poscosecha del chile Cahabonero para actores locales de la cadena**

Dentro de la investigación, se contempló la creación de un manual de manejo poscosecha de chile Cahabonero, que integra diferentes capítulos donde se desarrolla los procesos de maduración, deshidratación, almacenamiento para envase y algunos elementos evaluados respecto a la percepción de consumidores sobre la introducción de un nuevo producto de chile Cahabonero transformado, en el mercado.

La encuesta se realizó a través de la herramienta digital Google Forms, de Google Inc. a través de una encuesta de selección múltiple, se contó con la participación de 141 personas del departamento de Alta Verapaz.

## **6. Resultados y Discusión**

En los procesos de transformación primaria y secundaria del chile Cahabonero, se definieron diferentes procesos y etapas en las que se evaluaron metodologías y se generaron propuestas específicas para fortalecer las actividades adoptadas por los actores locales y que pudieran ser adaptados por los mismos. Se contempla inicialmente el seguimiento de la maduración de frutos de chile Cahabonero, posteriormente se evaluaron metodologías de deshidratación, formas de molienda, se generaron propuestas de presentaciones de productos y formas de almacenamiento de frutos deshidratados.

### **6.1. Maduración chile cahabonero**

Determinar las propiedades fisicoquímicas de los frutos durante el proceso de maduración resulta de gran importancia, ya que permite un conocimiento de su estructura, un mejor control durante su transformación, diseñar procesos de transformación, el punto óptimo para ser consumidos o procesados, el momento de mayor aporte nutricional y, además, porque están directamente relacionadas con la aceptación por parte de los consumidores (Muller, 1973; Sharma *et al.*, 2003; Márquez *et al.*, 2007).

El chile Cahabonero se considera fruto no climatérico, que no continúa con su proceso de maduración después de su desprendimiento de la planta y porque sus patrones de respiración cambian lentamente después de cosechados (Villavicencio *et al.*, 2001). La maduración de los frutos es un proceso complejo en el desarrollo de los mismos que conlleva una gran cantidad de cambios tanto a nivel fisiológico como bioquímico (Palma *et al.*, 2011b).

La maduración es un acontecimiento altamente coordinado, programado genéticamente e irreversible y conlleva una serie de cambios fisiológicos, bioquímicos y organolépticos que desembocan finalmente en un fruto maduro, comestible y apto para el consumo humano en aquellos que se destinan a este fin (Prasanna *et al.*, 2007). La elección del momento para la cosecha de frutas que estén en su justo punto de maduración es una consideración importante de precosecha que tendrá gran influencia en la vida poscosecha del producto y en su comercialización.

En el desarrollo del órgano de una planta existen tres fases (crecimiento, madurez y envejecimiento) y no siempre es posible distinguirlas ya que las transiciones entre las etapas son a menudo muy lentas y poco diferenciadas. Sin embargo, es importante distinguir claramente entre madurez fisiológica y comercial.

La madurez fisiológica se refiere a la etapa del desarrollo de la fruta en que se ha producido el crecimiento general máximo y maduración. Generalmente está asociada con la completa madurez de la fruta. Esta etapa de madurez fisiológica es seguida por el envejecimiento o senescencia. La madurez comercial refleja simplemente las condiciones de un órgano de la planta, requerido por un mercado. Comúnmente la madurez comercial guarda escasa relación con la madurez fisiológica y puede ocurrir en cualquier fase del desarrollo o envejecimiento. Se presentan a continuación, las características

fisicoquímicas de frutos en cada etapa de maduración de frutos de chile Cahabonero, determinados en áreas de producción en el municipio de Santa María Cahabón, Alta Verapaz.

### 6.1.1. Sólidos solubles (SS) en la maduración del chile Cahabonero

La concentración de SS en frutos de chile Cahabonero presentó un comportamiento ascendente a medida que el fruto maduraba, debido a que en este estado los azúcares totales y reductores se encuentran en su máximo nivel (Osuna *et al.*, 1998). Los sólidos solubles representan los compuestos solubles presentes en el agua de los frutos, como azúcares, vitaminas, ácidos, aminoácidos y algunas pectinas; que aumentan a medida que los chiles maduran.

En cuanto al contenido de sólidos solubles totales ( $^{\circ}$ Brix) del fruto, se encontró en un intervalo de 5.73 a 6.43, lo cual es similar a resultados obtenidos en otros materiales de *Capsicum sp.* reportado por Samira *et al.*, 2011; que reportaron valores en su etapa de maduración deben estar en el rango de de 3.5 a 6.4 al estudiar la calidad de diversas especies de chiles, en diferentes etapas de madurez. En la tabla 3 se presentan los resultados obtenidos por escala de color y maduración (9 escalas).

**Tabla 3.**

*Variación de sólidos solubles ( $^{\circ}$ Brix) conforme maduración del chile Cahabonero*

Escala de color	Descripción	Días	Repetición			
			1	2	3	Media
1	Verde (1) [Madurez 0%]	0	6.00	5.70	5.50	5.73
2	Verde-negrusco (2) [Madurez 10%]	5	3.70	3.50	3.70	3.63
3	Verde-morado-negrusco (3) [Madurez 20%]	8	5.00	5.30	5.40	5.23
3	Verde-morado (4) [Madurez 40%]	13	5.30	5.40	5.40	5.37
4	Morado (5) [Madurez 60%]	17	5.80	5.70	5.60	5.70
6	Rojo-verduzco (6) [Madurez 80%]	20	6.00	6.20	6.30	6.17
7	Rojo (7) [Madurez 100%]	25	6.40	6.30	6.40	6.37
8	Rojo intenso (8) [Madurez 100%]	27	6.40	6.60	6.30	6.43
9	Corinto (9) [Madurez 100%]	30	6.50	6.40	6.40	6.43

Fuente: Elaboración propia, 2020

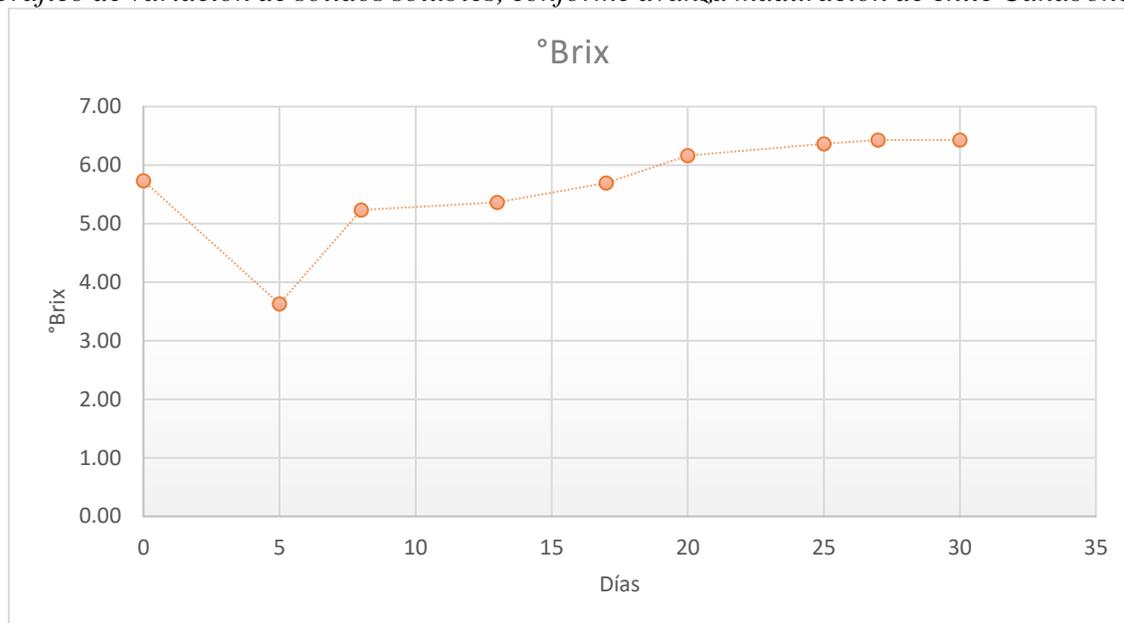
Se puede observar (Gráfico 1), que existe una disminución significativa en los sólidos solubles totales del día 0 hasta el día 5, después de lo cual se produjo un aumento en el día 10 donde fue más estable.

El aumento en el contenido de sólidos solubles totales, podría atribuirse a la pérdida de humedad por los frutos y la conversión de ácidos orgánicos a azúcares, mientras que la disminución durante el período de 0 a 5 días es explicado por el uso de los sólidos por las células del fruto para llevar a cabo el proceso de respiración, ya que es bien conocido que los azúcares simples y ácidos son sustrato de respiración, y entre más largo es el tiempo de respiración de la fruta, mayor será la tasa de consumo de azúcares y ácidos (Atta-Aly y Brecht, 1995).

Por otro lado, los azúcares libres juegan un papel importante en las características de sabor de frutos y la fisiología de la maduración tiene una implicación importante para el patrón de acumulación de azúcares de los frutos (Schaffer *et al.*, 1989; Bogner *et al.*, 1990;).

### Gráfico 1.

Gráfico de variación de sólidos solubles, conforme avanza maduración de chile Cahabonero



Fuente: Elaboración propia, 2020

El aumento del contenido en los sólidos solubles totales, que fue seguido por una estabilización a partir del día 20, es similar a lo reportado por Gorny y Kader, (1998), quienes mencionan un aumento en la cantidad de sólidos solubles cuando los frutos maduran y una disminución una vez que se llegó a la senectud. El aumento en el contenido de sólidos solubles totales de chile también podría estar relacionado con conversión del almidón en azúcares solubles en agua (Getenit *et al.*, 2008).

Esta condición también podría aumentar la pérdida de humedad de las frutas aumentando así la concentración de sólidos solubles totales. Según Antoniali *et al.* (2007) los polisacáridos de la pared celular se rompen con el consiguiente aumento de los niveles de azúcar durante maduración. Por lo tanto, la disminución en el nivel de contenido de sólidos solubles totales en este estudio podría ser debido al metabolismo de la mayoría de los hidratos de carbonos solubles durante la respiración. El equilibrio de estas actividades en el chile produce un aumento en el nivel de sólidos solubles totales, seguido por una caída después de 20 días donde generalmente se inicia la programación de la cosecha para su deshidratación (Mattoo *et al.*, 1975; Vicentini *et al.*, 1999).

#### 6.1.2. pH en la maduración del chile Cahabonero

Los frutos de chile Cahabonero evaluados tuvieron un pH ácido (entre 5.13 a 5.87) que presentó un comportamiento descendente hasta llegar al estado de madurez fisiológica.

Se presentaron diferencias significativas entre el estado verde y los estados de madurez fisiológica y maduro. Estos cambios de pH son ocasionados por la salida de ácidos orgánicos de la vacuola, lo cual se relaciona con el cambio en la coloración del fruto (González et al., 2001) y se presenta en el estado intermedio o de madurez fisiológica. El pH se comporta de acuerdo a la variación en la acidez titulable, ya que aumenta cuando la acidez descende y viceversa, lo cual ha sido reportado para algunos frutos (Tucker, 1993; y Hernández, 2010), y en general este comportamiento se observó en los frutos de chile Cahabonero.

La disminución o aumento en pH de los frutos, se atribuye al menor o mayor contenido de ácidos orgánicos presentes en forma ionizada en el tejido vegetal (Salisbury y Ross, 1994); mismo que se puede apreciar en la Tabla 4.

**Tabla 4.**

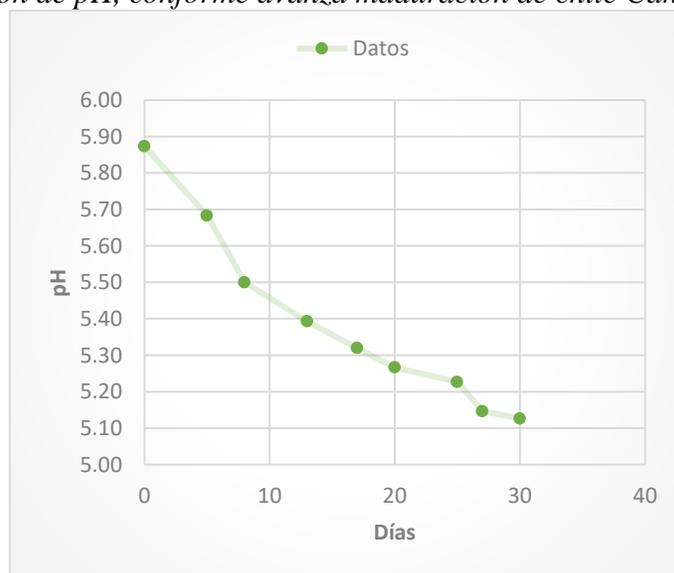
*Variación de pH conforme maduración del chile Cahabonero*

Escala de color	Descripción	Días	Repeticiones			
			1	2	3	Media
1	Verde (1) [Madurez 0%]	0	5.83	5.90	5.89	5.87
2	Verde-negrusco (2) [Madurez 10%]	5	5.78	5.64	5.63	5.68
3	Verde-morado-negrusco (3) [Madurez 20%]	8	5.47	5.49	5.54	5.50
3	Verde-morado (4) [Madurez 40%]	13	5.45	5.38	5.35	5.39
4	Morado (5) [Madurez 60%]	17	5.35	5.3	5.31	5.32
6	Rojo-verduzco (6) [Madurez 80%]	20	5.26	5.26	5.28	5.27
7	Rojo (7) [Madurez 100%]	25	5.20	5.23	5.25	5.23
8	Rojo intenso (8) [Madurez 100%]	27	5.14	5.14	5.16	5.15
9	Corinto (9) [Madurez 100%]	30	5.12	5.11	5.15	5.13

Fuente: Elaboración propia, 2020

**Gráfico 2.**

*Gráfico de variación de pH, conforme avanza maduración de chile Cahabonero*



Fuente: Elaboración propia, 2020

La variación de pH de los frutos de Chile se puede ver en la (Figura 6) en la cual existe una caída de pH hasta el día 27, lo cual coincide con Cochran (1964) que verificó una caída en el pH del Chile durante su transformación de inmaduro verde a rojo, mientras que Vicentini *et al.* (1999) mostraron que tal diferencia no fue significativa.

Medlicott y Thompson (1985) también reportaron la tendencia de los valores de pH crecientes y reducción de la acidez con el tiempo de almacenamiento prolongado ya que el fruto con el proceso de maduración va a disminuir su ácido málico el cual es predominante. Según Mizrach *et al.* (1997), los carbohidratos y metabolismo de los ácidos están estrechamente conectados durante maduración poscosecha período que de este modo eleva el pH. A medida que la concentración de ácidos disminuye, el pH presenta una ligera tendencia al aumento, esta situación podría relacionarse con la disminución de hidrogeniones libres presentes en la pulpa de fruta, posiblemente debido a que muchos de los ácidos orgánicos participan durante esta etapa en la formación de sustancias volátiles aromáticas, lo cual podría favorecer aspectos organolépticos.

### 6.1.3. Firmeza en la maduración de frutos de Chile Cahabonero

Las características fundamentales que determinan que la fruta recién recolectada sea aceptable para su comercio son la apariencia y la textura (Toivonen and Brummell, 2008). El ablandamiento y los cambios que ocurren en la textura de la fruta durante su maduración son característicos de cada especie y son debidos a diferencias en el grosor de la pared celular y a su composición (Brummell *et al.*, 2004).

**Tabla 5.**

*Comportamiento de dureza/firmeza del fruto de Chile Cahabonero*

Escala de color	Descripción	Días	Espesor de pared del fruto (N/cm <sup>2</sup> )			
			0	0.5 mm	0.8 mm	-2
1	Verde (1) [Madurez 0%]	0	0	146	120	0
2	Verde-negrusco (2) [Madurez 10%]	5	0	143	118	0
3	Verde-morado-negrusco (3) [Madurez 20%]	8	0	135	112	0
4	Verde-morado (4) [Madurez 40%]	13	0	130	100	0
5	Morado (5) [Madurez 60%]	17	0	125	95	0
6	Rojo-verduzco (6) [Madurez 80%]	20	0	123	35	0
7	Rojo (7) [Madurez 100%]	25	0	94	32	0
8	Rojo intenso (8) [Madurez 100%]	27	0	90	30	0
9	Corinto (9) [Madurez 100%]	30	0	70	20	0

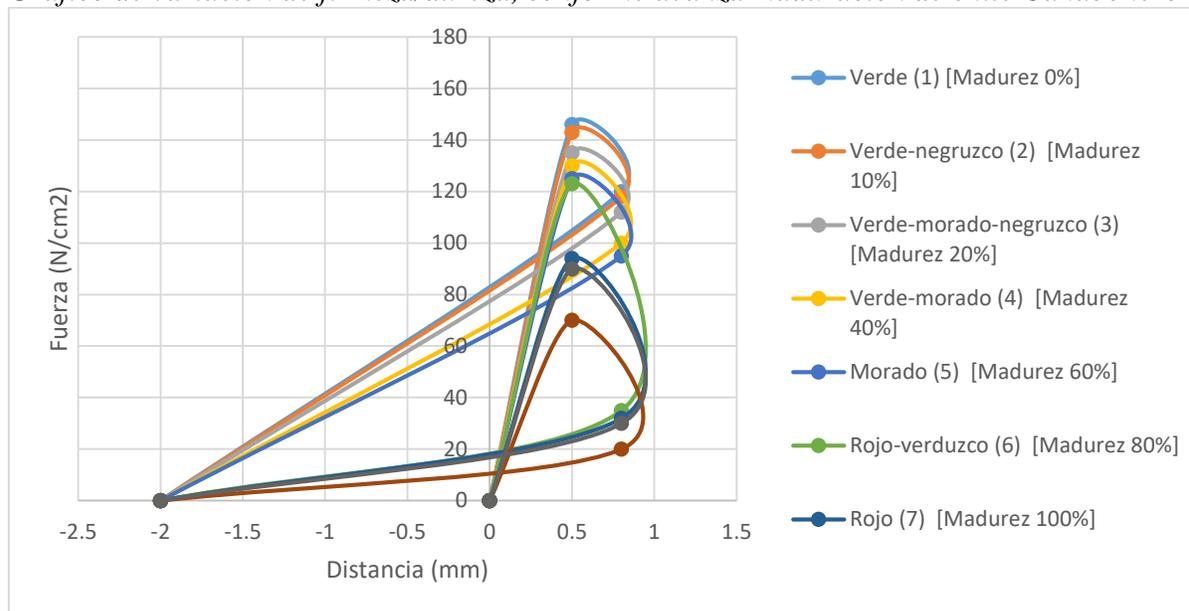
Fuente: Elaboración propia, 2020

La gráfica 3 muestra una disminución de la fuerza necesaria para penetrar el fruto conforme transcurre el tiempo. Inicialmente se observa la fractura de la cutícula (capa cerosa) del Chile y posteriormente se ve un incremento de la fuerza, lo que indica la acumulación de energía por la presencia de la pulpa, generando una deformación elástica, la cual también disminuyó con el paso del tiempo, estos cambios de textura en la poscosecha pueden deberse a la pérdida de vapor de agua durante la transpiración y a cambios enzimáticos; presumiblemente, mientras mayor sea la pérdida de agua del fruto y más avanzado el proceso

de degradación enzimática de la pectina, menor será la fuerza requerida para penetrarlo (Hernández *et al.*, 2005).

### Gráfico 3.

Gráfico de variación de firmeza/dureza, conforme avanza maduración de chile Cahabonero



Fuente: Elaboración propia, 2020

#### 6.1.4. Contenido de humedad en la maduración de frutos de chile Cahabonero

El contenido de humedad en un alimento determina diferentes propiedades y de la misma manera, influye en las reacciones físicas, químicas y enzimáticas (Badui, 2006). El porcentaje de humedad de los chiles durante los 30 días, se puede observar en la figura 4, donde se observa una tendencia decreciente de la humedad con respecto al tiempo; pudiéndose atribuir esto, a que existe una mayor permeabilidad de las membranas conforme pasa el tiempo, haciéndolos más sensibles a la pérdida de agua.

**Tabla 6.**

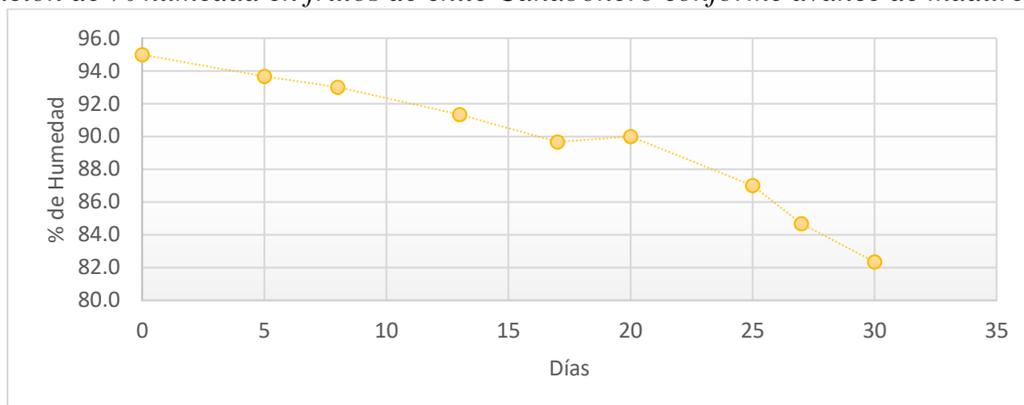
Comportamiento de humedad de frutos conforme a maduración del chile Cahabonero

Escala de color	Descripción	Días	Repetición			
			1	2	3	Media (%)
1	Verde (1) [Madurez 0%]	0	95	94	96	95.0
2	Verde-negruzco (2) [Madurez 10%]	5	93	94	94	93.7
3	Verde-morado-negruzco (3) [Madurez 20%]	8	93	93	93	93.0
3	Verde-morado (4) [Madurez 40%]	13	92	91	91	91.3
4	Morado (5) [Madurez 60%]	17	89	89	91	89.7
6	Rojo-verduzco (6) [Madurez 80%]	20	90	90	90	90.0
7	Rojo (7) [Madurez 100%]	25	86	87	88	87.0
8	Rojo intenso (8) [Madurez 100%]	27	85	84	85	84.7
9	Corinto (9) [Madurez 100%]	30	82	83	82	82.3

Fuente: Elaboración propia, 2020

#### Gráfico 4.

Variación de % humedad en frutos de chile Cahabonero conforme avance de madurez



Fuente: Elaboración propia, 2020

#### 6.1.5. Coloración en la maduración de frutos de chile Cahabonero

Los cambios en la apariencia se deben principalmente a variaciones en el color de los frutos. La diferenciación de cloroplastos en cromoplastos conlleva una serie de cambios bioquímicos que culminan con la acumulación de carotenoides, tales como licopenos y capsantina entre otros. Estas modificaciones son aparentes a nivel de coloración ya que van desde el verde característico de las clorofilas hasta el amarillento o rojizo de los carotenoides (Bouvier et al., 1998)

Mínguez-Mosquera *et al.* (1994) y Gómez-Ladrón de Guevara *et al.* (1996), mencionan que la pérdida de color verde de los frutos una vez cosechados y el color final de los chiles depende de la variedad, grado de madurez, condiciones climáticas, época de recolección, técnicas de cultivo y condiciones de almacenamiento, así como también la temperatura a la que son almacenados, ya que esta juega un papel importante en la estabilidad de los pigmentos en el fruto (Salinas *et al.*, 2010). En el caso del chile Cahabonero se aprecia que inicia su maduración desde el color verde y tiende a color rojo.

