

UNIVERSIDAD DEL VALLE DE GUATEMALA

Facultad de Ingeniería



*Excelencia que trasciende*

Estudio de la capacidad antioxidante de chiles (*Capsicum spp*) autóctonos de Guatemala y el efecto de procesamiento

Oliver Alejandro Lima Montenegro

Guatemala  
2008



Estudio de la capacidad antioxidante de chiles (*Capsicum spp*) autóctonos de Guatemala y el efecto de procesamiento

UNIVERSIDAD DEL VALLE  
DE GUATEMALA  
Facultad de Ingeniería



*Excelencia que trasciende*

Estudio de la capacidad antioxidante de chiles (*Capsicum spp*) autóctonos de Guatemala y el efecto de procesamiento

Trabajo de investigación presentado por  
Oliver Alejandro Lima Montenegro  
para optar al grado académico de  
Msc en Ciencia y Tecnología de Alimentos

Guatemala  
2008

Vo. Bo. :

(f) \_\_\_\_\_  
Licda. Patricia Palacios de Palomo, MSc  
Asesora

Tribunal:

(f) \_\_\_\_\_  
Carlos Bressani, PhD

(f) \_\_\_\_\_  
Licda. Ana Silvia Colmenares de Ruiz, MSc

(f) \_\_\_\_\_  
Licda. Patricia Palacios de Palomo, MsC

Fecha de aprobación: 23 de noviembre de 2007

# ÍNDICE

|  | Página |
|--|--------|
| LISTA DE CUADROS.....  | vii    |
| LISTA DE GRÁFICOS.....   | viii   |
| RESUMEN.....   | ix     |
| <br>   |        |
| I. INTRODUCCIÓN.....   | 1      |
| II. ANTECEDENTES.....  | 3      |
| 2.1 Historia del chile en Guatemala.....                             | 3      |
| 2.1.1 Época prehispánica.....  | 3      |
| 2.1.2 Época Colonial.....  | 3      |
| 2.1.3 Actualidad.....  | 4      |
| 2.2 Biología del chile.....  | 5      |
| 2.2.1 Generalidades.....   | 6      |
| 2.2.2 Pungencia de los chiles.....                                   | 6      |
| 2.2.3 Capacidad antioxidante.....                                    | 7      |
| 2.2.4 Taxonomía del <i>Capsicum</i> .....                            | 8      |
| 2.2.5 Origen y distribución de los chiles.....                       | 10     |
| 2.3 Liofilización y deshidratación térmica del <i>Capsicum</i> ..... | 10     |
| 2.4 Chiles autóctonos de Guatemala.....                              | 11     |
| 2.4.1 Chile chiltepe.....  | 11     |
| 2.4.2 Chile chocolate o chile verde.....                             | 12     |
| 2.4.3 Chile Guaque o Huaque.....                                     | 13     |
| 2.4.4 Chile Diente de perro o chile pico de gallina.....             | 13     |
| 2.4.5 Chile Siete Caldos o chile de caballo.....                     | 14     |
| 2.4.6 Chile Habanero.....  | 15     |
| 3. JUSTIFICACIÓN.....  | 17     |
| 4. OBJETIVOS.....  | 19     |
| 5. HIPÓTESIS.....  | 20     |

|                                 | Página |
|---------------------------------|--------|
| 6. MATERIALES Y MÉTODOS.....    | 21     |
| 7. RESULTADOS.....              | 26     |
| 8. DISCUSIÓN DE RESULTADOS..... | 33     |
| 9. CONCLUSIONES.....            | 36     |
| 10. RECOMENDACIONES.....        | 37     |
| 11. BIBLIOGRAFÍA.....           | 38     |
| 12. APÉNDICE.....               | 39     |

## LISTA DE CUADROS

| Cuadro      |   | Página |
|-------------|---|--------|
| Cuadro I    | Ordenamiento sistemático de los grupos de <i>Capsicum</i> cultivados según la forma y el color de la flor.....  | 9      |
| Cuadro II   | Actividad antioxidante expresada en ppm de ácido ascórbico de muestras en fresco, liofilizadas y deshidratadas térmicamente.....  | 27     |
| Cuadro III  | Porcentaje de reducción de actividad antioxidante posterior a los procesos de liofilización y deshidratación térmica.....   | 27     |
| Cuadro IV   | Existencia de evidencia que indique diferencias significativas entre capacidad antioxidante de muestras procesadas contra muestras en fresco, utilizando la prueba t de student con un nivel de significancia de 0.005..... | 28     |
| Cuadro V    | Resumen de resultados promedio de caracterización física.....   | 31     |
| Cuadro VI   | Resumen de resultados promedio de composición proximal en base seca .....   | 32     |
| Cuadro VII  | Resumen de resultados de caracterización fisicoquímica.....   | 32     |
| Cuadro VIII | Resumen de resultados de poder antioxidante.....  | 33     |
| Cuadro IX   | Unidades Scoville (pungencia).....  | 33     |
| Cuadro X    | Absorbancia medida para calcular la capacidad antioxidante a 517nm.....   | 39     |
| Cuadro XI   | Curva de calibración para calcular la capacidad antioxidante.....   | 39     |

## LISTA DE FIGURAS

| Figura    |   | Página |
|-----------|---|--------|
| Figura 1  | Chile chiltepe.....   | 12     |
| Figura 2  | Chile chocolate o chile verde.....  | 12     |
| Figura 3  | Chile Guaque.....   | 13     |
| Figura 4  | Chile Diente de Perro o Pico de gallina.....  | 14     |
| Figura 5  | Chile siete caldos.....   | 15     |
| Figura 6  | Chile Habanero.....   | 17     |
| Figura 7  | Actividad antioxidante de muestras de chile frescos expresada en ppm de ácido ascórbico .....                                   | 28     |
| Figura 8  | Capacidad antioxidante vrs estado de los chiles estudiados (frescos, liofilizados y deshidratados térmicamente).....            | 29     |
| Figura 9  | Capacidad antioxidante vrs estado de las mezclas de chiles estudiados (frescos, liofilizados y deshidratados térmicamente)..... | 29     |
| Figura 10 | Capacidad antioxidante en ppm de ácido ascórbico vrs concentración de carotenos totales en ppm.....                             | 30     |
| Figura 11 | Capacidad antioxidante en ppm de ácido ascórbico vrs concentración de vitamina C (mg/100g muestra).....                         | 30     |
| Figura 12 | Capacidad antioxidante en ppm de ácido ascórbico vrs pungencia (unidades scoville).....   | 31     |

# RESUMEN

Se llevó a cabo el estudio del efecto del proceso de liofilización y deshidratación térmica sobre la capacidad antioxidante de una serie de especies de chiles (*Capsicum spp*) autóctonos de Guatemala. Esto con el objeto de determinar si existen diferencias significativas entre la capacidad antioxidante de las muestras en fresco y procesadas. Al mismo tiempo se realizaron ensayos de mezclas de chiles para observar la generación de algún efecto sinérgico reflejado en un aumento en la capacidad antioxidante de la mezcla en fresco y procesada. La capacidad antioxidante se expresó como partes por millón de ácido ascórbico.

La capacidad antioxidante de las muestras de chile se evaluó mediante la utilización del radical libre 2,2-difenil-1-picrihidrazil (DPPH). Éste es ampliamente usado para establecer la habilidad de los compuestos para actuar como removedores de radicales libres o donadores de hidrógeno. Se utilizó la mora como dato de referencia, ya que es ampliamente demostrado el alto nivel de capacidad antioxidante que posee. La información arrojada por el estudio para cada muestra se tabuló para su correspondiente análisis estadístico. Todos los análisis son propuestos por AOAC y constituyen la metodología utilizada a nivel mundial.

Los chiles evaluados fueron los siguientes: Siete caldos (*C. pubescens*), Chiltepe (*C. annuum var. aviculare*), Guaque (*C. annuum var. annuum*), Diente de perro (*C. annuum var. annuum*), Chile habanero (*C. chinense*), Chile verde (*C. annuum var. annuum*) y el Chile pimienta (*C. frutescens*). Este último no es una variedad autóctona del país, pero se estudió de igual manera como referencia debido a la ausencia de compuestos capsaicinoides que presenta. Las muestras fueron obtenidas en el mercado central ubicado en la zona 1 capitalina y en el centro nacional de acopio (CENMA), lugares donde son llevados la mayor parte de chiles nacionales por parte de productores para su posterior comercialización. Con excepción del chile habanero que solamente se obtiene en Petén.

Luego de haber realizado el estudio se determinó que el proceso de liofilización redujo en un rango de 3 a 42% con un promedio de 14%, la capacidad antioxidante de las muestras de chile, mientras que la deshidratación térmica redujo en un rango de 11 a 66% con un promedio de 38%. Utilizando la prueba t de student con un nivel de significancia de 0.005 para establecer diferencias significativas entre medias, se estableció que en el chile Siete caldos y en las mezclas de Diente de perro/Siete caldos, Siete caldos/Pimiento y Siete caldos/Habanero no hubo evidencia de diferencia para el proceso de liofilización. Todas las muestras deshidratadas térmicamente mostraron diferencias significativas entre la capacidad antioxidante antes y después del proceso. El chile pimienta, el chile siete caldos y el chile habanero fueron los que presentaron una mayor capacidad antioxidante (336.5ppm ácido ascórbico para los dos primeros y 326.5ppm de ácido ascórbico para el tercero). Mientras que la mezcla 50-50 de chile diente de perro y siete caldos mostró un efecto sinérgico ya que dicha mezcla presentó 358.7ppm de ácido ascórbico superando todas las demás muestras y mezclas. Todos los datos fueron obtenidos en fresco y

procesados, luego de haber congelado las muestras durante tres meses, factor que pudo alterar los resultados finales.

# INTRODUCCIÓN

Guatemala ha sido considerada por muchos investigadores como centro de origen y diversidad de algunas especies de chiles cultivadas de mayor importancia en el mundo. Dichas especies son mencionadas dado el impacto que han tenido en el desarrollo de la agricultura actual y el comercio de los mismos.

El chile constituye una de las especies hortícola con más arraigo en la cultura del país, y aunque esta sea considerada por muchos como condimento, ha llegado a constituir el único elemento agregado a la tortilla en la ingesta de algunos grupos campesinos principalmente en épocas de carestía. Este hecho que se ha documentado desde la época de la colonia y repetido hasta estos días, permite inferir el papel de los chiles en el sustento de los pueblos maya, el cual no ha sido únicamente de condimento o saborizante.

En la actualidad los chiles tienen una relevante importancia mundial dada el volumen de producción, propiedades y usos. Para Guatemala reviste especial importancia no sólo en el ámbito económico sino cultural y de reservorio de variabilidad genética, de importancia para el desarrollo del cultivo, ya que una de sus especies (*Capsicum annuum* L) la más importante ya que es la que más se cultiva en el mundo entero.

En referencia a esta variabilidad genética Guatemala es considerada después de México como un segundo centro de distribución de variación genética de la especie. Lo anterior quiere decir que las culturas que se desarrollaron en la región mesoamericana desarrollaron una serie de cultivares con tipos, formas, tamaños, colores, y pungencia muy variados. De esta manera se explica el hecho de que exista una serie de platillos propios para cada región del país, en el que el chile aparece como elemento fundamental en su preparación, indicando además la participación que ha tenido en la vida cotidiana del guatemalteco. A su vez les designaron usos también variados, en el consumo, tanto como alimento, en la medicina, así como usos ceremoniales.

