



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO

---

FACULTAD DE QUÍMICA

Secado solar de jitomate saladet (*Lycopersicum esculentum*):  
Parámetros de calidad.

T E S I S

QUE PARA OBTENER EL TÍTULO DE

QUÍMICO DE ALIMENTOS

P R E S E N T A

OSCAR SALVADOR VENEGAS CRUZ



CIUDAD UNIVERSITARIA, CDMX

2016



Universidad Nacional  
Autónoma de México

Dirección General de Bibliotecas de la UNAM

**Biblioteca Central**



**UNAM – Dirección General de Bibliotecas**  
**Tesis Digitales**  
**Restricciones de uso**

**DERECHOS RESERVADOS ©**  
**PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL**

Todo el material contenido en esta tesis esta protegido por la Ley Federal del Derecho de Autor (LFDA) de los Estados Unidos Mexicanos (México).

El uso de imágenes, fragmentos de videos, y demás material que sea objeto de protección de los derechos de autor, será exclusivamente para fines educativos e informativos y deberá citar la fuente donde la obtuvo mencionando el autor o autores. Cualquier uso distinto como el lucro, reproducción, edición o modificación, será perseguido y sancionado por el respectivo titular de los Derechos de Autor.

## **JURADO ASIGNADO:**

**PRESIDENTE:** Profesora: Francisca Aida Iturbe Chiñas

**VOCAL:** Profesor: Arturo Navarro Ocaña

**SECRETARIO:** Profesora: Fabiola González Olguín

**1er. SUPLENTE:** Profesor: Jorge Arturo Aburto Anell

**2° SUPLENTE:** Profesora: Bertha Julieta Sandoval Guillén

**SITIO DONDE SE DESARROLLÓ EL TEMA:** LABORATORIOS 322 Y 323 DEL DEPARTAMENTO DE ALIMENTOS Y BIOTECNOLOGÍA, CONJUNTO E, FACULTAD DE QUÍMICA, UNAM.

ASESOR DEL TEMA: FRANCISCA AIDA ITURBE CHIÑAS

(nombre y firma)

SUPERVISOR TÉCNICO: BERTHA JULIETA SANDOVAL GUILLÉN

(nombre y firma)

SUSTENTANTE: OSCAR SALVADOR VENEGAS CRUZ

(nombre y firma)



## CONTENIDO

I. INTRODUCCIÓN .....	5
II. ANTECEDENTES .....	7
II.1 Generalidades del secado y sus aplicaciones en la industria de alimentos.....	7
II.2 Secado de alimentos .....	8
II.2.1 Secado al aire libre .....	9
II.2.2 Secado por aspersion .....	11
II.2.3 Secador en túnel .....	11
II.2.4 Secadores solares.....	11
II.2.5 Liofilización de alimentos .....	13
II.3 Materia prima: Jitomate fresco de la variedad saladet .....	13
II.3.1 Aspectos generales .....	16
II.3.2 Calidad en jitomate fresco .....	18
II.3.3 Compuestos bioactivos .....	19
II.4 Calidad en jitomate seco.....	19
II.4.1 Color (uniformidad del color).....	20
II.4.2 Contenido de humedad (% Humedad).....	20
II.4.3 Contenido de licopeno .....	20
II.4.4 Vitamina C (Ácido ascórbico).....	21
II. 4.5 Polifenoles (Capacidad antioxidante) .....	22
OBJETIVOS .....	23
General .....	23
Particulares .....	23
III METODOLOGÍA .....	24
III.1 Humedad.....	25
III.1.1 Humedad en estufa de vacío .....	25
III.1.2 Humedad por destilación azeotrópica .....	25



III.2 Cenizas Totales .....	26
III.3 Determinación de pH y acidez .....	26
III.4 Determinación de porcentaje de Sólidos Solubles Totales.....	27
III.5 Determinación de Vitamina C (espectrofotometría) .....	27
III.6 Densidad aparente.....	29
III.7 Extracción de carotenos (extracción líquido-líquido) .....	29
III.8 Determinación de $\beta$ -caroteno (espectrofotometría) .....	29
III.9 Determinación de Licopeno (cromatografía de alta resolución)..	31
III.10 Extracción de fracción Polifenólica .....	34
III.11 Determinación de Polifenoles Totales (espectrofotometría) .....	34
III.12 Determinación de Actividad Antioxidante: Capacidad Secuestrante sobre el Radical DPPH (espectrofotometría) .....	34
III.13 Rehidratación de productos secos .....	35
III. 14 Análisis del material vegetal .....	35
IV RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....	37
IV.1 Materia Prima y Caracterización de los diferentes Grados de Madurez .....	37
IV.2 Especificaciones mínimas de calidad en la materia prima.....	38
IV.3 Humedad .....	40
IV.4 Cenizas.....	42
IV.5 pH.....	43
IV.6 Acidez .....	44
IV.7 Vitamina C .....	46
IV.8 $\beta$ -Caroteno .....	47
IV.9 Licopeno .....	50
IV.10 Polifenoles totales .....	52
IV.11 Actividad antioxidante (DPPH).....	53
IV.12 Sólidos solubles totales y Densidad.....	55
IV.13 Propuesta de determinación rápida del grado de madurez en jitomate fresco .....	57



IV.13.1 Densidad (g/mL).....	57
IV.13.2 pH.....	59
IV.13.3 Acidez (g ácido Cítrico/100g).....	61
IV.14 Evaluación de parámetros de calidad en jitomate seco y muestras comerciales.....	63
CONCLUSIONES .....	69
BIBLIOGRAFÍA .....	71
ANEXO: GRADOS DE MADUREZ DE JITOMATE SALADET .....	76



## I. INTRODUCCIÓN

El secado de alimentos ha sido una práctica habitual de conservación, se ha utilizado desde tiempos antiguos para poder asegurar la disponibilidad del alimento durante todo el año o extender su vida útil, sin embargo hoy en día el secado de alimentos como las frutas y los vegetales no solo se lleva a cabo por estas razones, si no que ofrece nuevas alternativas comerciales productivas y nuevas experiencias en cuanto a sabores, olores y texturas diferentes que agradan al consumidor.

Los alimentos como las frutas y los vegetales son importantes debido a que aportan una gran cantidad de nutrimentos a la dieta humana como los carbohidratos, agua, enzimas, minerales, vitaminas y antioxidantes que son indispensables para mantener una buena salud en el organismo, sin embargo, se sabe que estos alimentos de origen vegetal son perecederos debido a su alto contenido de humedad y a su pH, una solución a este problema es el secado solar de alimentos que se ha desarrollado rápidamente en los últimos años debido a la fácil obtención y transformación de la energía solar en calor a través del efecto invernadero.

El jitomate (*Lycopersicum esculentum*) de la variedad saladet (al cual se refiere en esta investigación) o de la variedad bola, son productos de origen vegetal y uno de los principales cultivos a nivel mundial debido a sus elevadas propiedades nutrimentales, gran potencial alimentario y a su agradable sabor, olor y propiedades culinarias.

Se proponen parámetros de calidad tanto en materia prima como producto terminado; que ayudarán a obtener un producto seco de buena



calidad para controlar el proceso de secado solar de un alimento de origen vegetal: el jitomate (*Lycopersicon esculentum*) de la variedad saladet o alargada.

Considerando lo anterior se caracterizará el jitomate fresco en sus diferentes grados de madurez para tener mayor información nutrimental de la materia prima y observar cómo afecta el grado de madurez a los principales parámetros de calidad y nutrimentos y así poder conocer el punto óptimo de madurez para llevar a cabo dicho proceso; esto ayudará a tener un mejor control del proceso para que el producto cumpla con las expectativas del consumidor, comerciales y productivas.

Los parámetros y especificaciones que existen actualmente en las Normas Oficiales nacionales e internacionales son muy pobres y no permiten evaluar la calidad de los productos frescos y deshidratados y no proporcionan información nutrimental al consumidor.

Los parámetros de calidad propuestos permitirán seleccionar una materia prima de *buena calidad* (ya que no todas las materias primas son aptas para someterlas a un proceso de secado), con esto se contribuirá a completar la información reportada y proponer especificaciones más completas, entendiendo por un producto de *buena calidad* como aquél que satisfaga las necesidades, especificaciones y que cumpla con las expectativas del cliente.

Caracterizando los diferentes grados de madurez del jitomate se podrá conocer cómo afecta el grado de madurez a los diferentes parámetros de calidad analizados y así saber el momento óptimo para llevar a cabo el secado solar y no se afecten sus propiedades nutrimentales y tener un mayor control del proceso.





## II. ANTECEDENTES

### II.1 Generalidades del secado y sus aplicaciones en la industria de alimentos

La deshidratación a través de la historia es una de las técnicas más ampliamente utilizadas para la conservación de los alimentos. Ya en la era paleolítica, hace unos 400.000 años, se secaban al sol alimentos como frutas, granos, vegetales, carnes y pescados, aprendiendo mediante ensayos y errores, para conseguir una posibilidad de subsistencia en épocas de escasez de alimentos, no solo necesarios sino que también nutritivos (*Barbosa-Cánovas, 2000*).

La deshidratación es una de las técnicas más ampliamente utilizada para la conservación de alimentos (*Nijhuis, 1996*). Son ampliamente conocidas las ventajas de los alimentos deshidratados ya que al reducir el contenido de humedad se previene el crecimiento de microorganismos y se minimizan las demás reacciones que los deterioran (*Doymaz, 2003*).

También el secado de los alimentos reduce su volumen y peso lo que influye en una reducción importante de los costos de empaque, almacenamiento y transporte. Los productos secos además permiten ser almacenados a temperatura ambiente por largos períodos de tiempo. El secado de vegetales con altas temperaturas afecta a las propiedades organolépticas del producto y su valor nutricional (*Jarayaman, 1995*).

Durante esta operación se afecta la textura, color, densidad, porosidad y características de adsorción de materiales (*Krokida, 2001*), además se puede presentar los fenómenos de endurecimiento y encogimiento, por lo que la temperatura de secado es una variable importante a tener en



cuenta en los estudios de secado, pues aunque temperaturas elevadas pudieran acelerar el proceso, la pérdida de calidad del producto no compensaría la reducción del tiempo de proceso (*Krokida, 2003*).

Esta técnica de conservación trata de preservar la calidad de los alimentos bajando la actividad de agua ( $a_w$ ) mediante la disminución del contenido de humedad, evitando así el deterioro y contaminación microbiológica de los mismos durante el almacenamiento. Para ello se pueden utilizar varios métodos de deshidratación o combinación de los mismos, tales como secado solar, aire caliente, microondas, liofilización, atomización, deshidratación osmótica, entre otros. Desde el punto de vista comercial una importante ventaja de utilizar esta técnica, es que al convertir un alimento fresco en uno procesado (deshidratado) se añade un valor agregado a la materia prima utilizada. Además se reducen costos de transporte, distribución y almacenaje debido a la reducción de peso y volumen del producto fresco (*Vega, 2006*).

## **II.2 Secado de alimentos**

El secado al sol de frutas, granos, vegetales, carnes y pescados ha sido ampliamente utilizada desde los albores de la humanidad, proporcionando al hombre una posibilidad de subsistencia en épocas de carencia de alimentos (*Galaviz, 2012*).

Existen diferentes métodos de secado como el tradicional secado al aire libre, utilizando secadores por medio de flujo de aire caliente, microondas, liofilización, atomización, deshidratación osmótica, secado al vacío, por congelación al vacío, entre otros, los cuales han sido aplicados a granos, frutas y vegetales. El secado solar ha tenido un

rápido desarrollo, debido a su tecnología sencilla, de fácil operación y se disminuyen los costos y mejora la eficiencia.

### II.2.1 Secado al aire libre

Por este método se secan algunos alimentos, tales como: carne, granos, frutos y verduras, plantas medicinales, etc., sin ningún equipamiento especial. Se colocan sobre una manta, lona o tablas de madera o se cuelgan por un hilo al aire libre, en el Sol o en la sombra, según el producto, aprovechando el calor ambiental; como se observa en la *Figura 1*.



Algunas de las principales desventajas del secado al aire libre son las siguientes (*Almada, 2005*):

- Es un proceso lento debido a la elevada humedad en el aire.
- Muchas veces los alimentos se secan mal debido al alto contenido de humedad presente en el alimento y pueden llegar a deteriorar, descomponerse y contaminarse debido a que el alimento está expuesto al polvo, insectos y medio ambiente en general.
- La exposición directa del alimento a los rayos del sol, puede perjudicar su calidad (pérdida del color natural, destrucción de vitaminas y valor nutrimental).

Una de las principales desventajas de este procedimiento es que algunos productos no son secados adecuadamente y pierden calidad (humedad excesiva), por otro lado si se seca en temperaturas elevadas de lo adecuado se vuelve quebradizo (*Tagüeña, 2010*).

En la actualidad existen secadores solares nuevos acoplados a trabajar tanto en el día con la energía solar y que almacenan la energía en paneles solares para trabajar en días nublados o durante la noche, en la *Figura 2*, se puede observar un prototipo de secador solar que opera con energía solar térmica y fotovoltaica, este tipo de secadores no tiene ninguna otra fuente de abastecimiento además del sol. Los calentadores de aire y agua, utilizados para remover la humedad de los productos, son solares, así como las bombas y ventiladores, que funcionan con paneles fotovoltaicos.



*Figura 2. Prototipo de secador que opera con energía térmica solar y fotovoltaica (Centro de Investigaciones en Energía).*

### **II.2.2 Secado por aspersión**

El secado por aspersión, pulverización o “spray drying” es utilizado desde principios del siglo XX, el principio de este sistema es la obtención de un producto en polvo a partir de un material líquido concentrado que se pulveriza finamente formando una niebla que entra en contacto con una corriente de aire caliente (entre 200 y 300 °C para alimentos) que actúa como medio calefactor y fluido de transporte (*Orrego, 2003*).

El secado por aspersión es uno de los procesos más rápidos, se generan productos amorfos y sólidos higroscópicos (*Gómez, 2009*).

Los principales alimentos procesados por este método son papillas, café, té, ovoproductos, jugos o concentrados de frutas, mezclas de helados, sueros, mantequilla, queso, proteínas y extractos de carnes (*Orrego, 2003*).

### **II.2.3 Secador en túnel**

Este tipo de secadores están formados por bastidores con bandejas que se pueden mover (comúnmente muy lento) a lo largo de una cámara de secado a través de la cual circula un gas de secado (*Nonhebel, 1979*).

En los secadores de túnel los sólidos se colocan en charolas o carretillas que se desplazan continuamente, el flujo de aire caliente puede ser en paralelo a contracorriente o una combinación de los anteriores.

### **II.2.4 Secadores solares**

Se han creado métodos y procedimientos que aseguran un buen proceso a través de aparatos especialmente diseñados. En un secador solar los



rayos de luz del sol son transformados en calor a través del efecto invernadero en un llamado panel solar, que tiene los siguientes elementos:

Una superficie metálica oscura, preferentemente de color negro, generalmente orientada hacia la dirección del Sol, que recibe y absorbe los rayos de luz. El calor producido de esta manera es transferido al aire, que está en contacto con dicha superficie.

Una cobertura transparente (vidrio o plástico), que deja pasar la radiación luminosa y que evita el escape del aire caliente.

En algunos modelos más actuales, para un mayor rendimiento, disponen de un sistema de calefacción combinado. Se usa un combustible o energía eléctrica como fuente de energía auxiliar para los periodos con deficiencia de radiación solar, para los días nublados y para seguir trabajando en horas de la noche. El proceso de secado se produce por la acción de aire caliente y seco, que pasa por los productos a secar, ubicados generalmente en bandejas en el interior del secador. De esta forma la humedad contenida en los alimentos se evapora a la superficie de los mismos y pasa en forma de vapor al aire, que los rodea (*Aldama, 2005*).

En cuanto a los secadores salares se pueden clasificar en sistemas de calentamiento directo, indirecto o combinado y en cada caso se pueden operar con circulación natural o forzada. En los secadores de calentamiento directo, la radiación del sol incide directamente sobre el producto a través de una cubierta.



### **II.2.5 Liofilización de alimentos**

Es un proceso de estabilización del alimento en el cuál el material primero se congela y se concentra el solvente, comúnmente el agua, reduciéndolo mediante sublimación y desorción, a niveles que no sostendrán más el crecimiento biológico o las reacciones químicas. Consta de tres fases: Sobrecongelación, desecación primaria y desecación secundaria. También se puede definir como una forma de secado en frío que sirve para conservar sin daño el alimento, el producto se conserva con muy bajo peso y a temperatura ambiente, manteniendo estables todas su propiedades al rehidratarse (*Ramírez, 2006*).

### **II.3 Materia prima: Jitomate fresco de la variedad saladet**

El jitomate saladet se muestra en la *Figura 3*, es uno de los principales frutos producidos a nivel nacional y mundial y el de mayor valor económico, no hay que olvidar que es considerado uno de los frutos más sanos por su alto valor nutrimental en fresco por los nutrientes y los compuestos bioactivos que aporta y que tanta relevancia están tomando hoy en día (*Blum, 2005*).

*Figura 3. Jitomate (Lycopersicum esculentum Mill) de la variedad saladet.*



En la *Tabla 1*, se presenta la composición química del jitomate saladet (*USDA, 2011*). Los jitomates proporcionan potasio, hierro, fósforo, algunas vitaminas como la C y del complejo B y son una buena fuente de fibra. Contienen alrededor de un 90% de agua, lo que los hace altamente perecederos. La composición depende de la variedad, etapa de madurez, condiciones de cultivo: clima, luz, temperatura, tierra y fertilización, así como su manejo y almacenamiento (*Yilmaz, 2001*).