Se realizó la conformación de nueve (9) niveles de maduración del chile Cahabonero, basado en su % de maduración y a la vez por su coloración. A través del sistema CIE 1976  $L^*a^*b^*$  (CIELAB), se logró determinar sus valores  $L^*a^*b^*$ ; que con sus repeticiones fue posible la agrupación mediante un análisis de conglomerados.

El espacio de color CIELAB, también referido como espacio  $CIE L^*a^*b^*$ , es actualmente uno de los espacios de color más populares y uniformes usado para evaluar el color en el área de alimentos (Chiralt, 2007 y Pau, 2019). Es un espacio de color ampliamente usado porque correlaciona los valores numéricos de color consistentemente con la percepción visual humana. Investigadores y fabricantes lo usan para evaluar los atributos de color, identificar inconsistencias, y establecer tolerancias de color. El espacio de color CIELAB, es un sistema cartesiano formado por 3 ejes, un eje vertical ( $L^*$ ) y dos ejes horizontales ( $a^*$  y  $b^*$ ).

El eje vertical L\*, representa la medida de luminosidad de un color variando desde cero para un negro hasta 100 para un blanco. El eje horizontal a\*, representa una medida del contenido de rojo o de verde de un color. Si un color tiene rojo, a\* será positiva, mientras que, si un color tiene verde, a\* será negativa. El eje horizontal b\*, perpendicular al eje a\*, representa una medida del contenido de amarillo o de azul de un color. Valores positivos de b\* indican contenido de amarillo, mientras valores negativos de b\* indican contenido de azul.

De acuerdo con Rojas-Garbanzo *et al.* (2016) en materiales de *Capsicum sp.* cuando son mayores valores positivos de la coordenada a\* indican mayor contenido de carotenoides en el alimento.

### 6.1.5.1. Análisis de conglomerados inicial para agrupación de colores

Mediante un análisis de conglomerados se realizó la agrupación de estados de madurez de acuerdo al color, basados en el método de Ward y la distancia Euclídea, por ser variables cuantitativas.

Para combinar los descriptores cuantitativos y cualitativos se utilizó la metodología de distancia construida a partir de la similitud de Gower. La base de la información para su generación se encuentra en la Tabla 7

**Tabla 7.**

Valores L\*, a\* y b\* de color de acuerdo a grado de madurez de frutos de chile Cahabonero

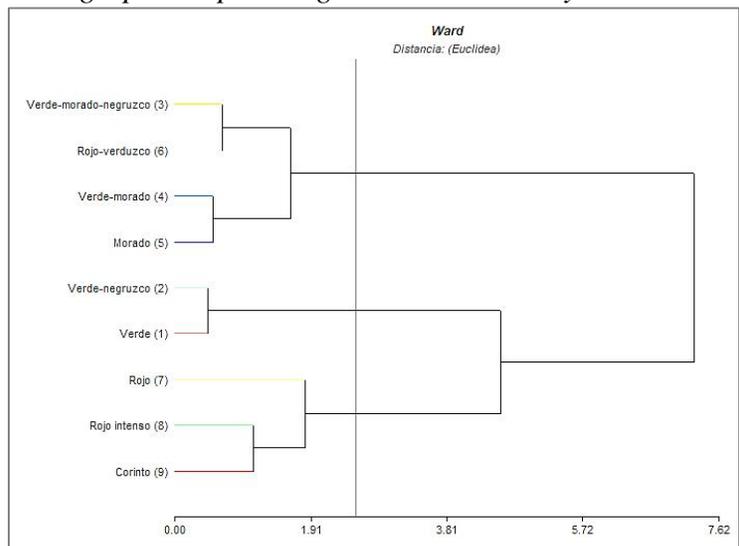
Color en escala L*a*b			Repetición															VALORES PROMEDIO		
			1			2			3			4			5					
Escales de color	Descripción	Grado de madurez	L	a	b	L	a	b	L	a	b	L	a	b	L	a	b	L	a	b
1	Verde	0%	36.36	11.24	31.05	36.23	11.85	32.76	33.7	-9.61	30.47	33.48	-11.7	31.69	36.47	11.25	34.66	35.25	-11.13	32.13
2	Verde-negruczo	10%	34.74	-8.03	27.27	37.62	10.59	36.29	34.66	-8.12	27.62	38.07	-8.87	29.95	38.1	-5.24	25.2	36.64	-8.17	29.27
3	Verde-morado-negruczo	20%	32.13	3.61	23.00	30.59	3.40	17.03	30.3	3.45	13.31	31.06	2.53	19.59	31.53	2.58	23.51	31.12	3.11	19.29
3	Verde-morado	40%	26.19	-0.29	10.70	26.97	0.35	15.29	29.54	1.89	12.22	26.24	-0.28	13.84	29.88	1.88	13.41	27.76	0.71	13.09
4	Morado	60%	26.12	-0.93	9.19	26.48	-0.58	9.97	24.77	-2.04	11.12	26.74	-0.06	8.48	26.33	-0.44	10.38	26.09	-0.81	9.83
6	Rojo-verduzco	80%	29.21	6.37	16.6	26.76	11.84	22.46	28.72	6.59	16.82	27.32	8.24	21.31	29.56	5.92	14.83	28.31	7.79	18.40
7	Rojo	100%	39.02	40.76	33.29	40.68	40.79	36.51	37.98	40.85	37.63	39.7	41.12	32.52	37.94	40.74	35.09	39.06	40.85	35.01
8	Rojo intenso	100%	34.02	42.81	27.64	35.99	42.7	27.16	34.6	43.46	24.76	32.91	41.88	29.16	33.62	41.02	32.04	34.23	42.37	28.15
9	Corinto	100%	33.73	41.67	24.02	34.82	41.8	22.86	37.02	39.44	17.61	37.31	37.37	14.73	35.67	37.69	15.79	35.71	39.59	19.00

Fuente: Elaboración propia, 2020

Se definió a través del primer dendograma de agrupación de colores en la etapa de madurez, que las 9 clases se pueden clasificar en 3 grupos de coloración en la madurez de frutos de chile Cahabonero, esto a partir de que se establezca una línea de corte a 1/3 del valor máximo, siendo ello  $1/3 = 7.624/3 = 2.54$ . Sin embargo, se consideró necesario efectuar la prueba de Hotelling (análisis multivariado) para confirmar que 3 grupos son las etapas en que madura un grupo de chile Cahabonero.

**Gráfico 4.**

*Dendograma para la agrupación por conglomerados inicial y línea de corte a 1/3*



Fuente: Elaboración propia, 2020

**6.1.5.2. Análisis multivariante**

Se utilizó el análisis multivariante de la varianza para dar validez a la formación de grupos con las variables cuantitativas. Con la técnica de comparación *Hotelling (0,05)* y análisis de varianza multivariado, se compararon los grupos y se conformó la propuesta inicial. Posteriormente se elaboraron 9 fichas basadas en valores de color, con sus respectivas conversiones a otros sistemas de color.

**Tabla 8.**

*Análisis de varianza múltiple y Prueba de Hotelling (0.05)*

Cuadro de Análisis de la Varianza (Wilks)						
F.V.	Estadístico F	gl(num)	gl(den)	p		
Conglomerado	3.4E-03	213.79	6	80	<0.0001	
Cuadro de Análisis de la Varianza (Pillai)						
F.V.	Estadístico F	gl(num)	gl(den)	p		
Conglomerado	1.75	94.70	6	82	<0.0001	
Cuadro de Análisis de la Varianza (Lawley-Hotelling)						
F.V.	Estadístico F	gl(num)	gl(den)	p		
Conglomerado	71.19	462.72	6	78	<0.0001	
Cuadro de Análisis de la Varianza (Roy)						
F.V.	Estadístico F	gl(num)	gl(den)	p		
Conglomerado	67.98	929.08	3	41	<0.0001	
Conglomerado	L	a	b	n	Agrupación (Hotelling 0.05)	
3	35.943	-9.65	30.696	10	A	
2	28.322	2.7015	15.153	20	B	
1	36.334	40.94	27.387	15	C	

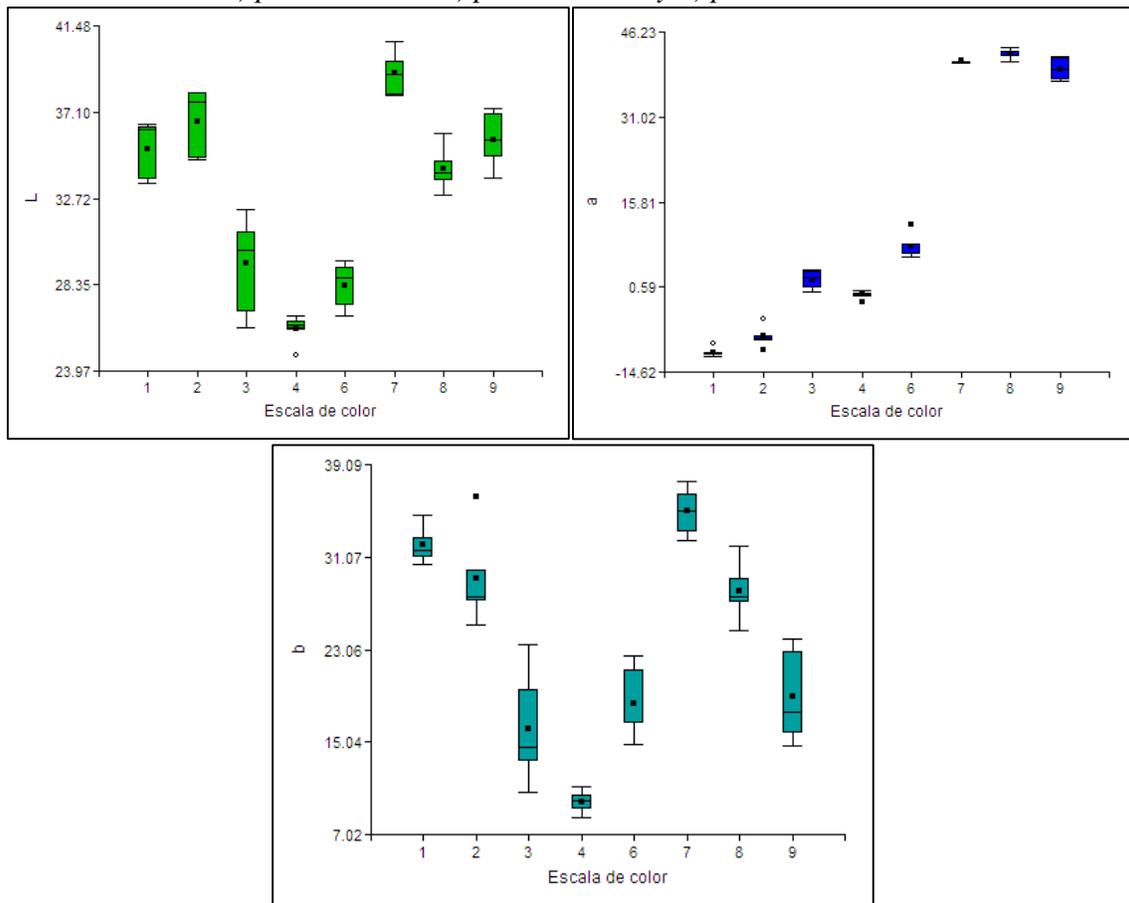
Fuente: Elaboración propia, 2020

En la gráfica 5 se puede apreciar la variación de los parámetros  $L^*$ ,  $a^*$  y  $b^*$  del sistema CIELab conforme avanza la maduración de frutos, tal cual se aprecia, para el parámetro  $L^*$  sufre una disminución a los 8 días, posteriormente se estabiliza y muestra un repunte en la etapa 7, correspondiente a los 25 días de maduración.

En el caso del parámetro  $a^*$  se muestra creciente durante toda la maduración. Y sufre una ligera depresión en las etapas de sobremaduración. Por otro lado, el parámetro  $b^*$  disminuye hasta los 17 días, posteriormente aumenta hasta los 25 días y nuevamente inicia un decrecimiento hasta completar su maduración.

**Gráfica 5.**

*Gráficos box-plot del comportamiento de acuerdo a sus 9 escalas de maduración de fruto de Chile Cahabonero a) parámetro  $L^*$  b) parámetro  $a^*$  y c) parámetro  $b^*$*

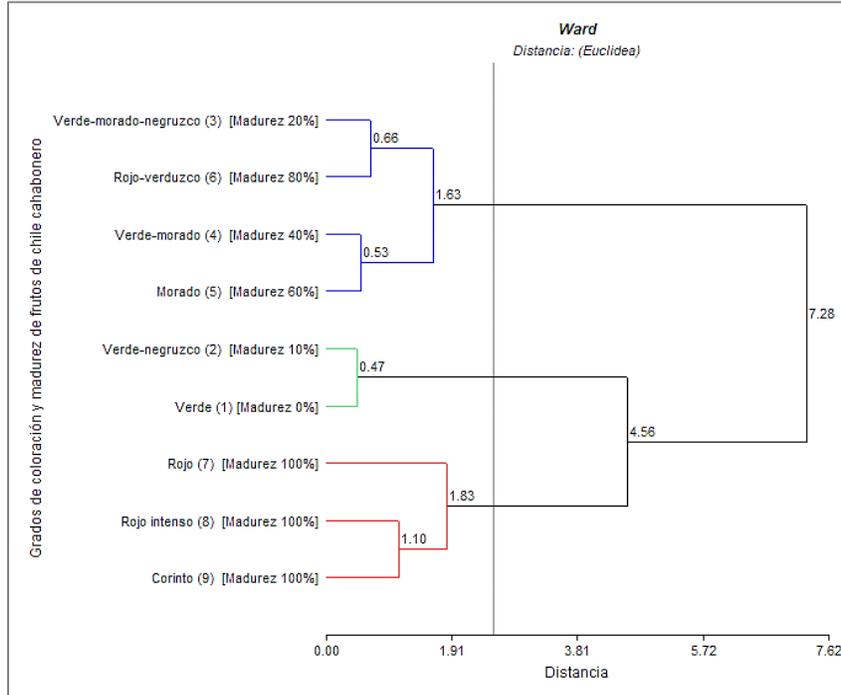


Fuente: Elaboración propia, 2020

De acuerdo a los datos obtenidos, a través del análisis multivariado y prueba de Hotelling para la confirmación de grupos conformados, se definió que en efecto se tienen 3 grupos únicamente que describen de forma resumida la maduración de frutos de Chile Cahabonero; definidos a una línea de corte de 2.54, por lo que se cumple en este caso el supuesto del uso de 1/3 de valor máximo establecido de acuerdo al método de Ward y distancia Euclídea.

**Gráfico 6.**

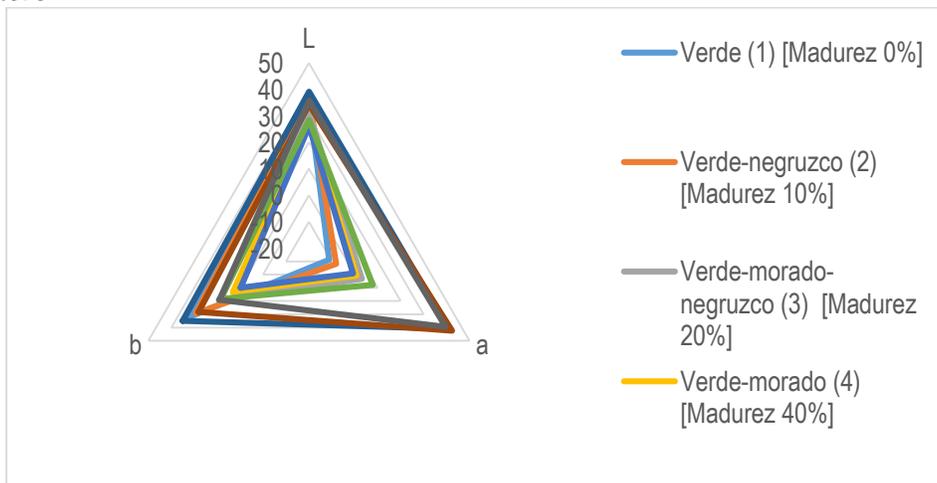
*Análisis de conglomerados final para estados de madurez de chile Cahabonero*



Fuente: Elaboración propia, 2020

**Gráfico 7.**

*Comportamiento de L, a y b en cada uno de los estados de maduración (colores) del chile Cahabonero*



Fuente: Elaboración propia, 2020

### 6.1.6. Prueba de correlación para variables de maduración de frutos de Chile Cahabonero

Se efectuó una prueba de correlación para identificar las relaciones que existen en las diferentes variables evaluadas en el proceso de maduración de frutos de Chile Cahabonero (ver Tabla 9)

**Tabla 9.**

*Prueba de correlación de Pearson para variables de maduración de frutos de Chile Cahabonero, Santa María Cahabón, A.V.*

Variables	Grado de maduración (1 al 9)	% Humedad	pH	°Brix	Espesor de la pared (Dureza a 0.5 mm).	Espesor de la pared (Dureza a 0.8 mm)	Valor de L (Color sistema Cielab)	Valor de a (Color sistema Cielab)	Valor de b (Color sistema Cielab)
Grado de maduración (1 al 9)	1	0	0	0.03	0	0	0.57	0	0.97
% Humedad	-0.97	1	0	0.04	0	0	0.59	0	0.9
PH	-0.91	0.90	1	0.05	0	0	0.77	0.01	0.44
°Brix	0.72	-0.69	-0.66	1	0.03	0.02	0.99	0.04	0.97
Espesor de la pared (Dureza a 0.5 mm)	-0.96	0.99	0.85	-0.7	1	0	0.37	0	0.86
Espesor de la pared (Dureza a 0.8 mm)	-0.97	0.9	0.86	-0.77	0.9	1	0.55	0	0.79
Valor de L (Color sistema Cielab)	0.22	-0.21	0.11	-0.01	-0.34	-0.23	1	0.24	0
Valor de a (Color sistema Cielab)	0.94	-0.92	-0.82	0.70	-0.95	-0.89	0.44	1	0.51
Valor de b (Color sistema Cielab)	0.02	0.05	0.3	-0.02	-0.07	-0.1	0.89	0.25	1

Fuente: Elaboración propia, 2020

De acuerdo a lo observado, existe una correlación positiva entre el porcentaje de humedad y el pH, entre el espesor de la pared (firmeza) y el % de humedad, los sólidos solubles y el parámetro a\* del sistema de coloración CIELab y finalmente el parámetro b\* de coloración y el parámetro L\*; lo que significa que al incrementarse una, también incrementa la otra.

Por otro lado, existen otras variables que tienen una respuesta diferente donde presentan una correlación negativa, siendo ellas: valor de parámetro  $a^*$  con respecto a % de humedad, pH, espesor de la pared a 0.5 mm y 0.8 mm; y entre los sólidos solubles y el espesor de la pared (firmeza). Esto indica que al incrementar una, disminuye de forma homogénea la otra, en el proceso de maduración. Por tal, pudieran tener una relación directa respecto a los procesos fisicoquímicos que se dan en ésta etapa importante en la producción de chile Cahabonero.

De acuerdo a varios estudios afirman que, al descender la humedad el pH también disminuye, lo que comprueba los datos obtenidos en la presente investigación (Ashebir et al. 2009; Khazaei et al. 2008). Estudios indican que la maduración de *Capsicum* provoca un aumento de los sólidos solubles, mientras que el pH disminuye (Khazaei et al. 2008; Polenta et al. 2006; Thybo et al. 2006).

Finalmente se define que un fruto sobremadurado en su cosecha puede generar algunos problemas en los procesos de deshidratación, por lo que considerando todas éstas variables fisicoquímicas, el momento oportuno de cosecha se debe dar cuando el fruto se encuentre en etapa 8 (color rojo intenso) y su traslado el mismo día al área de deshidratación para el posterior proceso de transformación primaria.

## 6.2. Acopio de frutos de chile fresco y repeticiones de deshidratación de frutos en estructuras construidas

Se continuó con el acopio de frutos de chile fresco para la realización de las siguientes dos repeticiones para la evaluación de las diferentes metodologías de deshidratación de frutos.

El acopio se efectuó con el apoyo del actor local Francisco Caal Chen, Emmanuel Argueta, Mauricio Reyes y Arturo Yaxcal Caal, en el cual se tuvo el apoyo de los productores. El acopio se realizó en el centro del municipio, con el apoyo de los actores locales para su posterior traslado el mismo día al área destinado, en San José Canihor, Santa María Cahabón, Alta Verapaz.

**Tabla 10.**

*Procedencia de frutos de chile Chabonero, para deshidratación en San José Canihor, Santa María Cahabón*

Actor Local que provee	Procedencia (Aldea o Caserío)	Área de producción de chile Cahabonero durante el 2019		Cantidad de fruto en fresco acopiado	
		En metros cuadrados (m <sup>2</sup> )	En Hectáreas (Ha)	En libras (lb)	En kilogramos (kg)
Gustavo Adolfo Sotz	Caserío Chinajuc	3087	0.31	206	93.44
Martín Chich Ayú	Aldea Chajgual	2646	0.26	207	93.89
Marcos Ho Bolon	Caserío Agua Caliente	2205	0.22	137	62.14

Eugenio Sacul	Aldea Champerico	1764	0.18	138	62.60
Juan Gabriel Choj Bac	Caserío Agua Caliente	881	0.08	80	36.29
Manuel Choj	Caserío Agua Caliente	881	0.09	141	63.96
Eugenio Sacul	Aldea Champerico	3087	0.31	193	87.54
Mario Caal Cacao	Aldea Champerico	881	0.09	172	78.02
TOTALES		15432 m <sup>2</sup> representados	1.54 Ha representados	1274 Libras acopiadas de frutos en fresco	577.88 Kilogramos acopiados en fresco

Fuente: Elaboración propia, 2020

### 6.2.1. Aplicación de buenas prácticas de manufactura (BPM) y buenas prácticas de higiene (BPH) en etapa poscosecha para la inocuidad de frutos frescos de Chile Cahabonero

Una parte importante de los procesos de agro transformación, lo constituyen las prácticas que, durante su ejecución, aseguren la obtención de productos inocuos, que a su vez, permitan incrementar la calidad de los mismos.

Se considera como “producto inocuo” a todo aquel que no causa daños a la salud del consumidor cuando se prepara y / o consume de acuerdo a sus especificaciones.

Para asegurar la inocuidad de los productos, es necesario implementar una serie de prácticas a fin de evitar que los mismos, se contaminen durante el proceso de elaboración con agentes físicos, químicos o biológicos. Dichas prácticas, son conocidas como Buenas Prácticas de Manufactura y son implementadas desde el momento de la cosecha, hasta el momento en que el producto es entregado al consumidor.

Posterior al acopio de frutos de Chile Cahabonero y como parte de las buenas prácticas de manipulación e inocuidad de los alimentos, se realizó la desinfección de los frutos sumergiéndolos en agua previamente sometida a un proceso de cloración, medio sencillo y eficaz para desinfectar el agua y hacerla potable.