A nivel mundial existen cinco especies de chiles cultivados, *C. annuum*, *C. baccatum*, *C. frutescens*, *C. chinense* y *C. pubescens*. Guatemala es parte de origen y diversidad de *C. annuum*, de tal manera que la mayor parte de chiles cultivados que se presentan en el país pertenecen a dicha especie. Además, la especie mencionada tiene en Guatemala su especie silvestre ligada, *C. annuum* var. *aviculare*, conocida con el nombre de chiltepe. Por otro lado, a pesar que *C. pubescens* es originario de Los Andes, *C. frutescens* de Sur América y *C. chinense* del área amazónica, desde la época precolombina ya se encontraban cultivados por los mayas, suponiéndose que fueron traídos desde su centro de origen. De esta forma, actualmente en Guatemala el chile siete caldos (*C. Pubescens*) está distribuido en las zonas templadas y frías del país, chile habanero (*C. chinense*) localizado únicamente en los alrededores del lago de Petén Itzá y un tipo especial de chiltepe distribuido únicamente en la región de El Petén (*C. frutescens*), acompañado a la gran diversidad restantes de chiles cultivados, todos pertenecientes a *C. annuum*.

La comercialización de los chiles en el ámbito nacional se diferencia en dos tipos: de los chiles frescos y chiles secos entre los primeros se distinguen los pimientos o dulces que se produce en mayor cantidad que los otros dada su demanda y algunos picantes dentro de los que sobresalen el chiltepe y el chile verde los cuales se observan en todos los mercados cantonales y municipales del país y en la actualidad en algunos supermercados de las ciudades más importantes.

Dentro de los chiles secos se encuentran una variedad de formas y tipos entre los que se puede mencionar el chile Guaque, Chocolate. Sambo, etc. cada uno con un sector de consumidores definido en el mercado dado sus usos particulares apareciendo en ello con una frecuencia y volumen apreciable, se observa en diferentes puestos existentes en los mercados locales particularmente del altiplano central del país.

Sin embargo la producción de estos chiles no ha sido considerada como un elemento importante en la economía del país por las entidades de gobierno, tanto de economía como de agricultura, ya que la información estadística de la producción de los mismos no es reportada en los censos agropecuarios del país y sólo aparece en algunos casos reportados los chiles pimientos, lo que no permite diferenciar entre las diferentes producciones que tienen distintos fines y sistemas de producción. Es aquí donde se potencializa la importancia del estudio del poder antioxidante de las diferentes especies de chile autóctonas de Guatemala debido al interés que el mercado internacional pueda tener debido a las propiedades de estos productos y al carácter nutraceutico que se le pueda dar. Teniendo Guatemala ventaja debido a la gran variedad de chiles que posee.

Dentro de las características importantes que se pueden mencionar de los chiles y que se hace énfasis más adelante en el trabajo, se pueden mencionar contenido total de capsaicina (en función de unidades Scoville) que forman parte de los compuestos capsaicinoides. Estos compuestos le dan al chile sus propiedades irritantes o pungencia. Son producidos por ciertas glándulas en la placenta del chile, el sitio del fruto donde se producen las semillas. Siendo la capsaicina la más abundante de los capsaicinoides presentes en el chile y el principal responsable de la pungencia de éste. A la capsaicina se le atribuyen también ciertas propiedades antioxidantes, analgésicas y antiinflamatorias. Los chiles poseen además una serie de compuestos que le proporcionan propiedades antioxidantes tales como las vitaminas A y C, compuestos polifenoles y antocianinas que sumados a los compuestos capsaicinoides, le proveen la capacidad antioxidante al género *Capsicum*, que es el objeto de estudio en el trabajo.

Es importante mencionar que el consumo de frutas y vegetales ha sido asociado con una menor incidencia y mortalidad por diferentes enfermedades crónicas. La protección que las frutas y los vegetales brindan contra las enfermedades degenerativas como el cáncer y enfermedades cardiovasculares y cerebrovasculares, ha sido atribuida a su alto contenido de varios antioxidantes.

## 2. ANTECEDENTES

### 2.1 Historia del chile en Guatemala

2.1.1 Época Prehispánica. De la etapa precolombina se menciona que el chile se encuentra asociado con las primeras sociedades mesoamericanas desde entre los años 10,000 a 12,000 de esta era, Bosland (1999) menciona además que los Aztecas, Mayas e Incas han tenido una relación muy vinculada al chile, desde ser parte de su dieta común, como medicinal, moneda para intercambios y hasta constituirse en algo venerado como en el caso de los Incas que lo asociaron a sus deidades o ancestros de sus reyes (en la cultura Inca los reyes eran considerados Dioses).

Con relación a los Mayas se ha escrito relativamente poco debido a que no constituyó una de las especies evidentes en su consumo y en sus prácticas agrícolas, como fueron el maíz y el frijol, debido al volumen de producción de estos últimos. En referencia a los chiles únicamente es descrito como una de las especies cultivadas dentro de los sistemas de cultivo que incluían al maíz, (*Zea mays*) y frijol (*Phaseolus vulgaris*), como los más importantes, asociados con ayotes (*Cucurbitas ssp*, camote (*Ipomoea batata*), chaya (*Nidosculus chayamansa*), macal (*Xantosomas sp*) y yuca (*Manihot esculentum*) entre las especies consideradas para su alimentación (Turner .B.L y Miksicek C., 1984).

Uno de los hallazgos paleontológicos en Mesoamérica más importante se realizó en el sitio Joyas de Cerén del período Clásico Tardío de los mayas El Valle de Zapotitan, El Salvador. En el cual se puede observar una aldea de la gente común de los mayas de ese período con sus diferentes estructuras habitacionales y sus áreas de cultivo conservados intactos, ya que fueron sepultados por una erupción volcánica y en su museo se encuentran vestigios de semillas de las especies cultivadas como maíz, frijol y chiles, cucúrbitas, cacao, algodón y otros (Lenz D. *et al* 1996).

2.1.2 Época Colonial. Andrew J (1984) hace una descripción de los primeros cronistas que describieron los Capsicum y que generaron el conocimiento de los mismos en Europa dentro de los más importantes están:

- Fray Bernardino de Sahún (1478-1537) quien informó a la corona española de como los Aztecas comerciaban con los chiles y describe sus variadas formas así como su característica de pungencia.
- Fray Bartolomé de las Casas (1474-1566) en su *Historia de las Indias* realiza descripciones de las especies vegetales utilizadas por los pobladores estas regiones, resultando importante para Guatemala dado su paso por el área de las Verapaces.

- Fuentes y Guzmán, 1690, en su *Recordación Florida* realiza una ilustración de los chiles y reporta la existencia varias especies de chile haciendo referencia a los cultivares que hoy se saben constituyen la misma especie, a las que le confiere la importancia que tenían para aquella época, como: Guaque, Chocolate, Chamborote, Barrillillo., Pasilla y Chiltepe, mencionando en particular sus propiedades medicinales, así como los usos que los locales daban a las distintas formas de chile encontradas.
- Ximenez, Francisco (1722) manifiesta que observó más de 30 variaciones de chiles, señalando la importancia que tiene el cultivo en Tactic Alta Verapaz un chile que describe como corto y ancho, señalando que es muy bueno y picante, y que se cultiva en grandes cantidades. Así como otro que describe como delgadito llamado Chocolate. También hace una descripción de un chile que menciona como Tepenchile, mencionando con especial atención al Chamborote del cual menciona *que es bueno para echarlo en vinagre mejor que el que se utiliza en España*.

2.1.3 Actualidad. Los primeros estudios sobre la variabilidad existente de chiles en Guatemala fueron realizados por Bukasov (1926) de Instituto soviético de plantas Vavilov, y McBride (1946) del Instituto Smithsonian de los Estados Unidos. Bukasov (1930) reconoce la existencia en Guatemala de tres especies *C. annum*, *C. pubescens*, (introducida de Sur América) y *C. frutescens var bacatum* reportada como el chiltepe. Mientras que McBride (1945) identificó 13 variantes de chiles en una sola localidad (Snto Domingo Suchitepequez).

McBride (1933) a principios del siglo recién pasado relata la utilización del chile como medio de intercambio de otros vegetales para el consumo en el mercado de Sololá, Chimaltenango, además de su consumo.

Luego Standley et al (1946) identifica 4 especies *C. annum*, *C. pubescens*, *C. chinensis*, y *C. frutescens*, identificando 12 variantes dentro de *C. annum*, que son: Huaque, Zambo, Pasa, Chocolate, Diente de Perro, Dulce, De Zope, Lengua de Gallina, Bolito (tolito) Chilín (chiik) Chamborote, y Ululté, (cobanero), todos cultivados, y al chiltepe o chile de montaña en *C. annum* L var *aviculare*, identificado anteriormente como *C. annum* var *bacatum*. de la misma manera reporta a *C. frutescens* como un espécimen raro en Guatemala, específicamente en el Dpto del Peten, también reporta *C. pubescens* del cual solo le ubica en zonas arriba de los 1500msnm. denominado Siete caldos.

En la actualidad, Hosting (1999) en un estudio etnobotánico de la Cultura Mam, señalan que según las costumbres alimenticias de la cultura Mam de Quetzaltenango, clasifican los alimentos en 5 categorías, el primero compuesto por los elementos fabricados de maíz, en segundo plano todos aquellos elementos compuestos por hierbas, legumbres, carnes y verduras carnosas, chile y algunos alimentos industrializados (Pastas) y en las siguientes categorías se encuentran los condimentos, las frutas y las bebidas; como tercera, cuarta y quinta categorías respectivamente, es de hacer notar que el chile se encuentra en la segunda categoría de los alimentos consumidos por este grupo.

Más recientemente María Benito (2000) confirma lo aseverado anteriormente al describir las prioridades de los habitantes de una comunidad de Nebaj, Quiché, en la cual se hace referencia a las compras semanales que incluyen en el orden que lo proporciona la autora chile, azúcar, sal, tomates, cebollas, café, carne y jabón. De la misma manera Hosting (1999) manifiesta que el chile tiene una participación importante en la vida ceremonial religiosa de grupo Mam, describiendo la ceremonia a Santiago Chuchó, celebrada por los pobladores de San Martín Sacatepéquez ( antiguamente denominado San Martín Chile Verde) en el cual los habitantes llevan al patrono ofrendas compuestas por chiles, pacayas (inflorescencias de *Chamaedorea tepijilote*), maíz, ayotes (*Cucúrbita moschata*) y hojas de tamal (*Calathea sp*), productos de la región.

Existen dos estudios realizados por la Facultad de Agronomía de la Universidad de San Carlos de Guatemala. El primero lleva por nombre *Caracterización de Algunos Cultivos Nativos de Guatemala* (Azurdia 1995), que recoge la información arrojada en los años de 1983 y 1986 donde se inicio la recolección y caracterización de dicha especie a nivel nacional, como parte de un programa que involucró diferentes cultivos nativos de Guatemala. El segundo estudio fue realizado por Helmer Dagoberto Ayala Vargas de la Facultad de Agronomía de la Universidad de San Carlos de Guatemala, y lleva por título *Le Ik o Los chiles en Guatemala*. En dicho estudio presenta los diversos tipos de chiles presentes en el país, su taxonomía, morfología, producción por departamento, etc.