*Tabla 1. Composición química de jitomate saladet (en diferentes grados de madurez).*

NUTRIENTE	Valor / 100 g producto			
	Unidad	Jitomate rojo maduro	Jitomate rosa	Jitomate verde
PROXIMAL				
Agua	g	94.52	94.78	93.00
Energía	kcal	18.00	16	23.00
Proteína	g	0.88	1.16	1.20
Grasa total	g	0.20	0.19	0.20
Hidratos de carbono	g	3.89	3.18	5.10
Fibra, dietética total	g	1.20	0.9	1.1
Azúcares totales	g	2.63	-	4.00
<b>Minerales</b>				
Calcio (Ca)	mg	10.00	5.00	13.00
Hierro (Fe)	mg	0.27	0.47	0.51
Magnesio (Mg)	mg	11.00	8.00	10.00
Fósforo (P)	mg	24.00	29.00	28.00
Potasio (K)	mg	237.00	212.00	204.00
Sodio (Na)	mg	5.00	42.00	13.00
Zinc (Zn)	mg	0.17	0.14	0.07



Vitaminas				
Vitamina C (ácido ascórbico total)	mg	13.70	16.00	23.40
Vitamina B-6	mg	0.08	0.06	0.08
Vitamina A	µg	42.00	75.00	32.0
Vitamina E (tocoferol)	mg	0.54	-	0.38
Niacina	mg	0.59	0.59	0.05
Lípidos				
Saturados	g	0.03	0.025	0.03
Monoinsaturados	g	0.03	0.028	0.03
Poliinsaturados	g	0.08	0.076	0.08

El fruto jitomate procede de una plata originaria de América del Sur, de la amplia zona andina de Chile, Bolivia, Perú y Ecuador. Sin embargo su domesticación fue llevada a cabo en México (SAGARPA, 2010).

Botánicamente, el jitomate fue descrito por primera vez por Linneo en el año de 1753 como *Solanum lycopersicum* L., pero sería Miller, en el año de 1768, quien le designaría la denominación *Lycopersicum esculentum* Mill vigente casi hasta nuestros días (Fernández, 2008).

La definición de jitomate según la *NMX-FF-031-1998* es la siguiente: fruto carnoso, oblongo u ovalado, de color verde a rojo, succulento y fragante, de la planta de tallos rastreros, perteneciente a la familia de las Solanáceas, género y especie (*Lycopersicum esculentum*).

### II.3.1 Aspectos generales

Familia: Solanaceae

Especie: *Lycopersicum  
esculentum* Mill

Planta: Porte erecto o semierecto, arbustivo, cultivo de tipo anual. Existen variedades de crecimiento limitado y otras de crecimiento ilimitado (ver *Figura 4*) (CAADES, 2010).



*Figura 4. Tallo y hojas del jitomate.*

En general el jitomate tiene una planta con tallos determinados e indeterminados que contienen hasta tres hojas cada tallo color verde ver *Figura 4*, el tallo es de aspecto semileñoso, de grosor mediano y de su base se van desarrollando las hojas, las hojas están recubiertas por pelos glandulares y se disponen de forma alternada sobre el tallo, el fruto de jitomate está constituido por pericarpio, tejido placentario y las semillas (*Escalona, 2009*).

Fruto: El fruto es una baya ovalada (ver *Figura 5*), redonda o periforme. Su tamaño va desde pequeños frutos del tamaño de una cereza, hasta enormes frutos de 750 g.



*Figura 5. Lycopersicum esculentum* (SAGARPA, 2010).

Temperatura de desarrollo óptima: entre 23 °C al día y de 13 – 17 °C durante la noche.

Humedad: oscila entre 60 y 80 % de humedad relativa.

Suelo: Se puede cultivar en cualquier tipo de suelo, con preferencia hacia suelos

profundos, margosos y drenados, ideal un suelo ligeramente ácido, con un pH de 6.2 – 6.8 (SAGARPA, 2010).

Plagas más comunes:

- Mosca blanca (virus de la cucaracha)
- Pulgón: forma colonias en primavera y otoño
- Polilla del tomate: ataca al fruto directamente
- Araña roja: manchas amarillentas en las hojas de la planta

Enfermedades más comunes:

- Odiopsis: manchas amarillas que secan la hoja y la desprenden
- Podredumbre gris: lesiones pardas en hojas y flores. El fruto se pone blando y grises.
- Moldium: Aparecen manchas irregulares y aceitosas en las hojas, en el tallo son manchas párdas. También atacan los frutos inmaduros.
- Fusarium oxysporum: Comienza con la caída de las hojadas superiores. Las inferiores amarillean y terminan por morirse. En un corte transversal del tallo, se observa un oscurecimiento de los vasos.

Clasificación del fruto: Existen diferentes maneras de clasificar el jitomate:

- Forma: existen cinco tipos, del más pequeño al más grande: cherry, saladette, tipo pera, bola estándar y bola grande.
- Madurez: El número de días entre el que es plantado y su cosecha; de madurez temprana (55-65 días), de mediana maduración (66 – 80 días) y de maduración mayor (más de 80 días).
- Color: En función del color existen verde, rosa, amarillo, dorado, naranja y rosa (SAGARPA, 2010).



### **II.3.2 Calidad en jitomate fresco**

La palabra *calidad* proviene del latín *qualitas*, que significa atributo, propiedad o naturaleza básica de un objeto. Sin embargo, en la actualidad y en sentido abstracto su significado es grado de *excelencia o superioridad* (Kader, 1985). Aceptando esta definición, se puede decir que un producto es de mejor calidad cuando es superior en uno o varios atributos que son valorados objetiva o subjetivamente.

El destino o uso también puede determinar distintos criterios de calidad para un mismo producto. Por ejemplo, el jitomate para el consumo en fresco es valorado fundamentalmente por su uniformidad, madurez y ausencia de defectos, mientras que la calidad para catsup está dada por el color, la viscosidad y el rendimiento industrial como materia prima (López, 2003).

Existe una tendencia mundial hacia un mayor consumo de frutas y hortalizas, motivado fundamentalmente por una creciente preocupación por una dieta más equilibrada, con menor proporción de carbohidratos, grasas y aceites y con una mayor participación de la fibra dietética, vitaminas y minerales que ayudan a mantener una buena salud, otra característica que se observa es la creciente segmentación del mercado a través del incremento en las formas, colores, sabores, formas de preparación y/o empaque en la que un producto es presentado. Entre otros, el jitomate es un ejemplo de ello, ya que hoy en día pueden adquirirse al menos 3 tipos distintos: redondo convencional, larga vida y cherry, todos ellos en distintos tamaños, formas de empaque y en algunos casos de color (López, 2003).

Las características más apreciadas en el jitomate para el consumo en fresco son su color y sabor. El color en los tomates, está dado principalmente por los carotenoides, siendo el licopeno el que se



encuentra en mayor cantidad; mientras que el sabor es proporcionado por los azúcares y compuestos volátiles. El color y aspecto externo son características de calidad extremadamente importantes, ya que no sólo determinan la madurez y vida post cosecha, también son factores determinantes para la aceptabilidad del consumidor. El color en los tomates se debe a la presencia de carotenoides, el licopeno es el principal carotenoide (*Gómez, 2009*).

### **II.3.3 Compuestos bioactivos**

El jitomate es apreciado por sus cualidades nutritivas y ser fuente de compuestos bioactivos como antioxidantes, calcio, fósforo, potasio y hierro, azúcares, ácidos orgánicos, pectinas y flavonoides, su alta capacidad antioxidante ( $EC_{50}$  de 165 g/100 g DPPH) se atribuye a la presencia de ácido ascórbico (23.32 mg ác. ascórbico/100g de pulpa de jitomate), licopeno (1,22 mg de licopeno/100 g de pulpa de jitomate) y compuestos fenólicos (1.39 mg de EAG/g de pulpa de jitomate). Este producto es benéfico sobre la salud y puede ser usado como ingrediente funcional en el desarrollo de productos alimenticios (*Torres, 2012*).

### **II.4 Calidad en jitomate seco**

La calidad del jitomate deshidratado depende de varios factores, que los más importantes son los siguientes (*Unadi, 2002.*): color, contenido de humedad, contenido de licopeno, ácido ascórbico y polifenoles.

### **II.4.1 Color (uniformidad del color)**

Este parámetro de calidad ayuda a indicar la madurez y vida post cosecha y es un factor importante en la aceptabilidad del producto. El color en el jitomate es debido principalmente a la presencia de los carotenoides; el licopeno es el principal.

El deshidratado de jitomate, ocasiona cambios de color en el producto final. Estos cambios son combinaciones de oscurecimiento no enzimático, reacciones de Maillard y degradación de licopeno (*Kerkhofs, 2005*). El oscurecimiento de los pigmentos como ocurre en la reacción de Maillard, depende de la cantidad de azúcares presentes (estos a su vez pueden indicar el grado de madurez; mientras mayor es el contenido de azúcares, mayor es el grado de madurez) y a la cantidad de aminoácidos presentes, así como del pH, tiempo y temperatura del proceso (*Hayes, 1998*).

### **II.4.2 Contenido de humedad (% Humedad)**

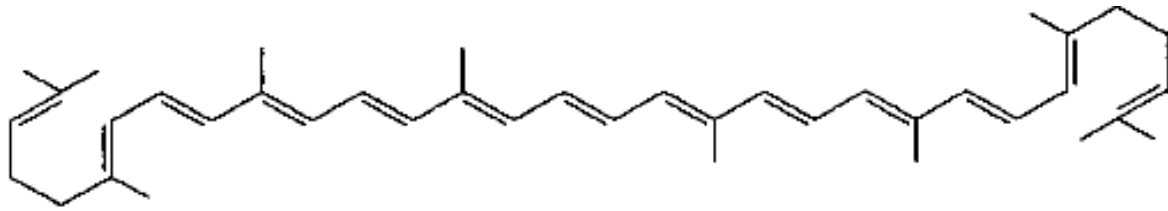
El análisis de humedad puede ser uno de los ensayos más importantes realizados de un alimento, ya que en paralelo es un parámetro relevante de la estabilidad del alimento al deterioro y un factor de calidad para la conservación de algunos alimentos, tal es el caso de los vegetales y frutos deshidratados, leche y huevo en polvo y algunas especias (*Nielsen, 2010*).

### **II.4.3 Contenido de licopeno**

El licopeno es un carotenoide importante para el ser humano, ya que facilita la inactivación de radicales libres debido a sus dobles ligaduras



conjugadas (ver *Figura 6*), favoreciendo su actividad antioxidante (*Xianquan, 2005*).



*Figura 6. Estructura química del licopeno (Belitz, 2009).*

En variedades comunes de jitomate, este compuesto se encuentra presente en concentraciones de 4.7 mg/100 g de jitomate maduro (*Belitz, 2009*). La mayoría de los carotenoides presentes en el jitomate están sujetos a degradación durante el proceso de secado. Las principales causas de oxidación en el jitomate dependen de factores como; el oxígeno presente, baja actividad de agua, temperaturas altas, desestabilización de los iones presentes y estabilidad de antioxidantes y lípidos del jitomate (*Hayes, 1998*).

#### **II.4.4 Vitamina C (Ácido ascórbico)**

El ácido ascórbico es considerado un parámetro de calidad en el proceso de secado solar, ya que se ha observado que si dicha vitamina se conserva durante el procesamiento de jitomate, otros nutrientes también son retenidos en el producto seco (*Marfil, 2008*).

El ácido ascórbico es una vitamina sensible que pierde su actividad debido a diferentes factores como por ejemplo: el pH, humedad, oxígeno presente, temperatura, tiempo de procesamiento y la presencia de iones metálicos (*Zanoni, 1999*).

La degradación de la Vitamina C depende de la temperatura y del tiempo de procesamiento; el empleo de factores del proceso como

tiempos cortos y temperaturas bajas ayuda a conservar la Vitamina C en el producto final (*Marfil, 2008*).

## **II. 4.5 Polifenoles (Capacidad antioxidante)**

Por otra parte, en numerosas especies del reino vegetal se han reportado compuestos con propiedades antioxidantes (*Fennema, 1995*). De ahí la importancia de determinar compuestos como los polifenoles que están clasificados como antioxidantes naturales como un parámetro más de calidad en jitomate fresco.

Los antioxidantes son compuestos capaces de retardar o inhibir la oxidación cuando se encuentran en concentraciones menores respecto a los sustratos oxidables. A través de distintos mecanismos los antioxidantes impiden la oxidación en otras moléculas (*Shahidi, 1992*).



## OBJETIVOS

### General

Seleccionar los principales parámetros de calidad en jitomate (*Lycopersicon esculentum*) de la variedad saladet tanto en material fresco como producto deshidratado para conocer cómo se ven afectados tales parámetros después del proceso de secado solar.

### Particulares

- Caracterizar los diferentes grados de madurez del jitomate fresco y deshidratado en cuanto a sus propiedades físicoquímicas y nutrimentales para proporcionar mayor información del jitomate fresco y deshidratado a los consumidores.
- Ampliar la información reportada de los parámetros y especificaciones que existen actualmente en las normas oficiales nacionales e internacionales.
- Conocer el punto óptimo de maduración para poder llevar a cabo el proceso de secado solar.



### III METODOLOGÍA

La presente investigación se realizó conjuntamente en las instalaciones del Laboratorio de secado solar del Instituto de Energías Renovables, ubicado en Temixco, Morelos y en el Laboratorio 322 y 323 del Departamento de Alimentos y Biotecnología de la Facultad de Química en la Ciudad de México, ambos laboratorios de la UNAM, en la *Figura 7* se observa la estrategia experimental de la presente investigación.

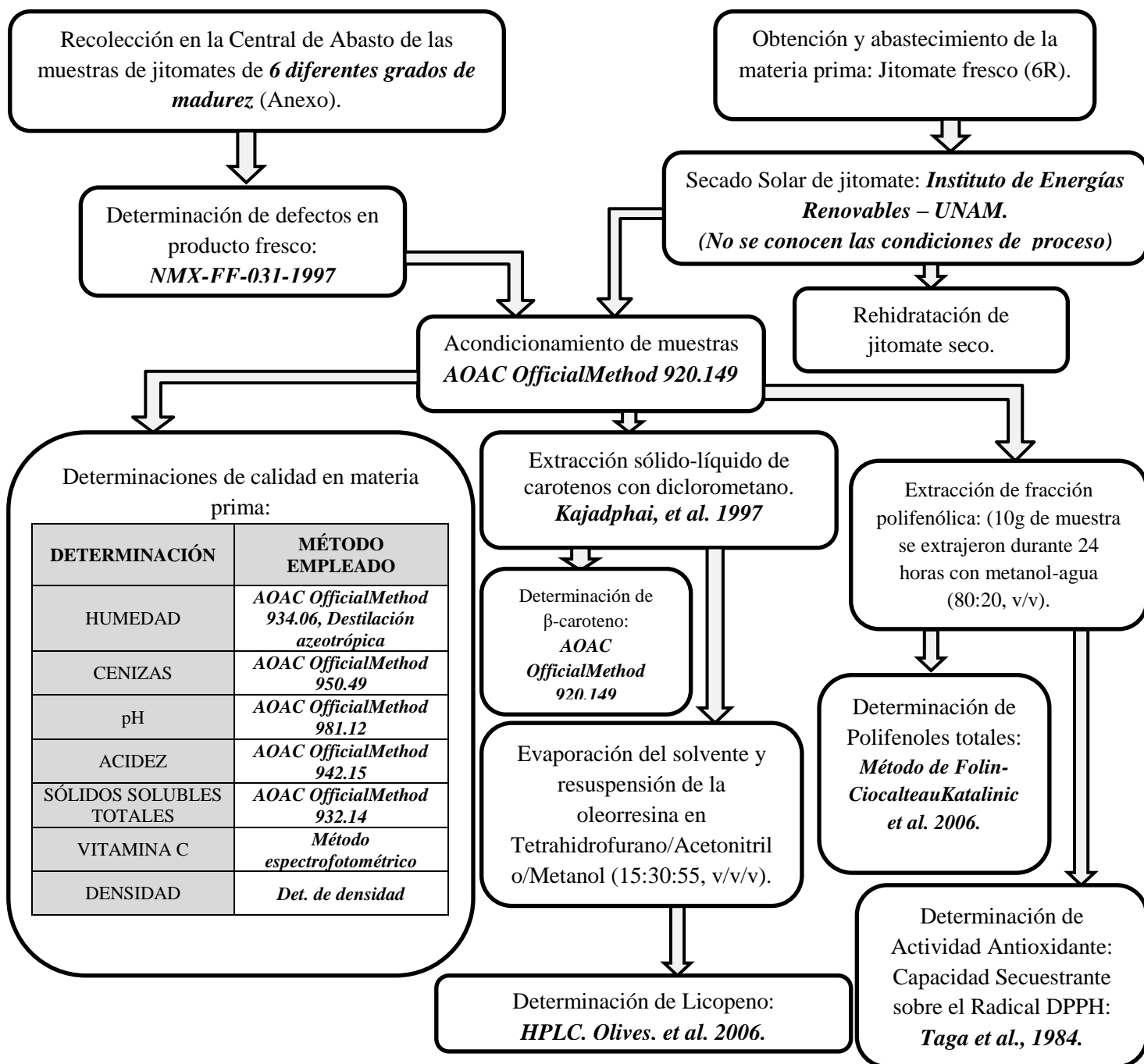


Figura 7. Diagrama de bloques de la estrategia experimental.