Basado en planes operativos estandarizados de sanitización –POES-, en el cual se aplicó 4 gotas/L, es decir, 0.2 cc/L de cloro comercial = Hipoclorito de Sodio (NaClO ) al 5,25 % como solución lista para ser usada.

Para estos fines, se recomienda el uso de hipoclorito de sodio a 5 % - 6% (cloro comercial) para la preparación de las soluciones cloradas. El periodo de actuación del hipoclorito de sodio es de al menos media hora, pero si la temperatura está comprendida entre los 10 y los 18 °C, debe incrementarse a al menos una hora, y aún más si la temperatura es inferior a los 10 °C.

Para uso en actividades de agrotransformación de hortalizas, se recomienda que para asegurar que el agua potabilizada no represente ningún riesgo, se deje en reposo por un lapso de 6-8 horas (toda la noche) el agua con las gotas de hipoclorito de sodio, para su posterior uso (PAHO, 2011; DENS, 2010, Garmendia, 2006, y McGlynn, 2007)

La concentración de cloro activo normalmente es expresada en partes por millón (ppm). Se denomina cloro libre, residual, activo o disponible a aquel que está presente para reaccionar con los microorganismos luego de que una determinada cantidad ha sido neutralizada por las impurezas orgánicas e inorgánicas del agua. Si bien concentraciones de 0,2 a 5 ppm de cloro activo controlan la mayor parte de las bacterias y hongos presentes en el agua, en las operaciones de lavado e hidrofriado de productos vegetales se utilizan concentraciones mucho mayores (100-200 ppm). Un litro de blanqueador y desinfectante doméstico (80 g cloro activo/dm<sup>3</sup>) disuelto en 400 litros de agua equivale a 200 ppm, mientras que disuelto en 800 y 1600 litros equivale a 100 y 50 ppm, respectivamente.

Conviene comenzar las operaciones diarias con concentraciones bajas (100-150 ppm) para aumentar la cantidad de cloro en solución, a medida que el agua se va ensuciando con restos vegetales y por el incremento de la cantidad de esporas suspendidas en el agua (FAO, 2003).

También fueron desinfectadas las herramientas y superficies sobre las cuales se deshidrataron los frutos, con alcohol etílico al 70 % v/v de forma asperjada con un atomizador y con un paño suave para asegurar las mejores condiciones para el posterior manejo de frutos de chile para la evaluación.

La desinfección de herramientas y superficies, se realiza diariamente o con cada cambio de lote (según el movimiento en secado que requiera el día).

A fin de asegurar que la contaminación no llegara a los frutos debida a una inadecuada manipulación por el personal a cargo, también se implementaron Buenas Prácticas de Manufactura asociadas a equipo y comportamiento del personal, para lo que se consideró el uso de equipo adecuado que incluye: guantes descartables, mascarilla y calzado cerrado, y uso de indumentaria limpia para la actividad; así como la aplicación de buenas prácticas de higiene como el lavado de manos en los momentos que se listan a continuación:

- Al iniciar la jornada de labores
- Al cambiar de lote de trabajo
- Después de comer, beber o hacer uso del servicio sanitario
- Al realizar cambio de herramienta o material de trabajo

También se implementaron prácticas generales de BPM tales como:

- Higiene diaria
- No comer o beber en el área de trabajo
- No fumar en el área de trabajo
- No tocarse ojos, nariz o boca
- No toser o comer sobre el producto

### 6.3. Evaluación de metodologías de deshidratación de chile Cahabonero

La deshidratación, es uno de los métodos más antiguos de conservación de alimentos conocido por el hombre, el cual se ha aplicado a la agrotransformación del chile Cahabonero principalmente con el uso del recurso solar, sin mayor precaución respecto a contaminación y calidades del producto.

El proceso de deshidratación de chile Cahabonero, en definitiva, involucra la remoción de la mayor parte del agua del alimento para evitar la actividad enzimática y el desarrollo de microorganismos.

La industria de alimentos es una sobresaliente estrategia para consolidar al municipio como fuente de producción y potencia agroalimentaria, por lo que un producto transformado de chile Cahabonero con una adecuada aplicación de tecnologías que promuevan la calidad de los frutos deshidratados, representará una oportunidad para los productores y grupos asociados, por el aumento del valor agregado que se puede obtener de su producción. Al alargar la vida de anaquel del producto a través de la correcta deshidratación, se podrá ofrecer producto en épocas de poca oferta y así la búsqueda de mejores precios en el mercado regional y nacional.

En general, los frutos deshidratados podrán tener una mejor aceptabilidad en el mercado y mejores condiciones para su almacenamiento; ya que se asegurará la calidad fisicoquímica y mecánica.

La deshidratación genera estabilidad microbiológica y química, disminuye el peso y volumen, reduce el empaque, costos de almacenamiento y transporte, además permite el almacenamiento del producto a temperatura ambiente por largos períodos de tiempo. Los resultados de las variables medidas en el proceso de deshidratación se presentan a continuación en la tabla 11

**Tabla 11.**

*Datos promedio obtenidos por tipo de metodología de deshidratación de frutos de chile Cahabonero*

Código	Metodología de deshidratación	Repetición	pH	SS	L*	a*	b*	Tiempo de deshidratación	Peso final (de 25 lb deshidratadas)	% Peso conservador
MD-1	Fuego + Sol en estructura tipo domo	1	5.39	3.2	3.26	1.52	3.53	15	8.5	34
MD-1	Fuego + Sol en estructura tipo domo	2	5.26	3.6	3.01	1.69	3.59	16	9.5	38
MD-1	Fuego + Sol en estructura tipo domo	3	5.33	3.4	3.85	1.18	3.27	14	8.6	34.4
MD-2	Sol directo, con plástico polietileno y concreto	1	5.48	4	3.04	1.7	4.17	24	8.8	35.2
MD-2	Sol directo, con plástico polietileno y concreto	2	5.6	4	2.3	1.79	4.35	24	9.2	36.8
MD-2	Sol directo, con plástico polietileno y concreto	3	5.69	4.2	2.75	1.86	4.27	25	9	36
MD-3	Parihuela y plástico polietileno	1	5.65	3.2	3.17	1.72	3.59	22	7.3	29.2
MD-3	Parihuela y plástico polietileno	2	5.63	3.2	3.77	1.29	3.52	21	7	28

MD-3	Parihuela y plástico polietileno	3	5.61	3.4	4.16	1.08	3.43	24	7.1	28.4
MD-4	Sobre suelo con plástico polietileno	1	5.63	3.2	3.01	5.12	5.62	23	8.4	33.6
MD-4	Sobre suelo con plástico polietileno	2	6	3.4	2.59	3.14	4.87	21	8.5	34
MD-4	Sobre suelo con plástico polietileno	3	5.54	3.4	3.26	2.3	4.28	22	8.3	33.2
MD-5	Parihuela y malla tipo sombra - sarán	1	5.65	4	2.78	1.5	3.62	22	8.8	35.2
MD-5	Parihuela y malla tipo sombra - sarán	2	5.63	4	2.72	1.43	3.75	23	9.4	37.6
MD-5	Parihuela y malla tipo sombra - sarán	3	5.59	4	3.51	1.05	3.55	24	9.3	37.2
MD-6	Secado al fuego	1	5.24	3.2	3.27	1.53	3.57	8	8.75	35
MD-6	Secado al fuego	2	5.22	3.2	2.91	1.52	3.39	7.5	8.5	34
MD-6	Secado al fuego	3	5.2	3.4	3.5	1.18	3.18	8	9	36
MD-7	Parihuela y petate de calá	1	5.81	3.2	2.5	1.77	4.04	23	8.6	34.4
MD-7	Parihuela y petate de calá	2	5.7	3.4	3.17	1.23	3.73	24	8.3	33.2
MD-7	Parihuela y petate de calá	3	5.82	3.8	3.96	0.87	3.48	22	8.8	35.2
MD-8	Tipo domo alto y plástico polietileno	1	5.41	3.2	3.33	1.55	3.13	23	8.7	34.8
MD-8	Tipo domo alto y plástico polietileno	2	5.39	3.2	3.2	1.65	3.13	23	8.5	34
MD-8	Tipo domo alto y plástico polietileno	3	5.46	3.2	3.54	1.77	3.14	23	8.6	34.4
MD-9	Tipo domo alto y malla tipo sombra - sarán	1	5.5	3.4	4.16	1.56	3.08	21	8.3	33.2
MD-9	Tipo domo alto y malla tipo sombra - sarán	2	5.32	3.4	4.09	1.54	3.06	22	9.2	36.8
MD-9	Tipo domo alto y malla tipo sombra - sarán	3	5.45	3.2	4.87	1.23	2.74	21	8.5	34
MD-10	Tipo domo compacto y malla tipo sombra - sarán	1	5.75	3.6	2.86	1.88	3.49	23	9.4	37.6
MD-10	Tipo domo compacto y malla tipo sombra - sarán	2	5.8	4	2.92	1.99	3.57	23	9	36
MD-10	Tipo domo compacto y malla tipo sombra - sarán	3	5.59	3.6	4.33	1.8	2.76	22	8.4	33.6

Fuente: Elaboración propia, 2020

### 6.3.1. Variable % de peso conservado posterior a la deshidratación de Chile Cahabonero

A través de la variable % de peso conservado, se definió el valor de peso final que se mantiene posterior a la deshidratación, en general el valor perseguido de humedad fue del 10%. Es de considerar que de acuerdo al tipo y estructura en la cual se realizó la deshidratación, los resultados tanto físicos como químicos fueron diferentes. Los % de peso conservados se pueden apreciar a continuación (ver Tabla 12)

**Tabla 12.**

*ANDEVA de la variable % de peso conservado posterior a la deshidratación del Chile Cahabonero*

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo.	138.33	9	15.37	8.79	0
Código metodología deshidr..	138.33	9	15.37	8.79	<0.001
Error	34.96	20	1.75		
Total	173.29	29			

Fuente: Elaboración propia, 2020

**Tabla 13.**

*Prueba de medias Test: Scott & Knott para la variable % de peso conservado posterior a la deshidratación del Chile Cahabonero; Alfa=0.05 Error: 1.7480 gl: 20*

Código metodología deshidratación	Medias	Agrupación
MD-5	36.67	A
MD-2	36.00	A
MD-10	35.73	A

MD-1	35.47	A	
MD-6	35.00	A	
MD-9	34.67	A	
MD-8	34.40	A	
MD-7	34.27	A	
MD-4	33.60	A	
MD-3	28.53		B

Fuente: Elaboración propia, 2020

De acuerdo al ANDEVA, es significativa la metodología de deshidratación respecto al % de peso final conservado. De acuerdo a la prueba de *Scott & Knott* la metodología MD-3 correspondiente a uso de plástico y parihuela es quien conserva en menor proporción su peso. Esto debido a que el plástico permite una rápida pérdida de humedad, en ocasiones también puede generar quemadura en algunas partes del fruto si ésta no es removida constantemente, por lo que al conservar su 10% de humedad su peso final es de apenas 28.53 de 100 libras iniciales. Mientras que los demás tratamientos presentan resultados similares.

Por otro lado, en la eliminación de agua de los productos con un alto contenido de ello, tales como frutas y verduras, es importante recordar que las membranas celulares pueden o no verse dañadas durante el proceso (Barbosa *et al.*, 2000), con lo cual es importante tener un estricto control sobre la cinética de la deshidratación de los frutos, pues la exposición en tiempo prolongado afecta la calidad organoléptica.

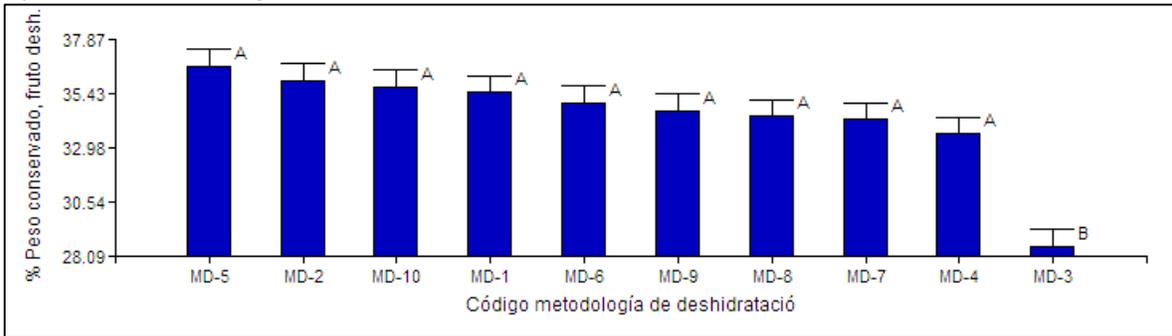
Es aceptado que, para un producto deshidratado estable, es decir, en el cual las reacciones de degradación ocurren a muy baja velocidad y el desarrollo de microorganismos se ve impedido, debe estar dentro de un rango de contenido de humedad; en el caso de las frutas con altos contenidos de azúcares, el contenido de humedad oscila entre 25 % y 30 %, mientras que en la mayoría de las hortalizas el contenido de humedad se encuentre entre 9 % y 14 %. (De Michelis *et al.*, 2015).

En el caso de *Capsicum annuum* L., Kilakoi (2016), realizó un estudio donde evaluó una metodología con fuente de energía híbrida solar-gas para el deshidratado de Chile chipotle, en el cual definió un 10% de humedad, como un valor aceptable para los frutos deshidratados. Según Keqing (2004), la transmisión de calor tiene lugar en el interior del alimento y está relacionada con el gradiente de temperatura existente entre su superficie y la correspondiente a la superficie del agua en el interior del alimento. Si se suministra al agua suficiente energía para su evaporación, el vapor producido se transportará desde la superficie de la capa húmeda en el interior del producto hacia la superficie de éste.

El gradiente de presión de vapor existente entre la superficie del agua en el interior y en el aire exterior al alimento, es el que provoca la difusión del vapor de agua hacia la superficie de éste; con ello se genera una pérdida de peso que permite la obtención del producto final deshidratado que se comercializa en los mercados locales, regionales y nacionales del país guatemalteco.

**Gráfico 8.**

% de peso conservado posterior a la deshidratación de frutos de chile Cahabonero bajo diferentes metodologías

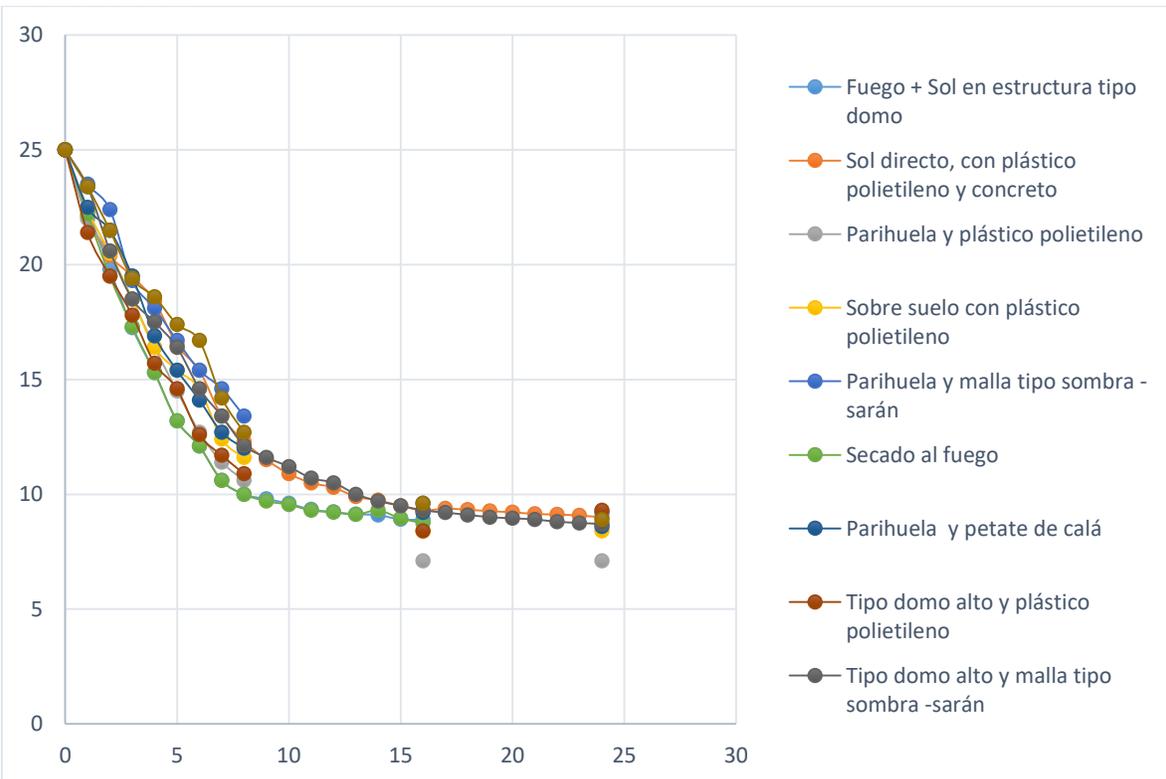


Fuente: Elaboración propia, 2020

La eliminación del agua ocurre generalmente en una serie de etapas diferenciadas por la velocidad de deshidratación (Singh, *et al.*, 1993). De acuerdo a Perry, *et al.*, (1986) el proceso de deshidratación está caracterizado por tres etapas diferentes; periodo de estabilización, periodo de velocidad constante y el periodo de velocidad decreciente; mismo que se puede apreciar en la gráfica 9 del comportamiento del chile Cahabonero en su deshidratación conforme el tiempo (horas).

**Gráfico 9.**

Comportamiento del chile Cahabonero respecto a su pérdida de peso promedio, caso de 25 libras iniciales



Fuente: Elaboración propia, 2020

En el análisis del proceso de deshidratación se involucran dos fenómenos simultáneos acoplados, que son la transferencia de calor y la transferencia de masa, por lo que dicho análisis resulta influenciado por un gran número de factores, que se pueden separar en dos grupos: el primero se relaciona con el medio secante, que incluye temperatura, humedad relativa y velocidad de dicho medio, y el segundo, se asocia a las propiedades termofísicas del cuerpo a secar, en donde se agrupan, densidad, temperatura, y permeabilidad, entre otras.

### 6.3.2. Variable tiempo para la deshidratación de chile Cahabonero

Uno de los parámetros importantes es el tiempo, lo que indica una optimización de los recursos que se representa en la reducción de mano de obra necesaria para labor y, por otro lado, el mayor aprovechamiento de los recursos disponibles, siendo ellas las infraestructuras construidas o materiales para el proceso de deshidratación. En la Tabla 14 se presentan los resultados del ANDEVA del tiempo requerido en la deshidratación de frutos de acuerdo al tipo de metodología empleada.

**Tabla 14.**

*ANDEVA de la variable tiempo (horas) para la deshidratación de chile Cahabonero*

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo.	705.34	9	78.37	105.67	
Código metodología de desh..	705.34	9	78.37	105.67	<0.001
Error	14.83	20	0.74		
Total	720.17	29			

Fuente: Elaboración propia, 2020

De acuerdo al ANDEVA existe diferencia significativa entre tratamientos, por lo que se sometió al test *Scott & Knott* en el que se determinó que los únicos tratamientos que presentan el menor tiempo de deshidratación son MD1 (correspondiente a deshidratación al fuego+sol a través de túnel) y MD-6 correspondiente a fuego por dos días.

Sí se desea obtener un producto deshidratado de forma inmediata en definitiva ambas opciones estarían disponibles por la cantidad de horas menor en comparación a las demás. El principal factor influyente es el fuego (calor generado por la combustión de un recurso natural, que es la leña).

La parte inicial del primer día donde se baja drásticamente hasta los 30% de humedad permite acortar el tiempo, sin embargo, es de considerar que se requiere de una persona a tiempo completo removiendo el mismo y colocando leña lo que representa a la vez costos elevados. El tiempo requerido en cualquiera de las otras metodologías es la misma, por lo que se puede adoptar cualquiera que no se genera diferencia para la obtención del producto final transformado.

**Tabla 15.**

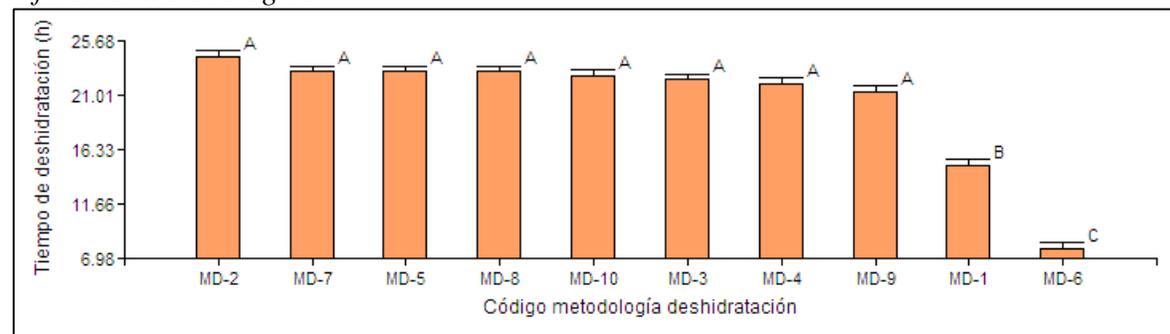
Prueba de medias Test: Scott & Knott para la variable tiempo (h) para la deshidratación del chile Cahabonero; Error: 0.7417 gl: 20

Código metodología deshidratación	Medias	Agrupación	
MD-2	24.33	A	
MD-7	23.00	A	
MD-5	23.00	A	
MD-8	23.00	A	
MD-10	22.67	A	
MD-3	22.33	A	
MD-4	22.00	A	
MD-9	21.33	A	
MD-1	15.00		B
MD-6	13.67		B

Fuente: Elaboración propia, 2020

**Gráfico 10.**

Tiempo de deshidratación (h) para la deshidratación de frutos de chile Cahabonero bajo diferentes metodologías



Fuente: Elaboración propia, 2020

### 6.3.2. Variable pH del producto final deshidratado de chile Cahabonero

De igual forma se evaluó el del producto final transformado, posterior a su deshidratación para definir las variaciones que se presentan en la composición química del fruto.

**Tabla 16.**

ANDEVA de la variable pH de frutos de chile Cahabonero deshidratados

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo.	0.94	9	0.10	10.14	
Código metodología de desh..	0.94	9	0.10	10.14	<0.001
Error	0.21	20	0.01		
Total	1.14	29			

Fuente: Elaboración propia, 2020

**Tabla 17.**

*Prueba de medias Test: Scott & Knott para la variable pH de frutos de chile Cahabonero deshidratados por diferentes metodologías; Error: 0.0103 gl: 20*

Código metodología deshidratación	Medias	Agrupación	
MD-7	5.78	A	
MD-4	5.72	A	
MD-10	5.71	A	
MD-3	5.63	A	
MD-5	5.62	A	
MD-2	5.59	A	
MD-9	5.42		B
MD-8	5.42		B
MD-1	5.33		B
MD-6	5.22		B

Fuente: Elaboración propia, 2020

De acuerdo al resultados obtenido, los tratamientos MD-2 (Sol directo, con plástico polietileno y concreto), MD-3 (Parihuela y plástico polietileno), MD-4 (Sobre suelo con plástico polietileno), MD-5 (Parihuela y malla tipo sombra – sarán), MD-7 (Parihuela y patate de calá) y MD-10 (Tipo domo compacto y malla tipo sombra – sarán) presentan pH que se mantienen posterior a la deshidratación de frutos. Los resultados obtenidos en domo alto y tratamientos en fuego son los que presentan un pH menor.