## 2.2 Biología del chile

2.2.1 Generalidades. La planta del chile es una angiosperma dicotiledónea. Son hierbas o arbustos anuales (de ahí el nombre *annuum*) que pueden ser perenne si las condiciones son favorables. El chile es un fruto simple llamado baya: fruto carnoso hueco en forma de cápsula y lleno de aire en cuyo interior se encuentran las semillas. Cada flor produce gametos masculinos y femeninos (hermafrodita) y tiene de cinco a ocho pétalos, entre cinco a ocho estambres y de dos a cinco pistilos. En la base de estos últimos está el ovario que contiene a los óvulos. El ovario es el lugar donde los óvulos, al ser fecundados, producen semillas. Los óvulos están unidos a través de un hilillo llamada funículo a una parte del ovario llamada placenta. Esta estructura es donde se produce y encuentra más concentrada la capsaicina, la sustancia que le confiere lo picante al chile. A los pocos días que se inicia el desarrollo del fruto, algunas células de la placenta se vuelven glandulares, secretando la capsaicina, la cual alcanza su mayor concentración cuando el fruto cambia de color (López Riquelme, 2003).

Todos los chiles pertenecen al género *Capsicum*, el cual se incluye en la familia de las solanáceas, en donde también se ubican el jitomate y el tabaco. La clasificación de las especies de chile se basa principalmente en la forma de las flores, la genética, la bioquímica y la distribución geográfica. (López Riquelme, 2003).

Para la determinación de las especies pertenecientes al género distribuidas en el país Gentry & Stanley 1952 proponen la siguiente clave.

- Cáliz con 5 apéndices lineares, justo debajo del margen del truncado cáliz.
  - Hojas ovadas a elípticas, el ápice corto y acuminado, pubescente en el envez, las hojas aparecen en pares, las pequeñas de la misma forma, cáliz inconspicuamente 5-ribbed, los apéndices del cáliz de 1.5 a 2.5mm de largo ..... *C. ciliatum*
  - Hojas estrechamente lanceoladas a estrechamente elípticas, el ápice angosto, pubescente solamente en las nervaduras en el envez, hojas en pares y las pequeñas diferentes en forma y tamaño; cáliz conspicuamente 5 ribbed, los apéndices del cáliz de 3.5 a 5.5mm de largo.....*C lanceolatum*

2.2.2 Pungencia de los chiles. La pungencia de los chiles se debe a la capsaicina, o más precisamente, a un grupo de sustancias de naturaleza alcaloide llamadas capsaicinoides. Estos compuestos son tan potentes que un ser humano puede detectar lo picante de una gota disuelta en más de cien mil gotas de agua. La estructura química de los capsaicinoides es muy similar. Varían solamente en el largo de la cadena hidrocarbonada y por la presencia o ausencia de un doble enlace en dicha cadena. La principal característica que comparten estas moléculas es una estructura aromática (un anillo cerrado de seis carbonos) llamado grupo vanilil, como el de la vainillina, el compuesto de la vainilla. Así los capsaicinoides son parte de la familia de compuestos químicos llamados vaniloides. (López Riquelme, 2003).

De todos los capsaicinoides, dos son los típicamente responsables de hasta 90% del contenido de capsaicinoides en un chile y, por lo tanto, de su pungencia: 1) la capsaicina, conocida como 8 metil N vanilil 6 nonamida por los químicos orgánicos, y 2) la dihidrocapsaicina. Estos compuestos generalmente se encuentran en una relación de uno a uno y son llamados capsaicinoides mayores, ambos con unas 16 000 000 unidades scoville, siendo las unidades scoville una medida de la pungencia de los chiles. Los capsaicinoides menores, llamados así porque se encuentran en menor concentración, incluyen a la homocapsaicina, himodihidrocapsaicina (ambas con 8 600 00 unidades) y la nordihidrocapsaicina (con 9100000). (López Riquelme, 2003).

La capsaicina se aisló por primera vez en 1846 y su estructura química se determinó en 1919 (Szallasi y Blumberg, 1999) su empleo en actividades no culinarias es mucho más antiguo. Se dice que los incas quemaban chiles secos para combatir a los invasores españoles (Naj, 1992), mientras que otros pueblos nativos americanos usaron el chile para tratar afecciones como el asma, la tos y el dolor de garganta o como analgésico para aliviar los dolores de muelas (Whittet, 1968; Lembeck, 1983; Dasgupta y Fowler, 1997). Este último uso se popularizó años después en Europa: hacia 1850 se recomendaba el uso de extractos alcohólicos de chile para aliviar los dolores dentales (Szallasi y Blumberg, 1999).

Dado el gran auge en el consumo de chile, es importante que los beneficios que obtiene el hombre al consumirlo no se vea afectado por otros efectos provocados por algunos tipos de chile. En este sentido, además de las propiedades benéficas que contiene el chile, también contiene otros componentes de índole desconocida que se han relacionado con su consumo, en particular aquellos que provocan diferentes tipos de irritación. Se sabe que la irritación no está relacionada con la pungencia, ya que se conocen varios tipos de chile que son extremadamente pungentes y no causan irritación, mientras que otros no son tan pungentes pero son altamente irritantes.

Existen dos ejemplos de este tipo de chiles; por un lado, el chile jalapeño, el cual presenta un fruto de color verde a verde oscuro y en su estado completamente maduro presenta una coloración rojo intenso. Este tipo de chile se considera de picoso a muy picoso y se sabe que provoca irritación a diferentes niveles del tracto digestivo. Se cultiva ampliamente en diferentes regiones del país y es muy utilizado tanto en fresco como seco ahumado (chipotle).

Por otro lado, el chile habanero presenta diferentes colores: anaranjado, amarillo, blanco y rojo, predominando el color anaranjado que es preferido por el consumidor. Este tipo de chile es considerado extremadamente picante teniendo como característica que el nivel de pungencia no persistente y desaparece poco tiempo después que el fruto ha sido consumido (Laborde y Pozo, 1982). Una de las principales características, en contraste con el chile jalapeño, es que no provoca ningún tipo de irritación en el tracto estomacal. A la fecha no se ha realizado ningún intento por identificar la sustancia o sustancias responsables de la irritación; sin embargo, es importante identificar este compuesto(s) para fines de mejoramiento o manipulación genética.

2.2.3 Capacidad antioxidante. El interés por este cultivo no se centra únicamente en su importancia económica; se ha demostrado que el chile es una fuente excelente de colorantes naturales, vitaminas como la C, E, y A y minerales. Además, el interés por esta planta se ha incrementado por la presencia de otros compuestos, conocidos como fitoquímicos, que tienen un efecto benéfico sobre la salud humana (Guzmán-Maldonado y Paredes-López, 1998). Dentro de este grupo de compuestos se encuentran los ácidos fenólicos, de los cuales se sabe que reducen el riesgo de contraer cáncer, problemas cardiovasculares y otras enfermedades crónico degenerativas (Dillard y German, 2000).

Muchos compuestos presentes en los alimentos ejercen sobre el organismo funciones adicionales a sus efectos meramente nutritivos o saborizantes. El chile es una buena fuente de antioxidantes dietéticos, como flavonoides, compuestos fenólicos, carotenoides, ácido ascórbico, vitamina A, y los propios capsaicinoides. El uso terapéutico de la capsaicina podría ir mucho más allá de sus efectos antioxidantes. Investigaciones tempranas mostraron que la capsaicina inactiva a las neuronas sensoriales encargadas de transmitir el dolor, lo que ha permitido su uso como herramienta para estudiar los mecanismos de transmisión

de éste. Asimismo, se ha explorado el empleo de la capsaicina como analgésico para el tratamiento del dolor en afecciones como la artritis reumatoide, diversos tipos de neuralgias, el síndrome postmastectomía y la neuropatía diabética. Como también en el combate contra la obesidad. (Salazar, Silva Herrera, 1999).

La principal característica de un antioxidante es su habilidad para atrapar radicales libres. Estos radicales libres pueden oxidar ácidos nucleicos, proteínas, lípidos o ADN y pueden iniciar enfermedades degenerativas. (Rodríguez – Amaya, 2002). Hay varias fuentes endógenas de radicales libres: reducción de oxígeno molecular en la mitocondria durante la respiración celular; fagocitosis, en la cual hay liberación de óxido nítrico, y la degradación de ácidos grasos y otras moléculas las cuales producen peróxido de hidrógeno.

Un método simple y rápido involucra la medición de la capacidad antioxidante de alimentos por medio del radical libre 2,2-difenil-1-picrihidrazil (DPPH). El DPPH es usado ampliamente para probar la habilidad de los compuestos para actuar como removedores de radicales libres o donadores de hidrógeno. El método DPPH puede usarse con muestras sólidas o líquidas y no es específico para ningún antioxidante, pero se aplica a la capacidad antioxidante total. Una medida de la capacidad antioxidante total ayuda a entender las propiedades funcionales de un alimento (Rodríguez – Amaya, 2002).

El electrón libre en el radical DPPH da una fuerte absorción a 517nm y tiene un color púrpura. El color se vuelve de púrpura a amarillo a medida que la absorbancia molar del radical de DPPH a 517nm se reduce de 9660 a 1640 cuando el electrón libre de DPPH se aparea con un hidrógeno de un antioxidante eliminador de radicales libres para formar DPPH-H reducido. La decoloración resultante es estequiométrica con respecto al número de electrones capturados. (Rodríguez – Amaya, 2002).

2.2.4 Taxonomía del *Capsicum*. Dentro de las especies cultivadas más importantes se encuentran *C. annum*, *C. frutescens*, *C. chinense* *C. baccatum*, y *C. pubescens*. Sin embargo para comprender la complejidad de la sistemática en el género se hace necesario conocer las diferencias morfológicas de las especies, en particular color de la corola, de anteras, semilla y número de flores por nudo. McLeod (1982) presenta a todos los representantes del género diferenciados en tres grupos de acuerdo a la coloración de los pétalos de la corola de la flor. Para tener una visualización más amplia de la sistemática de las especies se presentan en la Tabla 1 con dichas especies así como las especies silvestres asociadas.

Cuadro 1. Ordenamiento sistemático de los grupos de *Capsicum* cultivados según la forma y el color de la flor.

| Taxón  | Patrón de coloración de la flor  |
|--|--|
| <p>GRUPO I</p> <p>Flores Púrpuras Grupo :<i>C. pubescens</i></p> <p><i>C. cardenasii</i> Heiser &amp; P Smith</p><br><p><i>C. eximium</i> Hunz.</p><br><p><i>C. pubescens</i> Ruiz y Pavon</p>   | <p>Campanulada y púrpura</p><br><p>Corolas púrpuras con manchas amarillas o blancas con manchas amarillas.</p><br><p>Púrpura interior blanquecino</p>      |
| <p>GRUPO II</p> <p>Flores blancas- Grupo <i>C. baccatum</i></p> <p><i>C. baccatum</i> L. var <i>baccatum</i> Smith</p><br><p><i>C. baccatum</i> var <i>pendulum</i> (Willd.) Eshbaugh</p><br><p><i>C. praetermissum</i> Heiser &amp; Smith</p>   | <p>Blancas con manchas amarillas</p><br><p>Blancas con manchas amarillas</p><br><p>Blancas con manchas amarillas o púrpura claro con manchas amarillas</p> |
| <p>GRUPO III</p> <p>Flores Blancas – Grupo de <i>C. annuum</i></p> <p><i>C. annuum</i> var <i>glabriusculum</i> ( Dunal 1852 ) Heiser &amp; Pickerggill .</p><br><p><i>C. annuum</i> L . var <i>annuum</i> Pickersgill</p><br><p><i>C. chinense</i> Jacq</p><br><p><i>C. frutescens</i> L.</p> | <p>Flores blancas</p><br><p>Flores blancas</p><br><p>Flores blancas</p><br><p>Flores blancas</p>   |

### Continuación Cuadro 1

|  |                       |
|--|-----------------------|
| <p>*</p> <p><i>C. chacoense</i> Hunz</p> | <p>Flores blancas</p> |
|--|-----------------------|

Fuente: Cuadro elaborado con base a información de McLeod *et al* (1982) y Heiser Jr. C.B. (1995).