## **III.1 Humedad**

### **III.1.1 Humedad en estufa de vacío**

Previamente colocar a peso constante un pesafiltro durante 2 horas a 130 °C. Pesar de 2 a 3 g de muestra en un pesafiltro con tapa. Secar la muestra al menos por 24 h. En la estufa conectada a vacío a una temperatura de 70 °C como máximo (cuidando que la temperatura no suba) con una presión de 7 in Hg. Retirar de la estufa, tapar, dejar enfriar en desecador y pesar tan pronto como se equilibre con la temperatura ambiente. Repetir la operación hasta peso constante. Calcular el porcentaje de humedad, reportándolo como pérdida por secado en estufa de vacío a  $70 \pm 1$  °C.

### **III.1.2 Humedad por destilación azeotrópica**

Pesar 10-25 g de muestra en un matraz bola de 250 - 500 mL con junta esmerilada. Cubrir la muestra con tolueno o xileno (100 mL aproximadamente). Acople al matraz un colector para destilación azeotrópica y un refrigerante a este último en posición de reflujo conectado al flujo de agua. Llene el vástago graduado del colector con el mismo solvente desde la parte superior del refrigerante. Destile lentamente al principio e incrementando la velocidad hasta que toda el agua haya sido destilada. Poco antes del final de la destilación, lave el refrigerante con un poco de disolvente desde la parte superior. Continúe la destilación hasta que ya no varíe la cantidad de agua destilada en el tubo colector.

Lea el volumen directamente del tubo colector y calcule el porcentaje de humedad considerando la densidad del agua.



*Nota: El contenido de Humedad se realizó por dos técnicas diferentes para saber si hay diferencia significativa entre los resultados debido a los diferentes métodos y condiciones de análisis.*

### **III.2 Cenizas Totales**

Pesar de 3 a 5 g de muestra en un crisol (el crisol debe estar previamente pesado y a peso constante durante 2 h aproximadamente en mufla a 500 °C). Calcinar la muestra, primeramente con un mechero en la campana hasta que no se desprendan humos y posteriormente meter a la mufla 2 h cuidando que la temperatura no pase de 550 °C. Repetir la operación anterior si es necesario, hasta conseguir unas cenizas blancas o ligeramente grises, homogéneas. Enfriar en desecador y pesar.

### **III.3 Determinación de pH y acidez**

Pesar 2 g de muestra y llevarlo a un volumen de 20 mL, para obtener una solución al 10% de muestra, filtrar la solución y determinar pH con el potenciómetro de la siguiente manera: Ajustar la temperatura de la muestra a aproximadamente 25 °C. La temperatura de la muestra debe ser la misma que la solución buffer usada para la calibración (para alimentos ácidos se recomienda utilizar soluciones estándar de pH 4 y 7 para la calibración del potenciómetro). Enjuague y seque el electrodo. Sumergir el electrodo en la muestra y leer el pH, dejando estabilizar 1 minuto. Enjuagar y secar el electrodo y repetir en una nueva muestra. Determinar 2 veces el valor de pH para cada muestra. Lecturas similares indican que la muestra es homogénea, reportar el valor a dos decimales por ejemplo 4.43.

Para la determinación de acidez: de la misma solución para medir el pH, titular directamente la solución con NaOH en concentración 0.1 N hasta



llegar a un pH 7.0 en el potenciómetro, reportar como mL de NaOH/ 100 g de muestra original.

#### **III.4 Determinación de porcentaje de Sólidos Solubles Totales**

Para muestras sólidas se recomienda disolver o macerar una cantidad conocida en un volumen exacto de agua y filtrar, en caso de presentarse material insoluble. Si las soluciones tienen partículas en suspensión se requiere eliminarlas por filtración en papel Whatman No. 1.

Colocar una o dos gotas de la solución en el prisma del refractómetro de campo, adecuadamente calibrado. Cerrar la tapa, suavemente, la muestra debe cubrir completamente la superficie del prisma. Observar la escala a través de la "mirilla". Leer en la escala, en la intersección de los campos. En caso de que la separación de los campos no sea clara, ajustar moviendo la base del objetivo. Eliminar la muestra del prisma, utilizando un papel suave húmedo.

Para calibrar el refractómetro a 0%, colocar unas gotas de agua destilada en el prisma. Si la separación de los campos no marca 0%, en la escala, ajustar girando el tornillo que se encuentra en la parte superior de la base del prisma.

#### **III.5 Determinación de Vitamina C (espectrofotometría)**

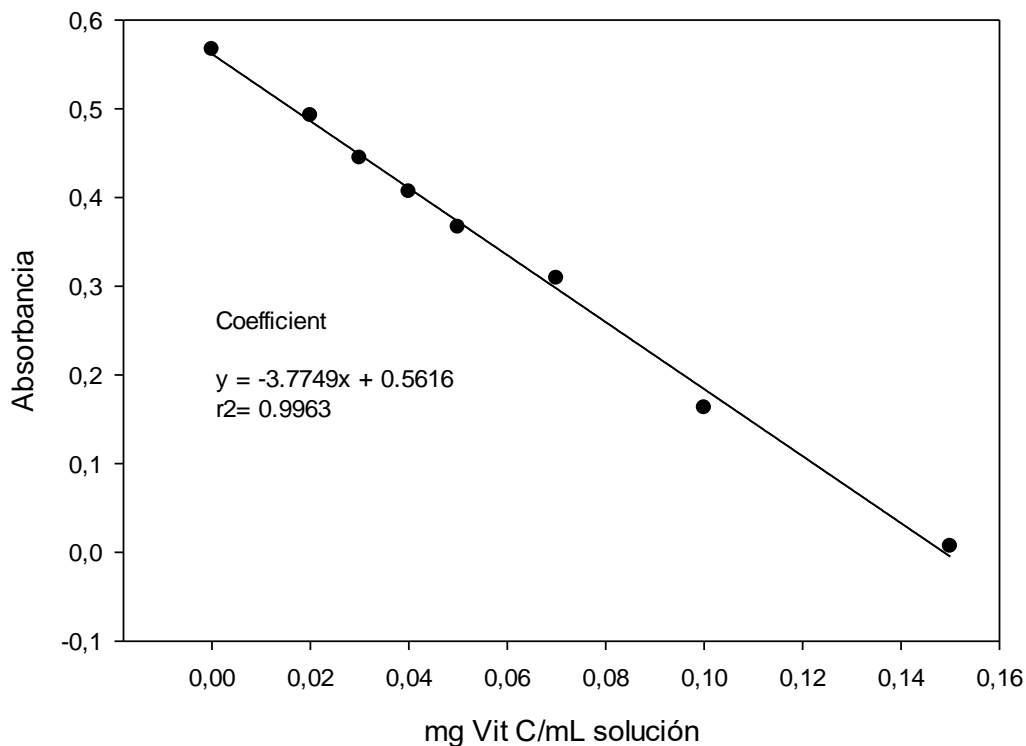
Para la extracción de la Vitamina C: Pesar aproximadamente 10 g de muestra fresca o deshidratada, transferir la muestra a una licuadora o un mortero, con un volumen medido (de 10 mL aproximadamente) de una solución de ácido metafosfórico al 6% (v/v) y licuar o macerar.

Filtrar la solución y recuperar el filtrado en un vaso de precipitados; si existen partículas en suspensión después del filtrado, centrifugue la solución a 6000 rpm durante 20 minutos.



- Espectrofotómetro: Colocar en tubos de ensayo perfectamente etiquetados 1 mL de la solución de vitamina C extraída con anterioridad y agregar en orden las siguientes soluciones: 4.9 mL de una solución de buffer de citratos, 2 mL de una solución de ácido metafosfórico al 6% (v/v) y 3.5 mL de una solución al 0.1% (p/v) de 2,6-diclorofenolindofenol (DFI), homogenizar perfectamente e inmediatamente leer en espectrofotómetro a una longitud de onda de 520 nm. Reportar el contenido de vitamina C (tomando en cuenta las diluciones), como mg de Vitamina C / 100 g de muestra.

Preparar una curva patrón (ver *Figura 8*), con una solución standard de Vitamina C y hacer diluciones consecutivas que cubran el intervalo de concentraciones de 0.15 mg/mL a 0.015 mg/mL y tratarlos de la misma forma que las muestras.



*Figura 8. Curva de calibración Vitamina C.*

### **III.6 Densidad aparente**

Colocar en una probeta una cantidad conocida de muestra, entre 10 y 20 g, dependiendo del tamaño de la probeta, sin que se rebase la escala en la parte superior. En el caso de muestra fresca cortar pedazos de no más de 0.5 cm. Para muestra seca cortar los pedazos si fuera necesario, para que queden dentro de la probeta. En otra probeta colocar aceite comestible hasta la marca superior. Lentamente agregar el aceite a la probeta con la muestra, hasta llegar a la marca superior, realizando pequeños golpes en la parte inferior de la probeta, para desplazar el aire que pueda quedar atrapado entre los pedazos de muestra.

Registrar el volumen de aceite utilizado para rellenar los espacios vacíos entre los pedazos de muestra, a partir de la diferencia entre el volumen inicial y el final. Restar el volumen de aceite utilizado al volumen total de la probeta en que se encuentra la muestra, ese será el volumen que ocupa la muestra. Calcular la densidad aparente relacionando el peso de la muestra y el volumen que ocupa.

### **III.7 Extracción de carotenos (extracción líquido-líquido)**

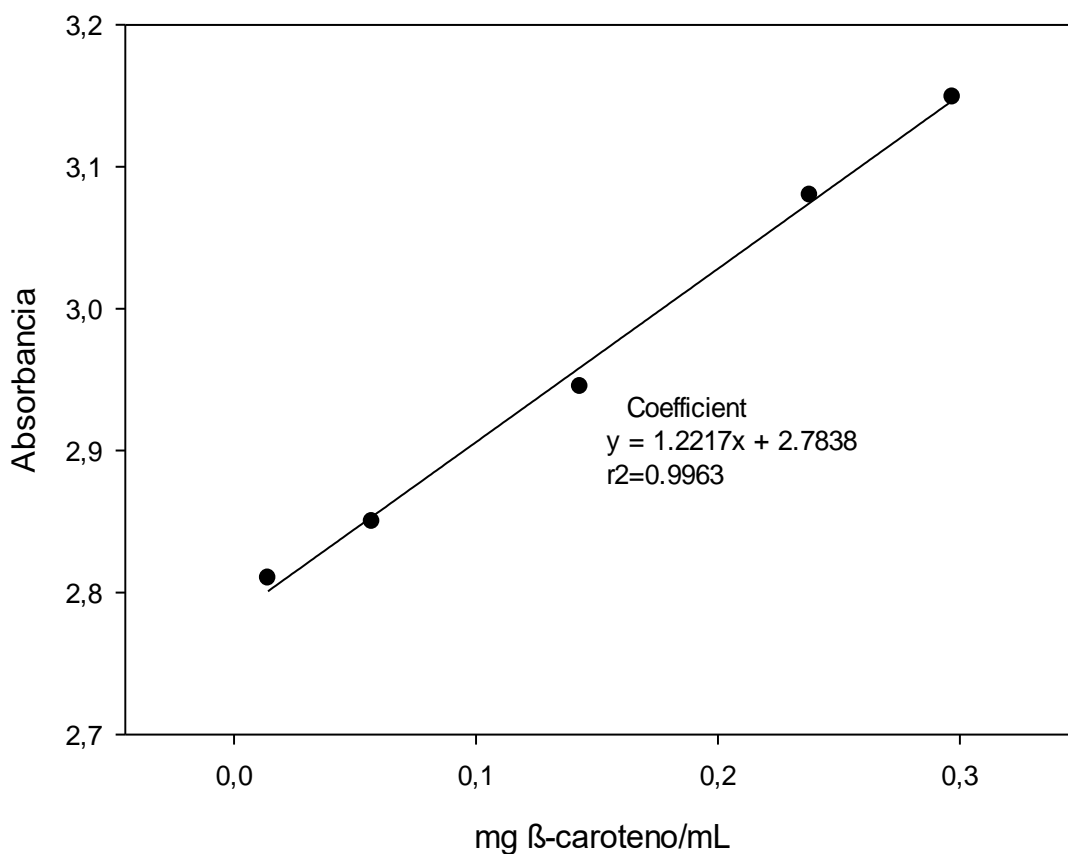
Pesar de 2 a 3 g de muestra de fresca o seca, llevar a cabo una extracción con diclorometano (DCM) como disolvente en tres etapas utilizando 5 mL de disolvente en cada etapa, juntar los extractos de cada etapa en un vaso de precipitados, posteriormente pasar el extracto en una cama de sulfato de sodio anhidro, filtrar y aforar a 25 mL con el disolvente.

### **III.8 Determinación de $\beta$ -caroteno (espectrofotometría)**

Se pesaron 0.2 g de  $\beta$ -caroteno y se aforaron a un volumen de 250 mL de diclorometano (DCM) como disolvente, para obtener una solución



patrón de 0.8 mg  $\beta$  caroteno/mL. Se preparó una curva patrón tomando las siguiente alícuotas 0.0, 0.5, 1.0, 2.5, 5.0 y 7.5 mL de la solución stock aforando a 10 mL para obtener las siguientes concentraciones: 0.6 mg/mL, 0.4 mg/mL, 0.2 mg/mL, 0.08 mg/mL, 0.04 mg/mL. Para obtener la longitud de onda adecuada a la cual leer la curva patrón y las muestras: de la solución stock se hizo el espectro de absorción obteniendo el mayor pico de absorción a una longitud de 330nm. Posteriormente se leyeron los puntos de la curva patrón (ver *Figura 9*) a esta longitud de onda y las diferentes muestras, que son los extractos de carotenos del punto 7 (Extracción de carotenos).



*Figura 9. Curva de calibración del carotenoide  $\beta$ -caroteno.*



### III.9 Determinación de Licopeno (cromatografía de alta resolución)

Evaporar el disolvente (DCM) del extracto de carotenos (obtenido en el punto 7) en rotavapor a una temperatura no mayor a 40 °C y resuspender la oleorresina en la siguiente solución: Tetrahidrofurano(THF)/Acetonitrilo(ACN)/Metanol(MetOH) en las siguientes proporciones (15:30:55, v/v/v), aforando a 1.0 mL. Posteriormente centrifugar el extracto durante 10 minutos a 6000 rpm. Inyectar en cromatógrafo de alta resolución en las siguientes condiciones: Columna C18 con MetOH/ACN (90:10, v/v) como fase móvil a un flujo  $\Phi=0.9\text{mL/min}$ . La detección se realiza por absorción a una longitud de onda de  $\lambda_{\text{detección}} = 475 \text{ nm}$  (ver Figura 10).

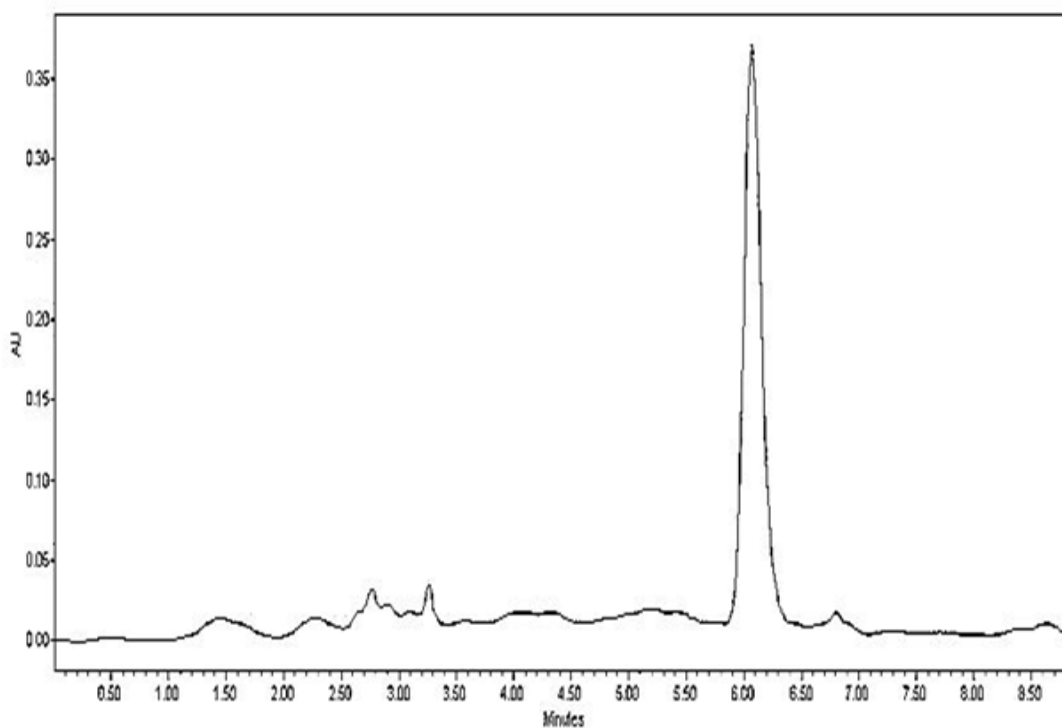
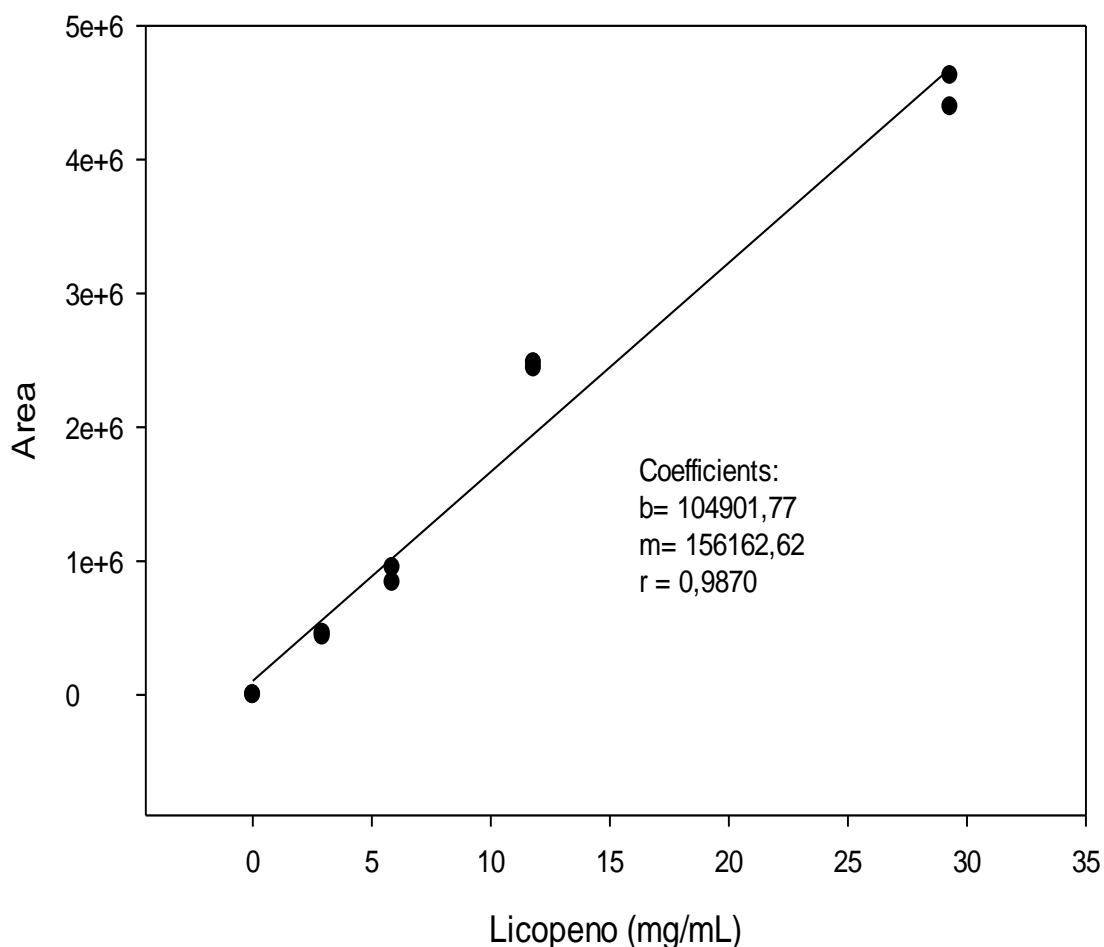