Los factores más importantes que controlan la velocidad de los cambios deteriorativos y la proliferación de los microorganismos en los alimentos son la disponibilidad de agua, el pH y la temperatura.

Si la acidez del medio se incrementa (el pH se reduce), los microorganismos patógenos (poscosecha) tratan de mantener al pH interno dentro de un rango estable limitado y en un valor mayor que el del medio. Los mecanismos homeostáticos tratan de impedir que los protones crucen la membrana celular y entren al citoplasma, y además expulsan a los protones que hayan penetrado adentro de la célula.

La reparación de la homeostasis perturbada del pH demanda energía y la velocidad de crecimiento disminuye. A medida que el pH se va reduciendo aún más, los requerimientos energéticos aumentan y ya no queda más energía disponible para otras funciones celulares. Si la capacidad de homeostasis es superada, el pH citoplasmático disminuye y la célula muere. La habilidad de los microorganismos para crecer a bajo pH depende de su habilidad para prevenir que los protones pasen al citoplasma.

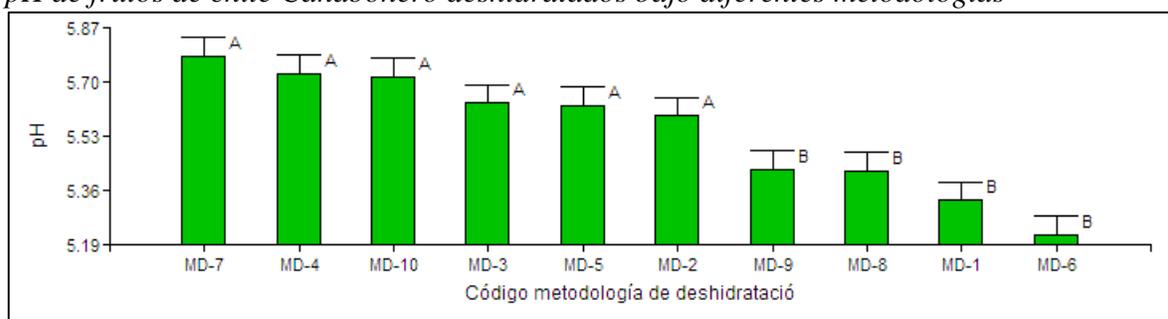
El pH óptimo para el crecimiento de la mayoría de las bacterias asociadas a alimentos está en el rango 6,5-7,5. Pero algunas bacterias patógenas pueden crecer a pH 4,2 y algunas bacterias deteriorativas pueden multiplicarse en condiciones muy ácidas (pH=2,0). En general, los hongos y las levaduras tienen mayor habilidad que las bacterias para crecer a pH ácidos, pudiendo proliferar a un valor de pH tan bajo como 1,5.

Disminuir el pH debajo de 4,2 es una forma efectiva de lograr la inocuidad de algunos alimentos debido a la alta sensibilidad al pH de las bacterias patógenas. Sin embargo, para controlar el crecimiento de todos los microorganismos por pH, el pH requerido en ausencia de otros factores de conservación sería muy bajo (< 1,8) y ello causaría el rechazo de los productos por consideraciones sensoriales.

Con ello se confirma que a menor pH se reduce la incidencia de patógenos, donde los frutos deshidratados por túnel o por fuego se pueden preservar de mejor forma.

### Gráfico 11.

*pH de frutos de chile Cahabonero deshidratados bajo diferentes metodologías*



Fuente: Elaboración propia, 2020

### 6.3.2. Variable sólidos solubles (°Brix) del producto final deshidratado de chile Cahabonero

Se determinó los sólidos solubles (°Brix) de los frutos deshidratados por diferentes metodologías, en el cual se definió que los tratamientos de sol directo, con plástico polietileno y concreto (MD-2), parihuela y malla tipo sombra – sarán (MD-5) y tipo domo compacto y malla tipo sombra – sarán (MD-10), por lo que se mantienen algunas características químicas en los frutos y su reducción es relativamente menor en comparación a los demás tratamientos.

### Tabla 18.

*ANDEVA de la variable sólidos solubles (°Brix) de frutos de chile Cahabonero deshidratados*

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo.	2.67	9	0.3	11.72	
Código metodología de desh..	2.67	9	0.3	11.72	<0.001
Error	0.51	20	0.03		
Total	3.18	29			

Fuente: Elaboración propia, 2020

**Tabla 19.**

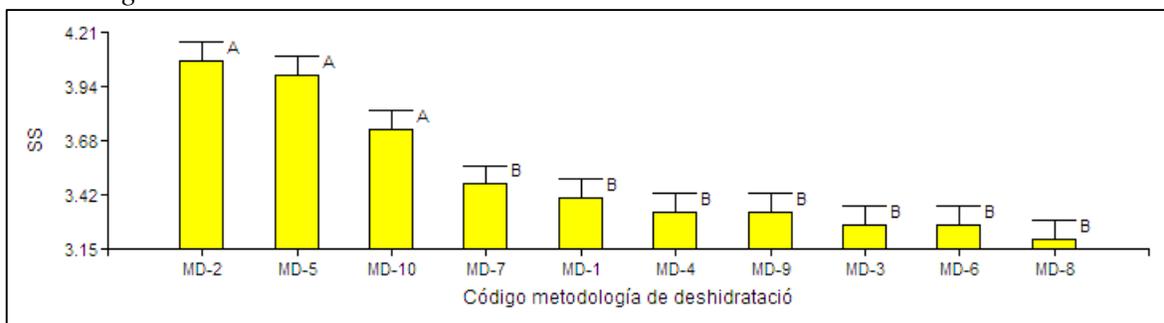
Prueba de medias Test: Scott & Knott para la variable sólidos solubles (°Brix) de frutos de Chile Cahabonero deshidratados por diferentes metodologías; 0.0253 gl: 20

Código metodología deshidratación	Medias	Agrupación
MD-2	4.07	A
MD-5	4.00	A
MD-10	3.73	A
MD-7	3.47	B
MD-1	3.40	B
MD-4	3.33	B
MD-9	3.33	B
MD-3	3.27	B
MD-6	3.27	B
MD-8	3.20	B

Fuente: Elaboración propia, 2020

**Gráfico 12.**

Sólidos solubles (°Brix) de frutos de Chile Cahabonero deshidratados bajo diferentes metodologías



Fuente: Elaboración propia, 2020

### 6.3.2. Variable parámetro L\* del producto final deshidratado de Chile Cahabonero en el sistema de color CIELab

Se evaluó la variable color a través de sus tres parámetros en el sistema CIEL\*a\*b; en la cual L\* representa la medida de luminosidad de un color variando desde cero para un negro hasta 100 para un blanco. De acuerdo al análisis efectuado, todos los tratamientos presentan el mismo valor de luminosidad por lo que no existe diferencia estadística significativa.

**Tabla 20.**

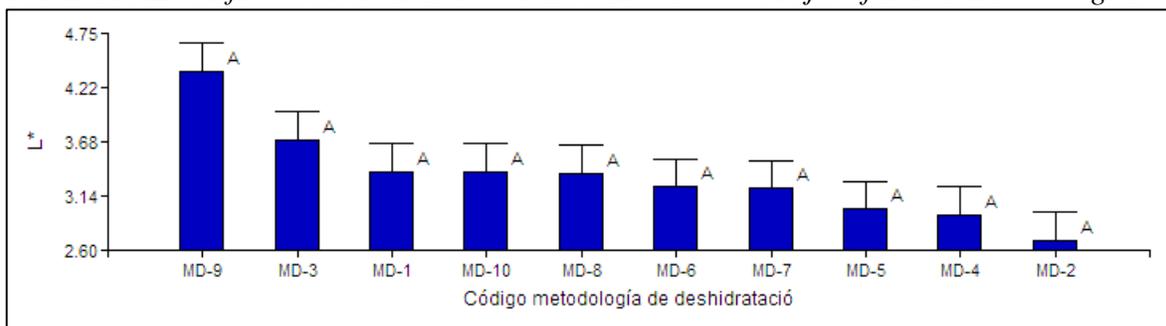
ANDEVA de la variable parámetro L\* del color de frutos de Chile Cahabonero deshidratado, en el sistema CIELab

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo.	5.71	9	0.63	2.63	
Código metodología de desh..	5.71	9	0.63	2.63	0.03
Error	4.82	20	0.24		
Total	10.54	29			

Fuente: Elaboración propia, 2020

### Gráfico 13.

Parámetro  $L^*$  de frutos de chile Cahabonero deshidratados bajo diferentes metodologías



Fuente: Elaboración propia, 2020

### 6.3.2. Variable parámetro $a^*$ del producto final deshidratado de chile Cahabonero en el sistema de color CIELab

Respecto al parámetro representado en el eje horizontal  $a^*$ , representa una medida del contenido de rojo o de verde de un color. Si un color tiene rojo,  $a^*$  será positiva, mientras que, si un color tiene verde,  $a^*$  será negativa. De acuerdo a los datos obtenidos, existe diferencia significativa por lo que los tratamientos tienden a presentar color diferente respecto al parámetro  $a^*$ .

En tal análisis, únicamente el tratamiento MD-4 correspondiente a la deshidratación al suelo sobre plástico polietileno presenta el mayor valor con una tendencia roja, esto debido a que no existe mucha variación en su coloración posterior al secado, sin embargo la preferencia del mercado es de un chile con tonalidades oscuras por lo que los demás tratamientos cumplen perfectamente tal condición, en comparación al tratamiento en mención.

### Tabla 21.

ANDEVA de la variable parámetro  $a^*$  del color de frutos de chile Cahabonero deshidratado, en el sistema CIELab

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo.	11.95	9	1.33	5.04	
Código metodología de desh..	11.95	9	1.33	5.04	<0.001
Error	5.27	20	0.26		
Total	17.22	29			

Fuente: Elaboración propia, 2020

### Tabla 22.

Prueba de medias Test: Scott & Knott para la variable variable parámetro  $a^*$  del color de frutos de chile Cahabonero deshidratado, en el sistema CIELab; 0.2636 gl: 20

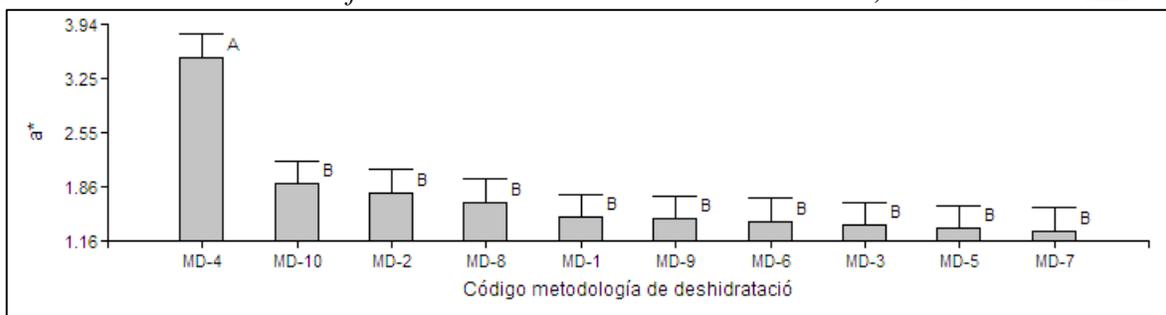
Código metodología deshidratación	Medias	Agrupación
MD-4	3.52	A
MD-10	1.89	B
MD-2	1.78	B
MD-8	1.66	B

MD-1	1.46		B
MD-9	1.44		B
MD-6	1.41		B
MD-3	1.36		B
MD-5	1.33		B
MD-7	1.29		B

Fuente: Elaboración propia, 2020

#### Gráfico 14.

Parámetro a\* del color de frutos de chile Cahabonero deshidratado, en el sistema CIELab



Fuente: Elaboración propia, 2020

### 6.3.2. Variable parámetro b\* del producto final deshidratado de chile Cahabonero en el sistema de color CIELab

De acuerdo al parámetro ubicado en el eje horizontal b\*, perpendicular al eje a\*, representa una medida del contenido de amarillo o de azul de un color. Valores positivos de b\* indican contenido de amarillo, mientras valores negativos de b\* indican contenido de azul. Por tal, en el análisis se definió que existen diferencias significativas por lo que en los tratamientos se obtienen resultados diferentes de acuerdo a la metodología de deshidratación.

#### Tabla 23.

ANDEVA de la variable parámetro b\* del color de frutos de chile Cahabonero deshidratado, en el sistema CIELab

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo.	9.04	9	1.00	11.72	
Código metodología de desh..	9.04	9	1.00	11.72	<0.001
Error	1.71	20	0.09		
Total	10.76	29			

Fuente: Elaboración propia, 2020

En la prueba Scott-Knott se determinó que para la variable parámetro b\*, la agrupación de mayor valor de b\* se encuentra en los tratamientos MD-4 correspondiente a sobre suelo con plástico polietileno y MD-2 sobre suelo sol directo, con plástico polietileno y concreto. Como se observa en éstos, tales tratamientos indican mayor contenido de amarillo, debido a la que la deshidratación no permite la obtención de color rojo oscuro característico del chile Cahabonero y que es apreciado por los consumidores, lo que puede restarle valor económico en comparación a los demás tratamientos.

**Tabla 24.**

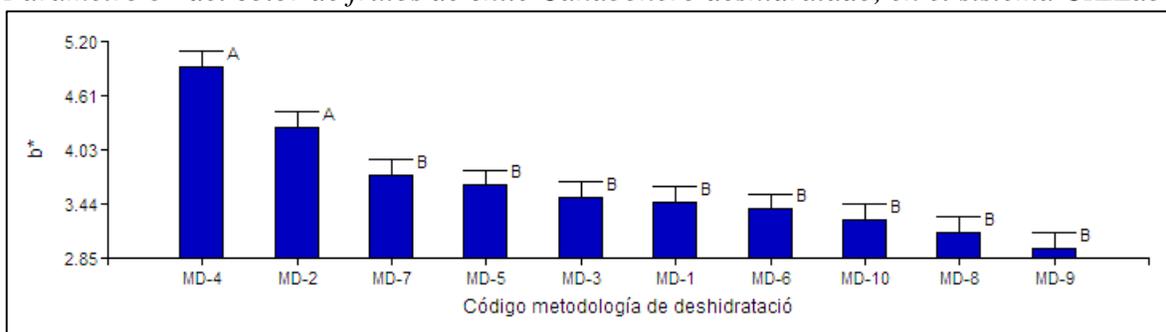
Prueba de medias Test: Scott & Knott para la variable parámetro  $b^*$  del color de frutos de chile Cahabonero deshidratado, en el sistema CIELab; Error: 0.0857 gl: 20

Código metodología deshidratación	Medias	Agrupación
MD-4	4.92	A
MD-2	4.26	A
MD-7	3.75	B
MD-5	3.64	B
MD-3	3.51	B
MD-1	3.46	B
MD-6	3.38	B
MD-10	3.27	B
MD-8	3.13	B
MD-9	2.96	B

Fuente: Elaboración propia, 2020

**Gráfico 15.**

Parámetro  $b^*$  del color de frutos de chile Cahabonero deshidratado, en el sistema CIELab



Fuente: Elaboración propia, 2020

El color es un importante atributo de la calidad de los alimentos deshidratados, y un indicador del proceso mismo, además de ser uno de los atributos organolépticos de mayor impacto sobre la decisión de los consumidores de adquirir un producto (Avila & Silva, 1999)

#### 6.4. Análisis financiero y rentabilidad

Todos los tratamientos representa un costo, inicialmente basados en

**Tabla 25.**

*Costos fijos en la deshidratación de chile Cahabonero (para 1 quintal de frutos frescos)*

<b>Costos fijos de implementación de metodología de deshidratación de chile Cahabonero</b>				
<b>I. COSTOS DIRECTOS</b>				
	Unidad	Cantidad	Precio Unitario	Precio total
Renta de área para deshidratación	Ciclo	1	Q5.00	Q5.00
Chile Cahabonero fresco; basado en una media tomada en la práctica, para la producción la relación fresco se considera posteriormente el porcentaje de peso conservado, esto en el análisis general de rentabilidad en la tabla 27	Libras	100	Q8.00	Q800.00
Costo fijo que se refiere al ingreso de 1 quintal de producto fresco al proceso de deshidratación				<b>Q805.00</b>

Fuente: Elaboración propia, 2020

En la tabla 25 se puede observar que el costo fijo de un quintal de fruto fresco es de Q800.00. En el caso de los actores locales, éste material es producido por ellos mismos por lo que no se requiere de adquirirlo de otra fuente. Se considera el costo de Q5.00 de renta de terreno por quintal, sin embargo, si el productor utiliza un área de su propiedad, éste costo ya representa un ingreso para el mismo.

De acuerdo a los datos obtenidos, el costo variable de deshidratación de un quintal de chile fresco, varía conforme su estructura (construcción), personal necesario para la realización de la actividad completa hasta adquirir las características para su comercialización. De acuerdo a lo observado con el secado al fuego MD-6 se tienen los mayores costos por mano de obra al alcanzar los Q101.43 por quintal fresco, también representa altos costos de producción en el uso de madera, con hasta Q12.50 y leña alcanzando los Q30.00 por quintal fresco. Por otro lado algunos tratamientos como el de tipo túnel presentan valores altos por el uso de plástico tri-capa con protección ultravioleta para invernaderos, sin embargo los costos se reducen cuando se consideran los usos que se le dará a la estructura.

**Tabla 26.**

*Costos variables en la deshidratación de Chile Cahabonero (para la producción de 1 quintal de frutos deshidratados)*

Código Metodología a Deshidratación	Descripción de metodología de deshidratación	Capacidad de deshidratación (quintales)	Usos	COSTOS VARIABLES													
				No. De Jornales	Precio día Jornal	Costo total Mano de obra/Quintal	Costo madera (reglas y tablas)	Costo madera/quintal	Costo plástico negro	Costo plástico negro/quintal	Costo plástico para invernadero tricapa	Costo plástico para invernadero tricapa/quintal	Costo sarán	Costo sarán/quintal deshidratado	Costo otros insumos (tubos PVC, reglas de madera, varillas lisas y malla)	Costo otros insumos/quintal	Costo total variable/quintal
MD-1	Fuego + Sol en estructura tipo domo	4.0	30.0	1.50	Q90.16	Q33.81	300.0	Q2.50	0.0	Q0.00	371.0	Q3.09	932.0	7.8	309.0	2.6	Q49.74
MD-2	Sol directo, con plástico polietileno y concreto	5.0	4.0	0.50	Q90.16	Q9.02	0.0	Q0.00	200.0	Q4.44	Q0.00	Q0.00	0.0	0.0	200.0	10.0	Q23.45
MD-3	Parihuela y plástico polietileno	5.0	4.0	0.50	Q90.16	Q9.02	200.0	Q10.00	200.0	Q4.44	Q0.00	Q0.00	0.0	0.0	50.0	2.5	Q25.95
MD-4	Sobre suelo con plástico polietileno	5.0	4.0	0.50	Q90.16	Q9.02	0.0	Q0.00	200.0	Q4.44	Q0.00	Q0.00	0.0	0.0	0.0	0.0	Q13.45
MD-5	Parihuela y malla tipo sombra - sarán	6.0	4.0	0.50	Q90.16	Q7.51	200.0	Q8.33	0.0	Q0.00	Q0.00	Q0.00	932.0	38.8	50.0	2.1	Q56.76
MD-6	Secado al fuego	2.0	1.0	2.25	Q90.16	Q101.43	25.0	Q12.50	0.0	Q0.00	Q0.00	Q0.00	0.0	0.0	60.0	30.0	Q143.93
MD-7	Parihuela y petate de calá	6.0	4.0	0.50	Q90.16	Q7.51	200.0	Q8.33	0.0	Q0.00	Q0.00	Q0.00	0	0.0	200	8.3	Q24.18
MD-8	Tipo domo alto y plástico polietileno	10.0	30.0	0.50	Q90.16	Q4.51	300.0	Q1.00	200.0	Q4.44	371.0	Q1.24	0	0.0	309.0	1.0	Q12.21
MD-9	Tipo domo alto y malla tipo sombra - sarán	10.0	30.0	0.50	Q90.16	Q4.51	300.0	Q1.00	0.0	Q0.00	371.0	Q1.24	932.0	3.1	309.0	1.0	Q10.88
MD-10	Tipo domo compacto y malla tipo sombra - sarán	2.0	30.0	0.50	Q90.16	Q22.54	250.0	Q4.17	0.0	Q0.00	252.0	Q4.20	600.0	10.0	300	5.0	Q45.91

Fuente: Elaboración propia, 2020

De acuerdo a la tabla 26, los costos más altos generales se obtienen al deshidratar con fuego con hasta Q143.93 por quintal fresco y el menor costo con el deshidratador tipo túnel (domo alto) y malla sarán con un costo de Q10.88 por quintal de Chile fresco, seguido del mismo túnel pero con plástico negro polietileno que representa un costo de Q12.21. Sin embargo, debido a las características de color, humedad y características químicas, se comprobó que el uso de sarán es mejor, que a la vez presenta el menor costo variable de deshidratación de un quintal de Chile Cahabonero fresco.

**Tabla 27.***Análisis de costo-beneficio e índice neto de rentabilidad*

ANÁLISIS DE COSTO BENEFICIO -Índice Neto de Rentabilidad									
CÓDIGO DE METODOLOGÍA DE DESHIDRATACIÓN	DESCRIPCIÓN DE TRATAMIENTOS	COSTOS FIJOS Por quintal	COSTOS VARIABLES Por quintal	COSTO TOTAL Por quintal	LIBRAS DE CHILE DESHIDRATADO (Por 100 libras de frutos frescos)	PRECIO DE VENTA de 1 quintal de chile de acuerdo a metodología de deshidratación*	BENEFICIO FINAL (Por quintal de chile en fresco ingresado en el proceso de deshidratación)	B/C	Tasa Marginal 1 %
MD-1	Fuego + Sol en estructura tipo domo	Q805.00	Q49.74	Q854.74	35.47	Q4,000.00	Q1,418.80	1.66	65.99
MD-2	Sol directo, con plástico polietileno y concreto	Q805.00	Q23.45	Q828.45	36.00	Q3,000.00	Q1,080.00	1.30	30.36
MD-3	Parihuela y plástico polietileno	Q805.00	Q25.95	Q830.95	28.53	Q3,000.00	Q855.90	1.03	3.00
MD-4	Sobre suelo con plástico polietileno	Q805.00	Q13.45	Q818.45	33.60	Q3,000.00	Q1,008.00	1.23	23.16
MD-5	Parihuela y malla tipo sombra - sarán	Q805.00	Q56.76	Q861.76	36.67	Q3,500.00	Q1,283.45	1.49	48.93
MD-6	Secado al fuego	Q805.00	Q143.93	Q948.93	35.00	Q4,000.00	Q1,400.00	1.48	47.53
MD-7	Parihuela y petate de calá	Q805.00	Q24.18	Q829.18	34.27	Q3,500.00	Q1,199.45	1.45	44.65
MD-8	Tipo domo alto y plástico polietileno	Q805.00	Q12.21	Q817.21	34.40	Q3,000.00	Q1,032.00	1.26	26.28
MD-9	Tipo domo alto y malla tipo sombra -sarán	Q805.00	Q10.88	Q815.88	34.67	Q4,500.00	Q1,560.15	1.91	91.22
MD-10	Tipo domo compacto y malla tipo sombra - sarán	Q805.00	Q45.91	Q850.91	35.73	Q4,500.00	Q1,607.85	1.89	88.96

\*Precio promedio a mercados mayoristas, en mercados minoristas o en el primer semestre del año los precios alcanzan hasta los Q6000.00, sin embargo es de considerar su almacenamiento y otros elementos que permitan mantener la calidad del producto comercializado.

