



UNIVERSIDAD AUTÓNOMA CHAPINGO

DEPARTAMENTO DE INGENIERÍA AGROINDUSTRIAL

**“MACROTÚNELES Y CALCIO FOLIAR: EFECTOS
SOBRE CALIDAD DE FRUTOS DE FRESA CULTIVAR
CP-ZAMORANA”**

T E S I S

QUE COMO REQUISITO PARCIAL
PARA OBTENER EL GRADO DE:

MAESTRO EN CIENCIAS EN
CIENCIA Y TECNOLOGÍA AGROALIMENTARIA

PRESENTA:

ROXANA RODRÍGUEZ GARCÍA



DIRECCION GENERAL ACADEMICA
DEPTO. DE SERVICIOS ESCOLARES
OFICINA DE EXAMENES PROFESIONALES



JUNIO, 2010

Chapingo, Estado de México

**MACROTÚNELES Y CALCIO FOLIAR: EFECTO SOBRE
CALIDAD DE FRUTOS DE FRESA CULTIVAR CP-ZAMORANA**

Tesis realizada por **Roxana Rodríguez García** bajo la dirección del
Comité Asesor indicado, aprobada por el mismo y aceptada como
requisito parcial para obtener el grado de:

**MAESTRO EN CIENCIAS EN CIENCIA Y
TECNOLOGÍA AGROALIMENTARIA**

DIRECTOR: _____


DR. J. JOEL CORRALES GARCÍA

ASESOR: _____


DRA. MA. TERESA COLINAS LEÓN

ASESOR: _____


DR. GUILLERMO CALDERÓN ZAVALA

AGRADECIMIENTOS

Al Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología por el financiamiento de mis estudios.

A la Universidad Autónoma Chapingo, al Departamento de Ingeniería Agroindustrial y a la Maestría en Ciencia y Tecnología Agroalimentaria por la oportunidad de alcanzar una de las metas que siempre soñé en alcanzar.

Al Dr. J. Corrales, a la Dra. Colinas y al Dr. Calderón, un especial agradecimiento por su guía para la realización de este trabajo.

A todos los profesores de la Maestría por compartir sus conocimientos.

Un agradecimiento especial al Colegio de Postgraduados campus Montecillo, por permitirme realizar mi fase de campo en sus instalaciones. Al C. Arturo Veloz por su apoyo en el laboratorio.

Al Dr. Eduardo García V. y a M.C. Greta del laboratorio de MEB (del Colegio de Postgraduados) por su apoyo y asesoría en la obtención e interpretación de las microfotografías, gracias.

Al Sr. Cecilio del Departamento de Fitotecnia por su apoyo con el cromatógrafo.

A la Sra. Carmina por su ayuda durante mi estancia en la maestría.

A Rocío gracias por tu ayuda durante todos estos años.

Y a todas las personas que con su apoyo permitieron la culminación de este trabajo.

DEDICATORIA

A mis padres, gracias por darme la vida y ser siempre un ejemplo de superación, gracias por su apoyo incondicional en todas las etapas de mi vida, pero sobre todo gracias por su cariño y permitirme ser quien soy.

A mis hermanos Gina, Luis H. y Jorge A., por estar siempre al pendiente de mí y apoyarme siempre. A Luis A., Pao, Dany y toda mi familia por estar siempre conmigo.

A ti Gera, por ser mi compañero en este camino, gracias por tu apoyo y tu cariño.

A mis dos ángeles Jorge G. y Luisa F., por llenar mi vida de felicidad e impulsarme día a día para ser una mejor persona.

A mis amigas y amigos por compartir conmigo los momentos especiales de mi vida.

DATOS BIOGRÁFICOS

Roxana Rodríguez García realizó sus estudios de Licenciatura en el Departamento de Ingeniería Agroindustrial de la Universidad Autónoma Chapingo. Su desempeño profesional ha sido en el área de inocuidad y control de calidad de alimentos. Ha recibido capacitación en el área GLOBALGAP y trabajado como jefe de producción en una empresa procesadora de aguacate.