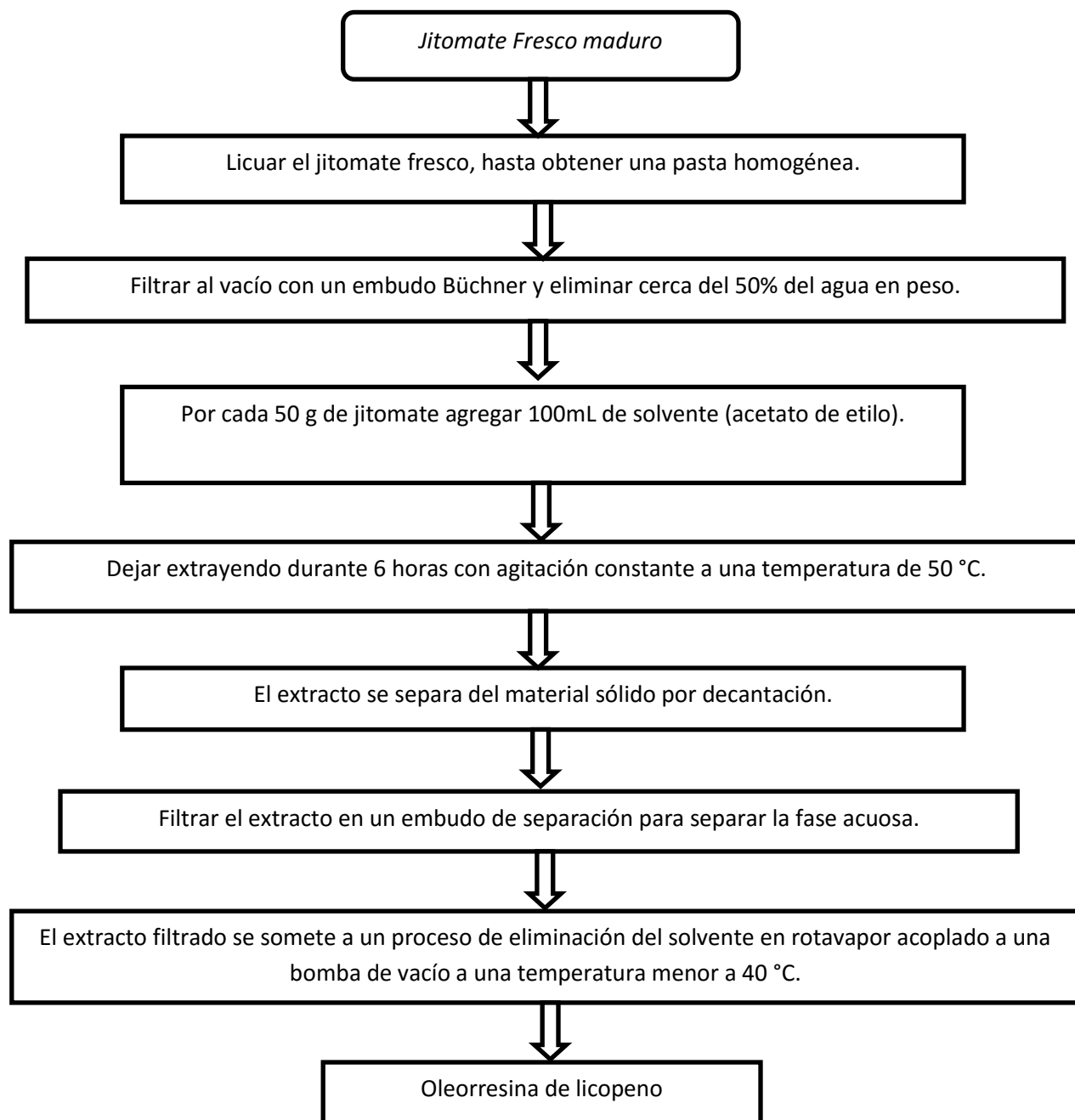
Figura 10. Cromatograma del carotenoide licopeno de la oleorresina extraída; condiciones: columna C18 (300mm X 2mm), fase móvil MetOH/ACN 90:10 (v/v); flujo 0.9 mL/min, Temperatura ambiente;  $\lambda=475 \text{ nm}$ .

Como no se contaba con un standard de licopeno, se extrajo una oleorresina de licopeno (según la metodología indicada en la *Figura 12*) del jitomate maduro y se estimó el contenido de licopeno (74.0%) preparando una curva patrón (ver *Figura 11*) con la oleorresina y cuantificando en HPLC de la siguiente manera: Se preparó una solución stock de 29 mg/mL de oleorresina de licopeno y diluir a las siguientes concentraciones: 11.8 mg/mL, 5.86 mg/mL y 2.93 mg/mL y se inyectaron al cromatógrafo en las mismas condiciones.



*Figura 11. Curva de calibración del carotenoide licopeno.*

Extracción de la oleorresina de licopeno (ver *Figura 12*): extracción líquido-líquido con acetato de etilo en una sola etapa según lo descrito por *Cardona et al. 2006*.



*Figura 12. Diagrama de extracción de la oleorresina de Licopeno.*

### **III.10 Extracción de fracción Polifenólica**

En un matraz Erlenmeyer de 250 mL pesar aproximadamente 10 g de muestra, agregar 50 mL de una solución Metanol-Agua (80:20, v/v), dejar extrayendo en agitación constante, protegido de la luz la extracción a temperatura ambiente durante 24 horas. Transcurrido el tiempo de extracción, eliminar el solvente en rotavapor, el extracto metanólico de la fracción polifenólica se almacenó protegiéndolo de la luz a una T de -18 °C.

### **III.11 Determinación de Polifenoles Totales (espectrofotometría)**

Del extracto metanólico de polifenoles tomar una alícuota de 40 µL y colocar en diferentes tubos de ensayo perfectamente identificados, adicionar 3.2 mL de agua destilada seguido de 200 µL del reactivo de Folin, mezclar perfectamente en Vórtex e incubar de 1-8 minutos sin exceder este tiempo. Transcurrido el tiempo de incubación adicionar 300 µL de una solución de carbonato de sodio al 20 %, p/v, mezclar perfectamente en Vórtex sin generar burbujas e incubar durante 2 horas a temperatura ambiente, trascurrido el tiempo leer en espectrofotómetro a una longitud de onda de 765nm.

### **III.12 Determinación de Actividad Antioxidante: Capacidad Secuestrante sobre el Radical DPPH (espectrofotometría)**

Preparar una solución metanólica del radical [DPPH]=  $3.6 \times 10^{-5}$  M, de esta solución tomar una alícuota de 2 mL y colocar en tubos de ensayo, adicionar 50 µL de una solución metanólica del antioxidante de referencia Trolox a una concentración de 200 ppm. Registrar el decremento de la absorbancia a 517 nm durante 20 minutos a T



ambiente. Calcular el porcentaje de capacidad secuestrante. Para comparar el antioxidante Trolox con nuestro extracto de polifenoles agregar en vez del antioxidante de referencia 50  $\mu$ L del extracto de polifenoles y registrar el decremento de la absorbancia en las mismas condiciones.

### **III.13 Rehidratación de productos secos**

Colocar una cantidad conocida de la muestra seca en dos vasos de precipitados con agua calentada a 50 °C. A los 5 minutos drenar el agua de uno de los vasos y colocar la muestra sobre un papel absorbente para eliminar el exceso de agua, pesar la muestra rehidratada. Repetir la operación con la otra muestra a los 10 minutos.

Calcular el porcentaje de rehidratación relacionando la diferencia del peso de la muestra rehidratada y la muestra seca que será la cantidad de agua absorbida y el peso de la muestra deshidratada.

### **III. 14 Análisis del material vegetal**

La materia prima vegetal, jitomate fresco de la variedad saladet, se consiguió en la central de abasto en la Ciudad de México. Se identificaron los 6 principales grados de madurez comercial del producto para la caracterización fisicoquímica de los mismos (ver *ANEXO: a*).

El secado solar se llevó a cabo en el Laboratorio de secado solar del Instituto de Energías Renovables en Temixco, Morelos, secando diferentes grados de madurez de jitomate fresco (ver *ANEXO: b*).

La materia prima vegetal fresca y seca se analizó de la misma forma, ya que todas las determinaciones tanto para materia prima como para el producto terminado fueron las mismas.



Una vez que se obtenía el material vegetal (fresco o seco), se realizó un proceso de acondicionamiento y homogenización para obtener muestras representativas (AOAC, 2005); los jitomates analizados frescos cumplieron con lo especificado en la *NMX-FF-031-1991*, que indica los requerimientos mínimos de calidad que debe cumplir este producto fresco para poder procesarlo y en este caso llevar a cabo todas las determinaciones de calidad tanto a materia prima como producto terminado (ver la *Figura 7*).

En el caso de las determinaciones de calidad como % Humedad, % Cenizas totales, % Sólidos solubles totales, pH, % Acidez; se siguieron las metodologías oficiales marcadas por la *AOAC, Official Methods of Analysis* (se describen en el *Capítulo III METODOLOGÍAS*).

Para las determinaciones de Polifenoles totales (*Katalinic, 2006*) y Actividad antioxidante (*Taga, 1984*) se obtenía un extracto metanólico del material vegetal (ver *Capítulo III METODOLOGÍAS: Extracción de la fracción polifenólica*) y se procedía con las determinaciones.

Para las determinaciones de  $\beta$ -caroteno y licopeno se obtenía un extracto de carotenoides totales (*Kajadphai, 1998*), de este extracto se analizó licopeno por HPLC (*Olives, 2006*) y el  $\beta$ -caroteno mediante espectrofotometría (AOAC, 2005).

## IV RESULTADOS Y DISCUSIÓN

### IV.1 Materia Prima y Caracterización de los diferentes Grados de Madurez

La materia prima seleccionada para la investigación fue jitomate de la variedad Saladet, se analizaron 6 diferentes grados de madurez para jitomate con sus seis colores comerciales: Verde (identificado como 1V), Quebrado (identificado como 2Q), Rayado (identificado como 3RY), Rosa (identificado como 4R), Rojo claro (identificado como 5R) y Rojo (identificado como 6R) como se muestra en *la Tabla 2*.

*Tabla 2. Colores comerciales de jitomate variedad Saladet relacionado con su madurez.*

MADUREZ	CÓDIGO	MUESTRARIO
VERDE	1V	
QUEBRADO	2Q	
RAYADO	3RY	
ROSA	4R	
ROJO CLARO	5R	
ROJO	6R	

## IV.2 Especificaciones mínimas de calidad en la materia prima

Todos los jitomates analizados en la presente investigación, cumplen con las especificaciones de calidad marcadas en la *NMX-FF-031-1997-SCFI*, que se muestran en la *Tabla 3*.

*Tabla 3. Requerimientos mínimos de calidad según la NMX-FF031-1997-SCFI para jitomate de cualquier variedad.*





<ul style="list-style-type: none"><li>■ Enteros.</li><li>■ Aspecto fresco.</li><li>■ Características similares a los de la variedad (saladet).</li><li>■ Sanos externamente e internamente.</li><li>■ Maduros.</li><li>■ No bofos ni sobremadurados (para el caso de los jitomates 6R).</li><li>■ Limpios/sin tierra.</li><li>■ Bien desarrollados.</li><li>■ Sin daños.</li></ul>	<ul style="list-style-type: none"><li>■ Exentos de humedad anormal.</li><li>■ Exentos de daños causados por plagas, enfermedades o temperatura.</li><li>■ Buena consistencia.</li><li>■ Forma típica de la variedad alargada.</li><li>■ Color (depende de la madurez en que se encuentre el fruto).</li><li>■ Tamaño: De acuerdo a su diámetro se clasificaron todos como chicos diámetro promedio = 4.94 cm.</li><li>■ Exentos de olores y sabores desagradables.</li></ul>
--	--

En la *Tabla 4* se muestran tres de los diferentes grados de madurez analizados, se puede observar el cambio de color de verde a rojo fuerte relacionado con la madurez del vegetal y que todo el jitomate analizado cumplía con los requerimientos mínimos de calidad, los jitomates con



defectos o que no cumplían con las especificaciones mínimas de calidad marcadas por la *NMX-FF-031-1997* mencionada anteriormente, se desechaban, ya que este tipo de defectos, pueden causar variaciones fuertes como cambios en la acidez, humedad, pH o descomposición de algunos nutrimentos como vitamina C, provitamina A, licopeno entre otros compuestos.

*Tabla 4. Muestrario de tres de los seis diferentes grados de madurez analizados y algunos defectos encontrados en el primer lote caracterizado.*

<b>MADUREZ</b>	<b>IMÁGENES</b>
<b>1 VERDE (1V)</b>	
<b>3 RAYADO (3RY)</b>	
<b>6 ROJO (6R)</b>	
<b>DEFECTOS (No analizados)</b>	

Se estudiaron algunos parámetros que indican la calidad de los diferentes grados de madurez del jitomate saladet, con el objetivo de seleccionar aquellos que permitan discriminar entre los diferentes grados de madurez y como marcadores para el control del posterior proceso de secado.

Los resultados de los parámetros de calidad evaluados para caracterizar los distintos grados de madurez se muestran a continuación para el jitomate completo y sin semilla y son el promedio de tres repeticiones con un coeficiente de variación menor al 10% ( $n=3$ ,  $CV<10\%$ ).

### **IV.3 Humedad**

En la *Figura 13* se muestran los resultados analizados para el contenido de humedad en jitomate fresco con semilla y sin semilla para los seis grados de madurez comerciales analizados. Se puede observar que el contenido de humedad va de  $94.38 \pm 0.06$  % (p/p) para jitomate verde completo y aumenta a  $95.01 \pm 0.01$  % (p/p) para jitomate rojo completo.