\* *C. chacoense* aparece como un cuarto grupo ya que el trabajo de McLeod *et al* propone a esta especie como posible antecesor de las especies cultivadas y que comparte algunos caracteres tanto con las especies de flores púrpuras como los grupos de flores blancas.

2.2.5 Origen y distribución de los chiles. Diversos estudios han definido como el centro de origen de las especies del género a una gran área ubicada entre el sur de Brasil y el este de Bolivia, oeste de Paraguay y norte de Argentina. Pues en esta localidad han sido observados la mayor distribución de especies silvestres en el mundo (DeWitt D. & P. Bosland, 1993).

Siendo distribuidos posteriormente por toda la región americana desde el sur de EE.UU. hasta la Argentina. Sin embargo las formas silvestres relacionadas a *C. annuum* se encuentran entre México y Centro América. Los *C. frutescens* y *C. chinense* se encuentran en la Amazonia y Perú. Y el centro de origen de *C. baccatum* y de *C. pubescens* en Bolivia. Sin embargo las especies de mayor distribución geográfica son *C. annuum* y *C. frutescens*, las cuales se encuentran ampliamente distribuida en México, Centroamérica y el Caribe. *C. chinense* es la especie más cultivada en Sur América seguida de *C. baccatum*. Se conocen formas silvestres en todas las especies exceptuando *C. pubescens* (Gonzalez, M., 1998).

## 2.3 Liofilización y deshidratación térmica del *Capsicum*

El procedimiento más sofisticado para comercializar en polvo un líquido orgánico es la llamada Liofilización. Este es un sistema que comprobadamente, en una larga serie de medicamentos y otros productos naturales líquidos o en material vegetal fresco, permite una deshidratación completa sin el aumento de temperatura que puede hacer variar la composición química y biológica del producto final y mantiene todas sus propiedades al hidratarse. Se usa generalmente en la en la preparación comercial de antibióticos, de algunas vacunas y de muchos productos vegetales alimenticios y saborizantes. Es un proceso de congelación - desecación (freeze-drying).

La liofilización consiste en extraer el agua a una sustancia congelada saltándose el pasaje por el estado líquido: se congela una solución acuosa de la sustancia química que se desea liofilizar y, a esa baja temperatura que impide cambios químicos de deterioro, se le somete a un alto vacío que hace pasar el agua del estado sólido al estado gaseoso, sin pasar por el estado líquido. Es una forma de secar un producto

químico a temperaturas bajísimas, sin el deterioro que produciría el recalentamiento propio de la deshidratación.

Esto es sumamente atractivo ya que se pretende darle un matiz comercial a las especies de chiles de Guatemala, es decir promover un nicho de mercado nuevo en el cual se explote la cualidad antioxidante de estos productos. La liofilización es un proceso ideal para comercializar en gran escala una planta que además de ser atractiva para el consumidor debido a su sabor, posee la notación de ser nutraceutico, ya que en esta presentación se le dará una vida larga de anaquel, preservando el contenido de compuestos antioxidantes.

## 2.4 Chiles autóctonos de Guatemala

La variación en formas de chile picante en Guatemala es aún poco definida, sin embargo en los estudios hasta ahora conducidos permiten tener una lista de formas diferentes que se cultivan en el país y otros que aparecen en forma espontánea ya sea intercalado a cultivos de otras especies, o en campos o potreros. Las formas de cultivo de estos chiles van desde el apareamiento de diferentes ejemplares de chiles en los huertos caseros, o en campos de tamaños variables, dependiendo del tipo de chile, en los cuales se aplican algunas técnicas de cultivo, según sea el tipo y mercado que se busca abastecer (Azurdia y González, 1986).

A continuación se presentan en los chiles picantes que se han encontrado a la fecha en los estudios efectuados hasta la fecha. Debiendo señalar que no se incluyen aquellas formas cultivadas provenientes de materiales genéticos mejorados, que han sido introducidos de manera reciente a nuestro país y que ocupa la mayor parte del área reportada cultivada con chiles como los son: El chile pimienta, Jalapeños y Serranos.

2.4.1 Chiltepe. Está constituido por poblaciones en estado de maleza arvense o ruderal. Su fruto es apetecido por la población guatemalteca, a tal grado que es frecuente en casi todos los mercados de las diferentes localidades del país, debido a su sabor así como a la ventaja de no ser irritante al estómago. Se le puede observar creciendo por todo el país desde el nivel del mar hasta los 800 m, aunque se encuentra en forma cultivada hasta los 1300 m de altitud.

La planta generalmente mide de 1 a 1.20 m de altura, sus hojas miden entre 2 a 3cm de largo y 1 a 2cm de ancho, sus flores pequeñas con corolas generalmente blancas amarillentas y estambres azul verdoso, su fruto es generalmente esférico a obtuso en la base y ligeramente agudo en el ápice, se presenta verde oscuro en estado inmaduro y en algunos casos con presencia de antocianinas que provee una coloración negruzca. En estado maduro presenta un color naranja o rojo claro.

Los frutos tienen un largo promedio de 0.65cm, con un rango de 0.48cm a 0.87cm; ancho de 0.49cm, rango de 0.4 a 0.7 y un grosor de pericarpio de 0.58cm y un rango de 0.18 a 1.4cm.

Figura 1. Chile chiltepe



2.4.2 Chile chocolate o chile verde. Cultivo de importancia económica en regiones cálidas, húmedas y secas del país. Los frutos maduros se deshidratan y se consumen directamente en esa forma o bien se muelen para convertirlo en polvo tal como se prepara y consume el chile cobanero. Cuando se consume en estado inmaduro recibe el nombre de chile verde.

Este es un tipo de chile cuya una planta es erecta generalmente, llegando a medir entre 0.8 a 1m de altura y un ancho entre 60 a 80cm, los frutos suelen presentarse de forma intermedia a pendiente, son de forma elongada, con base obtusa, y ápice agudo, con peridermis bastante corrugada, y con dimensiones que oscilan entre los 7 a 10 cm de largo y el pericarpio es delgado midiendo de 0.5 a 1.8 mm. y de color verde claro, en estado inmaduro, y rojo en estado maduro.

El chile verde regularmente se utiliza para la elaboración de salsas picantes, y particularmente la forma más conocida de como es consumida en fresco es en el Pache Quetzalteco, el cual debe llevar un chile al centro del Pache, dándole una sabor particular.

Figura 2. Chile chocolate o chile verde



2.4.3 Chile Guaque o Huaque. Las características morfológicas de este cultivar son plantas de hábito postrado, tallos y hojas glabras, verdes y sus nudos verde púrpura, el pedicelo en antesis es pendiente, cáliz con márgenes dentados, sus frutos se presentan en posición intermedia con presencia de manchas negruzcas en estado inmaduro, tornándose a color rojo intenso al madurar, su forma es cónica de base obtusa, y cortada, con periferia lisa, y pungencia intermedia, con un largo que puede oscilar entre 10.25 a 7.25cm de largo y un ancho de 2.17 a 4.93cm y con un grosor de pericarpio que puede variar entre 4.46 a 0.72mm .

Se encuentra distribuido en áreas del altiplano central de Guatemala en las localidades de San Andrés Itzapa, Tecpan, Santa Polonia, Patzún y Patricia en Chimaltenango, y San Andrés Semetabaj y Godinez, en Sololá,

Los usos del chile son particularmente en la cocina tradicional del país, es así que platillos como el Tamal, Pepián, Mole de Plátanos, Tiras de panza, y otros es un elemento importante tanto para el sabor que proporciona como el color. Su consumo generalmente es seco, presentando en ese estado una coloración achocolatada. En estado inmaduro también es utilizado con frecuencia para la elaboración de los chiles rellenos, aunque en algunos sitios es sustituido por chiles pimientos (para los quienes no consumen picante) y por chiles jalapeños (para los que lo prefieren picante) esta sustitución se observa básicamente por la poca disponibilidad en los mercados nacionales de tales chiles.

Figura 3. **Chile Guaque**



2.4.4 Chile Diente de Perro o Pico de Gallina. Está constituido por poblaciones en estado de maleza ruderal, siendo frecuente en regiones de clima cálido húmedo, tanto en la Costa Atlántica como Pacífica.

Las características morfológicas más relevantes de este chile es que es una planta de porte pequeño de no más de 1m de alto, hojas menudas de 2 ó 3cm de largo y 1 ó 2cm de ancho, flores de pequeñas con corola de color blanca, anteras azul verdoso, el fruto puede aparecer solitario en pares por entrenudo, el pecíolo puede aparecer erecto o inclinado, el cáliz es campanulado además en la parte de la inserción del pecíolo al cáliz en algunos casos presenta una inclinación cercana a los 90 grados o geniculado (carácter asociado a *C. frutescens*).

El fruto en la mayoría de los casos se presenta de color verde claro en estado inmaduro y anaranjado en estado maduro, es alargado y mide de 3 a 5cm de largo y de 0.5 a 0.75cm de diámetro, levemente obtuso en la base y agudo en el ápice. Se le considera altamente pungente.

Figura 4. Chile Diente de Perro o pico de gallina



2.4.5. Chile Siete Caldos o De Caballo. Es una de las especies de chiles más picantes que se encuentra distribuidas en el altiplano central y occidental de Guatemala a altitudes que oscilan entre los 1600 a 2200 msnm, y en la zona de las Verapazes a altitudes que oscilan entre los 1200 a 1600 msnm. Crece exclusivamente a nivel de huerto familiar en cuyo caso puede alcanzar la configuración de un pequeño árbol.

Esta especie es significativamente diferente a las otras especies, ya que la planta presenta un porte que va desde 1 a 3 metros según sea la edad, además tanto su follaje como sus tallos presentan pubescencia, la corola de sus flores son de color violáceo, y se presentan en forma solitaria, sus frutos son redondeados o alargados midiendo entre 2 hasta 5cm de diámetro y entre 4 hasta 6cm de largo, se suelen encontrar en coloraciones amarillos y rojos, presentan un mesocarpio carnoso, en comparación con las otras especies, ésta puede oscilar entre 0.3 a 0.5cm, y otra característica que lo diferencia de las otras especies es el color de sus semillas que son de color negro.

Figura 5. Chile 7 caldos



2.4.6 Chile Habanero. Es uno de los representantes de la especie *C. chinense* en Guatemala. La planta de este cultivar se presenta en forma erecta, tallos y hojas glabras, de color verde claro, el pedicelo en anthesis es erecto, los márgenes del cáliz dentado, corola de color blanco verdusco, anteras azul pálido, presenta constricción anular en la unión del cáliz y pecíolo, los frutos son de posición intermedia, de color verde claro en estado inmaduro y de color amarillo, naranja o rojo al madurar, de forma campanulada y de periferia rugosa, sus dimensiones varían entre 3 a 4 cm de largo y 3 a 3.5 cm de diámetro.

Originalmente se han sembrado algunos cultivares locales, pero en la actualidad se están haciendo introducciones de materiales mejorados de las Antillas, sembrándose exclusivamente en el Petén.

Éste es un chile, que en la actualidad adquiere una importancia singular, debido a que se están realizando esfuerzos para exportar dicho producto, ya que este chile tiene en la actualidad una demanda especial en los mercados Norteamericano y Asiático, para consumo en salsas, así como para ser utilizados en la farmacéutica debido a sus propiedades medicinales.