MACROTÚNELES Y CALCIO FOLIAR: EFECTO SOBRE CALIDAD DE FRUTOS DE FRESA CULTIVAR CP-ZAMORANA

Rodríguez-García R.¹, J.J. Corrales-García²,

HIGH TUNNELS AND FOLIAR CALCIUM: EFFECT ON QUALITY OF STRAWBERRY FRUITS VAR. CP-ZAMORANA

RESUMEN

El presente estudio se realizó para conocer el efecto del sombreado generado por diferentes colores de macrotúneles plásticos y de las aplicaciones de calcio foliar sobre la calidad y morfo anatomía epidérmica de las fresas var. CP-Zamorana. El experimento siguió un diseño experimental completamente al azar con arreglo factorial. Se evaluó firmeza, color, pérdida de peso, producción de CO₂ y etileno, contenido de calcio, acidez titulable y sólidos solubles totales en frutos de fresa, además de microfotografías de la epidermis de las fresas. La firmeza de las frutas disminuyó conforme aumentó el sombreado, este provocó menor firmeza a la cosecha, pero disminuyó su pérdida en las fresas refrigeradas. Las fresas cultivadas sin sombra mostraron con microscopía electrónica de barrido, mayor número de estratos celulares en epidermis. Las aplicaciones de calcio foliar no afectaron significativamente la firmeza de la fresa pero afectaron de manera ligera algunos parámetros de calidad.

Palabras clave: *Fragaria x ananassa* Duch., morfo anatomía epidérmica, firmeza.

ABSTRACT

The aim of this study is to know the effects of shade generated by different color of plastic high tunnels and of the foliar calcium applications, on the quality and epidermal morpho-anatomy of the strawberries cultivar CP-Zamorana. The experiment followed a completely randomized design with factorial arrangement. Firmness, color, weight loss, production of CO₂ and ethylene, calcium content, titrable acidity and total soluble solids of the fruits were evaluated. In addition microphotographies of the epidermis of the strawberries were obtained. The firmness of the fruits diminished as the level of shade increased. The shade caused less firmness at the harvest, but the rate of loss of firmness in cooled strawberries was minor. The strawberries grown wit out shade showed with scanning electron microscopy, greater number of epidermal cellular layers. Foliar applications of calcium did not significantly affect the firmness of strawberries but lightly affected some quality parameters.

Key words: *Fragaria x ananassa* Duch, epidermal morpho-anatomy, firmness.

CONTENIDO

| | Página |
|---|--------|
| AGRADECIMIENTOS _____ | iii |
| DEDICATORIA _____ | iv |
| DATOS BIOGRÁFICOS _____ | v |
| RESUMEN _____ | vi |
| LISTA DE TABLAS _____ | 9 |
| LISTA DE FIGURAS _____ | 9 |
| I. INTRODUCCIÓN _____ | 14 |
| II. OBJETIVO _____ | 15 |
| III. MARCO DE REFERENCIA _____ | 16 |
| 3.1 La fresa _____ | 16 |
| 3.1.1 Aspectos botánicos _____ | 16 |
| 3.1 Variedades _____ | 17 |
| 3.2 La producción de fresa en México _____ | 18 |
| 3.2.1 Exportaciones Mexicanas _____ | 20 |
| 3.2.2 Importaciones _____ | 21 |
| 3.3 Manejo del cultivo _____ | 22 |
| 3.3.1 Riego _____ | 22 |
| 3.3.2 Cobertura del suelo o acolchado _____ | 22 |
| 3.3.3 Macrotúnel _____ | 23 |
| 3.4 El calcio y la calidad del fruto _____ | 24 |
| 3.5 Aceite vegetal como adyuvante _____ | 26 |
| 3.6 Poscosecha de la fruta _____ | 27 |
| 3.6.1 Cosecha, selección y empaque _____ | 28 |
| 3.6.2 Almacenamiento _____ | 29 |
| 3.7 Función y composición de la epidermis y de la pared celular _____ | 30 |
| 3.7.1 Epidermis _____ | 30 |
| 3.7.1 Ceras _____ | 30 |
| 3.7.3 Cutícula _____ | 31 |
| 3.7.4 Pared celular _____ | 32 |
| IV. MATERIALES Y MÉTODOS _____ | 36 |