Fuente: Elaboración propia, 2020

De acuerdo al análisis efectuado, la mejor tasa marginal se obtiene a través del uso de la tecnología de deshidratación solar tipo domo (o tipo túnel) y malla sarán en sus mesas de secado donde por cada quetzal invertido, se tiene una utilidad neta de 91 centavos (91.22% de utilidad). Por lo tanto se recomienda el uso de tal tecnología para la optimización de recursos y por su practicidad en el uso.

Como segundo mejor tratamiento se encuentra el domo compacto (de menor tamaño), que integra el uso de malla sarán con una utilidad de 88.9 centavos de quetzal, por quetzal invertido.

### 6.5. Evaluación de tecnologías de molienda y determinación de parámetros del material molido

Para la fase de evaluación de metodologías de molienda, se evaluaron tres equipos, siendo estos: el molino manual de tolva baja con tapa, marca Corona (tradicionalmente utilizado en Santa María Cahabón para la molienda de los frutos deshidratados y granos básicos); y dos trituradoras eléctricas (BIZOEPRO Electric 1500W y APWONE 35.27).

Inicialmente se armaron los equipos, a través de las guías provistas por el fabricante, seguidamente se realizaron las primeras pruebas, para verificar el correcto funcionamiento de cada equipo. Seguidamente se determinó una cantidad a utilizar en cada metodología para su posterior evaluación, para el efecto se utilizaron 0.5 libras de frutos deshidratados, que fueron introducidos en cada equipo.

Finalmente se realizaron diferentes mediciones del material molido con las tecnologías evaluadas para realizar las comparaciones de las características del chile, a través de parámetros como: pH, color y granulometría; para el efecto se utilizaron un colorímetro, potenciómetro, y tamices de diferentes números (20, 40, 60, 80 y 100.), por último también fue necesaria la utilización de una balanza digital, para determinar la proporción de material obtenido por tipo de tamiz.

La granulometría es expresada normalmente en la prueba U.S. Standard Sieve con ayuda de una criba o pila de mallas o tamices. Las mallas o tamices se pueden utilizar en las pilas, para dividir los granos en varias fracciones de tamaño y por lo tanto determinar las distribuciones de tamaño de partícula. Las mallas o tamices se utilizan generalmente en tamaños de partículas mayores a aproximadamente 50 micras (0,050 mm).

El análisis granulométrico y propiedades físicas y funcionales alimentos molidos, son primordiales para la industria alimenticias, ya que facilita la estandarización y proceso de productos, identificar los requisitos de la materia prima y los parámetros legales respecto al tamaño de las partículas (Bezerra *et al.*, 2018).

Alvarado y Aguilera (2001) indican que el tamaño de la partícula es una de las características más importantes de un producto en polvo (molido), ya que las medidas del tamaño, así como de su distribución, es uno de los métodos para caracterizar polvos más ampliamente utilizado en la industria de alimentos.

#### **6.4.1. Variable tiempo (min) para la trituración de 1 Kg de frutos deshidratados previamente bajo túnel y malla saran, a través de 3 tipos de equipos de molienda-trituración**

Se sometieron las diferentes tecnologías a diferentes tiempos de deshidratación, con lo cual se definió que existe diferencia estadística en el tiempo de trituración de 1 kilogramo de frutos deshidratados. En la presente prueba se consideraron frutos obtenidos del deshidratador tipo domo (o túnel) y malla sarán.

**Tabla 28.**

*ANDEVA variable tiempo (min) para la trituración de 1 Kg de frutos deshidratados previamente bajo túnel y malla saran, a través de 3 tipos de equipos de molienda-trituración*

<b>F.V.</b>	<b>SC</b>	<b>gl</b>	<b>CM</b>	<b>F</b>	<b>p-valor</b>
Modelo.	42.48	2	21.24	296.47	
Metodología de Molienda	42.48	2	21.24	296.47	<0.001
Error	0.86	12	0.07		
Total	43.34	14			

Fuente: Elaboración propia, 2020

**Tabla 29**

*Prueba de medias Test: Scott & Knott para la variable tiempo (min) para la trituración de 1 Kg de frutos deshidratados previamente bajo túnel y malla saran, a través de 3 tipos de equipos de molienda-trituración; Error: 0.0716 gl: 12*

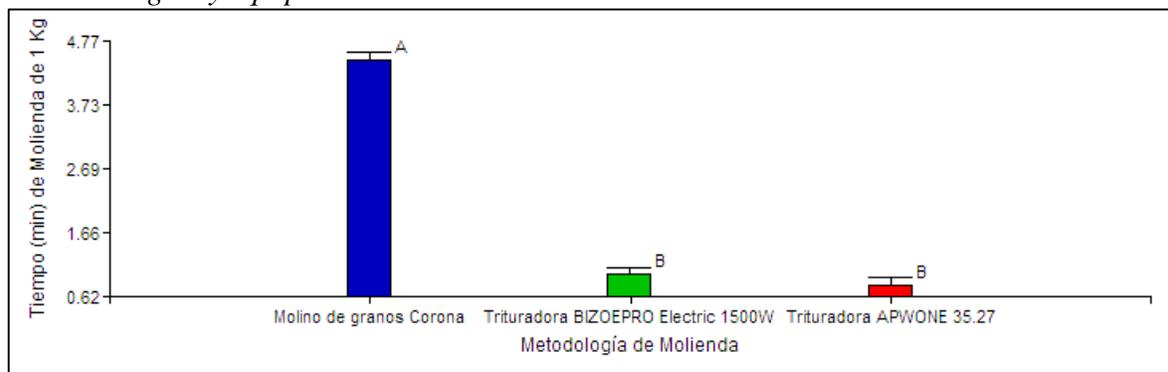
Código metodología de trituración	Medias	Agrupación	
Molino de granos Corona	4.46	A	
Trituradora BIZOEPRO Electric	0.98		B
Trituradora APWONE 35.27	0.81		B

Fuente: Elaboración propia, 2020

De acuerdo a test *Scott & Knott* el tratamiento que mejor tiempo requiere para la trituración de 1 kg de chile Cahabonero deshidratado es el molino de granos, con hasta 4.4 minutos. Los tratamientos a través de las trituradoras eléctricas son estadísticamente iguales al requerir 0.98 y 0.81 minutos respectivamente, por lo que en ambos equipos se optimiza el tiempo y se avanza más por minuto.

**Gráfico 16.**

*Tiempo para la trituración de 1 Kg de chile cahabonero deshidratado en túnel y saran, con 3 metodologías y equipos*



Fuente: Elaboración propia, 2020

#### 6.4.1. Granulometría del chile Cahabonero triturado con 3 equipos diferentes

De acuerdo al análisis de la granulometría, se construyó una base de datos, donde se consideraron 3 repeticiones y se incluyó el número de tamiz (20, 40, 60, 80 y 100). Los valores se refieren al % de chile triturado en cada una de las estructuras y colocada en los tamices, que posterior a su agitación se retuvieron diferente cantidad de chile. Finalmente se pesó para obtener el peso retenido y el total corresponde a 100% de peso.

Los datos obtenidos se presentan en la tabla 29, que posteriormente permitió la generación de un gráfico de puntos. A partir del tiempo para la trituración obtenido previamente para los diferentes equipos, únicamente para el equipo APWONE 35.27 se evaluaron 2 tiempos más ya que el mismo cuenta con una pantalla digital y temporizador que permite el cese de la trituración.

**Tabla 29.***Granulometría del chile Cahabonero triturado en 3 equipos de trituración*

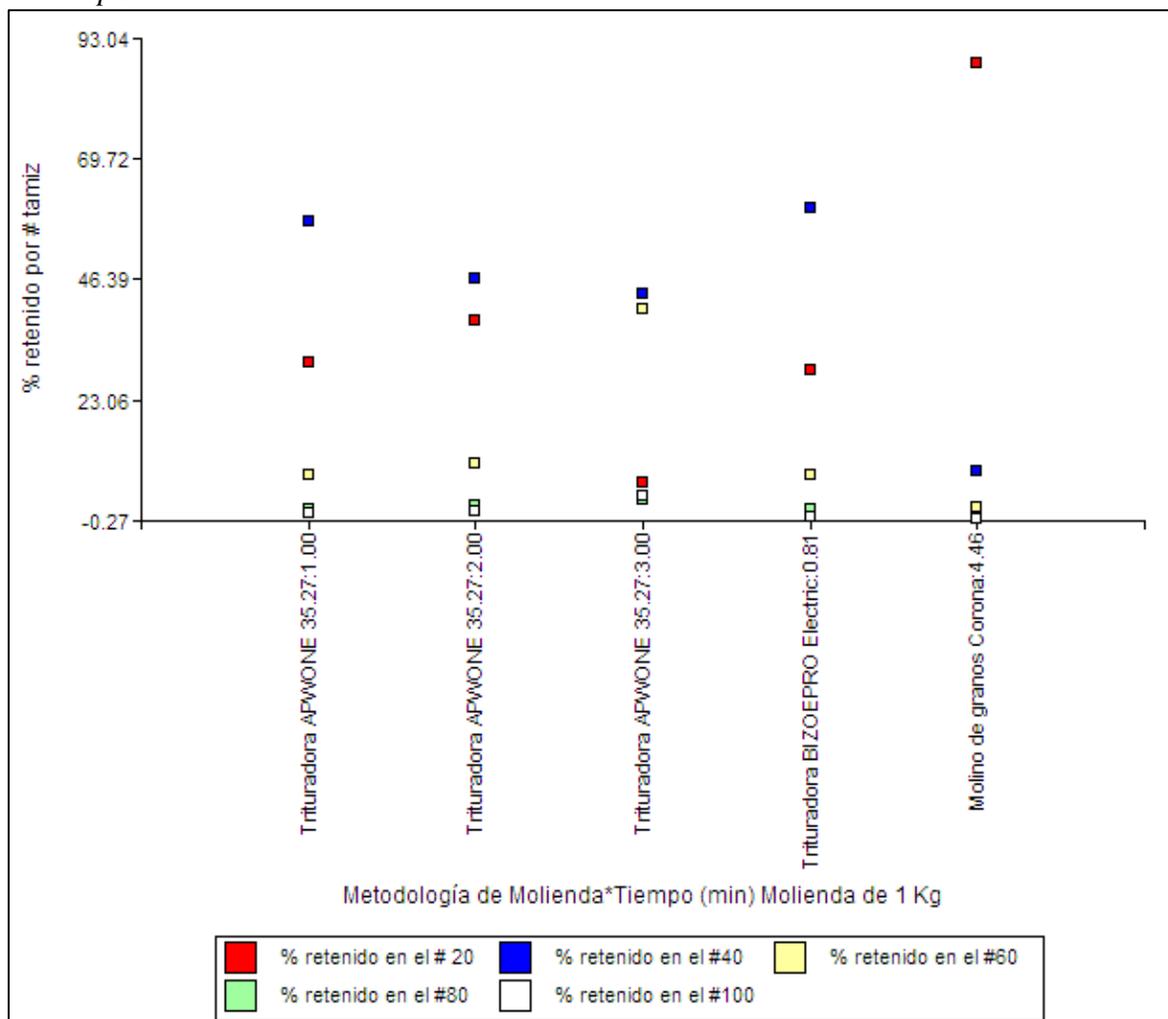
Código Molienda	Metodología de Molienda	Repetición	Tiempo (min) Molien da de 1 Kg	% reteni do en el # 20	% reteni do en el #40	% reteni do en el #60	% reteni do en el #80	% rete nido en el #100	Total
MO-1	Trituradora APWONE 35.27	1	1.00	30.35	57.52	8.41	2.12	1.59	100.00
MO-1	Trituradora APWONE 35.27	2	1.00	29.87	58.58	9.03	1.99	0.53	100.00
MO-1	Trituradora APWONE 35.27	3	1.00	30.75	56.86	8.58	2.17	1.64	100.00
MO-1	Trituradora APWONE 35.27	1	2.00	39.25	46.46	11.28	2.30	0.71	100.00
MO-1	Trituradora APWONE 35.27	2	2.00	38.63	45.40	10.80	2.61	2.57	100.00
MO-1	Trituradora APWONE 35.27	3	2.00	37.70	47.52	10.53	2.83	1.42	100.00
MO-1	Trituradora APWONE 35.27	1	3.00	7.48	44.69	40.88	3.45	3.50	100.00
MO-1	Trituradora APWONE 35.27	2	3.00	7.26	43.54	41.37	3.72	4.12	100.00
MO-1	Trituradora APWONE 35.27	3	3.00	7.08	42.70	40.04	4.16	6.02	100.00
MO-2	Trituradora BIZOEPRO Electric	1	0.81	28.10	60.22	9.29	1.99	0.40	100.00
MO-2	Trituradora BIZOEPRO Electric	2	0.81	29.78	59.12	8.63	2.04	0.44	100.00
MO-2	Trituradora BIZOEPRO Electric	3	0.81	28.89	61.24	8.19	1.50	0.18	100.00
MO-3	Molino de granos Corona	1	4.46	89.16	8.72	2.12	0.00	0.00	100.00
MO-3	Molino de granos Corona	2	4.46	88.72	9.51	1.77	0.00	0.00	100.00
MO-3	Molino de granos Corona	3	4.46	87.12	9.29	3.36	0.22	0.00	100.00

Fuente: Elaboración propia, 2020

Se generaron gráficos de acuerdo a cada una de las metodologías, donde se pudo comprobar que de acuerdo a la gráfica 17, se obtienen diferentes % de acuerdo al tiempo en que se somete al equipo para su trituración. En el caso del APWONE se determinó que conforme se aumente el tiempo de su trituración reduce el chile retenido en el tamiz #40 y aumenta el retenido en el #60. Por lo que las condiciones de molienda de 1 minuto por kilogramo presenta las características óptimas, similares a las obtenidas en la trituradora BIOEPRO. En el caso del molino de granos, los gránulos son muy grandes por lo que el mayor porcentaje se ve retenido en el tamiz #20. Por tal, fuera necesario someterlo a una segunda vuelta de trituración para reducir el tamaño y que pueda tener las características que desea el consumidor.

### Gráfico 17.

Porcentaje de gránulos de chile Cahabonero triturado de acuerdo al tamiz 20, 40, 60, 80 y 100, en el uso de 3 equipos y 3 tiempos en el caso de Trituradora APWONE con regulador de tiempo



Fuente: Elaboración propia, 2020

### 3.7. Elaboración y generación de primeras propuestas de presentaciones de productos transformados

Se elaboraron diferentes presentaciones de chile Cahabonero, para su presentación en la actividad de Día de Campo programado para compartir los avances en el proyecto de investigación.

Durante la socialización de avances en el proyecto se contó con un área demostrativa, donde se colocó diferentes presentaciones de agrotransformados de chile Cahabonero deshidratado, siendo estos: en salsa, pasta y molido.

Dichas presentaciones contaron con empaques de distintos materiales, siendo estos: frascos de vidrio y bolsas plásticas; también se colocaron diseños de etiquetas a través de la utilización de papel adhesivo.

Respecto a la tabla de información nutricional se desarrollaron de acuerdo al Reglamento Técnico Centroamericano, RTCA 67.01.60:10. Referente al “Etiquetado nutricional de productos alimenticios preenvasados para consumo humano para la población a partir de 3 años de edad”, que según se define, se consideraron las siguientes:

- La declaración del contenido de nutrientes se hizo en forma numérica.
- La información sobre el valor energético se expresó en kJ (opcionalmente se puede declarar el valor en Kcal y Cal) por 100 g o por 100 mL, o por porción, si se indica el número de porciones contenidas en el envase.
- La información sobre la cantidad de proteínas, carbohidratos, fibra dietética y grasas que contienen los alimentos se expresaron en gramos por 100 g o 100 mL o por porción, si se indica el número de porciones contenidas en el envase.
- La información numérica sobre vitaminas y minerales se expresó en unidades del Sistema Internacional (SI) o en porcentaje del valor de referencia del nutriente (VRN). De referencia o en ambas, por 100 g o por 100 mL o por porción, si se indica el número de porciones contenidas en el envase.
- Los VRN utilizados son los establecidos por FAO/OMS.

Los valores de la tabla de información nutricional están basados en la tabla de composición de alimentos (TCA) del Instituto de Nutrición de Centro América y Panamá (INCAP).

### 6.7.1. Presentaciones de Chile Cahabonero en polvo

**Tabla 30.**

*Ingredientes para la preparación de presentación No.1 de Chile Cahabonero en polvo*

<i>Presentación de Chile Cahabonero</i>		<b>Chile Cahabonero en polvo No. 1</b>				
<i>Código asignado</i>		<b>CCHAB-PO-01</b>				
<b>Ingredientes para su preparación y cantidades</b>						
<b>Cantidad de ingrediente</b>					<b>Ingredientes por cada 100 g de alimento</b>	
<b>Nombre del ingrediente</b>	<b>Cantidad</b>	<b>Descripción</b>	<b>Peso unitario (g)</b>	<b>Total (g)</b>	<b>g de ingrediente/100 g de alimento producido</b>	<b>Porcentaje (%)</b>
Chile deshidratado	1	Libra	453.59	453.59	100.00	100.00
<b>TOTAL</b>				<b>453.59</b>	<b>100.00</b>	<b>100.00</b>

Fuente: Elaboración propia, 2020

Se generaron tablas nutricionales, con base al Reglamento técnico centroamericano RTCA 67.01.60:10 etiquetado nutricional de productos alimenticios preenvasados para consumo humano para la población a partir de 3 años de edad.

**Tabla 31.**

*Ingredientes para la preparación de presentación No.2 de chile cahabonero en polvo*

<i>Presentación de chile cahabonero</i>		<b>Chile cahabonero en polvo No. 2</b>				
<i>Código asignado</i>		<b>CCHAB-PO-02</b>				
<b>Ingredientes para su preparación y cantidades</b>						
<b>Cantidad de ingrediente</b>					<b>Ingredientes por cada 100 g de alimento</b>	
<b>Nombre del ingrediente</b>	<b>Cantidad</b>	<b>Descripción</b>	<b>Peso unitario (g)</b>	<b>Total (g)</b>	<b>g de ingrediente/100 g de alimento producido</b>	<b>Porcentaje (%)</b>
Chile deshidratado	1.00	Libra	453.59	453.59	96.18	96.18
Sal	1.00	cucharadas	18.00	18.00	3.82	3.82
<b>TOTAL</b>				<b>471.59</b>	<b>100.00</b>	<b>100.00</b>

Fuente: Elaboración propia, 2020

**Tabla 32.**

*Ingredientes para la preparación de presentación No.3 de chile cahabonero en polvo*

<i>Presentación de chile cahabonero</i>		<b>Chile cahabonero en polvo No. 3</b>				
<i>Código asignado</i>		<b>CCHAB-PO-03</b>				
<b>Ingredientes para su preparación y cantidades</b>						
<b>Cantidad de ingrediente</b>					<b>Ingredientes por cada 100 g de alimento</b>	
<b>Nombre del ingrediente</b>	<b>Cantidad</b>	<b>Descripción</b>	<b>Peso unitario (g)</b>	<b>Total (g)</b>	<b>g de ingrediente/100 g de alimento producido</b>	<b>Porcentaje (%)</b>
Chile deshidratado	1	Libra	453.59	453.59	96.18	96.18
Sal	0.5	cucharadas	18.00	9.00	1.91	1.91
Ajo molido	1	Cucharadita	9.00	9.00	1.91	1.91
Cebolla en polvo	1	Cucharadita	9.00	9.00	1.91	1.91
<b>TOTAL</b>				<b>471.59</b>	<b>100.00</b>	<b>100.00</b>

Fuente: Elaboración propia, 2020

## 6.7.2. Presentaciones de chile en pasta

**Tabla 33.**

*Ingredientes para la preparación de presentación No.1 de chile cahabonero en pasta*

<i>Presentación de chile cahabonero</i>		<b>Chile cahabonero en pasta No. 1</b>				
<i>Código asignado</i>		<b>CCHAB- PA-01</b>				
<b>Ingredientes para su preparación y cantidades</b>						
<b>Cantidad de ingrediente</b>					<b>Ingredientes por cada 100 g de alimento</b>	
<b>Nombre del ingrediente</b>	<b>Cantidad</b>	<b>Descripción</b>	<b>Peso unitario (g)</b>	<b>Total (g)</b>	<b>g de ingrediente/100 g de alimento producido</b>	<b>Porcentaje (%)</b>
Chile deshidratado	1.00	Libra	453.59	453.59	79.58	79.58
Aceite vegetal	4.00	cucharadas	12.00	48.00	8.42	8.42
Sal	1.00	cucharada	18.00	18.00	3.16	3.16
Vinagre	0.13	taza	243.00	30.38	5.33	5.33
Cilantro	1.00	manejo pequeño	20.00	20.00	3.51	3.51
<b>TOTAL</b>				<b>569.97</b>	<b>100.00</b>	<b>100.00</b>

Fuente: Elaboración propia, 2020

**Tabla 34.**

*Información nutricional de la preparación de presentación No.1 de chile cahabonero en pasta, basado en RTCA 67.01.60:10 y Composición de alimentos de Centroamericana del INCAP*

<b>Información Nutricional</b>		
Porción: 1 cucharadita (8 g)		
Porciones por envase: 71		
	100 g	8 g
Energía	325 g	26 g
Proteína	10 g	1 g
Grasa Total	14 g	1 g
Carbohidratos	51 g	4 g
Sodio	576 mg	46 mg
Potasio	12420 mg	99 mg

Fuente: Elaboración propia, 2020

**Tabla 35.***Ingredientes para la preparación de presentación No.2 de chile cahabonero en pasta*

<i>Presentación de chile cahabonero</i>		<b>Chile cahabonero en pasta No. 2</b>				
<i>Código asignado</i>		<b>CCHAB- PA-02</b>				
<b>Ingredientes para su preparación y cantidades</b>						
<b>Cantidad de ingrediente</b>					<b>Ingredientes por cada 100 g de alimento</b>	
<b>Nombre del ingrediente</b>	<b>Cantidad</b>	<b>Descripción</b>	<b>Peso unitario (g)</b>	<b>Total (g)</b>	<b>g de ingrediente/100 g de alimento producido</b>	<b>Porcentaje (%)</b>
Chile deshidratado	1.00	Libra	453.59	453.59	77.46	77.46
Aceite vegetal	8.00	cucharadas	12.00	96.00	16.39	16.39
Sal	2.00	cucharada	18.00	36.00	6.15	6.15
<b>TOTAL</b>				<b>585.59</b>	<b>100.00</b>	<b>100.00</b>