Figura 6. Chile habanero



}

### 3. JUSTIFICACIÓN

Guatemala es un país que debido a la gran variedad de especies de chiles que posee, presenta un gran potencial para la industrialización de este producto. Es después de Méjico, el segundo centro de distribución de variación genética de la especie. No obstante, el chile se utiliza en el ámbito nacional mayormente como fruto de venta de mercados cantonales y municipales con casi ninguna aplicación tecnológica, más que algunas especies que se comercializan secas debido a sus características organolépticas y en salsas.

En los últimos años el chile ha cobrado importancia debido a los estudios que se han hecho con respecto al contenido de compuestos capsaicinoides. Compuestos que entre otras bondades, le otorgan al chile características antiinflamatorias y analgésicas. Paralelamente con estos estudios se ha determinado también que la mayor parte de las especies de chile posee un alto poder antioxidante debido al contenido de polifenoles, carotenoides, antocianinas, vitaminas A y C que presenta.

La cualidad nutraceutica del *Capsicum spp* se puede explotar si se comercializa de algún modo que por un lado el proceso que se aplique le de una vida útil significativa y por otro que logre conservar la composición química y biológica del producto. Con base a lo anterior, el proceso de liofilización es el más indicado, ya que consiste en extraer el agua a una sustancia congelada saltándose el pasaje por el estado líquido: se congela una solución acuosa de la sustancia química que se desea liofilizar y, a esa baja temperatura que impide cambios químicos de deterioro, se le somete a un alto vacío que hace pasar el agua del estado sólido al estado gaseoso, sin pasar por el estado líquido.

Con este proceso se obtendría un producto nuevo en el mercado, al cual se le podría explotar todas las características positivas del chile. Así mismo, es sumamente interesante realizar la comparación con otro proceso que básicamente el objetivo es el mismo pero que requiere de otro camino para realizarlo. Ciertas especies se comercializan secas o deshidratadas pero este proceso de deshidratación sí requiere de altas temperaturas con lo cual, la composición química y biológica se puede ver afectada. Razón por lo cual es importante hacer esta comparación para determinar las diferencias en cuanto al efecto que estos dos procesos le proporcionan a la calidad fotoquímica del *Capsicum* guatemalteco y es también importante para fines puramente académicos ya que proporciona información importante para el estudio del comportamiento de la capacidad antioxidante al procesar la muestra en cuestión.

Este polvo podría utilizarse tal cual o podría rehidratarse para cualquier aplicación en la cocina ya sea a nivel industrial o a nivel doméstico. En la actualidad hay mucho interés por parte de un segmento grande de la población que requiere alimentos que no sólo provean de sabor a sus platillos sino que cumplan con esa segunda cualidad de ser beneficiosos para la salud.

El presente trabajo plantea la evaluación del efecto que puede tener tanto el proceso de liofilización como el proceso de deshidratación sobre la capacidad antioxidante de los chiles autóctono del país. Al poseer Guatemala una gran variedad de especies tiene la posibilidad de poder comercializarlas ya sea por separado o en una mezcla que podría actuar sinérgicamente para obtener un mayor poder antioxidante.

## 4. OBJETIVOS

### 4.1 Objetivo general

Determinar si existen diferencias significativas entre la capacidad antioxidante de las especies del género *Capsicum spp.* (Chile) autóctonas de Guatemala, previo y después de ser liofilizadas y deshidratadas en paralelo.

### 4.2 Objetivos específicos

- Por medio de análisis de laboratorio, determinar el poder antioxidante de las especies de chile autóctono de Guatemala en fresco para obtener una base de datos para futuras referencias.
- Contribuir con una herramienta de referencia acerca de la caracterización física, química y fisicoquímica de las especies chile autóctonas de Guatemala
- Documentar por medio de fotografías a las diferentes variedades del género *Capsicum* autóctonas de Guatemala.
- Determinar si una mezcla de especies actúan de manera sinérgica para generar un mayor poder antioxidante.

## 5. HIPÓTESIS DE TRABAJO

- El efecto sobre la capacidad antioxidante del *Capsicum spp* no será estadísticamente significativo al liofilizarlo, no así al deshidratarlo.
- Al realizar ensayos de mezclas de variedades de chile, se debe generar un efecto sinérgico reflejado en un aumento de la capacidad antioxidante.

## 6. MATERIALES Y MÉTODOS

### 6.1 Material biológico

#### 6.1.1 chiles

- Chiltepe (*C. annuum* var. *aviculare*)
- Chile Verde (*C. annuum* var. *annuum*)
- Chile Diente de Perro (*C. annuum* var. *annuum*)
- Chile Siete Caldos (*C. pubescens*)
- Chile Guaque (*C. annuum* var. *annuum*)
- Chile Habanero (*C. chinense*)
- Chile Pimiento (*C. frutescens*)

### 6.2 Muestreo

Las muestras fueron obtenidas en el mercado central ubicado en la zona 1 capitalina y en el centro nacional de acopio (CENMA), lugares donde son llevados la mayor parte de chiles nacionales por parte de los productores para su posterior comercialización. Con excepción del chile habanero que únicamente se da en El Petén.

### 6.3 Análisis proximal base seca

Para llevar a cabo el análisis proximal en base seca es necesario secar las muestras para luego ser molidas y obtener un polvo homogéneo. Las pruebas son las siguientes:

#### 6.3.1 Humedad según método 7.003 (AOAC, 1984)

- Horno Fisher Scientific Isotemp ® 500 series
- Cápsulas de aluminio con tapadera
- Desecadora
- Balanza

### 6.3.2 Proteína según método 2.058 (AOAC, 1984)

- Balones Kjeldahl de 100ml.
- Aparato de destilación microkjeldahl Labconco
- Aparato de digestión Labconco
- Ácido Sulfúrico concentrado
- Óxido de mercurio grado reactivo
- Sulfato de sodio anhidro grado reactivo
- Solución de ácido clorhídrico 0.1N
- Solución de hidróxido de sodio 10N
- Solución indicadora de rojo de metilo
- Ácido bórico al 4%(p/v) en agua
- Tiosulfato de sodio al 8% (p/v) en agua

### 6.3.3 Grasa según método 7.061 (AOAC, 1984)

- Unidad de destilación tipo Soxhlet
- Balanza analítica
- Éter dietílico

### 6.3.4 Cenizas según método 7.009 (AOAC, 1984)

- Mufla Thermolyne 62700
- Crisoles de porcelana

### 6.3.5 Fibra cruda según método 7.070 (AOAC, 1984)

- Aparato de digestión para fibra Labconco
- Horno Fisher Scientific Isotemp ® 500 series
- Mufla Thermolyne 62700
- Desecadora
- Ácido sulfúrico al 1.25%
- Hidróxido de sodio al 1.25%
- Crisoles de vidrio de fondo poroso Pirex 50ml ASTM 40-60 C

### 6.3.6 Fibra dietética según método 985.29 (AOAC, 1997)

- $\alpha$  Amilasa
- Proteasa
- Amiloglucosidasa
- Hidróxido de sodio 0.275N
- Ácido clorhídrico 0.325N
- Determinación de proteínas y cenizas para calcular fibra dietética

### 6.3.7 Carbohidratos totales

- La determinación se hizo por medio de diferencia del 100% y los demás constituyentes del análisis proximal.

## 6.4 Determinación del poder antioxidante

### 6.4.1 contenido de antocianinas

- Metanol / HCl concentrado (99:1)
- Buchner
- 2 crisoles
- Espectrofotómetro

### 6.4.2 Contenido de vitamina C

- 2,6 dicloroindofenol
- Solución de extracción  
Ácido metafosfórico  
Ácido acético glacial
- Solución patrón con ácido ascórbico  
L-ácido ascórbico  
Ácido metafosfórico  
Agua destilada

Ácido ascórbico mg = 1/ml consumidos de dicloroindofenol

6.4.3 Capacidad antioxidante. Este método, se basa en la reducción de la absorbancia medida a 515 nm del radical DPPH•, por antioxidantes. Se basa en la medida de la absorbancia del radical DPPH• 100 µM (3,9 mL) disuelto en metanol al 80%, a la longitud de onda de 517 nm. Se añade 0,1 mL de la muestra o patrón, la mezcla se homogeniza cuidadosamente, y se mantiene en la oscuridad durante 30 minutos. Las medidas de absorbancia a 517 nm se realizan antes de añadir la muestra (A0) y pasados los 30 y 60 minutos (Af). La concentración de DPPH• en el medio de reacción se calcula a partir de una curva de calibrado obtenida por regresión lineal. Los resultados se expresan en TEAC, o sea, actividad equivalente a Trolox (µM/g de muestra peso fresco).

#### 6.4.4 Carotenoides totales como equivalentes de β-carotenos

- Se pesan de 1 a 2 gramos del material en un beacker de 50ml. Se le adicionan 2ml de acetona analítica hasta formar una pasta.
- Se agregan de 15 a 20ml de acetona. Se mezcla bien y es filtrada con papel filtro Whatman No. 4.
- Se lava el material con porciones sucesivas de acetona hasta dejarlo libre de pigmentos. Se recibe directamente el filtrado en un balón de 50ml.
- Se lee la absorbancia a 450nm y se usa acetona como blanco. Se hacen las correcciones con el blanco.
- Se calculan los carotenoides totales con la siguiente ecuación:

$$\text{Ppm} = (\text{abs}/2500) * (\text{vol.t total}/100\text{ml}) * (1 * 10^6) * (1/\text{peso de muestra})$$

#### 6.4.5 Unidades Scoville (pungencia)

- Extracción con etanol al 95%
- Dilución con agua con azúcar.
- Determinación de presencia de pungencia sensorialmente por un panel.

## 6.5 Análisis estadístico

Para poder tener una mejor visualización de los datos arrojados de las pruebas experimentales de laboratorio, se correlacionarán los resultados para apreciar en forma gráfica el efecto que ejerza la liofilización y deshidratación sobre la capacidad antioxidante de los chiles en cuestión. La forma matemática será la siguiente:

$$Y = aX + B + \xi$$

Donde,

B = Capacidad antioxidante previo a cada proceso  
X = Efecto de cada proceso  
Y = Capacidad antioxidante posterior a cada proceso  
a = Dato de arreglo lineal  
 $\xi$  = Error por aleatorización

6.5.1 Análisis de varianza (ANOVA). Para evaluar las diferencias entre los efectos de cada proceso para cada especie, se evaluarán los resultados por medio de la prueba t de student con una significancia de 0.005.

Prueba de una hipótesis acerca de la diferencia entre dos medias

- Hipótesis nula:  $H_0 : (\mu_1 - \mu_2) = D_0$ , donde  $D_0$  es una diferencia especificada que se quiere probar. Para muchas pruebas talvez se desee probar que no hay diferencia entre  $\mu_1$  y  $\mu_2$ , es decir  $D_0 = 0$ , tal como en esta tesis de graduación.
- Estadística de prueba:  $t = ((x_1 - x_2) - D_0) / (s*(1/n_1 + 1/n_2)^{1/2})$
- Región de rechazo:  $t > t_\alpha$
- Los valores críticos de t y  $t_\alpha$  se basan en  $(n_1+n_2-2)$  grados de libertad y en una significancia de 0.005. Los valores tabulados se determinan en un formato tabular de la t de student.