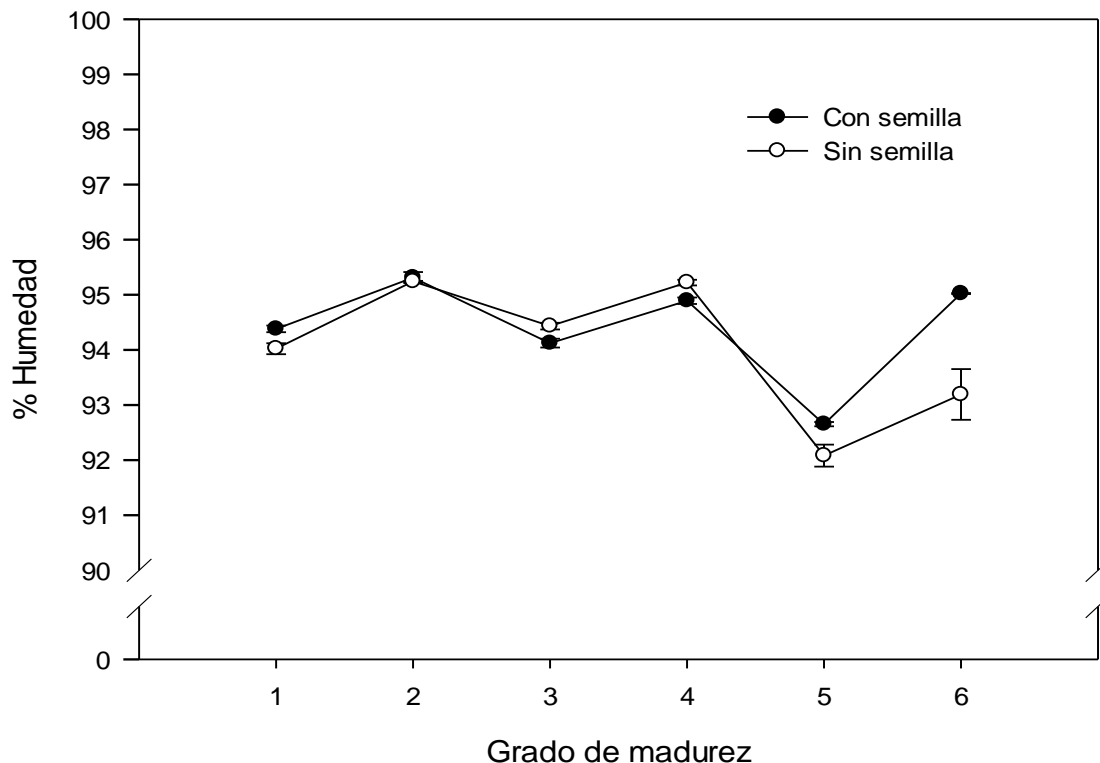


Figura 13. Relación del contenido de Humedad (% p/p) con el grado de madurez para jitomate fresco (completo y sin semilla),  $n=3$ .

Para el caso del jitomate sin semilla, se obtuvo un contenido de humedad para jitomate verde del  $94.02 \pm 0.1$  % (p/p) disminuyendo a  $93.19 \pm 0.46$  % (p/p) para jitomate rojo, lo cual indica que al extraer las semillas del fruto, se puede disminuir la humedad en alguna medida para continuar con el proceso de secado.

Los resultados obtenidos coinciden con lo reportado por la bibliografía que menciona que el % Humedad de jitomate rojo maduro es mayor al 90%, dependiendo de múltiples factores como variedad del producto, estación del año, riego, almacenamiento, etc. (Gómez, 2009), para jitomate rojo maduro el contenido promedio de humedad es de 94.51% (USDA, 2011), lo que es muy cercano a los valores obtenidos para dicho parámetro de calidad.

También la *NMX-FF-031-1997-SCFI* indica que para procesar un jitomate rojo maduro “*debe estar exento de humedad anormal en la superficie del producto*”, lo cual elevaría el contenido de humedad y favorecería aún más reacciones de deterioro y descomposición.

#### **IV.4 Cenizas**

Las cenizas son un método sencillo para determinar la calidad de ciertos alimentos, un alto contenido de cenizas en algunos productos es un inconveniente, las cenizas de los alimentos deberán estar comprendidas entre ciertos valores lo cual facilitará en parte su identificación (*Pearson, 1993*), puede ser indicador de contaminación por tierra o que el producto vegetal en la post-cosecha estuvo expuesto bastante tiempo al aire.

Concerniente a la determinación de cenizas en el jitomate fresco, se puede observar en la *Figura 14*, una tendencia al aumento en el contenido de cenizas totales que se encuentra en el intervalo que va de  $0.33 \pm 0.01$  % (p/p) para jitomate verde completo a  $0.48 \pm 0.02$  % (p/p) para jitomate rojo completo y para el jitomate sin semilla un ligero aumento en las cenizas conforme el grado de madurez aumento que va de  $0.420 \pm 0.004$  % (p/p) para jitomate verde a  $0.40 \pm 0.02$  % (p/p) para jitomate rojo.

El contenido de minerales también da una idea de la cantidad de éstos en la materia prima (*Yilmaz, 2001*), y los resultados indican que hay un aumento en el contenido de cenizas al madurar el fruto, que se puede atribuir a cambios en la composición del fruto conforme aumenta la maduración del fruto.

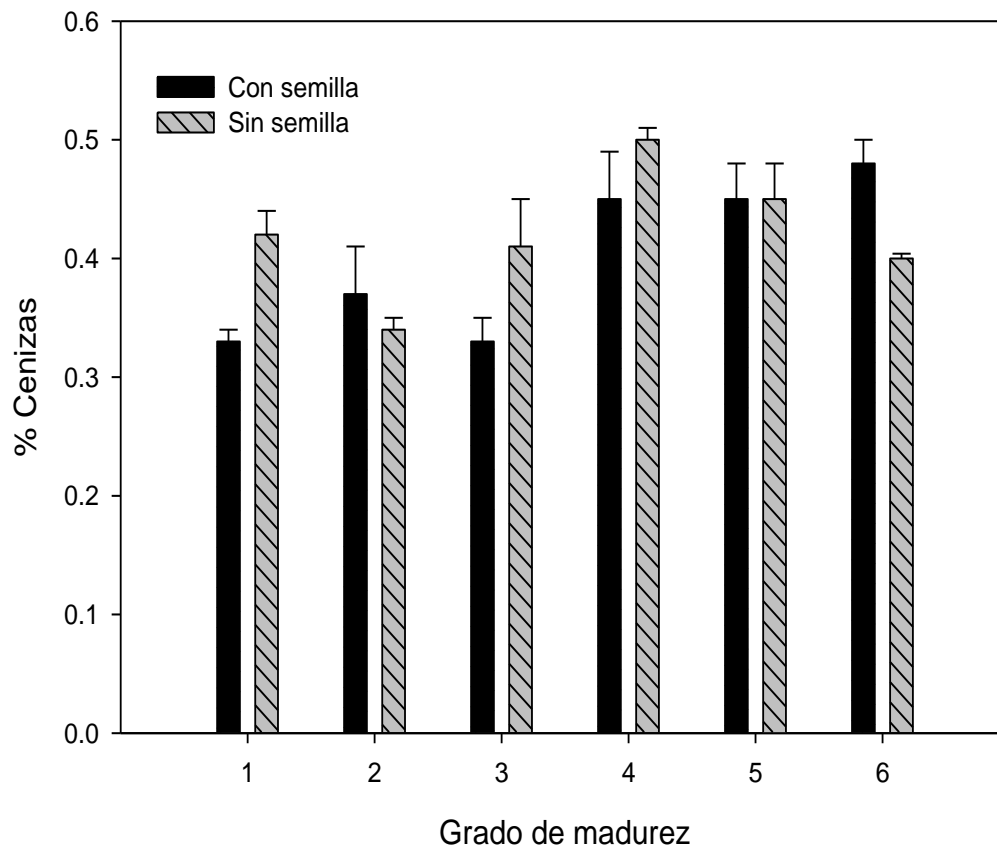


Figura 14. Relación del contenido de Cenizas totales (% p/p) con el grado de madurez para jitomate fresco (completo y sin semilla), n=3.

#### IV.5 pH

Con respecto a la valoración del pH en las muestras de jitomate fresco, se puede observar que muestra un valor superior a 4 en todas las determinaciones, en la *Tabla 5* se encuentran los resultados de dicho parámetro de calidad tanto para jitomate completo y sin semilla que está en el intervalo de  $4.04 \pm 0.02$  a  $4.35 \pm 0.30$  para jitomate verde y rojo respectivamente.

Tabla 5. Resultados para el parámetro de calidad pH, n=3.

PARAMETRO LOTE	pH	
	JITOMATE COMPLETO	JITOMATE SIN SEMILLA
<b>1V</b>	4.04 ± 0.02	4.12 ± 0.03
<b>2Q</b>	4.11 ± 0.02	4.24 ± 0.03
<b>3RY</b>	4.24 ± 0.02	4.27 ± 0.05
<b>4R</b>	4.20 ± 0.02	4.19 ± 0.08
<b>5R</b>	4.13 ± 0.01	4.18 ± 0.01
<b>6R</b>	4.35 ± 0.30	4.35 ± 0.04

El pH da información sobre la acidez del jitomate y por lo general los valores de pH reportados en la bibliografía están entre 4.2 y 4.4 (Ciruelos, 2008), lo que coincide con lo encontrado con este parámetro que los valores de jitomate dan superiores a 4 en el análisis de pH al jitomate se puede observar (Tabla 5) que es más ácido el tomate verde que el rojo ya que aumenta el valor de 4.04 hasta 4.35, lo que asegura una estabilidad microbiológica durante el almacenamiento y proceso de secado.

#### IV.6 Acidez

Otro parámetro que se determinó fue la acidez total. El contenido de acidez expresado como % ácido cítrico para jitomate completo y sin semilla con respecto al grado de madurez se muestra en la Figura 15, observándose que hay una disminución en dicho parámetro de calidad conforme el grado de madurez aumenta.

Para el jitomate completo se encontraron valores % acidez que están en el intervalo de  $0.34 \pm 0.01$  % (p/p) para jitomate verde a  $0.24 \pm 0.01$



% (p/p) para jitomate rojo y en el caso del jitomate sin semilla verde y rojo se obtuvieron resultados que van de  $0.37 \pm 0.01\%$  (p/p) a  $0.16 \pm 0.02\%$  (p/p) respectivamente.

La acidez influye sobre el sabor del fruto y es debida a la presencia de diversos ácidos orgánicos en el jitomate (tartárico, málico, acético, cítrico, succínico, glutámico, etc.). El mayoritario es el ácido cítrico y suele oscilar entre 0.35 a 0.40 g/100mL de zumo (Ciruelos, 2008), para los resultados de acidez (ver Figura 15), se observa que hay una pérdida de ésta al madurar el fruto y al remover las semillas de jitomate también se observa una disminución de dicho parámetro, lo cual concuerda con lo obtenido para el parámetro de pH que aumenta ligeramente mientras el fruto este más maduro, es decir, mientras que la acidez disminuye en el fruto con la madurez, el pH aumenta.

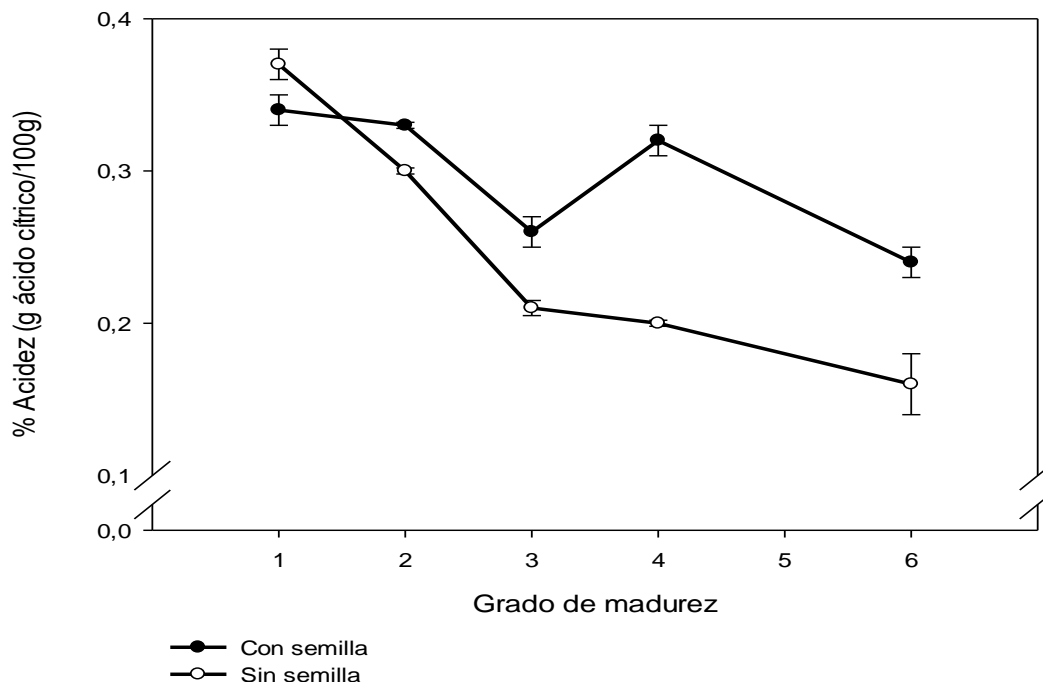


Figura 15. Relación del parámetro de calidad acidez (% p/p) con el grado de madurez para jitomate fresco (completo y sin semilla).



## IV.7 Vitamina C

El ácido ascórbico es una vitamina lábil que pierde su actividad por varios factores, como el pH, contenido de humedad, oxígeno, temperatura y catálisis de iones metálicos. En el proceso de secado, las pérdidas de ácido ascórbico se deben principalmente a las temperaturas altas (*Zanoni, 1999*).

La vitamina C se encuentra principalmente en vegetales frescos; por esta razón, el consumo rutinario de frutas y verduras aporta la vitamina C requerida diariamente, ya que al ser hidrosoluble el ser humano no la almacena y a diferencia de otras vitaminas tampoco es posible sintetizarla (*Badui, 2006*). En los resultados obtenidos al evaluar el contenido de vitamina C en el producto fresco (ver *Tabla 6*), se observa un notable incremento en la concentración de dicha vitamina al aumentar el grado de madurez en el intervalo de  $0.40 \pm 0.02$  mg Vit C/100g muestra a  $6.66 \pm 0.57$  02 mg vitamina C/100g muestra y una clara concentración para el jitomate sin semilla siendo el valor más alto para el grado de madurez 6R sin semilla con una concentración de 14.32 mg vitamina C en 100 g de muestra.

El valor para jitomate maduro rojo (ver *Tabla 6*) es inferior al encontrado en la bibliografía en la que se reportan valores que oscilan entre los 13.07 mg/100 g (*USDA, 2011*), esto puede ser debido a que la vitamina C se puede oxidar muy fácilmente y llegar a haber pérdidas si no hubo un control de la materia prima durante su comercialización. Por otra parte se puede observar que al analizar el jitomate sin la semilla hay una concentración mayor de vitamina C, debido a que se encuentra principalmente en la pulpa del fruto este nutriente y en las semillas del fruto se encuentran otros componentes como la fibra.





Tabla 6. Contenido de Vitamina C (mg/100g muestra) para jitomate completo y sin semilla en sus diferentes grados de madurez, n=3.

PARAMETRO LOTE	Vitamina C (mg/100g muestra)	
	JITOMATE COMPLETO	JITOMATE SIN SEMILLA
1V	0.40 ± 0.02	0.16 ± 0.08
2Q	0.98 ± 0.03	1.28 ± 0.02
3RY	2.65 ± 0.50	2.86 ± 0.30
4R	3.78 ± 0.35	5.45 ± 0.20
5R	5.08 ± 0.55	8.90 ± 0.08
6R	6.66 ± 0.57	14.32 ± 0.03

#### IV.8 β-Caroteno

En el análisis a la materia prima se determinó el β-caroteno que está considerado como provitamina A, y se consideró como un parámetro de calidad debido a su alto valor nutrimental (Badui, 2006).

Al llevar a cabo la determinación se leyó en un principio a una longitud de onda de 436nm como se reporta en la bibliografía (AOAC, 2005); pero se obtenían valores de β-caroteno muy altos que ningún alimento presenta y por esta razón se decidió hacer un espectro de absorción de dicho compuesto (ver Figura 16) de un punto de concentración intermedia de la curva patrón (ver Capítulo III METODOLOGÍAS: Determinación de β-caroteno) para ver el pico máximo de absorción y saber a qué longitud de onda leer con exactitud y el resultado fue alrededor de 450nm el máximo de absorbancia.

Por otra parte se llevó a cabo un espectro de absorción de la muestra de jitomate 6R (ver Figura 16), comprobándose así que alrededor de 451 a

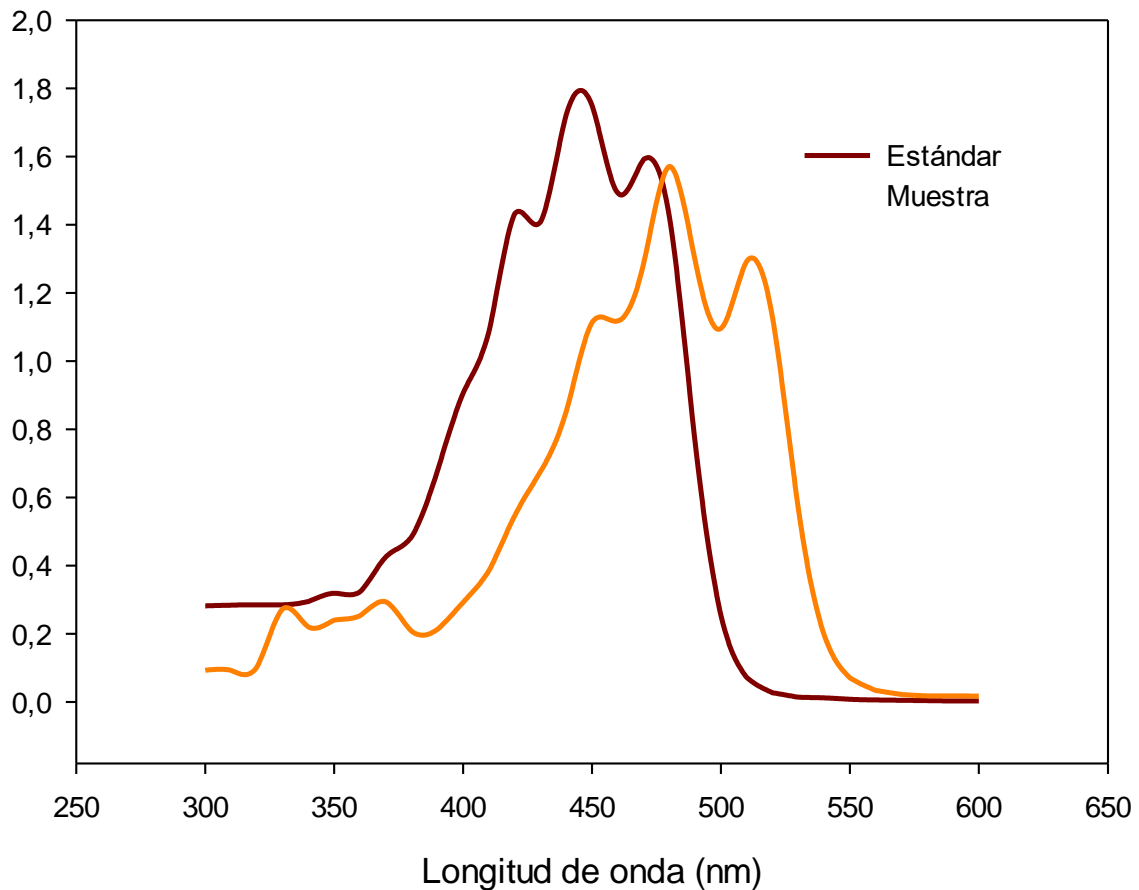


470 nm se encuentra el máximo de absorbancia de la muestra, por esta razón se decidió leer a 451 nm de longitud de onda para la determinación espectrofotométrica.