Fuente: Elaboración propia, 2020

**Tabla 36.***Información nutricional de la preparación de presentación No.2 de chile cahabonero en pasta, basado en RTCA 67.01.60:10 y Composición de alimentos de Centroamericana del INCAP*

<b>Información Nutricional</b>		
Porción: 1 cucharadita (8 g)		
Porciones por envase: 73		
	100 g	8 g
Energía	386 g	29 g
Proteína	10 g	0.8 g
Grasa Total	21 g	2 g
Carbohidratos	49 g	4 g
Sodio	491 mg	3.9 mg
Potasio	23810 mg	1905 mg

Fuente: Elaboración propia, 2020

**Tabla 37.***Ingredientes para la preparación de presentación No.3 de chile cahabonero en pasta*

<i>Presentación de chile cahabonero</i>		<b>Chile cahabonero en pasta No. 3</b>				
<i>Código asignado</i>		<b>CCHAB- PA-03</b>				
<b>Ingredientes para su preparación y cantidades</b>						
<b>Cantidad de ingrediente</b>					<b>Ingredientes por cada 100 g de alimento</b>	
<b>Nombre del ingrediente</b>	<b>Cantidad</b>	<b>Descripción</b>	<b>Peso unitario (g)</b>	<b>Total (g)</b>	<b>g de ingrediente/100 g de alimento producido</b>	<b>Porcentaje (%)</b>
Chile deshidratado	1.00	Libra	453.59	453.59	73.64	73.64
Aceite vegetal	8.00	cucharadas	12.00	96.00	15.59	15.59
Sal	2.00	cucharada	18.00	36.00	5.84	5.84
Vinagre	0.13	taza	243.00	30.38	4.93	4.93
<b>TOTAL</b>				<b>615.97</b>	<b>100.00</b>	<b>100.00</b>

Fuente: Elaboración propia, 2020

**Tabla 38.***Información nutricional de la preparación de presentación No.3 de chile cahabonero en pasta, basado en RTCA 67.01.60:10 y Composición de alimentos de Centroamericana del INCAP*

<b>Información Nutricional</b>		
Porción: 1 cucharadita (8 g)		
Porciones por envase: 77		
	100 g	8 g
Energía	369 g	29 g
Proteína	10 g	0.8 g
Grasa Total	20 g	1.6 g
Carbohidratos	47 g	4 g
Sodio	4071 mg	325 mg
Potasio	22653 mg	1812 mg

Fuente: Elaboración propia, 2020

**Tabla 39.***Ingredientes para la preparación de presentación No.4 de chile cahabonero en pasta*

<b>Presentación de chile cahabonero</b>		<b>Chile cahabonero en pasta No. 4</b>				
<b>Código asignado</b>		<b>CCHAB- PA-04</b>				
<b>Ingredientes para su preparación y cantidades</b>						
<b>Cantidad de ingrediente</b>					<b>Ingredientes por cada 100 g de alimento</b>	
<b>Nombre del ingrediente</b>	<b>Cantidad</b>	<b>Descripción</b>	<b>Peso unitario (g)</b>	<b>Total (g)</b>	<b>g de ingrediente/100 g de alimento producido</b>	<b>Porcentaje (%)</b>
Chile seco deshidratado o tostado	1.00	Libra	453.59	453.59	81.59	81.59
Aceite vegetal	6.00	cucharadas	12.00	72.00	12.95	12.95
Vinagre	0.13	taza	243.00	30.38	5.46	5.46
				<b>555.97</b>	<b>100.00</b>	<b>100.00</b>

Fuente: Elaboración propia, 2020

**Tabla 40.***Información nutricional de la preparación de presentación No.4 de chile cahabonero en pasta, basado en RTCA 67.01.60:10 y Composición de alimentos de Centroamericana del INCAP*

<b>Información Nutricional</b>		
Porción: 1 cucharadita (8 g)		
Porciones por envase: 70		
	100 g	8 g
Energía	370 g	30 g
Proteína	11 g	0.8 g
Grasa Total	18 g	1.4 g
Carbohidratos	52 g	4.1 g
Sodio	399 mg	32
Potasio	273mg	22 mg

Fuente: Elaboración propia, 2020

### 6.7.3. Chile cahabonero en salsa

Deberá ser de vidrio o de un material que proteja al producto de la contaminación ambiental; que sea inerte a la acción del contenido y que no comunice a este, sabores extraños. Deberá ser impermeable al aceite o al agua. Envasado en frasco de vidrio de capacidad entre 100 y 200g con tapa metálica recubierta, tipo “*twist – off*”.

El vidrio es un material casi perfecto, ya que es inerte, impermeable, resistente a la acción química y el transparente. Sin embargo tiene los inconvenientes de ser pesado, frágil y poseer malas propiedades frente al choque térmico. Por ello exige unas condiciones de manipulación más delicadas que otros materiales y cuidándose control de tratamiento térmico para evitar su rotura debido al mismo. Tradicionalmente los materiales de empaque han sido seleccionados en un sentido de tener la mínima interacción con el alimento que acondiciona, constituido así barreras inertes. En ese sentido convencional un empaque aumenta la seguridad del alimento de acuerdo con los siguientes mecanismos: barreras, la contaminación (microbiológica y química) y la prevención de la migración de sus propios alimentos.

Durante mucho tiempo las industrias han sufrido constantes cambios para que se adapten a las crecientes exigencias de los consumidores. Las demandas por productos mínimamente procesados sensorialmente parecidos a los naturales han impuesto nuevos requerimientos a los empaques que deben asegurar una vida anaquel a los alimentos. (Azeredo, 2000). El envase apropiado es el que soluciona problemas fisiológicos propios de la fruta u hortaliza, la protege prolongando su conservación y, al mismo tiempo, resalta su presentación sin incrementar considerablemente el precio del producto final. (Raimondo *et al.*, 2002).

**Tabla 41.**

*Ingredientes para la preparación de presentación No.1 de salsa de chile cahabonero*

<b>Presentación de chile cahabonero</b>		<b>Salsa de chile cahabonero, No. 1</b>				
<b>Código asignado</b>		<b>CCHAB- SA-01</b>				
<b>Ingredientes para su preparación y cantidades</b>						
<b>Cantidad de ingrediente</b>					<b>Ingredientes por cada 100 g de alimento</b>	
<b>Nombre del ingrediente</b>	<b>Cantidad</b>	<b>Descripción</b>	<b>Peso unitario (g)</b>	<b>Total (g)</b>	<b>g de ingrediente/ 100 g de alimento producido</b>	<b>Porcentaje (%)</b>
Chile deshidratado	1.00	Libra	453.59	453.59	43.91	43.91
Tomate de árbol	4.00	Unidades	65.00	260.00	25.17	25.17
Ajo	2.00	Cabezas	15.00	30.00	2.90	2.90
Aceite vegetal	8.00	cucharadas	12.00	96.00	9.29	9.29
Vinagre	0.50	taza	243.00	121.50	11.76	11.76

Sal	4.00	cucharadas	18.00	72.00	6.97	6.97
<b>TOTAL</b>				<b>1033.09</b>	<b>100.00</b>	<b>100.00</b>

Fuente: Elaboración propia, 2020

**Tabla 42.**

*Información nutricional de la preparación de presentación No.1 de chile cahabonero en salsa, basado en RTCA 67.01.60:10 y Composición de alimentos de Centroamericana del INCAP*

Información Nutricional		
Porción: 1 cucharadita (8 g)		
Porciones por envase: 129		
	100 g	8 g
Energía	238 g	19 g
Proteína	6 g	0.5 g
Grasa Total	12 g	1 g
Carbohidratos	31 g	2.5 g
Sodio	245 mg	2 mg
Potasio	27022 mg	2162 mg

Fuente: Elaboración propia, 2020

**Tabla 43.**

*Ingredientes para la preparación de presentación No.2 de salsa de chile cahabonero*

Presentación de chile cahabonero		Salsa de chile cahabonero, No. 2				
Código asignado		CCHAB- SA-02				
Ingredientes para su preparación y cantidades						
Cantidad de ingrediente					Ingredientes por cada 100 g de alimento	
Nombre del ingrediente	Cantidad	Descripción	Peso unitario (g)	Total (g)	g de ingrediente/100 g de alimento producido	Porcentaje (%)
Chile deshidratado	1.00	Libra	453.59	453.59	32.34	32.34
Tomate de árbol	8.00	Unidades	65.00	520.00	37.07	37.07
Ajo	2.00	Cabezas	15.00	30.00	2.14	2.14
Aceite vegetal	0.50	taza	240.00	120.00	8.56	8.56
Vinagre	1.00	taza	243.00	243.00	17.33	17.33
Sal	2.00	cucharadas	18.00	36.00	2.57	2.57
<b>TOTAL</b>				<b>1402.59</b>	<b>100.00</b>	<b>100.00</b>

Fuente: Elaboración propia, 2020

**Tabla 44.**

Información nutricional de la preparación de presentación No.2 de chile cahabonero en pasta, basado en RTCA 67.01.60:10 y Composición de alimentos de Centroamericana del INCAP

Información Nutricional		
Porción: 1 cucharadita (8 g)		
Porciones por envase: 175		
	100 g	8 g
Energía	202 g	16 g
Proteína	5 g	0.4 g
Grasa Total	11 g	1 g
Carbohidratos	25 g	2 g
Sodio	242 mg	2 mg
Potasio	9960 mg	797 mg

Fuente: Elaboración propia, 2020

**Tabla 45.**

Ingredientes para la preparación de presentación No.3 de salsa de chile cahabonero

<i>Presentación de chile cahab.</i>		<b>Salsa de chile cahabonero, No. 3</b>				
<i>Código asignado</i>		<b>CCHAB- SA-03</b>				
<b>Ingredientes para su preparación y cantidades</b>						
<b>Cantidad de ingrediente</b>					<b>Ingredientes por cada 100 g de alimento</b>	
<b>Nombre del ingrediente</b>	<b>Cantidad</b>	<b>Descripción</b>	<b>Peso unitario (g)</b>	<b>Total (g)</b>	<b>g de ingrediente/ 100 g de alimento producido</b>	<b>Porcentaje (%)</b>
Chile deshidratado	1.00	Libra	453.59	453.59	24.68	24.68
Tomate de árbol	10.00	Unidades	65.00	650.00	35.37	35.37
Ajo	2.00	Cabezas	15.00	30.00	1.63	1.63
Aceite vegetal	1.00	taza	240.00	240.00	13.06	13.06
Vinagre	1.00	taza	243.00	243.00	13.22	13.22
Sal	4.00	cucharadas	18.00	72.00	3.92	3.92
Agua	0.50	taza	250.00	125.00	6.80	6.80
Aceite de oliva	2.00	cucharadas	12.00	24.00	1.31	1.31
<b>TOTAL</b>				<b>1837.59</b>	<b>100.00</b>	<b>100.00</b>

Fuente: Elaboración propia, 2020

**Tabla 46.**

*Información nutricional de la preparación de presentación No.3 de chile cahabonero en pasta, basado en RTCA 67.01.60:10 y Composición de alimentos de Centroamericana del INCAP*

<b>Información Nutricional</b>		
Porción: 1 cucharadita (8 g) Porciones por envase: 230		
	100 g	8 g
Energía	227 g	18 g
Proteína	4 g	0.3 g
Grasa Total	16 g	1 g
Carbohidratos	20 g	1.6 g
Sodio	190 mg	15 mg
Potasio	15196 mg	1216 mg

Fuente: Elaboración propia, 2020

### **6.8. Evaluación de calidad, plagas poscosecha y características de frutos de chile deshidratado**

Se obtuvo muestras de diferentes chiles deshidratados por diferentes metodologías. En la misma se observó la presencia de daños generados por variaciones de su almacenamiento y la presencia de plagas agrícolas en etapa poscosecha.

- No se detectó presencia de hongos fitopatógenos en ninguno de los recipientes (bolsas plásticas y silobolsas).
- Si se identificó presencia de artrópodos plaga (Lepidópteros) en producto almacenado en plástico transparente, mientras que en silobolsa no hubo presencia.
- Se guardaron muestras en sus etapas larvales y adulto que fueron localizadas, para su diagnóstico y revisión posterior con experiencias de productores de chile cahabonero.

Se generó un resumen del % de frutos dañados considerados 240 días de almacenamiento con dos metodologías de envase, para lo cual se evaluó la bolsa de plástico transparente utilizada comúnmente por los productores y actores locales de la cadena de chile Cahabonero, sin embargo la misma conforme los días empieza a presentar incidencia de plagas poscosecha que limitan su comercialización.

El origen en definitiva tiene que ver con el sellado. Por ser un plástico sin aberturas o entrada de aire para mantener sus condiciones de humedad, se dejan espacios en el cierre de la bolsa que permiten ese ingreso de diferentes agentes que se encargan de dañar la calidad del fruto, de sellar la bolsa completamente, se favorece también la presencia e incidencia de hongos y bacterias fitopatógenas en etapa poscosecha.

**Tabla 47.**

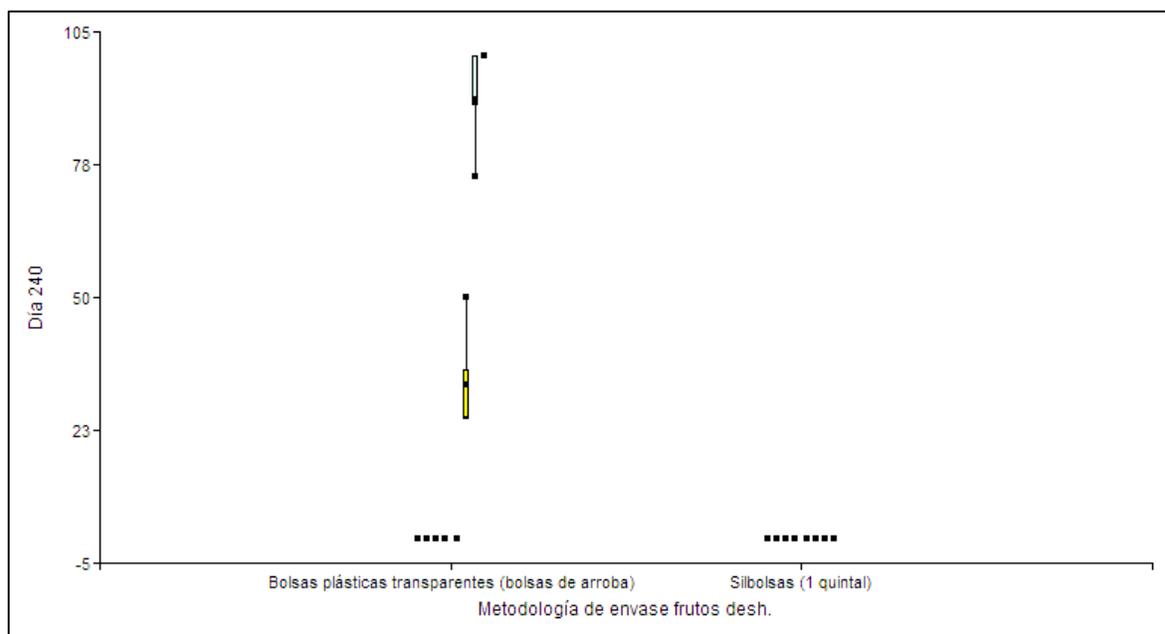
*Porcentaje de frutos deshidratados dañados por plagas poscosecha de acuerdo a dos metodologías de envase para almacenamiento*

Metodología de envase para almacenamiento	Repetición	Día 30	Día 60	Día 90	Día 120	Día 150	Día 180	Día 210	Día 240
Bolsas plásticas transparentes (bolsas de arroba)	1	0	0	0	0	0	35	75	100
Bolsas plásticas transparentes (bolsas de arroba)	2	0	0	0	0	0	25	100	100
Bolsas plásticas transparentes (bolsas de arroba)	3	0	0	0	0	0	25	90	100
Bolsas plásticas transparentes (bolsas de arroba)	4	0	0	0	0	0	50	100	100
Bolsas plásticas transparentes (bolsas de arroba)	5	0	0	0	0	0	25	90	100
Silbolsas (1 quintal)	1	0	0	0	0	0	0	0	0
Silbolsas (1 quintal)	2	0	0	0	0	0	0	0	0
Silbolsas (1 quintal)	3	0	0	0	0	0	0	0	0
Silbolsas (1 quintal)	4	0	0	0	0	0	0	0	0
Silbolsas (1 quintal)	5	0	0	0	0	0	0	0	0

Fuente: Elaboración propia, 2020

**Gráfica 18.**

*Gráficos box-plot del daño por plagas poscosecha (lepidópteros) de acuerdo al tipo de envase para almacenamiento*



Fuente: Elaboración propia, 2020

La opción que se presenta en definitiva, es el uso de las silbolsas con capacidad de 1 quintal de chile deshidratado, ya que por sus características permite el intercambio gaseoso

y al mantenerse en oscuridad, los cambios de sus características fisicoquímicas son mucho más lentas, no existe cambios de coloración o pérdida considerable de humedad.

## **6.9. Manual poscosecha de chile Cahabonero para productores**

Se efectuó el desarrollo de un manual poscosecha de chile Cahabonero, basado en las experiencias adquiridas en el cultivo de chile Cahabonero, considerando las buenas prácticas de manufactura (BPM) y buenas prácticas de higiene (BPH), dirigidos a productores de chile Cahabonero, por lo que el lenguaje es simple y entendible.

Se incluyó el uso de dibujos para una mejor comprensión y fotografías tomadas durante el proceso de la investigación, y experiencias previas de los investigadores (a través de otros proyectos desarrollados con el IICA-CRIA y trabajos de graduación de propiedad del investigador principal.

Se utilizaron bases de datos de imágenes (dibujos animados) de uso libre respecto a Copyright que son promocionados por la potente plataforma Canva y otros de otras páginas de vectores para obtención de imágenes, incluyendo formato *.png*

Se trabajó con ésta herramienta en línea ya que viene con miles de imágenes prediseñadas como: Ilustraciones, líneas, Texto, Fondos, Marcos, Íconos, etc. Por tal, permite hacer imágenes llamativas y bien diseñadas para el desarrollo del manual.

Se organizaron los siguientes capítulos y subtemas tratados para tener un mejor orden. Se efectuó una reunión con actores locales de la cadena de chile Cahabonero con la intención de presentar el manual desarrollado, obtención de sugerencias e ideas para su mejora, se consultó sobre algunos contenidos específicos. Tal taller tuvo como resultados:

- Revisión de manual de poscosecha y capítulos contenidos para su aprobación.
- Revisión del lenguaje para que sea apto y entendible para el productor de chile Cahabonero
- Revisión de procesos específicos, en los cuales se recibieron sugerencias para su mejora (tiempos, encargados, cantidades), de tal forma que se adaptará de mejor forma a las labores en el municipio y la mejora en los procesos respectiva.
- Compromiso de su uso, divulgación y aplicación en procesos posteriores de agrotransformación del chile Cahabonero.

Se tuvo apoyo de 8 actores locales de la cadena de chile Cahabonero para la revisión de datos obtenidos durante la etapa de cosecha (proceso de maduración de frutos), plagas poscosecha detectadas, proceso de envase para almacenamiento de chile Cahabonero e importancia de buenas prácticas de manufactura e higiene para la inocuidad de alimentos. Se contó con las observaciones y revisiones de autoridades del IICA-CRIA y de la cadena de Chile cahabonero, en orientaciones para la portada, diseño y contenido.

Finalmente se concluyó el manual se compone de 56 páginas a color, las cuales serán entregadas en su versión impresa a autoridades del municipio de Santa María Cahabón, actores locales de la cadena de Chile cahabonero, extensionistas del Ministerio de Agricultura, Ganadería y Alimentación (MAGA) delegación Santa María Cahabón,

representantes de organizaciones relacionadas a la producción agrícola en el municipio y cualquier otro interesado. Se dispondrá también de la versión digital a ser divulgada en formato *.pdf*

Los capítulos que componen el manual generado son los siguientes:

1. Capítulo I - Cosecha del chile Cahabonero
2. Capítulo II - Deshidratación del chile Cahabonero
3. Capítulo III - Almacenamiento del chile Cahabonero
4. Capítulo IV - Presentaciones de transformados de chile Cahabonero
5. Capítulo V - Interés del consumidor respecto al consumo de chile Cahabonero

## **6.10. Discusión general**

Posterior a los resultados obtenidos en cuanto a tiempo de secado, costo de secado por quintal de producto, menor dificultad del proceso de secado, y principalmente el mantenimiento de la calidad de los frutos debido a que se no se exponen a los agentes contaminantes del ambiente, se observó que la mejor metodología de secado es el empleo de un túnel de secado.

En cuanto a las ventajas con relación al costo, S. Bistoni *et al* (2016), expresan que la construcción es relativamente sencilla en comparación con equipos más complejos y de alto costo, de un costo razonable, realizable con mano de obra local y con materiales que pueden conseguir los agricultores debido a que son materiales que han empleado o visto en su vida cotidiana, con lo cual es una tecnología viable y accesible.

Es importante mencionar también, que una de las principales ventajas de este secador es la capacidad de secado que posee, que es aproximada de 10 quintales de chile fresco, con un espesor de 4cm, es importante que la capa de frutos no sea muy densa pues esto puede ser contraproducente y producir un aumento en el tiempo de secado, e incluso producir algún tiempo de daño mecánico por el exceso de humedad que se concentra sobre las zarandas.

Relacionado a lo anterior, uno de los principales aspectos considerados al momento de realizar la comercialización de un producto agrícola, es la inocuidad del mismo, quizá, sea ésta la principal dificultad al momento de realizar el secado por incidencia directa del sol y con exposición a cualquier agente ambiental, que es precisamente el secado tradicional empleado en la región, por lo cual la utilización de un estructura cerrada, es la forma más práctica de evitar la contaminación y perdida del producto secado, lo cual confiere al secador parabólico o micro túnel, y el secador tipo túnel de una ventaja sobre el resto de forma de deshidratación.

Respecto al mantenimiento de la calidad y la inocuidad de los productos agrícolas, Ludeña, A. (1990), afirma que, al tomar una muestra secada por exposición directa, se presentará un contenido mayor de microorganismos, mohos y levaduras que al secar con un túnel, debido a que como se mencionó anteriormente, las estructuras cerradas protegen a los frutos en deshidratación de cualquier agente extraño.

Por otro lado acerca del grado de dificultad en el proceso de secado, este secador confiere ciertos aspectos que permiten una mayor facilidad del mismo, por lo cual es necesario considerar que algunas de las tecnologías probadas, tienen como principal desventajas esta expuestas a las condiciones ambientales (zarandas expuestas al ambiente, secado tradicional), con lo cual el material es susceptible a diferentes sustancias o agentes, desde el polvo hasta la lluvia, lo cual como principal dificultad se presente la necesidad de prestar mayor atención a los frutos, pues por cualquier descuido se puede descomponer el producto (por ejemplo durante alguna leve precipitación la humedad de los frutos aumenta considerablemente y puede propiciar la aparición de plagas o enfermedades).

Por otro lado también se contemplan las desventajas en la dificultad del secado en fuego, el cual requiere también una mayor atención debido a que el material debe estar en constante movimiento sobre la malla sostenida al fuego, para no sufrir daño mecánico a través del exceso de contacto con el calor, además de la exposición a las sustancias emanadas que pueden afectar a la persona que esté realizando el secado si es en un lugar sin buena ventilación.