## 7. RESULTADOS

Cuadro II. Actividad antioxidante expresada en ppm de ácido ascórbico de muestras en fresco, liofilizadas y deshidratadas térmicamente.

| Variedad        | Fresco (ppm Vit C) | Liofilizado (ppm Vit C) | Deshidratado térmicamente (ppm Vit C) |
|-----------------|--------------------|-------------------------|---------------------------------------|
| D Perro         | 317 $\pm$ 7        | 278 $\pm$ 5             | 184 $\pm$ 4                           |
| Guaque          | 285 $\pm$ 6        | 170 $\pm$ 8             | 96 $\pm$ 6                            |
| Chiltepe        | 317 $\pm$ 8        | 293 $\pm$ 4             | 179 $\pm$ 8                           |
| Verde           | 278 $\pm$ 5        | 249 $\pm$ 7             | 162 $\pm$ 6                           |
| Habanero        | 327 $\pm$ 6        | 189 $\pm$ 7             | 133 $\pm$ 8                           |
| Pimiento        | 336 $\pm$ 9        | 285 $\pm$ 4             | 226 $\pm$ 5                           |
| 7 caldos        | 336 $\pm$ 6        | 327 $\pm$ 6             | 117 $\pm$ 9                           |
| Haban/D Perro   | 308 $\pm$ 7        | 272 $\pm$ 8             | 230 $\pm$ 7                           |
| Diente P./7 cal | 359 $\pm$ 4        | 336 $\pm$ 10            | 272 $\pm$ 4                           |
| Pimi/Habanero   | 347 $\pm$ 6        | 308 $\pm$ 3             | 254 $\pm$ 8                           |
| 7caldos/Pimien  | 336 $\pm$ 8        | 327 $\pm$ 9             | 300 $\pm$ 7                           |
| 7caldos/Haban   | 204 $\pm$ 7        | 195 $\pm$ 5             | 172 $\pm$ 5                           |

Cuadro III. Porcentajes de reducción de actividad antioxidante posterior a los procesos de liofilización y deshidratación térmica.

| Variedad        | Liofilización (%) | Deshidratación térmica (%) |
|-----------------|-------------------|----------------------------|
| D Perro         | 12.22             | 42.06                      |
| Guaque          | 40.51             | 66.51                      |
| Chiltepe        | 7.76              | 43.63                      |
| Verde           | 10.54             | 41.93                      |
| Habanero        | 42.09             | 59.33                      |
| Pimiento        | 15.21             | 32.83                      |
| 7 caldos        | 2.96              | 65.21                      |
| Haban/D Perro   | 11.85             | 25.36                      |
| Diente P./7 cal | 6.19              | 24.19                      |
| Pimi/Habanero   | 11.15             | 26.73                      |
| 7caldos/Pimien  | 2.96              | 10.84                      |
| 7caldos/Haban   | 4.54              | 15.73                      |
| Promedio        | 14 $\pm$ 8        | 38 $\pm$ 12                |

Cuadro IV. Existencia de evidencia que indique diferencia significativa entre capacidad antioxidante de muestras procesadas contra muestras en fresco, utilizando la prueba t de student con un nivel de significancia de 0.005.

| Variedad        | Liofilización | Deshidratación térmica |
|-----------------|---------------|------------------------|
| D Perro         | +             | +                      |
| Guaque          | +             | +                      |
| Chiltepe        | +             | +                      |
| Verde           | +             | +                      |
| Habanero        | +             | +                      |
| Pimiento        | +             | +                      |
| 7 caldos        | -             | +                      |
| Haban/D Perro   | +             | +                      |
| Diente P./7 cal | -             | +                      |
| Pimi/Habanero   | +             | +                      |
| 7caldos/Pimien  | -             | +                      |
| 7caldos/Haban   | -             | +                      |

+ = Existencia de evidencia indicando diferencia significativa

- = No existe evidencia indicando diferencia significativa

Figura 7. Capacidad antioxidante de muestras de chiles frescos expresadas en ppm de ácido ascórbico.

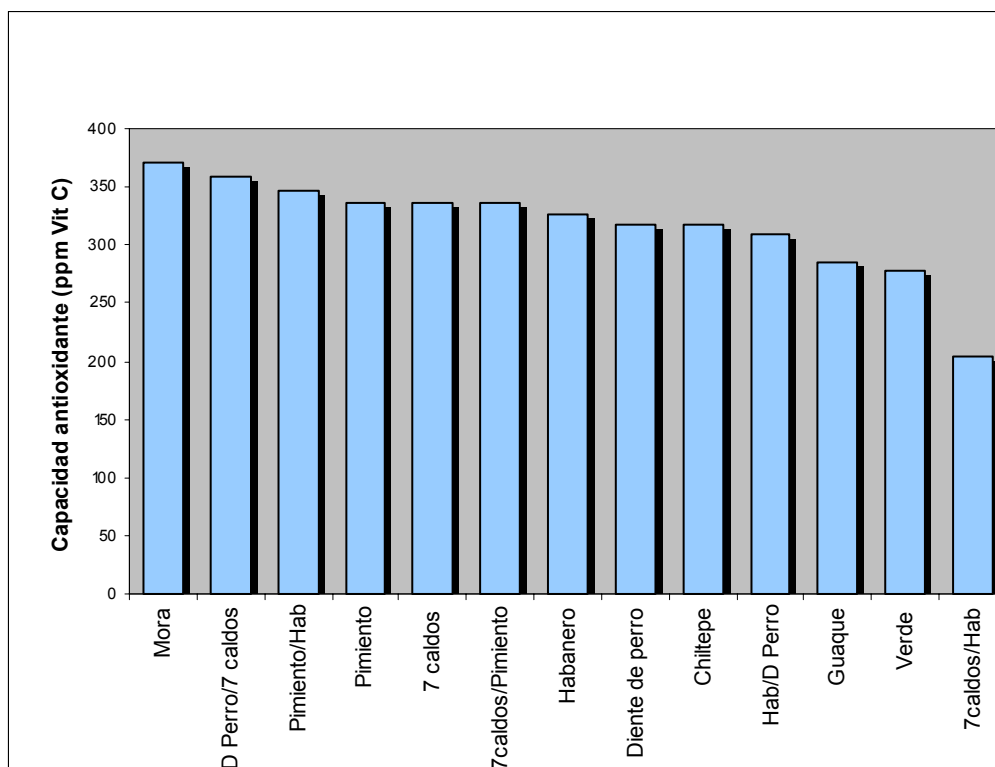


Figura 8. Capacidad antioxidante (ppm Vit C) vs. Estado de los chiles estudiados (frescos, liofilizados y deshidratados térmicamente).

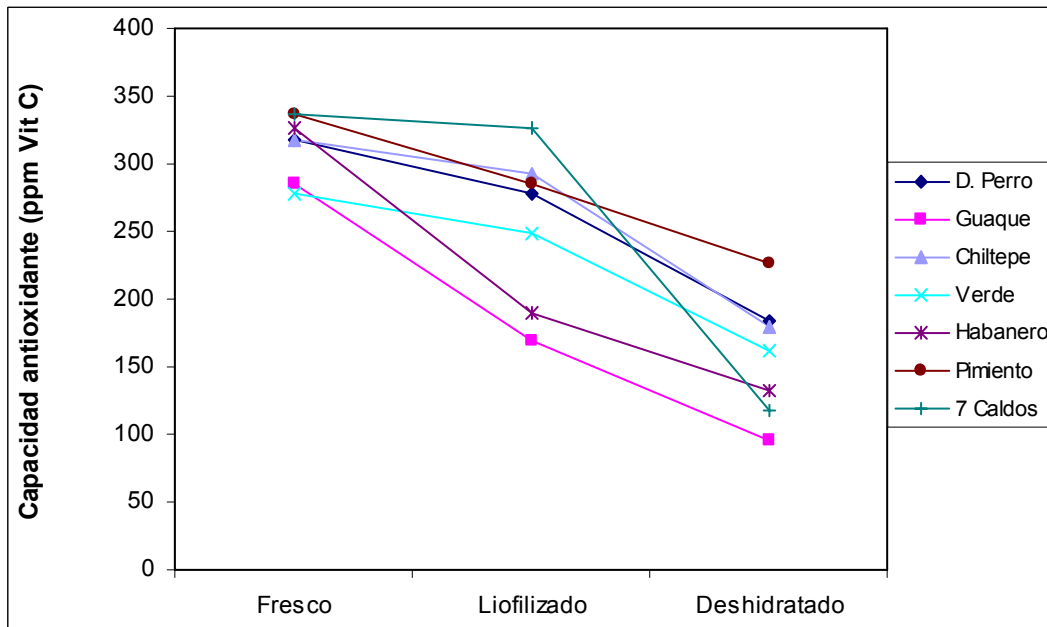


Figura 9. Capacidad antioxidante (ppm Vit C) vs. estado de las mezclas de los chiles estudiados (frescos, liofilizados y deshidratados térmicamente).

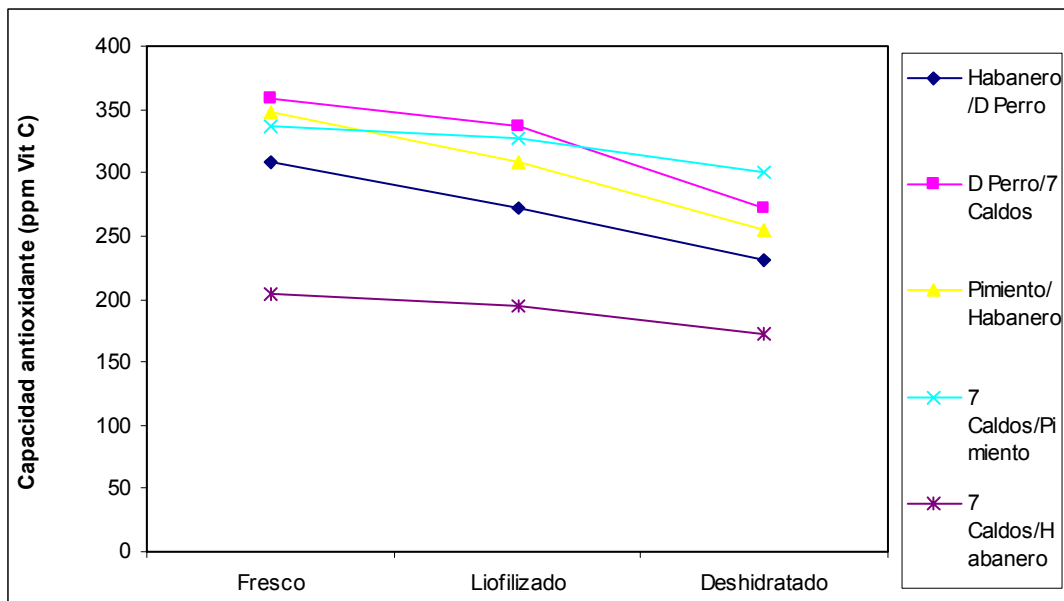


Figura 10. Capacidad antioxidante (ppm Vit C) vrs concentración de carotenos totales en ppm

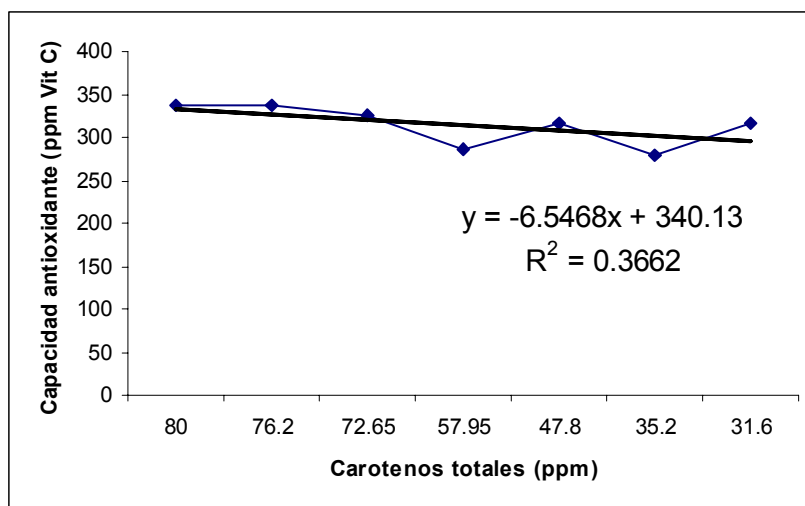


Figura 11. Capacidad antioxidante (ppm Vit C) vrs concentración de vitamina C (mg/100gr muestra)