Los picos máximos de absorción de dicho estándar de  $\beta$ -caroteno y muestra coinciden con lo reportado en la bibliografía que son 425, 451 y 483 nm (*Belitz, 2009*), para poder leer en el espectrofotómetro las muestras a 451nm y no sobreestimar el valor.

En la *Tabla 7*, se indican los valores de los resultados para el parámetro  $\beta$ -caroteno analizado para jitomate fresco completo y sin semilla, se puede observar que los valores caen dentro del rango de  $0.140 \pm 0.003$  mg  $\beta$ -caroteno/100g de muestra para jitomate completo verde a  $0.54 \pm 0.02$  mg  $\beta$ -caroteno/100g de muestra y para el jitomate sin semilla se observa una ligera concentración de dicho parámetro en el intervalo que va de  $0.17 \pm 0.01$  mg  $\beta$ -caroteno/100g de muestra a  $0.57 \pm 0.04$  mg  $\beta$ -caroteno/100g de muestra.





*Figura 16. Espectro de absorción del estándar de  $\beta$ -caroteno y una muestra de jitomate maduro (6R).*

En la *Tabla 7* se observa que el contenido de  $\beta$ -caroteno aumenta conforme aumenta la madurez del fruto, esto se puede relacionar directamente con el color de la fruta ya que se van dando pigmentos que van desde el naranja hasta rojo profundo a medida que el jitomate madura. Al extraer las semillas y hacer el análisis sin semillas se puede observar al igual que para el caso de la vitamina C una concentración mayor del componente  $\beta$ -caroteno.

Tabla 7. Contenido de  $\beta$ -caroteno (mg/100g de muestra) para jitomate completo y sin semilla en sus diferentes grados de madurez,  $n=3$ .

PARAMETRO LOTE	$\beta$ -caroteno (mg/100g muestra)	
	JITOMATE COMPLETO	JITOMATE SIN SEMILLA
1V	ND	ND
2Q	0.140 $\pm$ 0.003	0.17 $\pm$ 0.01
3RY	0.22 $\pm$ 0.01	0.240 $\pm$ 0.004
4R	0.470 $\pm$ 0.005	0.49 $\pm$ 0.02
5R	0.47 $\pm$ 0.01	0.48 $\pm$ 0.01
6R	0.54 $\pm$ 0.04	0.57 $\pm$ 0.02

ND = No Detectado

#### IV.9 Licopeno

El licopeno es el compuesto responsable del color rojo en el tomate, sandía y otras frutas, y también se utiliza como un ingrediente de color en muchas formulaciones de alimentos (Richelle, 2002).

Se ha presentado recientemente un gran interés en el licopeno debido a su actividad preventiva contra varias patologías, como la enfermedad cardiovascular, la fibrogénesis hepática, eritema, la persistencia del virus del papiloma humano y algunos tipos de cáncer, como el de próstata, gastrointestinal y epitelial (Olives, 2006).

En esta investigación se *estimó* el contenido de licopeno presente en los diferentes grados de madurez del jitomate. Se extrajo con acetato de etilo una oleoresina de licopeno según lo descrito por (Cardona, 2006) y se utilizó como un estándar para la determinación, después de que se



inyectó al HPLC para conocer la pureza de la oleorresina extraída, una vez que se obtuvo la pureza de la oleorresina que fue de 74.0 % se preparó una curva patrón para poder estimar el contenido de licopeno en el extracto (ver *Capítulo III Metodologías*).

Los resultados se muestran en la *Tabla 8*, donde se puede observar que al ir madurando el fruto incrementa el contenido de licopeno que le da su característica coloración rojiza, es decir va perdiendo el color verde por la descomposición de la clorofila y tomando tonos anaranjados para grados de madurez intermedios y rojo para el maduro 6R (*Liu, 2009*).

*Tabla 8. Parámetros de calidad: licopeno (contenido aproximado).*

<b>PARAMETRO LOTE</b>	<b>Licopeno (mg/100g muestra)</b>	
	<b>JITOMATE COMPLETO</b>	<b>JITOMATE SIN SEMILLA</b>
<b>1V</b>	3.98 ± 0.31	34.24 ± 1.10
<b>2Q</b>	6.93 ± 0.31	40.33 ± 1.10
<b>3RY</b>	6.63 ± 0.56	23.23 ± 0.68
<b>4R</b>	16.38 ± 1.49	36.89 ± 2.37
<b>5R</b>	12.77 ± 0.24	34.32 ± 0.63
<b>6R</b>	11.29 ± 0.20	32.21 ± 2.90

#### **IV.10 Polifenoles totales**

Por otra parte, en numerosas especies del reino vegetal se han reportado compuestos con propiedades antioxidantes (*Fennema, 1995*).

Los compuestos fenólicos, como fenoles simples, flavonoides y ácidos fenólicos son un amplio grupo de metabolitos secundarios de las plantas y son importantes en la dieta humana. Estudios epidemiológicos han demostrado que los compuestos fenólicos poseen atributos benéficos a la salud como anticarcinogénicos, antioxidantes potenciales, antivirales, antimicrobianos y antimutagénicos (*Lule, 2005*), de ahí la importancia de determinar compuestos como los polifenoles que están clasificados como antioxidantes naturales como un parámetro más de calidad en jitomate fresco

Los resultados de dicho parámetro se encuentran en la *Figura 17* y se encuentran en el intervalo que va de  $7.43 \pm 0.54 \mu\text{g}/100 \text{ g}$  muestra a  $6.18 \pm 0.81 \mu\text{g}/100\text{g}$  muestra para jitomate verde y rojo respectivamente, tales resultados para este parámetro de calidad muestran una tendencia a la pérdida de dichos componentes al ir madurando el jitomate, lo cual es lógico debido a que los polifenoles son sensibles a diferentes factores tales como enzimas, pH, temperatura, oxígeno, luz, metales y almacenamiento (*Cuevas, 2008*) y la materia prima estuvo expuesta a estas diferentes condiciones durante su almacenamiento y comercialización; así mismo se puede observar que para los jitomates analizados sin las semillas, el valor tiende a disminuir aún más, lo cual no es lógico pues estos compuestos deberían concentrarse al extraer las semillas del fruto.

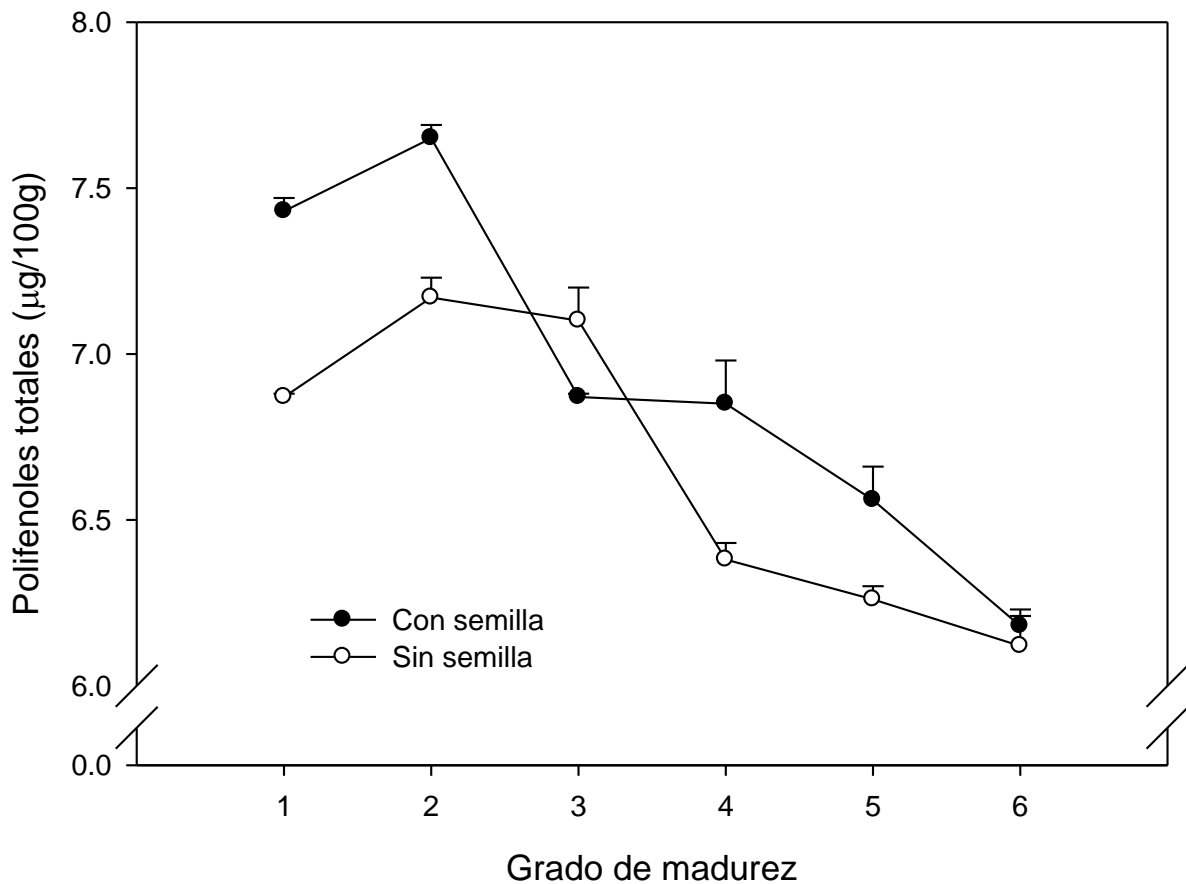


Figura 17. Relación del parámetro de calidad Polifenoles totales ( $\mu\text{g}/100\text{ g}$  de muestra) con el grado de madurez para jitomate fresco completo y sin semilla,  $n=3$ .

#### IV.11 Actividad antioxidante (DPPH)

Los antioxidantes son compuestos capaces de retardar o inhibir la oxidación cuando se encuentran en concentraciones menores respecto a los sustratos oxidables. A través de distintos mecanismos los antioxidantes impiden la oxidación en otras moléculas (Shahidi, 1992).

En los resultados para dicho parámetro de calidad (ver Figura 18), se puede observar que para el extracto metanólico del jitomate en las

condiciones evaluadas, presenta una tendencia de aumento de atrapamiento del radical libre DPPH al extraer las semillas del fruto, y un aumento mientras el fruto está más maduro, esto puede ser debido a que las semillas y enzimas que en ellas se encuentran estén haciendo un mecanismo de obstrucción frente a la actividad antioxidante de los polifenoles en la muestra, esto se relaciona directamente con el alto contenido de polifenoles, por tanto el fruto contiene compuestos bioactivos con actividad antioxidante.

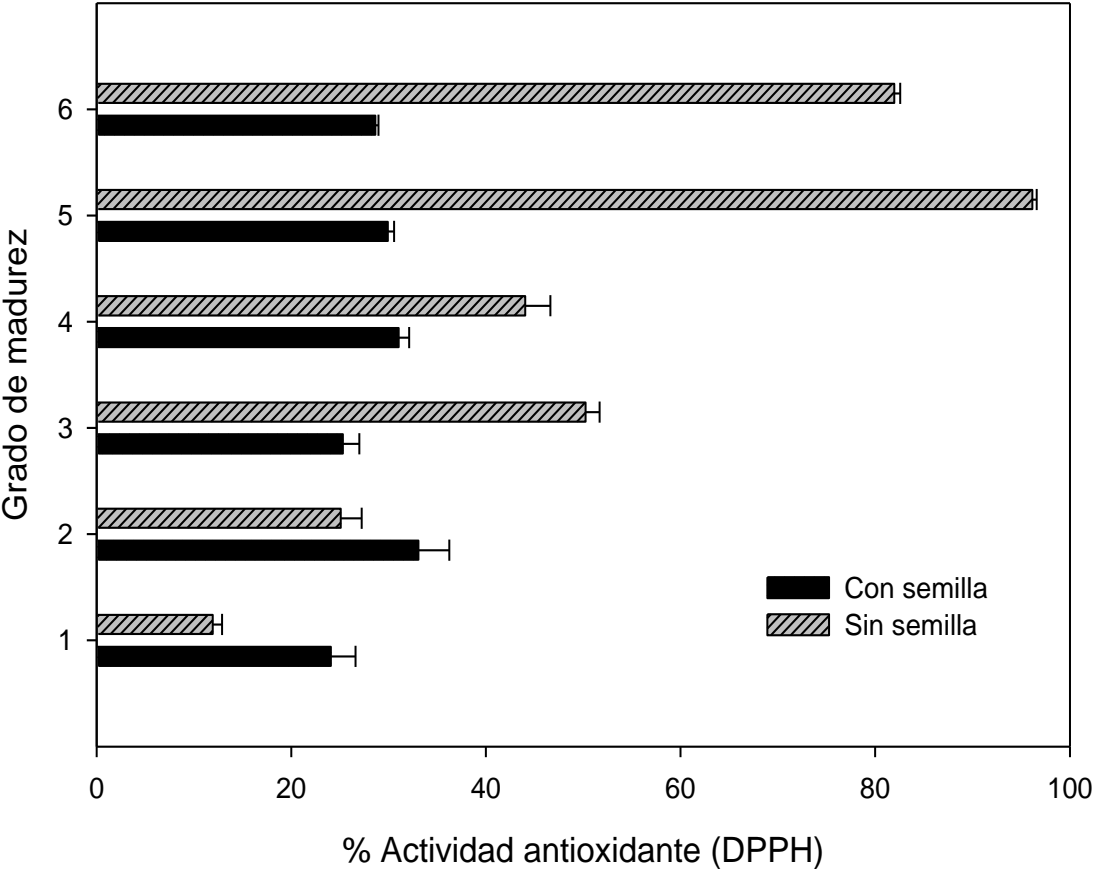


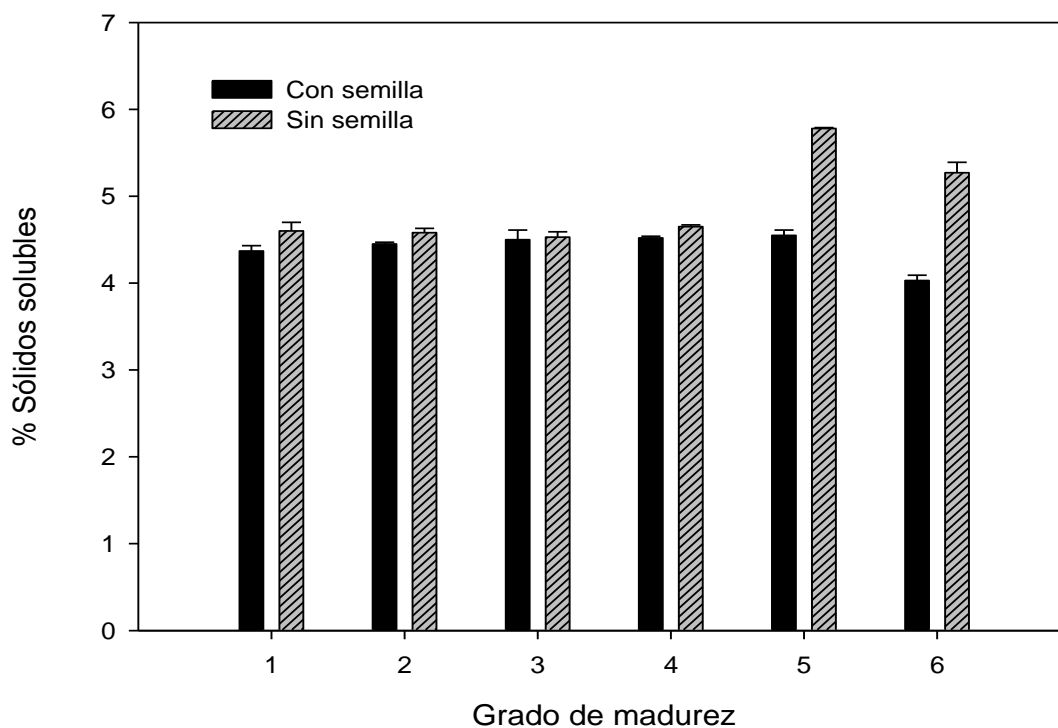
Figura 18. Relación de la Capacidad Secuestrante Sobre el radical DPPH con el grado de madurez para jitomate fresco (completo y sin semilla), n=3.