Por ultimo una de las ventajas del empleo de un túnel para deshidratación de frutos, de acuerdo con Jines, D. (2010), quien realizó la propuesta de emplear un túnel de secado para el secado de chile picante (*Capsicum annuum*), afirma que: aunque la velocidad de deshidratación inicial es baja, durante el resto del proceso es una estructura eficiente en cuanto a la reducción de la humedad.

Además, Zurita, M. (2012), quien realizó un estudio comparativo entre el secado tradicional y bajo túnel de pimiento paprika (*Capsicum annuum*), sostiene que el secado bajo túnel de plástico permite una mayor captación de energía solar durante el proceso de deshidratación, además de eso mantiene mayores temperaturas a las del secado tradicional, con lo cual se puede obtener un mejor secado en un menor tiempo, además menciona que emplear el secado bajo túnel, permite mantener en un mayor porcentaje los frutos de calidad, perdiendo solamente un 7.2% de frutos defectuosos o dañados durante dicha fase. Esto confirma la información obtenida, donde ésta metodología de deshidratación es eficiente, sino también representa bajos costos variables en su deshidratación (Q10.88) y a la vez una alta tasa marginal de utilidad con hasta 91.22%

Debido al mantenimiento de altas temperaturas dentro del túnel de secado, el proceso de secado se realiza en un reducido tiempo, un aproximado de 3 días son necesarios para deshidratar los frutos, sin mayores dificultades en el manejo y movimiento de los frutos durante el día, sin riesgo de contaminación si se lleva un óptimo control en la fase de cosecha y en la desinfección previo a la introducción de los frutos a la estructura de secado.

## 7. Conclusiones

- Se determinó que son 9 etapas en que se desarrolla la madurez de frutos de chile Cahabonero. Respecto a los sólidos solubles existe una disminución significativa en los sólidos solubles totales del día 0 hasta el día 5, después de lo cual se produjo un aumento en el día 10 donde fue más estable. Los frutos de chile Cahabonero evaluados tuvieron un pH ácido (entre 5.13 a 5.87) que presentó un comportamiento descendente hasta llegar al estado de madurez fisiológica. Respecto a la firmeza, se determinó una disminución de la fuerza necesaria para penetrar el fruto conforme transcurre el tiempo. Inicialmente se observa la fractura de la cutícula (capa cerosa) del chile y posteriormente se ve un incremento de la fuerza, lo que indica la acumulación de energía por la presencia de la pulpa, generando una deformación elástica, la cual también disminuyó con el paso del tiempo.
- En la etapa de maduración, el porcentaje de humedad de los chiles durante los 30 días, se determinó una tendencia decreciente de la humedad con respecto al tiempo; pudiéndose atribuir esto, a que existe una mayor permeabilidad de las membranas conforme pasa el tiempo, haciéndolos más sensibles a la pérdida de agua. En la etapa 8 que es la ideal, el contenido de humedad es del 84.7%
- De acuerdo a los datos obtenidos, a través del análisis multivariado y prueba de *Hotelling* para la confirmación de grupos conformados, se definió que respecto a la coloración de frutos durante la maduración de acuerdo al sistema CIELab se tienen 3 grupos que describen de forma resumida la maduración de frutos de chile Cahabonero; definidos a una línea de corte de 2.54, por lo que se cumple en este caso el supuesto del uso de 1/3 de valor máximo establecido de acuerdo al método de Ward y distancia Euclidea.
- Durante la etapa de maduración de frutos, existe correlación positiva entre el porcentaje de humedad y el pH, entre el espesor de la pared (firmeza) y el % de humedad, los sólidos solubles y el parámetro  $a^*$  del sistema de coloración CIELab y finalmente el parámetro  $b^*$  de coloración y el parámetro  $L^*$ ; lo que significa que al incrementarse una, también incrementa la otra. Existen otras variables que tienen una respuesta diferente donde presentan una correlación negativa, siendo ellas: valor de parámetro  $a^*$  con respecto a % de humedad, pH, espesor de la pared a 0.5 mm y 0.8 mm; y entre los sólidos solubles y el espesor de la pared (firmeza). Esto indica que al incrementar una, disminuye de forma homogénea la otra, en el proceso de maduración. Por tal, pudieran tener una relación directa respecto a los procesos fisicoquímicos que se dan en ésta etapa importante en la producción de chile Cahabonero.
- Es importante implementar buenas prácticas de manufactura (BPM) desde la cosecha hasta el acopio de frutos en el área de deshidratación. Siguiendo los planes operativos estandarizados de sanitización –POES-, se aplicó 4 gotas/L, osea 0.2 cc/L de cloro comercial = Hipoclorito de Sodio ( $\text{NaClO}$ ) al 5,25 % como solución lista para ser usada. Para estos fines, se recomienda el uso de hipoclorito de sodio a 5 % - 6% (cloro comercial) para la preparación de las soluciones cloradas. El periodo de actuación del hipoclorito de sodio es de al menos media hora, pero si la temperatura está comprendida entre los 10 y

los 18 °C, debe incrementarse a al menos una hora, y aún más si la temperatura es inferior a los 10 °C.

- Respecto a las 10 metodologías de deshidratación evaluadas, de acuerdo al ANDEVA, es significativa la metodología de deshidratación respecto al % de peso final conservado. De acuerdo a la prueba de *Scott & Knott* la metodología MD-3 correspondiente a uso de plástico y parihuela es quien conserva en menor proporción su peso. Esto debido a que el plástico permite una rápida pérdida de humedad, en ocasiones también puede generar quemadura en algunas partes del fruto si ésta no es removida constantemente, por lo que al conservar su 10% de humedad su peso final es de apenas 28.53 de 100 libras iniciales. Mientras que los demás tratamientos presentan resultados similares y son ideales ya que mantienen 1/3 de su peso aproximadamente.
- Respecto al tiempo para la deshidratación, de acuerdo al ANDEVA existe diferencia significativa entre tratamientos, por lo que se sometió al test *Scott & Knott* en el que se determinó que los únicos tratamientos que presentan el menor tiempo de deshidratación son MD1 (correspondiente a deshidratación al fuego+sol a través de túnel) con 15 horas y MD-6 correspondiente a fuego por 13.67 horas.
- De acuerdo a la coloración, a través del sistema CIELab, el parámetro L\* es igual en todos los tratamientos ya que presentan el mismo valor de luminosidad por lo que no existe diferencia estadística significativa. En el valor a\*, únicamente el tratamiento MD-4 correspondiente a la deshidratación al suelo sobre plástico polietileno presenta el mayor valor con una tendencia roja, esto debido a que no existe mucha variación en su coloración posterior al secado, sin embargo la preferencia del mercado es de un chile con tonalidades oscuras por lo que los demás tratamientos cumplen perfectamente tal condición, en comparación al tratamiento en mención. En la prueba *Scott-Knott* se determinó que para la variable parámetro b\*, la agrupación de mayor valor de b\* se encuentra en los tratamientos MD-4 correspondiente a sobre suelo con plástico polietileno y MD-2 sobre suelo sol directo, con plástico polietileno y concreto.
- Respecto al análisis financiero, el costo fijo de un quintal de fruto fresco es de Q800.00. En el caso de los actores locales, éste material es producido por ellos mismos por lo que no se requiere de adquirirlo de otra fuente. El costo variable de deshidratación de un quintal de chile fresco, varía conforme su estructura (construcción), personal necesario para la realización de la actividad completa hasta adquirir las características para su comercialización. De acuerdo a lo observado con el secado al fuego MD-6 se tienen los mayores costos por mano de obra al alcanzar los Q101.43 por quintal fresco, también representa altos costos de producción en el uso de madera, con hasta Q12.50 y leña alcanzando los Q30.00 por quintal fresco.
- La mejor tasa marginal se obtiene a través del uso de la tecnología de deshidratación solar tipo domo (o tipo túnel) y malla sarán en sus mesas de secado donde por cada quetzal invertido, se tiene una utilidad neta de 91 centavos (91.22% de utilidad).

- De acuerdo a test *Scott & Knott* el tratamiento que mejor tiempo requiere para la trituration de 1 kg de chile Cahabonero deshidratado es el molino de granos, con hasta 4.4 minutos. En el caso del APWONE se determinó que conforme se aumenta el tiempo de su trituration reduce el chile retenido en el tamiz #40 y aumenta el retenido en el #60. Por lo que las condiciones de molienda de 1 minuto por kilogramo presenta las características óptimas, similares a las obtenidas en la trituradora BIOEPRO.
- Se elaboraron diferentes presentaciones de chile Cahabonero, los valores de la tabla de información nutricional están basados en la tabla de composición de alimentos (TCA) del Instituto de Nutrición de Centro América y Panamá (INCAP) y en las mismas se consideró el Reglamento técnico centroamericano RTCA 67.01.60:10 etiquetado nutricional de productos alimenticios preenvasados para consumo humano para la población a partir de 3 años de edad. Se desarrollaron 3 presentaciones de chile en polvo, 4 de chile en pasta y 3 en salsa.
- Se generó un resumen del % de frutos dañados considerados 240 días de almacenamiento con dos metodologías de envase, para lo cual se evaluó la bolsa de plástico transparente utilizada comúnmente por los productores y actores locales de la Cadena de chile Cahabonero, sin embargo la misma conforme los días empieza a presentar incidencia de plagas poscosecha que limitan su comercialización. El mejor tratamiento es a través del uso de silobolsas que a tales día no presenta daño por plagas poscosecha.
- Se desarrolló un manual poscosecha de chile Cahabonero, basado en las experiencias adquiridas en el cultivo de chile Cahabonero, considerando las buenas prácticas de manufactura (BPM) y buenas prácticas de higiene (BPH), dirigidos a productores de chile Cahabonero, por lo que el lenguaje es simple y entendible. El mismo está constituido por 56 páginas y 5 capítulos, mismo que fue validado con actores locales de la cadena de chile Cahabonero.

## 8. **Recomendaciones**

- Aplicar buenas prácticas de manufactura desde la cosecha, acopio y colocación en las áreas de deshidratación, incluyen el uso de cajas plásticas, lavado de frutos con cloro al 5% de acuerdo a los procedimientos operativos estandarizados de sanitización.
- Realizar la deshidratación de frutos, cuando esté en las características de la escala 8 de maduración ya que reúne las mejores características para su deshidratación. Tales frutos deben trasladarse el mismo día al área destinada de acopio.
- Efectuar la deshidratación de frutos en la estructura tipo domo (túnel) ya que ofrece la mejor rentabilidad en el producto transformado, a la vez ofrece las mejores calidades e inocuidad para su comercialización.
- Validar la tecnología de deshidratación tipo domo (túnel) para chile Cahabonero bajo diferentes condiciones del municipio de Santa María Cahabón.

- Dar uso al equipo de molienda APWONE a 1 kg/min ya que permite la obtención de producto transformado ideal de acuerdo a lo requerido por el consumidor, al presentar el mayor % de peso retenido en los tamices #20 y #40.
- Evaluar la conservación de las diferentes propuestas de productos transformados (polvo, pasta y salsa) y su aceptabilidad por los consumidores de Chile Cahabonero.
- Efectuar nuevos estudios referentes al envase para almacenamiento de frutos y otras condiciones que optimicen el uso de silobolsas para Chile Cahabonero.

## 9. Referencias bibliográficas

- Abdelwahed, W., G. Degobert, S. Stainmesse y H. Fessi. 2006. *Freeze-drying of nanoparticles: Formulation, process and storage considerations*. *Advanced drug delivery reviews* 58(15): 1688-1713.
- Alvarado, J. y J. Aguilera. 2001. *Métodos para medir propiedades físicas en industrias de alimentos*. Acribia, S.A. Zaragoza-España, pp. 31-33.
- Amores, D. 2011. *Evaluación nutritiva y nutracéutica de la mora de castilla (Rubus glaucus) deshidratada por el método de liofilización y comparación con la obtenida por deshidratación en microondas y secador en bandejas*. Tesis. Escuela Superior Politécnica de Chimborazo. Riobamba, Ecuador. 100 p.
- Antoniali S. A., P. A. Martins L., A. M. Malgahaes, R. Tsuyoshi F., J. Sánchez. 2007. *Physico-chemical characterization of 'zarco SA' yellow bell pepper for different ripeness stages*. *Science Agricultural*, 64:19-22
- Atta-Aly M. A., J. K. Brecht. 1995. *Effect of postharvest high temperature on tomato fruit ripening and quality*. pp. 250-256.
- Barbosa Canovas, G. y H. Vega Mercado. 2000. *Deshidratación de alimentos*. Acribia, S. A. Zaragoza-España, pp. 1, 2.
- Bistoni, S; et al. 2016. *Análisis del secado de pimiento Capsicum annum L. en chilecito, la rioja. aportes para la apropiación de tecnología solar*. Facultad de Ciencias Agrarias, Universidad Nacional de Catamarca: Argentina: Provincia de Catamarca.

- Bognar A., H. Bohling, H. Fort. 1990. *Nutrient retention in chilled foods*. Gormley TR (ed) Chilled foods. Elsevier Applied Sci, Londres, pp 305–336.
- Bouvier, F., Backhaus, R.A., Camara, B., 1998. *Induction and control of chromoplast-specific carotenoid genes by oxidative stress*. The Journal of biological chemistry 273, 30651-30659.
- Brummell, D.A., Dal Cin, V., Crisosto, C.H., Labavitch, J.M., 2004. *Cell wall metabolism during maturation, ripening and senescence of peach fruit*. Journal of experimental botany 55, 2029-2039.
- CIELAB, 1971. *Colorimetry Oficial Recommendations of the Internacional Comisión on Illumination*. Publication CIE N° 15 (E: 1.3.1). Bureau. Paris.
- Cochran H. L. 1964. *Changes in pH of the pimiento during maturation*. Proceedings American Society Horticultural Science, 84: 409–411.
- Cruz-Pérez, A., González-Hernández, V.A., Soto Hernández, R. M., Gutiérrez-Espinoza, L., Gardea-Béjar, A. y Pérez-Grajales, M. (2007). *Capsaicinoides, Vitamina C y heterosis durante el desarrollo del fruto de chile manzano*. Agrociencia 41, 627-635.
- Gill, A. y M. Ruiz. 2010. *Tratado de Nutrición: Composición y Calidad nutritiva de los Alimentos*. Madrid, España: Editorial Médica Panamericana.
- González, A., A. Espinoza, A. Cañizares y J. Méndez. 2008. *Obtención de un polvo de ají dulce (Capsicum chinense) producido mediante deshidratación por aire forzado*. Revista Científica UDO Agrícola 8(1): 118-26.
- Gómez, José. *Tradición y cambio en la industrialización el pimentón en España*. España: Universidad de Murcia, 1990.
- González, V.; M.S. Hernández; A. Herrera; J. Barrera; O. Martínez y D. Pérez. 2001. *Desarrollo del fruto e índices de cosecha de la carambola (Averrhoa carambola L.) producida en el piedemonte amazónico colombiano*. Agronomía Colombiana 18(1-3), 53-62.
- Gorny J. R., A. A. Kader. 1998. *Fresh-cut products: maintaining quality and safety*, UC Davis, Workshop Sep 15–16.

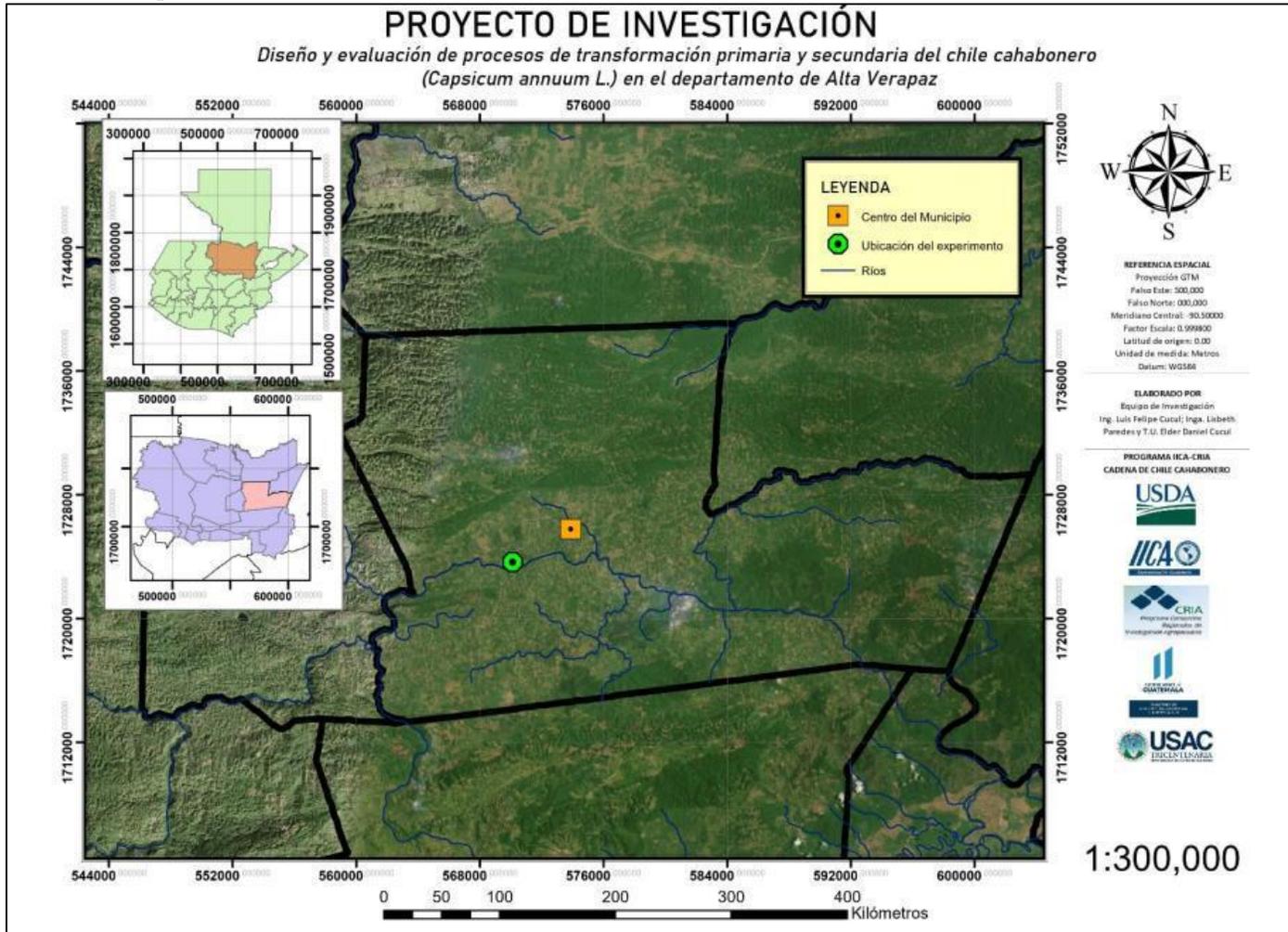
- Hernández, Alma; et al. *Comportamiento poscosecha de pimiento morron (Capsicum annum L.) Var. California por efecto de la fertilización química y aplicación de lombriumus*. Revista Iberoamericana de Tecnología Postcosecha, vol. 11, núm. 1, 2010, pp. 82-91
- Hernández J., L. Dorantes, M. E. Jaramillo, A. Ramiro C. 2005. *Determinación de algunas variedades de Capsicum y su relación con carotenoides totales*. Memoria de la Segunda Convención Mundial del Chile. Zacatecas, Zac; 14-16 Agosto. 53-57 pp.
- Jines, Denise. 2010. “*El aprovechamiento de la materia prima y la oferta de productos elaborados a base de ají o chile picante (Capsicum annum) en la provincia del Napo*”. Universidad Técnica De Ambato, Facultad De Ciencia E Ingeniería En Alimentos. Ecuador: Ambato.
- Ludeña, Alfredo. 1990. *Secado del Culantro (Coriandrum sativum) por Secado Solar, Tunnel o Aire Caliente y Liofilización*. Universidad Nacional Agraria La Malina Facultad de Industrias Alimentarias. Perú: Lima.
- Márquez C. C. J., C.M. Otero E., M. Cortés R. 2007. *Changes physiological, textural, physicochemical and microestructural of the tree tomato (Cyphomandra betacea s.) at postharvest*. Revista de la Facultad Química Farmacéutica, 12(2): 9-16
- Mattoo K.A., T. Murata, E. B. Pantastico, K. Chachin, K. Ogata, C. T. Phan. 1975. *Chemical changes during ripening and senescence*. In: Pantastico ErB (ed) *Postharvest physiology, handling and utilization of tropical and subtropical fruits and vegetables*. The AVI Publish, Westport, pp 103–127.
- Medlicott A. P., A. K. Thompson. 1985. *Analysis of sugars and organic acids in ripening fruits by high performance liquid chromatography*. Journal Science Food Agricultural, 36:561–566
- Mínguez-Mosquera M. I., D. Hornero-Méndez. 1994. *Formation and transformation of pigments during the fruit ripening of Capsicum annum cv. bola and agridulce*. Journal Agriculture Food Chemistry, 42: 38-44
- Ministerio de Agricultura, Ganadería y Alimentación. 2014. *Ficha de mercado de Chile cobanero*. Guatemala: Dirección de planeamiento del MAGA, pág. 1

- Mizrach A., U. Filtsanov, V. Fuchs. 1997. *An ultrasonic nondestructive method for measuring maturity of fruit*. Trans ASAE, 40:1107-1111.
- Muller G. H. 1973. *Introducción a la reología de los alimentos*. Zaragoza: Acribia.
- Osuna-García, J.; M. Wall y C. Waddell. 1998. *Endogenous levels of tocopherols and ascorbic acid during fruit ripening of new mexican-type chile (Capsicum annuum L.) cultivars*. Journal of Agricultural and Food Chemistry 46, 5093-5096.
- Palma, J.M., Corpas, F.J., del Río, L.A., 2011. *Proteomics as an approach to the understanding of the molecular physiology of fruit development and ripening*. Journal of proteomics 74, 1230-1243.
- Potter, N. y J. Hotchkiss. 1999. *Ciencia de los alimentos*. 5ª Ed. Acribia, S. A. Zaragoza-España. p 221.
- Prasanna, V., Prabha, T.N., Tharanathan, R.N., 2007. *Fruit ripening phenomena--an overview*. Critical Reviews in Food Science and Nutrition 47, 1-19.
- Rodríguez E, González V, Adames Y. *Caracterización del material vegetal empleado en la obtención del ingrediente activo D-004*. Rev Cubana Plant Med. 2007;12(3):1-3.
- Samira A., K. Woldetsadik, T. S. Workneh. 2011. *Postharvest quality and shelf life of some hot pepper varieties*. Journal Food Science Technology DOI 10.1007/s13197-011-0405-1.
- Schaffer A. A., I. Risky, F. Fogelman. 1989. *Carbohydrate content and sucrose in metabolism in developing Solanum muricatum*. Phytochemistry, 28:737-739.
- Schreiner, M. 2005. *Vegetable crop management strategies to increase the quantity of phytochemicals*. European Journal of Nutrition 44: 85-94.
- Sharma S., S. Mulvaney, S. Risvi. 2003. *Ingeniería de alimentos*. México: Limusa Wiley
- Statistical Analysis System (SAS). 1998. *S.A.S, User Guider Statistics*. SAS. Inst.INc, Cory, N.C, USA.