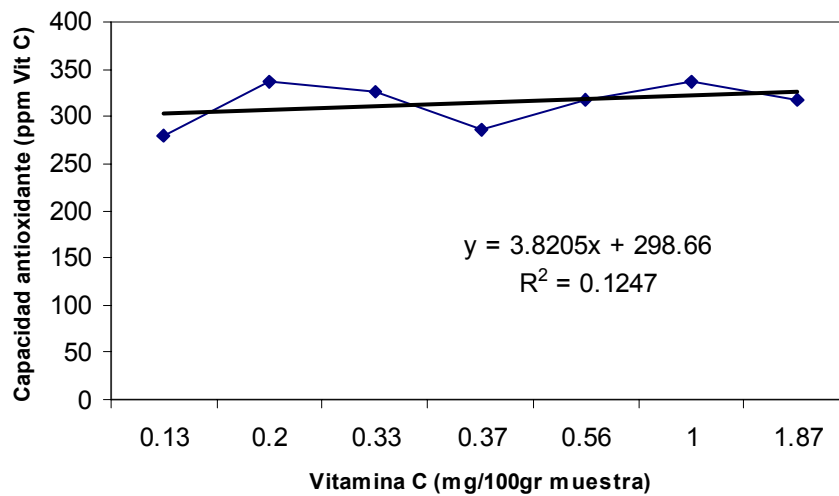
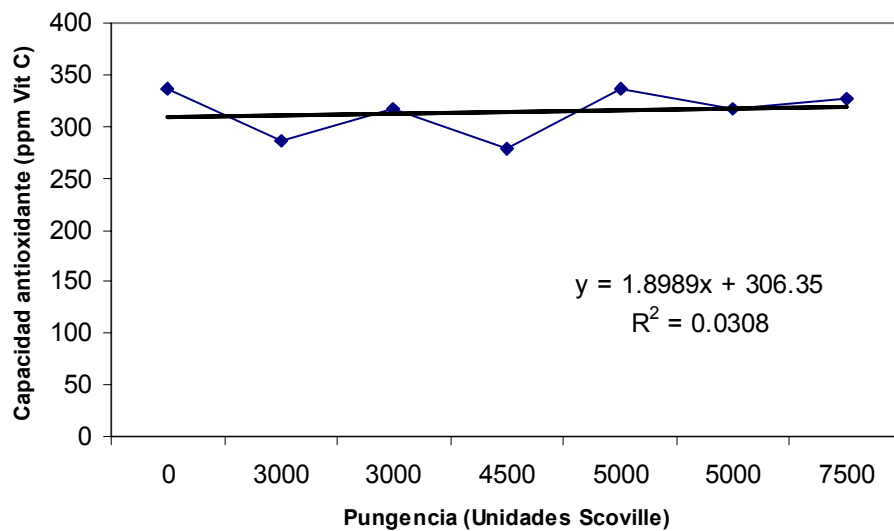


Figura 12. Capacidad antioxidante (ppm Vit C) vrs pungencia (unidades scoville)



Cuadro V. Resumen de resultados promedio de caracterización física

| Chile           | Cantidad de semillas | Color del fruto                                | Ancho (cm) | Largo (cm) |
|-----------------|----------------------|--|------------|------------|
| Chiltepe        | 26±1                 | Inmaduro: verde/negro<br>Maduro: rojo/amarillo | 0.4±0.1    | 0.6±0.03   |
| Verde           | 85±1                 | Verde<br>Maduro: rojo                          | 1.6±0.6    | 8±1        |
| Diente de perro | 33±1                 | Inmaduro: verde<br>Maduro: rojo/amarillo       | 0.61±0.02  | 1.74±1.2   |
| Siete Caldos    | 83±2                 | Inmaduro: verde<br>Maduro: rojo/amarillo       | 4.4±0.7    | 6±1        |
| Guaque          | 129±1                | Inmaduro: negro<br>Maduro: rojizo              | 3.2±0.8    | 10±1       |
| Chocolate       | 64±1                 | Inmaduro: verde<br>Maduro: Rojo                | 1.6±0.3    | 8±1        |
| Cobanero        | 63±1                 | Rojo/café                                      | 1.2±0.5    | 2±1        |
| Zambo           | 87±3                 | Rojo/café                                      | 2.4±0.8    | 6±1        |
| Habanero        | 41±3                 | Inmaduro: verde<br>Maduro: rojo/amarillo       | 4.3±0.6    | 5±1        |
| Chile Pimiento  | 35±2                 | Inmaduro: verde<br>Maduro: rojo                | 3.2±1.1    | 12±3       |

Cuadro VI. Resumen de resultados promedio de composición proximal base seca

| Chile           | Proteína (%) | Grasa (%) | Fibra cruda (%) | Humedad (%) | Ceniza (%) |
|-----------------|--------------|-----------|-----------------|-------------|------------|
| Chiltepe        | 13±1         | 0.3±0.01  | 8±1             | 55±4        | 6±1        |
| Verde           | 14±1         | 0.4±0.05  | 13±1            | 63±3        | 7±2        |
| Diente de perro | 19±1         | 0.2±0.05  | 10±1            | 62±3        | 6±1        |
| Siete Caldos    | 15±2         | 0.4±0.03  | 12±1            | 62±2        | 7±2        |
| Guaque          | 17±2         | 0.6±0.09  | 11±1            | 62±3        | 6±1        |
| Chocolate       | 15±1         | 0.5±0.07  | 13±2            | 60          | 7±3        |
| Cobanero        | 13±0.3       | 0.3±0.02  | 13±0.4          | 57          | 8±1        |
| Zambo           | 11±1         | 0.4±0.02  | 12±4            | 59          | 10±2       |
| Habanero        | 9±2          | 0.6±0.04  | 8±3             | 71±4        | 8±2        |
| Pimiento        | 10±2         | 0.6±0.03  | 9±1             | 70±3        | 5±1        |

Cuadro VII. Resumen de resultados de caracterización fisicoquímica

| Chile           | Ph | Densidad (gr/ml) | Actividad de agua |
|-----------------|----|------------------|-------------------|
| Chiltepe        | 4  | 0.6±0.2          | 0.89±0.04         |
| Habanero        | 4  | 1.5±0.1          | 0.85±0.01         |
| Verde           | 4  | 0.9±0.6          | 0.97±0.02         |
| Diente de perro | 5  | 0.8±0.15         | 0.97±0.02         |
| Siete Caldos    | 5  | 1±0.03           | 0.84±0.02         |
| Guaque          | 5  | 3.2±1.5          | Seco              |
| Chocolate       | 4  | 1±0.9            | Seco              |
| Cobanero        | 4  | 0.5±0.04         | Seco              |
| Zambo           | 4  | 0.4±0.01         | Seco              |
| Pimiento        | 4  | 0.8±0.02         | 0.9±0.05          |

Cuadro VIII. Resumen de resultados de poder antioxidante

| Chile           | Ácido ascórbico<br>(mg/100gr muestra) | Antocianinas (mg<br>cianidina/100gr muestra) | Carotenos<br>totales (ppm) |
|-----------------|---------------------------------------|--|----------------------------|
| Chiltepe        | 1.87±0.01                             | 0.3±0.02                                     | 48±1                       |
| Verde           | 0.13±0.01                             | 0.44±0.01                                    | 35±4                       |
| Diente de perro | 0.56±0.02                             | 0.23±0.02                                    | 32±4                       |
| Siete Caldos    | 0.2±0.04                              | 0.4±0.06                                     | 76±4                       |
| Guaque          | 0.37±0.01                             | 0.65±0.01                                    | 58±5                       |
| Chocolate       | 0.28±0.07                             | 0.56±0.01                                    | 64±2                       |
| Cobanero        | 0.3±0.03                              | 0.33±0.02                                    | 69±1                       |
| Zambo           | 0.44±0.06                             | 0.46±0.03                                    | 56±7                       |
| Habanero        | 0.33±0.05                             | 0.4±0.01                                     | 73±4                       |
| Pimiento        | 1±0.01                                | 0.43±0.7                                     | 81±3                       |

Cuadro IX. Unidades Scoville (pungencia)

| Chile           | USP  |
|-----------------|------|
| Chiltepe        | 5000 |
| Verde           | 4500 |
| Diente de perro | 3000 |
| Siete Caldos    | 5000 |
| Guaque          | 3000 |
| Chocolate       | 600  |
| Cobanero        | 6000 |
| Zambo           | 800  |
| habanero        | 7500 |
| Pimiento        | 0    |

## 8. DISCUSIÓN DE RESULTADOS

Los antioxidantes son sustancias que detienen o previenen una cadena de propagación oxidativa, mediante la estabilización del radical generado (radical libre). El organismo humano posee antioxidantes enzimáticos y no enzimáticos para protegerse de estos radicales, sin embargo otra fuente muy importante de ellos son las plantas, y precisamente el estudio de estos compuestos es prioritario por su rol en la protección del cuerpo humano en contra de un número considerable de enfermedades degenerativas. Las evidencias experimentales sugieren que protegen de manera importante las funciones biológicas de las células en contra de la actividad de los radicales libres (estrés oxidativo). (Pietta, 2000)

El objetivo principal de este estudio fue evaluar el efecto del procesamiento (liofilización y deshidratación térmica) sobre la capacidad antioxidante de una serie de variedades del género *Capsicum spp.* autóctonas de Guatemala. Esto se realizó en dos vías: primeramente determinando el porcentaje de reducción sobre la capacidad antioxidante de las muestras procesadas en relación a las muestras en fresco y segundo, mediante la utilización de la prueba t de student con un nivel de significancia de 0.005, establecer si las diferencias entre los análisis previo y posterior de los procesos eran significativos o no.

Al mismo tiempo que se realizó el estudio a los chiles en cuestión, también se evaluó este efecto de procesamiento sobre diferentes mezclas de las variedades que mayor poder antioxidante mostraron en fresco individualmente. Esto ya que es totalmente sabido la gran cantidad de fitoquímicos que estos frutos poseen, de tal manera que se podría generar algún efecto sinérgico reflejándose en un aumento de la capacidad antioxidante al mezclar todos estos componentes, situación que además de interesante en el sentido académico, sería altamente importante para futuros fines comerciales. Se trabajó con el chile pimienta en paralelo como referencia debido a la ausencia de compuestos capsaicinoides que presenta. Esta variedad es conocida dada la alta capacidad antioxidante referida en la bibliografía actual mostrada mediante diferentes estudios.

El proceso de liofilización que consiste en una remoción de agua por medio de vacío a bajas temperaturas, se llevó a cabo en un liofilizador LABCONCO freeze dry system 4.5. Todas las muestras se trabajaron a una temperatura de  $-40^{\circ}\text{C}$  y una presión de vacío de  $133 \cdot 10^{-3}$  mbar por 24hrs, con una congelación previa a  $-40^{\circ}\text{C}$  por 48hrs. Por otra lado la deshidratación térmica se llevó a cabo en un horno Fisher scientific isotemp®, modelo 630G a una temperatura de  $80^{\circ}\text{C}$  por 36hrs.