#### IV.12 Sólidos solubles totales y Densidad

Los sólidos solubles totales (SST) son otro parámetro importante en la calidad de los jitomates frescos debido a que da información agronómica como la climatología durante la maduración, el tipo de riego (volumen total de agua utilizada y el momento de corte de riego) que puede hacer variar los grados Brix de una misma variedad de jitomate de 4 hasta 7, siendo los valores normales de 4.5 a 5.5 % (Ciruelos, 2008), los sólidos solubles totales encontrados en el jitomate (ver *Figura 19*) oscilan entre 4.37 y 4.03 % siendo este último el valor para el lote 6R completo, estos resultados concuerdan con lo reportado en la bibliografía que como se mencionó anteriormente esta alrededor de 4.5%, al analizar el jitomate sin semillas se puede observar la concentración de los sólidos solubles totales



*Figura 19. Parámetros de calidad: Sólidos solubles totales para jitomate completo y sin semillas, n=3.*

Un parámetro más de calidad es la densidad, se conoce que durante la maduración, el contenido de azúcares de un fruto aumenta casi invariablemente (Alvarado, et al. 1990), es por esta razón que se observa en la *Tabla 9* pequeños cambios en la densidad del jitomate al aumentar la madurez que es debido principalmente al cambio y disminución del agua en el fruto y al aumento en los sólidos solubles totales.

*Tabla 9. Parámetros de calidad: Densidad (g/mL) para jitomate completo de tres diferentes grados de madurez, n=3.*

<b>PARAMETRO</b> <b>LOTE</b>	<b>DENSIDAD (g/mL)</b> <b>JITOMATE COMPLETO</b>
<b>1V</b>	1.01 ± 0.04
<b>3RY</b>	1.004 ± 0.025
<b>6R</b>	0.99 ± 0.03

Adicional a los demás parámetros se determinó el **dióxido de azufre** que es un aditivo utilizado como fungicida, las uvas de mesa y otros productos son normalmente fumigadas con dióxido de azufre para prevenir enfermedades post-cosecha (López, 2003); además el dióxido de azufre sirve para prevenir reacciones de oscurecimiento durante el proceso de secado, y así obtener un producto más agradable al consumidor; el dióxido de azufre no se detectó en nuestra materia prima en los diferentes grados de maduración.

## **IV.13 Propuesta de determinación rápida del grado de madurez en jitomate fresco**

Para la determinación del grado de madurez, de los parámetros de calidad propuestos se analizaron con respecto a su grado de madurez: tomando (como escala arbitraria) al grado de madurez verde como 1, al grado de madurez rayado como 3 y al rojo como 6 y se escogieron los que dan una relación lineal en las determinaciones, que son: Densidad, pH y acidez para poder obtener una curva y una ecuación de la curva y así poder determinar no solo visualmente el grado de madurez, si no cuantitativamente con ayuda de las ecuaciones.

Estas ecuaciones encontradas se probaron analizando dos nuevos lotes de prueba de madurez visual: 3RY y 6R, para ver si coincidía con las ecuaciones y conocer si es posible utilizarlas para determinar el grado de madurez de forma rápida y con mayor seguridad.

### **IV.13.1 Densidad (g/mL)**

Los valores de los tres grados de madurez del parámetro de calidad: densidad, se graficaron contra el grado de madurez, observando una tendencia a la disminución de la densidad conforme aumenta la madurez del fruto (ver *Figura 20*).

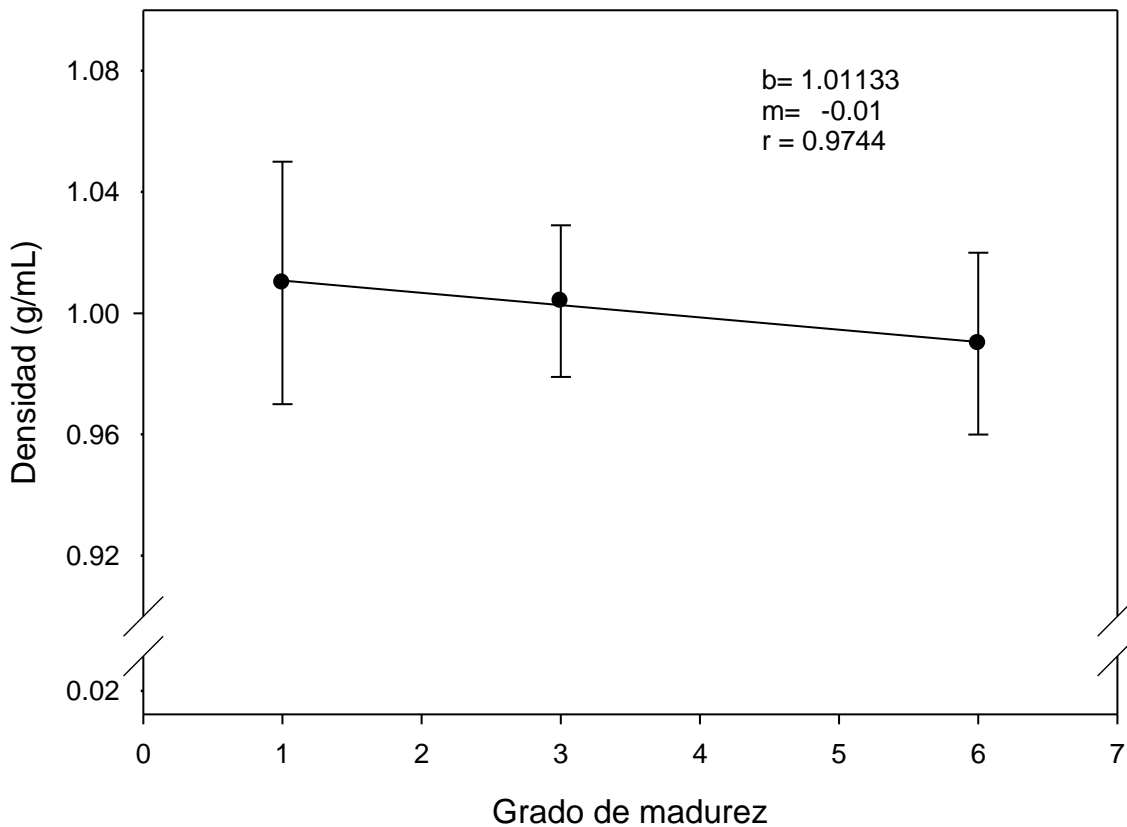


Figura 20. Gráfico de Densidad contra grado de madurez para jitomate completo.

Los datos se trataron haciendo una regresión lineal, obteniendo la ecuación:

Ecuación 1. Determinación de grado de madurez (Densidad completo):

$$\text{Grado de Madurez} = \frac{\text{Densidad} \left( \frac{g}{mL} \right) - 1.0148}{-0.0041}$$

En la *Tabla 10* se observa que de acuerdo a la ecuación 1, para la madurez visual 3R, la ecuación da un resultado de 4, lo cual es un valor cercano al esperado, para el grado de madurez visual 6R coincide con lo



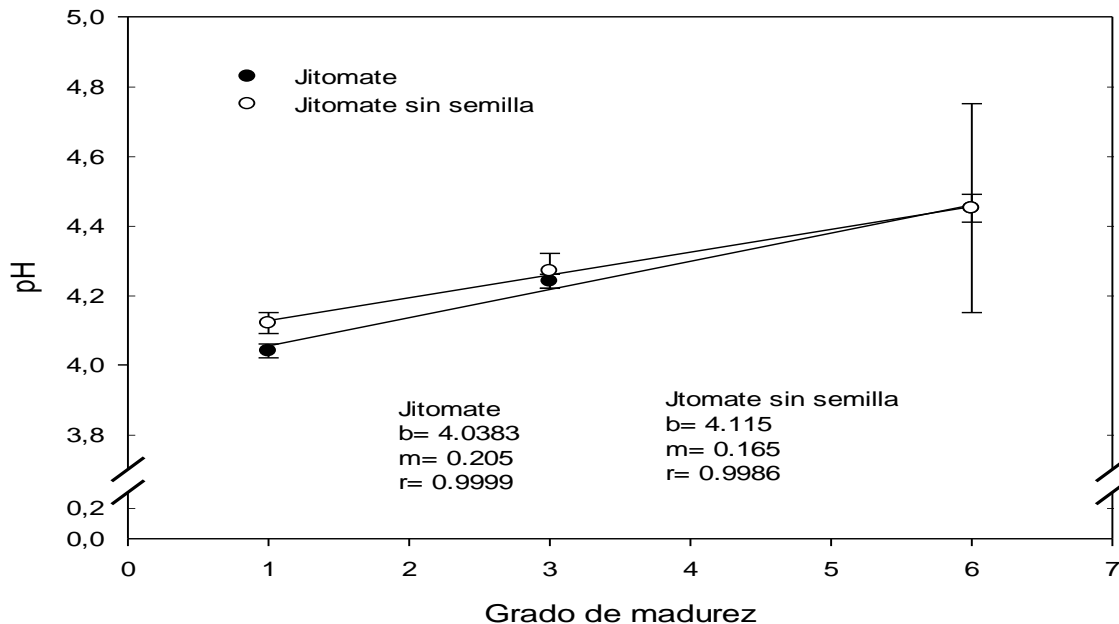
determinado mediante la ecuación, lo cual indica que esta ecuación puede ser utilizada para la determinación de la madurez del fruto entero.

*Tabla 10. Determinación del Grado de Madurez mediante la ecuación propuesta para Densidad, n=3.*

MADUREZ VISUAL	Densidad (g/mL) jitomate completo	
	Densidad (g/mL)	Grado de Madurez
3RY	0.9975±0.0032	4
6R	0.9905±0.0134	6

#### IV.13.2 pH

El aumento en el pH del jitomate de igual forma que para la densidad es lineal; es decir, conforme aumenta el grado de madurez, el pH aumenta linealmente (ver *Figura 21*).



*Figura 21. Gráfico de pH contra Grado de Madurez.*



Se trataron los datos haciendo una regresión lineal, obteniendo las 2 ecuaciones siguientes:

Ecuación 2 para la determinación de grado de madurez (pH completo):

$$\text{Grado de Madurez} = \frac{\text{pH (completo)} - 3.9732}{0.081}$$

Ecuación 3 para la determinación de grado de madurez (pH sin semilla):

$$\text{Grado de Madurez} = \frac{\text{pH (sin semilla)} - 4.0616}{0.9961}$$

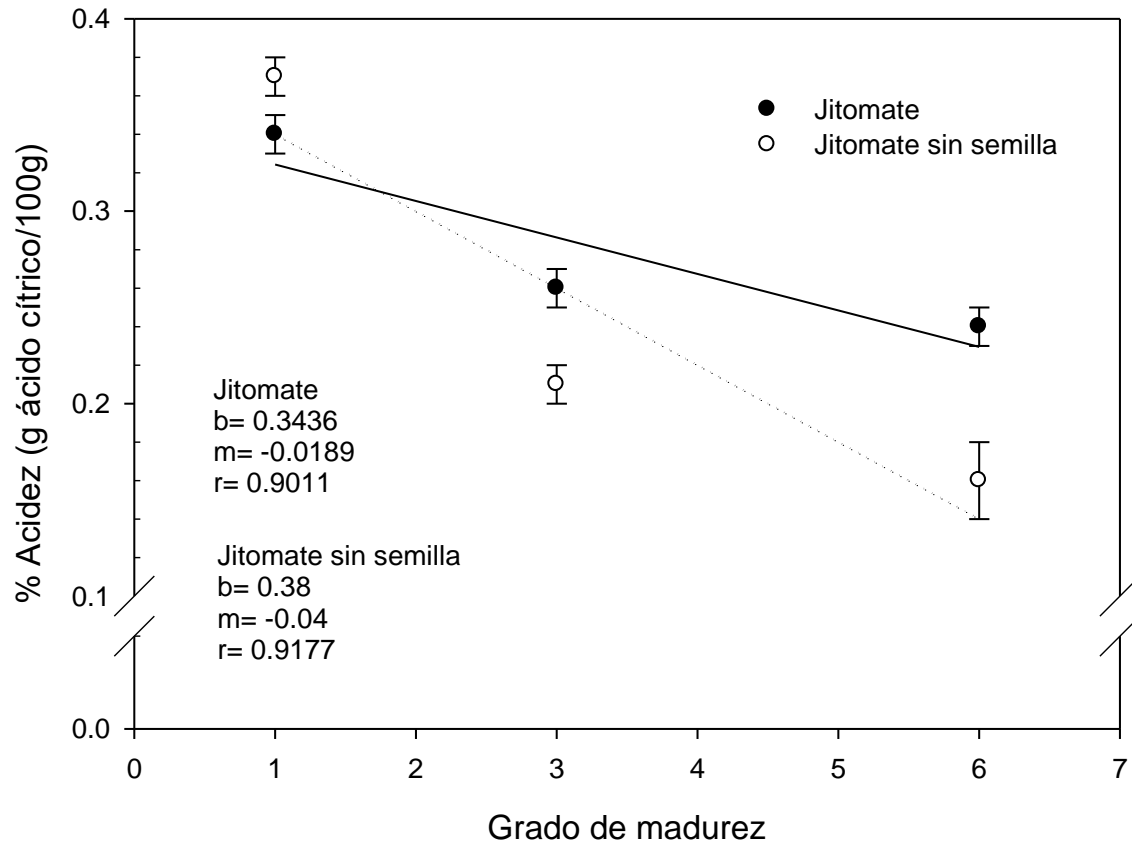
Como se observa en la *Tabla 11*, las ecuaciones sobre estiman el Grado de Madurez para algunos parámetros, como por ejemplo para el grado de madurez 3R, la ecuación arroja un grado de madurez de 8, lo cual no es posible debido a que solo hay 6 grados de madurez comercial.

*Tabla 11. Determinación del Grado de Madurez mediante las ecuaciones propuestas para el parámetro pH, n=3.*

<b>MADUREZ VISUAL</b>	<b>pH completo</b>		<b>pH s/semilla</b>	
	<b>pH</b>	<b>Grado de Madurez</b>	<b>pH</b>	<b>Grado de Madurez</b>
<b>3RY</b>	4.60±0.01	8	4.43±0.08	6
<b>6R</b>	4.53±0.01	7	4.53±0.01	7

### IV.13.3 Acidez (g ácido Cítrico/100g)

Para el caso de la acidez; disminuye linealmente a medida que la madurez del fruto avanza (ver *Figura 22*).



*Figura 22. Gráfico de acidez contra Grado de Madurez.*

Al analizar los datos y haciendo la regresión lineal de los mismos, se obtuvieron las siguientes ecuaciones para jitomate completo y sin semilla.

Ecuación 4 para la determinación de grado de madurez (acidez completo):

$$\text{Grado de Madurez} = \frac{\text{Acidez (completo)} - 0.3432}{-0.0189}$$

Ecuación 5 para la determinación de grado de madurez (acidez sin semilla):

$$\text{Grado de Madurez} = \frac{\text{Acidez (completo)} - 0.38}{-0.04}$$

En *Tabla 12* se puede ver que los resultados obtenidos con las ecuaciones coinciden de acuerdo al grado de madurez visual para el jitomate 3RY y 6R.

*Tabla 12. Determinación del Grado de Madurez para el parámetro de acidez mediante el parámetro de acidez, n=3.*

<b>MADUREZ VISUAL</b>	<b>Acidez (%) completo</b>		<b>Acidez (%) s/semilla</b>	
	<b>Acidez (%)</b>	<b>Grado de Madurez</b>	<b>Acidez (%)</b>	<b>Grado de Madurez</b>
<b>3RY</b>	0.28±0.01	4	0.27±0.01	3
<b>6R</b>	0.22±0.01	6	0.18±0.01	5

Como se observa en los resultados anteriores para la determinación del grado de madurez, las ecuaciones ayudan a estimar de forma cuantitativa el grado de madurez en que se encuentra el jitomate analizado, pero no coinciden del todo con la determinación visual del





grado de madurez, esto es debido a que para la regresión, sólo se tomaron 3 puntos de madurez, por lo que los parámetros de calidad varían bastante por diferentes factores que las ecuaciones no están tomando en cuenta como por ejemplo la humedad del jitomate, la temperatura a la cual se llevan a cabo las determinaciones.

Para optimizar este método, se propone seguir haciendo más pruebas al método y generar una mayor cantidad de datos para que la determinación sea más segura. Se comprueba que el mejor método para la determinación del grado de madurez es visualmente, relacionando el color con el grado de madurez. Para el caso de otros parámetros como licopeno, vitamina C,  $\beta$ - caroteno, no se analizaron en este método, debido a que la relación no es lineal con el grado de madurez.

#### **IV.14 Evaluación de parámetros de calidad en jitomate seco y muestras comerciales**

El jitomate de madurez 6R, se secó en las instalaciones del Instituto de Energías Renovables de la UNAM (*IER-UNAM*) en Temixco, Estado de Morelos. El jitomate se procesó sin semillas y en mitades; como se comprobó en la primera parte de la investigación, el jitomate 6R contiene mayor concentración de microcomponentes como las Vitamina C y provitamina A y antioxidantes y al procesar el jitomate sin semillas trae beneficios como la concentración de los nutrimentos como vitaminas, provitaminas y carotenos, mayor disponibilidad de componentes como los polifenoles y mayor actividad antioxidante además que se facilita el proceso de secado debido a que se extrae una parte de la humedad contenida en el jitomate.