- Thorup, T., B. Tanyolac, K. Livingstone, S. Popovsky, I. Paran, and M. Jahn.. 2000. *Candidate gene analysis of organ pigmentation loci in the Solanaceae. Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America* 97: 11192-11197.
- Toivonen, P.M.A., Brummell, D.A., 2008. *Biochemical bases of appearance and texture changes in fresh-cut fruit and vegetables*. *Postharvest Biology and Technology* 48, 1-14.
- Tucker, G. A. 1993. *Biochemistry of fruit ripening*. Editorial Chapman and Hall USA pp 1-15.
- Vicentini N. M., T. M. Castro R., M. Cereda P. 1999. *Influência de películas de fécula de mandioca na qualidade pós-colheita de frutos de pimentão (Capsicum annum L.)*. *Ciênc Tecnol Aliment*, 19:127–130.
- Villavicencio L.E.; S.M. Blankenship; D.C. Sanders y W.H. Swallow. 2001. *Ethylene and carbon dioxide concentrations in attached fruits of pepper cultivars during ripening*. *Scientia Horticulturae* 91, 17-24
- Wall, M., C. Waddell, and P. Bosland. 2001. *Variation in  $\beta$ -Carotene and Total Carotenoid Content in Fruits of Capsicum*. *Hort Science* 36: 746-749.
- Yun-Hon, J. 2015. *Evaluación de las variedades de ají Capsicum spp. piri piri (C. frutescens), tabasco (C. frutescens) y de árbol (C. annum), para la elaboración de una salsa picante agridulce*. Tesis. Universidad Técnica Estatal de Quevedo, Ecuador. 58 p.
- Zurita, Manuel. 2012. *Estudio comparativo de la deshidratación del pimiento PAPRIKA (Capsicum annum) por secado convencional y con tunel de plástico con orificios en el Fundo agrícola*. Cerro Prieto S.A.C. Universidad Nacional de Trujillo. Perú.

## ANEXOS

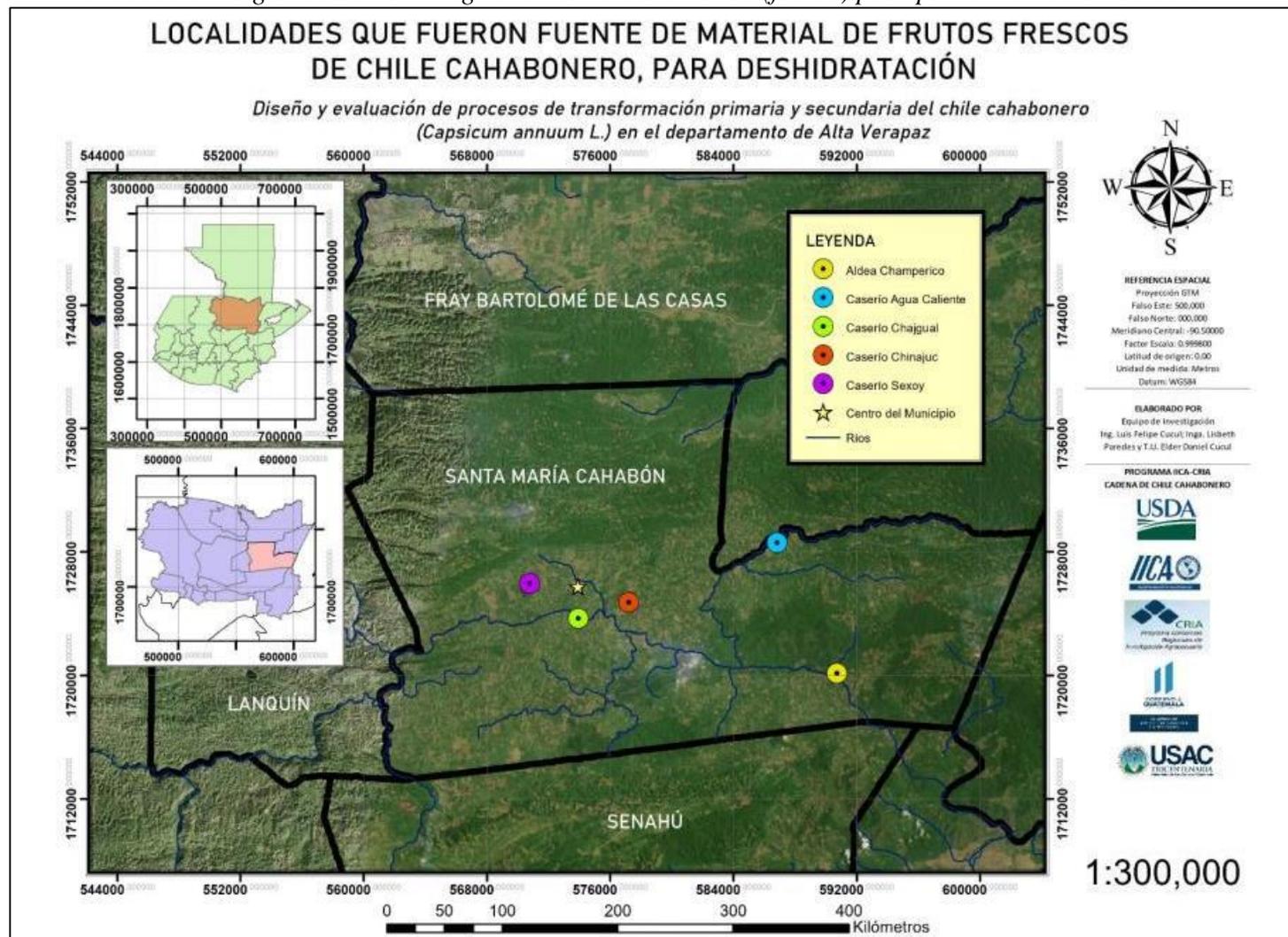
**Figura 1.**  
*Ubicación del área del experimento*



Fuente: Elaboración propia, 2020

**Figura 2.**

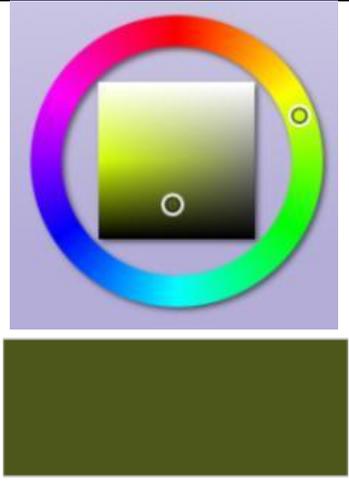
*Ubicación de localidades de origen de material vegetal de chile cahabonero (fresco) para proceso de deshidratación*



Fuente: Elaboración propia, 2020

**Cuadro 48**

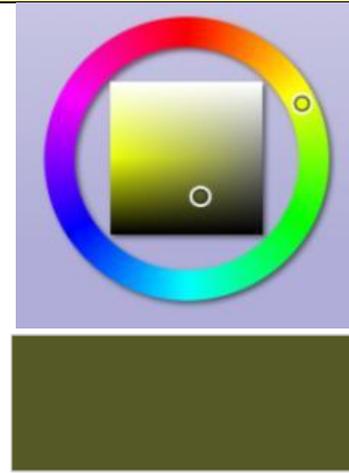
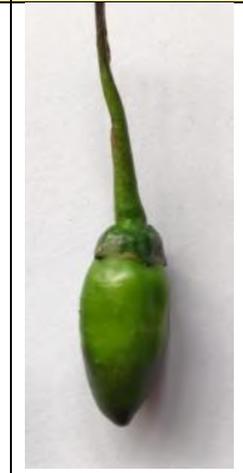
*Primera escala de color en la maduración de frutos de chile Cahabonero*

Coloración		Verde (1) [Madurez 0%]
Sistema CIELAB	Valor L	34,9
	Valor a	-13,4
	Valor b	32,4
Color	Fotografía	Conversión a otros sistemas de color
		<p><b>Descripción</b> Verde manzana oscuro</p> <p><b>RGB Hexdecimal</b> 4D571B</p> <p><b>RGB 0 ÷ 255</b> 77, 87, 27</p> <p><b>RGB%</b> 30,2, 34,1, 10,6</p> <p><b>CMYK%</b> 11, 0, 69, 66</p> <p><b>HSV</b> 70 °, 69, 34</p> <p><b>HSL</b> 70 °, 53, 22</p> <p><b>XYZ</b> 6.7, 8.5, 2.3</p>

Fuente: Elaboración propia, 2020

**Tabla 49.**

*Segunda escala de color en la maduración de frutos de chile Cahabonero*

Coloración		Verde-negrusco (2) [Madurez 10%]
Sistema CIELAB	Valor L	36,64
	Valor a	-8.17
	Valor b	29,27
Color	Fotografía	Conversión a otros sistemas de color
		<p><b>Descripción</b> Verde manzana oscuro</p> <p><b>RGB Hexdecimal</b> 555925</p> <p><b>RGB 0 ÷ 255</b> 85, 89, 37</p> <p><b>RGB%</b> 33,3, 34,9, 14,5</p> <p><b>CMYK%</b> 4, 0, 58, 65</p> <p><b>HSV</b> 65 °, 58, 35</p> <p><b>HSL</b> 65 °, 41, 25</p> <p><b>XYZ</b> 7.7, 9.2, 3.1</p>

Fuente: Elaboración propia, 2020

**Tabla 50.**

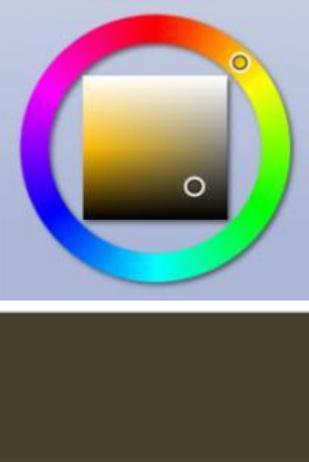
*Tercera escala de color en la maduración de frutos de chile Cahabonero*

Coloración		Verde-morado-negrusco (3) [Madurez 20%]
Sistema CIELAB	Valor L	31.12
	Valor a	3.11
	Valor b	19.29
Color	Fotografía	Conversión a otros sistemas de color
		<p><b>Descripción</b> Gamboge grisáceo oscuro</p> <p><b>RGB Hexdecimal</b> 55472B</p> <p><b>RGB 0 ÷ 255</b> 85, 71, 43</p> <p><b>RGB%</b> 33,3, 27,8, 16,9</p> <p><b>CMYK%</b> 0, 16, 49, 67</p> <p><b>HSV</b> 40 °, 49, 33</p> <p><b>HSL</b> 40 °, 33, 25</p> <p><b>CIE-L * ab</b> 30.9, 1.6, 19</p> <p><b>XYZ</b> 6.4, 6.6, 3.2</p>

Fuente: Elaboración propia, 2020

**Tabla 50.**

*Cuarta escala de color en la maduración de frutos de chile Cahabonero*

Coloración		Verde-morado (4) [Madurez 40%]
Sistema CIELAB	Valor L	27.76
	Valor a	0.71
	Valor b	13.09
Color	Fotografía	Conversión a otros sistemas de color
		<p><b>Descripción</b> Ámbar grisáceo oscuro</p> <p><b>RGB Hexdecimal</b> 48412D</p> <p><b>RGB 0 ÷ 255</b> 72, 65, 45</p> <p><b>RGB%</b> 28,2, 25,5, 17,6</p> <p><b>CMYK%</b> 0, 10, 38, 72</p> <p><b>HSV</b> 44 °, 38, 28</p> <p><b>HSL</b> 44 °, 23, 23</p> <p><b>XYZ</b> 5, 5.3, 3.2</p>

Fuente: Elaboración propia, 2020

**Tabla 51.**

*Quinta escala de color en la maduración de frutos de chile Cahabonero*

Coloración		Morado (5) [Madurez 60%]
Sistema CIELAB	Valor L	26.09
	Valor a	-0.81
	Valor b	9.83
Color	Fotografía	Conversión a otros sistemas de color
		<p><b>Descripción</b> Aceituna grisácea oscura</p> <p><b>RGB Hexdecimal</b> 3E3E2E</p> <p><b>RGB 0 ÷ 255</b> 62, 62, 46</p> <p><b>RGB%</b> 24.3, 24.3, 18</p> <p><b>CMYK%</b> 0, 0, 26, 76</p> <p><b>HSV</b> 60 °, 26, 24</p> <p><b>HSL</b> 60 °, 15, 21</p> <p><b>XYZ</b> 4.2, 4.7, 3.3</p>

Fuente: Elaboración propia, 2020

**Tabla 52.**

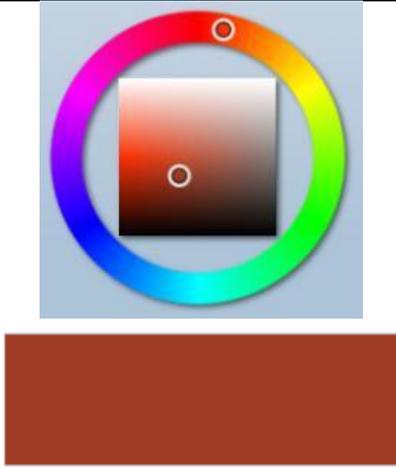
*Sexta escala de color en la maduración de frutos de chile Cahabonero*

Coloración		Rojo-verduzco (6) [Madurez 80%]
Sistema CIELAB	Valor L	28.31
	Valor a	7.79
	Valor b	18.40
Color	Fotografía	Conversión a otros sistemas de color
		<p><b>Descripción</b> marrón</p> <p><b>RGB Hexdecimal</b> 5.53E+29</p> <p><b>RGB 0 ÷ 255</b> 85, 62, 39</p> <p><b>RGB%</b> 33,3, 24,3, 15,3</p> <p><b>CMYK%</b> 0, 27, 54, 67</p> <p><b>HSV</b> 30 °, 54, 33</p> <p><b>HSL</b> 30 °, 37, 24</p> <p><b>XYZ</b> 5.8, 5.5, 2.7</p>

Fuente: Elaboración propia, 2020

**Tabla 53.**

*Séptima escala de color en la maduración de frutos de chile Cahabonero*

Coloración		Rojo (7) [Madurez 100%]
Sistema CIELAB	Valor L	39.06
	Valor a	40.85
	Valor b	35.01
Color	Fotografía	Conversión a otros sistemas de color
		<b>Descripción</b> Escarlata moderada <b>RGB Hexdecimal</b> 9D3B25 <b>RGB 0 ÷ 255</b> 157, 59, 37 <b>RGB%</b> 61,6, 23,1, 14,5 <b>CMYK%</b> 0, 62, 76, 38 <b>HSV</b> 11 °, 76, 62 <b>HSL</b> 11 °, 62, 38 <b>XYZ</b> 15,8, 10,4, 2,9

Fuente: Elaboración propia, 2020

**Tabla 54.**

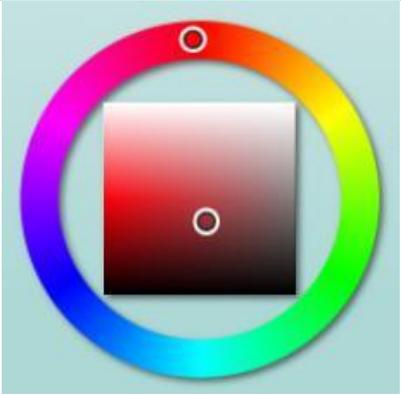
*Octava escala de color en la maduración de frutos de chile Cahabonero*

Coloración		Rojo intenso (8) [Madurez 100%]
Sistema CIELAB	Valor L	34.23
	Valor a	42.37
	Valor b	28.15
Color	Fotografía	Conversión a otros sistemas de color
		<b>Descripción</b> Rojo moderado <b>RGB Hexdecimal</b> 902C27 <b>RGB 0 ÷ 255</b> 144, 44, 39 <b>RGB%</b> 56,5, 17,3, 15,3 <b>CMYK%</b> 0, 69, 73, 44 <b>HSV</b> 3 °, 73, 56 <b>HSL</b> 3 °, 57, 36 <b>XYZ</b> 12,8, 7,9, 2,8

Fuente: Elaboración propia, 2020

**Tabla 49.**

*Novena escala de color en la maduración de frutos de chile Cahabonero*

Coloración		Corinto (9) [Madurez 100%]
Sistema CIELAB	Valor L	35.71
	Valor a	39.59
	Valor b	19.00
Color	Fotografía	Conversión a otros sistemas de color
		<b>Descripción</b> Rojo moderado
		<b>RGB Hexdecimal</b> 8F3438
		<b>RGB 0 ÷ 255</b> 143, 52, 56
		<b>RGB%</b> 56,1, 20,4, 22
		<b>CMYK%</b> 0, 64, 61, 44
		<b>HSV</b> 357 °, 64, 56
		<b>HSL</b> 357 °, 47, 38
		<b>XYZ</b> 13.3, 8.6, 4.7

Fuente: Elaboración propia, 2020

## Figura 2.

*Presentaciones de chile Cahabonero, para exposición IICA-CRIA y reuniones con actores locales*



Fuente: Fotografías propias, 2020

## Figura 3.

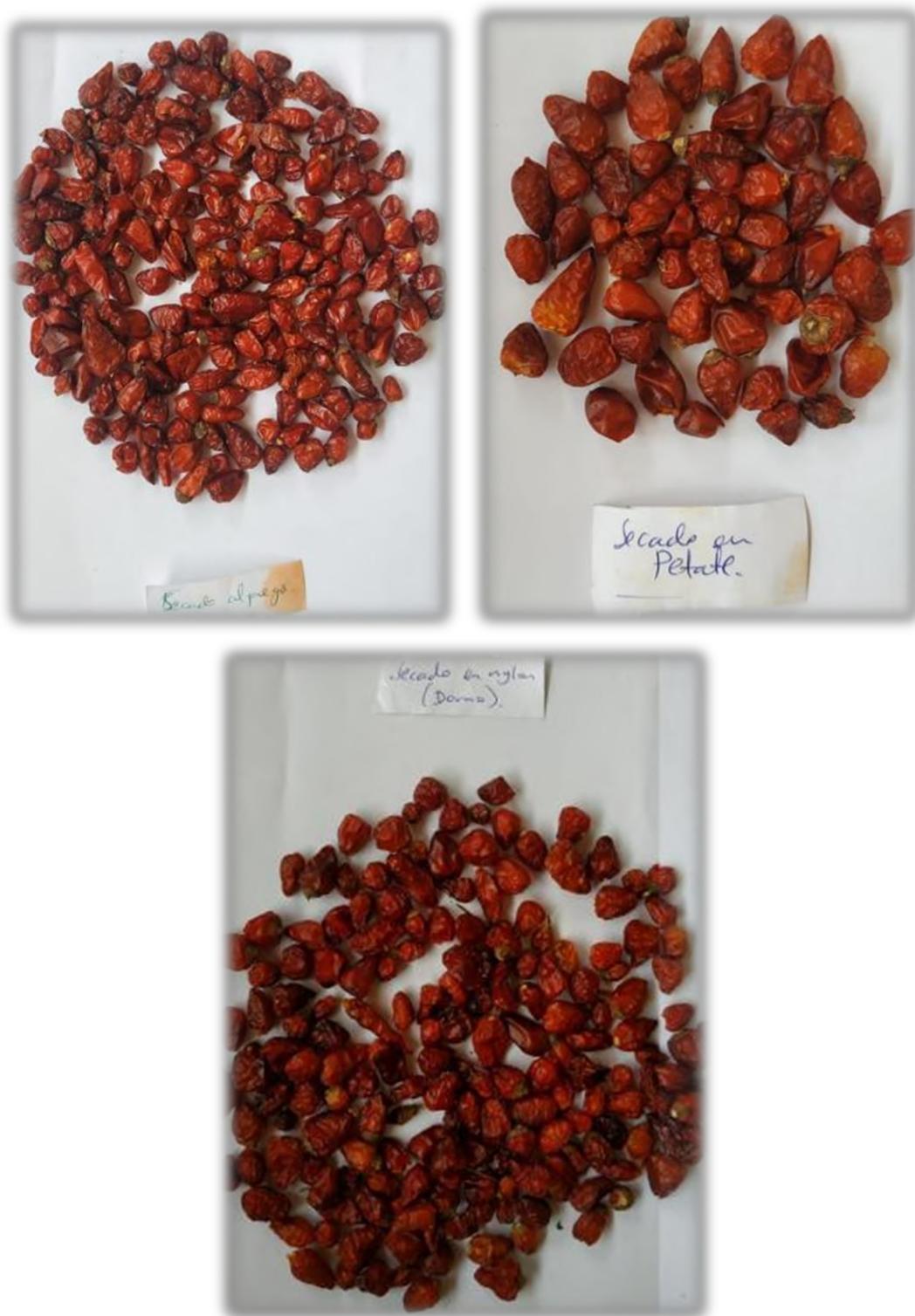
*Coloración de chile Cahabonero molido en función del tipo de deshidratación*



Fuente: Fotografías propias, 2020

**Figura 4.**

*Seguimiento y toma de datos a frutos deshidratados de Chile Cahabonero, bajo diferentes metodologías de deshidratación*



Fuente: Fotografías propias, 2020

**Fotografía 5.**

*Toma de datos de granulometría del chile Cahabonero de acuerdo al equipo de trituración*



Fuente: Fotografías propias, 2019

**Figura 6.**

*Toma de datos en proceso de envase para almacenamiento de chile Cahabonero*



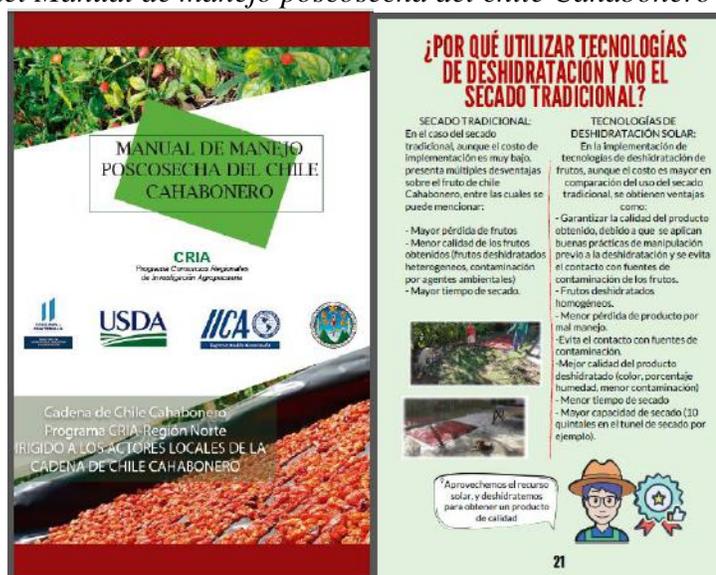
Fuente: Fotografías propias, 2019

**Figura 7.**  
Socialización de manual de poscosecha de chile Cahabonero para productores actores locales



Fuente: Fotografías propias, 2020

**Figura 8.**  
Portada y página 21 del Manual de manejo poscosecha del chile Cahabonero



Fuente: Fotografías propias, 2020