Todos los chiles como se pueden apreciar en la tabla VII tienen una actividad de agua bastante elevada por encima de 0.85, lo que indica que dichas especies son altamente percederas. Esto resalta la importancia de procesarlos para poder aumentar su vida de anaquel y poder comercializarlos. Durante el estudio se pudo observar que los chiles sin refrigeración se pudrieron en un máximo de 3 a 4 días, sin

presencia de mohos u hongos, debido a la característica irritante de los compuestos capsaicinoides presentes. Por otro lado, es sumamente importante mencionar que en este estudio, todos los chiles se mantuvieron congelados por un tiempo alrededor de tres meses para poder realizar el mismo, lo cual pudo haber afectado los resultados finales.

El chile Siete Caldos fue el único que individualmente no mostró evidencia de diferencia significativa para el proceso de liofilización, tal como se muestra en la tabla IV del capítulo de resultados. Al igual que las mezclas: 7 caldos/Diente de perro, 7 caldos/Pimiento y 7 caldos/Habanero, todas éstas en el proceso de liofilización. Por otro lado, todas las muestras ya sea individualmente o en mezcla para el proceso de deshidratación térmica presentaron diferencias significativas. Hay que resaltar la resistencia que el chile siete caldos mostró en el procesamiento, ya que todas las muestras que obtuvieron resultados satisfactorios poseían a esta variedad.

El nivel máximo que la prueba t de student con un 0.005 de significancia permitió, se puede expresar como un 7% de reducción de la capacidad antioxidante de las muestras en cuestión, tal como se observa en la Tabla II del capítulo de resultados, valor que sólo el proceso de liofilización alcanzó. En esta misma tabla, se establece el efecto de cada proceso sobre la capacidad antioxidante, expresada en un porcentaje de reducción. El proceso de liofilización redujo el poder antioxidante en un rango de 3 a 42% con un promedio de 14% mientras que el proceso de deshidratación térmica lo redujo en un rango de 11 a 66% con un promedio de 38%.

La liofilización alcanzó niveles realmente bajos de reducción (3% para el chile siete caldos), mientras que el nivel más bajo de reducción que alcanzó el proceso de deshidratación térmica fue de 11% para la mezcla de chile 7 caldos y chile pimiento. Partiendo de lo anterior se puede decir, que la liofilización es un proceso bastante amigable para ciertas muestras de chile, y totalmente más amigable que el proceso de deshidratación térmica.

Utilizando los datos de la tabla III se puede generar una expresión matemática que prediga la capacidad antioxidante de los chiles estudiados:

$Y = mx$ , donde

Y = Capacidad antioxidante luego de procesamiento

m = (1-%red), efecto de proceso

x = Capacidad antioxidante en fresco

Al observar la Figura 7 se puede apreciar de una muy buena manera, los diferentes niveles de capacidad antioxidante de las muestras de *Capsicum* y las mezclas estudiadas. El chile 7 caldos igualó al chile pimiento en 336ppm de ácido ascórbico, siendo ésta entonces, la variedad autóctona con mayor capacidad

antioxidante de las muestras que fueron evaluadas. Las mezclas de chile Diente de Perro con chile Siete caldos y chile Pimiento con chile Habanero generaron un efecto sinérgico reflejado en un aumento de la capacidad antioxidante, superando esta cualidad de estas muestras por separado. Siendo la primera mezcla acá mencionada la que mayor poder antioxidante mostró con 359ppm de ácido ascórbico. Es importante mencionar que el chile 7 caldos, el chile Pimiento y el chile Habanero fueron las muestras con mayor contenido de carotenos totales, mientras que el chile Diente de Perro fue la variedad con mayor contenido de vitamina C. Estas combinaciones de compuestos pudieron haber generado el aumento de la capacidad antioxidante entre otros.

Está claro que la capacidad antioxidante de los chiles se da debido a la sumatoria de esta propiedad de todos los diferentes fitoquímicos presentes en estas especies. Siendo el contenido de capsaicina, carotenos y vitamina C los que en mayor proporción contribuyen a ésta. La relación entre el contenido de carotenos totales y la capacidad antioxidante se muestra en la figura 10, donde se aprecia realmente un comportamiento entre la mayoría de especies directamente proporcional. Este análisis de comportamiento se llevó a cabo debido a la notoriedad mostrada en cuanto a la alta capacidad antioxidante de las muestras con sus colores característicos (rojos y amarillos) en los casos del chile Pimiento, chile 7 caldos y chile Habanero. En cuanto a la vitamina C y capsaicina (nivel de pungencia), no se puede detectar un comportamiento proporcional entre estos compuestos y la capacidad antioxidante de los chiles. Tal como se muestra en las figuras 11 y 12. De tal manera que no se puede concluir que por ejemplo a mayor contenido de compuestos capsaicinoides, se tenga una mayor capacidad antioxidante, siendo el chile Pimiento el mejor ejemplo en este caso.

Las figuras 8 y 9 muestran de manera gráfica como se comporta la capacidad antioxidante al ser procesada. Siendo el chile 7 caldos la variedad con mayor resistencia a los procesos.

## 9. CONCLUSIONES

1. No existió evidencia suficiente según la prueba t de student con un nivel de significancia de 0.005 de diferencias significativas entre la capacidad antioxidante en fresco y luego se ser procesada para la liofilización para las muestras de chile Siete caldos y para las mezclas de chile Diente de Perro/ chile 7 caldos, chile 7 caldos/ chile Pimiento y chile 7 caldos/ chile Habanero.
2. El proceso de liofilización redujo en promedio 14% la capacidad antioxidante de las muestras estudiadas, mientras que el proceso de deshidratación térmica la redujo en promedio un 38%. Se evidencia el alto grado de diferencia entre ambos procesos, siendo mucho más amigable la liofilización.
3. La reducción en la capacidad antioxidante en los procesos de liofilización y deshidratación térmica variaron dependiendo de la concentración inicial de esta propiedad.
4. Al realizar las mezclas de chile Diente de Perro con chile Siete caldos y chile Habanero con chile Pimiento se produjo un efecto sinérgico que se vio reflejado en un aumento de la capacidad antioxidante superando a las demás muestras por separado.
5. El contenido de carotenos totales, compuestos capsaicinoides y vitamina C son en un gran porcentaje los principales responsables de la capacidad antioxidante de las variedades del género *capsicum spp*. Esto se apreció ya que las muestras con mayor contenido de carotenos (chile Pimiento y 7 caldos) y con mayor contenido de compuestos capsaicinoides (chile Habanero y 7 caldos) presentaron las más altas capacidad antioxidantes.
6. Se presentó un comportamiento directamente proporcional entre la capacidad antioxidante de los chiles y el contenido de carotenos, mas no así con el contenido de vitamina C y capsaicina.

## 10. RECOMENDACIONES

1. Realizar estudios sobre el efecto de otros procesos sobre la capacidad antioxidante de los chiles autóctonos de Guatemala.
2. Con base a los resultados expresados en este estudio desarrollar un producto nuevo ya que la calidad nutraceutica podría ser fácilmente explotada.
3. Realizar este estudio con otros chiles (autóctonos y no autóctonos) para obtener datos de referencia.
4. Realizar estudios de secado solar tanto químico como microbiológico.
5. Llevar a cabo una caracterización de minerales.
6. Efectuar análisis de vitamina E.

## 11. BIBLIOGRAFÍA

1. Andrew, J. (1984). *Peppers, the domesticated capsicums*. Austin, Texas, US, University of Texas. 170 p.
2. AOAC. Official Methods of Analysis. 1984. 14th. Ed. Arlington, VA ,US.
3. Ayala Vargas, Helmer Dagoberto. *Le Ik “Los chiles de Guatemala”*. Facultad de agronomía USAC.
4. Azurdia César (1995), “*Caracterización de Algunos Cultivos Nativos de Guatemala*”. Facultad de Agronomía USAC; Instituto de Ciencia y Tecnología Agrícola ICTA; Internacional Board for Plant Genetic Resources
5. Benito, M. (2000). *Organización comunitaria y proceso de desarrollo local en la región Ixil. Guatemala*, CEMCA.
6. Bukasov, SM. (1981). *Las plantas cultivadas de México, Guatemala y Colombia*. Trad. Jorge León. Turrialba, Costa Rica, CATIE. 168 p.
7. Dillard, C. J. y German, J. B. (2000). *Phytochemiclcs: nutraceuticals and human health*. J Sci. Food Agric. 80:1744-1756.
8. Guzmán-Maldonado, S. H. y Paredes-López, O. (1998). *Functional products of plant indigenous to Latin America: Amaranth, quinoa, common beans and botanicals*. En *Functional Foods- Biochemical & Processing Aspects*. Mazza, G. (ed.). Technomic Publishing Co., Inc., Lancaster, PA. p. 293-328.
9. Hosting, R; Hosting, R; Vasquez, L. (1999). *Cultura agrícola y material del pueblo mam de Quetzaltenango y su relación con el mundo vegetal*. Guatemala,95 p.
10. IBPGR (International Bureau of Plant Genetic Resources, IT). 1983. *Genetic resources of Capsicum*. Italia, FAO. 49 p.
11. Laborde, J. A. C. y Pozo, O. (1982). *Presente y futuro del chile en México*. Centro de Investigaciones Agrícolas de la Península de Yucatán. Campo Experimental de Unxmal, Mérida, Yucatán. Desplegable Técnico. Pag. 32-39.
12. Lenz, DM; Reina, L; Villacorta, R; Marini, H. (1996). *Trachypogon plumosus (Poacea, Andropogoneae): ancient thatch and more from de Cerén Site, El Salvador*. Economic Botany 50(1):106-113p
13. López Riquelme, Octavio (2003). *Chilli la especie del nuevo mundo*. Revista ciencia marzo 2003. Universidad Nacional Autónoma de Méjico
14. McBryde, FW. (1945). *Cultural and historical geography; southwest Guatemala*. Washington, US, Institute of Social Antropology, Smithsonian Institution. 149 p.(Publication no. 4).
15. McLeod, J; McLeod, W; Eshbaugh, H; Guttman, S. 1979. *A preliminary biochemical study of genus Capsicum–Solanaceae*. London Linnean Society Simposium. p. 704–714. (Serie 7).
16. Pickersgill, B. (1984). *Migrations of chili peppers: Capsicum spp. in the Americas*. In *Precolumbian plant migration*. Cambridge, Mass., US, Peabody Museum of Harvard.105-123p.
17. Turner II, B; Miksicek, LC. (1984). *Economic plant species associated with prehistoric agriculture in the Maya lowlands*. Economic Botany 38(2):179-193.

## 11. APÉNDICE

Cuadro X. Absorbancia medida para calcular la capacidad antioxidante a 517nm.

| Variedad        | Fresco | Liofilizado | Deshidratado |
|-----------------|--------|-------------|--------------|
| Diente de perro | 0.027  | 0.032       | 0.055        |
| Guaque          | 0.031  | 0.061       | 0.129        |
| Chiltepe        | 0.027  | 0.03        | 0.057        |
| Verde           | 0.032  | 0.037       | 0.065        |
| Habanero        | 0.026  | 0.053       | 0.084        |
| Pimiento        | 0.025  | 0.031       | 0.042        |
| 7 caldos        | 0.025  | 0.026       | 0.099        |
| Mora            | 0.022  | 0.024       | 0.036        |
| Haban/Diente P. | 0.028  | 0.033       | 0.041        |
| Diente P./7 cal | 0.023  | 0.025       | 0.033        |
| Pimi/Habanero   | 0.024  | 0.028       | 0.036        |
| 7caldos/Pimien  | 0.025  | 0.026       | 0.029        |
| 7caldos/Haban   | 0.048  | 0.051       | 0.06         |

Figura XI. Curva de calibración para calcular la capacidad antioxidante