Se determinaron los diferentes parámetros de calidad tanto a materia prima (jitomate fresco) como al producto terminado (jitomate seco), identificado como L1 (lote 1 de grado de madurez 6R).

En la *Tabla 13*, se puede observar que para el caso de nutrimentos como la **vitamina C**, el  **$\beta$ -caroteno** y los **Polifenoles** se mantienen y se concentran en el producto final y resisten el proceso de secado solar, pero también se observa que para el caso del **licopeno**, en el producto final no se detectó, debido a que este compuesto es muy sensible a diferentes factores físicos y químicos como la exposición a la luz y oxígeno, pH, temperaturas elevadas y contacto con superficies activas (*Cardona, 2006*). Si estas condiciones no se controlan en el proceso de secado, el licopeno se descompone y oxida en otros compuestos diferentes que dan colores rojo-oscuros al producto.

Para el caso de otros parámetros como las **cenizas, acidez y sólidos solubles** totales se observa una clara concentración de los componentes debido a la pérdida del agua contenida en el jitomate fresco y también una pérdida de la **Capacidad Antioxidante** por la pérdida del antioxidante licopeno en el jitomate seco, ya que este caroteno tiene el mayor poder antioxidante en el jitomate (*Cardona, 2006*).

Con respecto al contenido de **Humedad**, se puede observar que el lote 1, tiene un alto contenido de humedad y no se llega a los niveles aceptados en diferentes bibliografías (ver *Tabla 13*), lo cual se reporta entre un 8 y 15% de Humedad para garantizar un producto seguro y estabilidad al almacenamiento, además también que el volumen del producto disminuiría aún más.



Tabla 13. Parámetros de calidad del Lote 1, n=3.

Parámetro de calidad	JITOMATE FRESCO		JITOMATE SECO SIN SEMILLAS EN MITADES IER-UNAM
	COMPLETO	S/SEMILLAS	
Humedad (%)	94.27	92.08	37.16
Cenizas (%)	0.51	0.48	4.75
pH	4.49	4.41	4.35
Acidez (g ác. Cítrico/100g muestra)	0.21	0.15	1.11
Vitamina C (mg/100g) HPLC	4.10	4.30	4.94
β-caroteno (mg/100g)	44.51	50.25	62.93
Lycopeno (mg/100g) HPLC	11.29	32.21	ND*
Polifenoles (µg/100g)	7.18	9.12	15.02
Capacidad Antioxidante (%)	7.85	22.36	12.56
Densidad (g/mL)	0.99	-	1.09
Sólidos Solubles Totales (%)	4.45	5.30	35.67

\*ND=NO DETECTADO

A fin de hacer una comparación, se analizaron dos diferentes productos comerciales la primera era un jitomate comercial secado solarmente de la marca *SunDried*, de igual manera como se indica en la etiqueta, este jitomate *SunDried* fue procesado en mitades y sin semillas, los resultados y comparación con el producto secado obtenido en el *IER-UNAM* observan en la *Tabla 14*.

En el caso de la **Humedad**, el producto comercial alcanza porcentajes de humedad más bajos, lo cual le confiere una mayor estabilidad en el almacenamiento al producto comercial y menos susceptible a contaminación por microorganismos que nuestro producto con humedad más alta, este es uno de los parámetros más importantes en la calidad



de productos secos y se debe de controlar, para llegar a niveles menores de humedad en el jitomate seco del *IER-UNAM*, para que cumpla con lo reportado en la bibliografía.

Igual que en el jitomate seco obtenido en el *IER-UNAM*, para el producto comercial *SunDried*, se observa la concentración de algunos nutrimentos como la **vitamina C, polifenoles y  $\beta$ -caroteno**, pero la pérdida de algunos más sensibles como el **licopeno**.

Se propone como un parámetro de calidad extra para productos secos el **porcentaje de rehidratación** del producto. La rehidratación es la absorción de agua por parte de los alimentos, ya sean enteros, trozos o pulverizados, para poder ser consumidos. El objetivo es alcanzar un estado lo más parecido posible al original, deben de rehidratarse lo más rápido posible y mostrar en la medida de lo posible las mismas características estructurales y químicas del alimento fresco y sus propiedades nutrimentales (*Gimferrer, 2009*).

En la *Tabla 14*, se observa que el producto obtenido se **rehidrata** en casi 40% en peso de la muestra y su apariencia y consistencia es similar a la del producto fresco, para el caso de la muestra comercial, el **% de rehidratación** es menor y su apariencia es menos parecida a la del producto fresco ya que es rojo-oscuro y no se notan características similares o parecidas con el alimento fresco.

Tabla 14. Comparación del producto comercial con nuestra investigación, n=3.

Parámetro de calidad	JITOMATE SECADO SOLARMENTE L1 IER-UNAM	JITOMATE COMERCIAL SUN DRIED
Humedad (%)	37.16	17.06
Cenizas (%)	4.75	5.89
pH	4.35	3.52
Acidez (g ác. Cítrico/100g muestra)	1.11	1.67
Vitamina C (mg/100g) HPLC	4.94	4.53
β-caroteno (mg/100g)	62.93	44.75
Lycopeno (mg/100g) HPLC	ND*	ND*
Polifenoles (μg/100g)	15.02	130.00
Capacidad Antioxidante (%)	12.56	16.65
Densidad (g/mL)	1.09	1.10
Sólidos Solubles Totales (%)	35.67	42.67
Rehidratación (%)	39.70	24.00

\*ND = NO DETECTADO

Se analizó otro producto comercial, era una muestra de jitomate en polvo que se utiliza como aditivo de aroma y saborizante en la industria de alimentos, este producto está totalmente pulverizado y es muy higroscópico, los resultados de las determinaciones analizadas se muestran en la *Tabla 15*.



*Tabla 15. Parámetros de calidad para jitomate en polvo y comparación con las muestras secadas solarmente, n=3.*

<b>Parámetro de calidad</b>	<b>Jitomate seco</b>	<b>SunDry</b>	<b>Jitomate en polvo</b>
<b>Humedad (%)</b>	37.16	17.06	≤5.00
<b>Vitamina C (mg/100g) HPLC</b>	4.94	4.53	ND*
<b>β-caroteno (mg/100g)</b>	62.93	44.75	52.34
<b>Licopeno (mg/100g) HPLC</b>	ND*	ND*	ND*
<b>Polifenoles (µg/100g)</b>	15.02	130.00	110
<b>Rehidratación (%)</b>	39.70	24.00	100

\*ND = NO DETECTADO

Para el caso de un jitomate en polvo, se puede observar en la *Tabla 15*, que otro nutrimento importante del jitomate se pierde que es la Vitamina C, esto debido a que el proceso es más fuerte como el secado por aspersion para poder llegar a niveles de 5% de Humedad, además que tampoco se detectó el licopeno. Lo interesante de esta muestra, es que al rehidratarse, toma características sensoriales y físicas muy parecidas a las de un puré de tomate, en cuanto a consistencia, color y aroma.



## CONCLUSIONES

Se caracterizaron los diferentes grados de madurez para jitomate (*Lycopersicum esculentum*) de la variedad saladet y se comprobó que el punto óptimo de maduración para llevar a cabo el proceso de secado solar es el jitomate maduro 6R, ya que en este se encuentra el mayor aporte de macro y micronutrientes como la vitamina C, provitamina A, polifenoles y hay una mayor actividad antioxidante, con esto se completa la información reportada en la bibliografía para los diferentes grados de madurez.

Los parámetros que se pueden considerar de calidad son la humedad, densidad, acidez, pH y sólidos solubles totales, ya que estos parámetros ayudan a diferenciar si se obtuvo un producto de calidad y a la vez estos parámetros tienen una influencia en el grado de madurez y se pueden correlacionar con un método rápido para la determinación cuantitativa del grado de madurez.

Los parámetros que se ven más afectados por el secado solar y que hay una mayor variación después del proceso son la vitamina C, licopeno,  $\beta$ -caroteno y los polifenoles; por esta razón se consideran como parámetros de calidad, se propone que estos micronutrientes sean considerados como variantes o indicadores del proceso y de seguimiento a la calidad, es decir para monitorear que las condiciones del proceso de secado solar han sido las adecuadas y no hubieron pérdidas.

Se reportaron los parámetros físico-químicos de calidad para jitomate fresco y secado solarmente, dichos parámetros que podrían ser considerados "frecuentes" o de rutina no son los únicos que se deben tomar en cuenta, también existen los parámetros de calidad microbiológicos que se controlan adquiriendo una materia prima de



buena calidad, que cumpla con las normas internacionales y nacionales para jitomate fresco por lo que tales parámetros solo se realizan “recurrentemente”.

Los parámetros de calidad estudiados en esta investigación se pueden agregar o proponer para alguna norma de secado de vegetales ya que las normas mexicanas actuales solamente reportan parámetros sensoriales, visuales y microbiológicos pero dejan a un lado los cambios químicos y físicos del producto después del proceso de secado.



## BIBLIOGRAFÍA

- Almada, M. S.-S. (2005). *"Guía de uso de secaderos solares para frutas, legumbres, hortalizas, plantas medicinales y carnes"*. Asunción, Paraguay: UNESCO.
- AOAC. (2005). *Association of Official Analytical Chemists, "Official Methods of Analysis"*. Washington, D.C.
- Badui, S. (2006). *"Química de los alimentos"*. México, D.F.: Pearson Educación .
- Barbosa-Cánovas, G. V.-M. (2000). *"Deshidratación de Alimentos"*. Zaragoza (España): ACRIBIA.
- Belitz, H. G. (2009). *"Food Chemistry"*. Berlin, Germany: Springer, 4th edition.
- Blum, A. M.-A. (2005). "The beneficial effects of tomatoes". *European Journal of Internal Medicine*. 16 (6): 402 - 404.
- Cardona, E. R. (2006). *"Extracción del carotenoide licopeno del tomate chonto (Lycopersicum esculentum)"*. *Revista de la Facultad de Química Farmacéutica*. 12: 44-53.
- Ciruelos, A. T. (18 de Noviembre de 2008). *Parámetros de calidad en el tomate para la industria*. Recuperado el 22 de Septiembre de 2014, de [http://www.unex.es/conoce-la-unex/centros/eia/archivos/iag/2007/2007\\_09%20Parametros%20de%](http://www.unex.es/conoce-la-unex/centros/eia/archivos/iag/2007/2007_09%20Parametros%20de%20)



- Cuevas, M. E. (2008). "Análisis y caracterización de antocianinas en diferentes variedades de maíz (*Zea mays*) boliviano". *Memorias, Red-Alfa Lagrotech, Comunidad Europea*. 79-95.
- Doymaz, I. P. (2003). "The thin-layer drying characteristics of corn". *Journal of Food Engineering*. 60(2): 125-130.
- Escalona, C. A. (2009). "Manual de cultivo de tomate: *Lycopersicum esculentum* Mill". Chile: Facultad de Ciencias Agronómicas. Universidad de Chile.
- Fennema, O. R. (1995). "Química de los alimentos". Zaragoza, España: Acriba.
- Fernández, R. C. (2008). "Mejora Genética del tomate: valor nutritivo y calidad organoléptica". *Sociedad Española de Dietética y Ciencias de la Alimentación (Ficha de revisión)*. 47 - 53.
- Galaviz, R. M. (2012). "Estrategia tecnológica sustentable para deshidratar frutas, verduras y legumbres". Zaragoza, España: Eniversidad Tecnológica de Tlaxcala.
- Gómez, M. (2009). "Deshidratado de tomate saladette en un secador de charolas giratorias". Oaxaca, México: Universidad Tecnológica de la Mixteca.
- Hayes, W. S. (1998). "The production and quality of tomato concentrates". *Crit. Rev. Food Science Nutrition*. 7: 537 - 564.
- Jarayaman, K. y. (1995). "Drying of fruits and vegetables, In: Handbook of Industrial Dryin". *Marcel Dekker, Inc*. 643-690.

- Kader, A. (1985). *"Postharvest Technology of Horticultural Crops. Regents of the University of California", Division of Agriculture and Natural Resources.*
- Kajadphai, A. J. (1998). *"Evaluation of extraction method for the analysis of carotenoids in fruits and vegetables. Food Chemistry, 63 (4): 577 - 584.*
- Katalinic, V. M. (2006). *"Screening of 70 medical plant extracts for antioxidants capacity and total phenols". Food Chemistry. 94: 550-557.*
- Kerkhofs, N. L. (2005). *"Change in colour and antioxidant content of tomato cultivars following forced-air drying". Plant Food for Human Nutrition. 117 - 121.*
- Krokida, M. K.-K. (2003). *"Drying kinetics of some vegetables". Journal of Food Engineering. 59 (4): 391-403.*
- Krokida, M. Z. (2001). *"Structural properties of dehydrated products during rehydration". International Journal of Food Science and Technology. 36 (5): 529-538.*
- Liu, L. H. (2009). *"Effects of UV-C, red light and sun light on the carotenoid content and physical qualities of tomatoes during post-harvest storage". Food Chemistry. 115 (2): 495-500.*
- López, C. (2003). *"Manual para la preparación y venta de frutas y hortalizas: del campo al mercado". Boletín de servicios agrícolas de la FAO, 151, Roma.*
- Lule, S. X. (2005). *"Food phenolics, pros and cons: a review". Food Reviews International. 21: 367 - 388.*

- Nijhuis, N. E. (1996). "Research needs and opportunities in the dry conservation of fruits and vegetables". *Drying Technology*: 14(6): 1429-1457.
- Nonhebel, G. M. (1979). "El secado de sólidos en la industria química". Barcelona, España: Reverté.
- Olives, A. C. (2006). "Application of a UV-vis detection-HPLC method for a rapid determination of lycopene and  $\beta$ -carotene in vegetables". *Food Chemistry*. 95: 328 -336.
- Orrego, A. (2003). "Procesamiento de alimentos". Caldas, Colombia: Universidad Nacional de Colombia.
- Pearson, D. (1993). "Técnicas de laboratorio para el análisis de alimentos". Zaragoza, España: Acriba.
- Richelle, M. B. (2002). "A food-based formulation provides lycopene with the same bioavailability to humans as that from tomato paste". *Journal of Nutrition*. 132: 404-408.
- Shahidi, F. (1992). "Natural antioxidants. Chemistry, health effects and applications". AOCS Press, Champaign, Illinois, 1-6, 9, 18, 19.
- Taga, M. E. (1984). "Chia seeds as a source of natural lipid antioxidants". *Journal of American Oil Chemists' Society*. 61: 928-931.
- Tagüeña, P. (2010). "Energías renovables: 25 años de la UNAM en Temixco". Temixco, Morelos: Centro de investigación en energías.
- Unadi, A. F. (2002.). "Strategies for drying tomatoes in a tunnel dehydrator". *Drying Technology*. 1407 - 1425.

USDA. (07 de Diciembre de 2011). *National Nutrient Database for Standard Reference Release 27*. Recuperado el 03 de Septiembre de 2015, de USDA: <http://ndb.nal.usda.gov/>

Vega, A. L. (2006). "*Modelado de la cinética de secado de la papaya chilena (Vasconcellea pubescens)*". *Revista Información Tecnológica*. 27 (3): 23-31.

Yilmaz, E. (2001). *The Chemistry of fresh tomato flavor*. *Turkish Journal of Agriculture and Forestry*. 25: 149 - 155.

Zanoni, A. P. (1999). "*Oxidative heat damage of tomato halves as affected by drying*". *Food Research International*. 31, 395 - 401.

## ANEXO: GRADOS DE MADUREZ DE JITOMATE SALADET

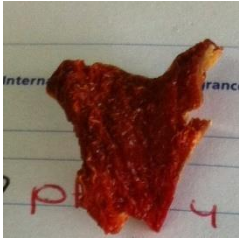


a) Identificación de los diferentes grados de madurez de jitomate saladet (ver *Tabla 16*). En las imágenes se muestra de arriba hacia abajo diferentes jitomates clasificados con grado de madurez: verde, rayado y rojo).

*Tabla 16. Grados de madurez de jitomate saladet fresco.*

MADUREZ	CÓDIGO	MUESTRARIO
VERDE	1V	
QUEBRADO	2Q	
RAYADO	3RY	
ROSA	4R	
ROJO CLARO	5R	
ROJO OSCURO	6R	

b) Producto final obtenido después del secado solar (ver *Tabla 17*).

*Tabla 17. Imagen de jitomate saladet secado solarmente de tres diferentes grados de madurez (rosa, rojo claro y rojo oscuro).*

<b>MADUREZ</b>	<b>CÓDIGO</b>	
<b>ROSA</b>	<b>4R</b>	 A photograph of a single, irregularly shaped slice of dried tomato. The slice is a vibrant pinkish-red color, indicating the 'Rosa' maturity stage. It is placed on a white background with some faint, partially visible text and a handwritten number '4' in red ink.
<b>ROJO CLARO</b>	<b>5R</b>	 A photograph of a single, irregularly shaped slice of dried tomato. The slice is a bright red color, indicating the 'Rojo Claro' maturity stage. It is placed on a white background.
<b>ROJO OSCURO</b>	<b>6R</b>	 A photograph of a single, irregularly shaped slice of dried tomato. The slice is a dark red, almost blackish-red color, indicating the 'Rojo Oscuro' maturity stage. It is placed on a white background.