| | |
|--|----|
| 4.1 Localización | 36 |
| 4.2 Material Vegetal | 36 |
| 4.3 Tratamientos y análisis estadístico | 36 |
| 4.4 Variables de respuesta | 37 |
| 4.4.1 Firmeza | 37 |
| 4.4.2 Color | 38 |
| 4.4.3 Pérdida fisiológica de peso | 38 |
| 4.4.4 Acidez titulable | 39 |
| 4.4.5 Sólidos Solubles Totales | 39 |
| 4.4.6 Respiración y producción de etileno | 39 |
| 4.4.7 Contenido de calcio | 40 |
| 4.4.8 Ultraestructura de la epidermis en la región carnosa externa del receptáculo: Procedimiento para microscopia electrónica de barrido | 41 |
| IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN | 42 |
| 5.1 Firmeza | 42 |
| 5.2 Color | 48 |
| Luminosidad | 48 |
| Ángulo de tono | 53 |
| Cromaticidad | 59 |
| 5.3 Pérdida de peso (Pp) | 63 |
| 5.4 Acidez titulable (AT) | 65 |
| 5.5 Sólidos Solubles Totales (SST) | 70 |
| 5.6 Tasa de Respiración (CO ₂) | 74 |
| 5.7 Etileno (C ₂ H ₄) | 79 |
| 5.8 Contenido de Calcio | 82 |
| 5.9 Ultraestructura de la epidermis en la región carnosa externa del receptáculo | 85 |
| 5.9.1 Características epidérmicas generales | 85 |
| 5.9.2 Efecto del sombreado | 90 |
| V. CONCLUSIONES | 94 |
| VI. LITERATURA CITADA | 96 |

LISTA DE TABLAS

| | |
|--|----|
| Tabla 1 Superficie sembrada y cosechada, producción, rendimiento y valor de la producción de fresa en los principales Estados productores de México para el año 2006 | 20 |
|--|----|

LISTA DE FIGURAS

| | |
|--|----|
| Figura 1 (A) Evolución de la producción de fresa en México, en el período 2003-2007. (B) Volumen de producción de fresa en los principales Estados productores de México para el año 2006 | 19 |
| Figura 2 Partes de la pared celular | 34 |
| Figura 3. Firmeza (N) en fresas var. Zamorana, cultivadas bajo diferentes condiciones de sombra y tres formulaciones de calcio muestreadas al momento de la cosecha (C) y después de 10 d de almacén a 2° C (A). Para cada tratamiento las medias con la misma letra son estadísticamente iguales (Lsmeans; $\alpha=0.05$)..... | 42 |
| Figura 4 Efecto del factor sombreado y temperatura sobre la firmeza de las fresas var. Zamorana con y sin aplicaciones de calcio y con y sin periodo de almacenamiento. Las medias con la misma letra son estadísticamente iguales (Lsmeans; $\alpha=0.05$)..... | 43 |
| Figura 5 Efecto del factor aplicaciones de $\text{Ca}(\text{NO}_3)_2$ sobre la firmeza de las fresas var. Zamorana con y sin sombreado y con y sin periodo de almacenamiento.. Las medias con la misma letra son estadísticamente iguales (Lsmeans; $\alpha=0.05$)..... | 45 |
| Figura 6 Efecto del factor tiempo de almacenamiento en refrigeración a 2° C sobre la firmeza de las fresas var. Zamorana con y sin aplicaciones de calcio y con y sin sombreado. Las medias con la misma letra son estadísticamente iguales (Lsmeans; $\alpha=0.05$)..... | 47 |
| Figura 7 Efecto interactivo del porcentaje de sombra y las condiciones de calcio en fresas de la var. Zamorana. Medias con las misma letra son estadísticamente iguales | 48 |
| Figura 8. Luminosidad (L^*) en frutos de fresas cv. Zamoranacultivadas bajo diferentes condiciones de sombra y tres formulaciones de calcio muestreadas al momento de la | |

| | |
|--|----|
| cosecha (C) y despues de 10 d de almacén a 2° C (A). Para cada tratamiento las medias con la misma letra son estadísticamente iguales (Lsmeans; $\alpha=0.05$)..... | 49 |
| Figura 9 Efecto del factor sombreado sobre la luminosidad de las fresas cv. Zamorana, con y sin aplicaciones de calcio y con y sin periodo de almacenamiento. Las medias con la misma letra son estadísticamente iguales (Lsmeans; $\alpha=0.05$)..... | 49 |
| Figura 10 Efecto del factor aplicaciones de $\text{Ca}(\text{NO}_3)_2$ sobre la luminosidad (L^*) de las fresas cv. Zamorana, con y sin sombreado y con y sin periodo de almacenamiento. Las medias con la misma letra son estadísticamente iguales (Lsmeans; $\alpha=0.05$)..... | 51 |
| Figura 11 Efecto del factor tiempo de almacenamiento en refrigeración a 2° C sobre la luminosidad de las fresas cv. Zamorana, con y sin aplicaciones de calcio y con y sin sombreado. Las medias con la misma letra son estadísticamente iguales (Lsmeans; $\alpha=0.05$)..... | 52 |
| Figura 12. Cambios en el ángulo de tono en frutos de fresas cv. Zamorana cultivadas bajo diferentes condiciones de sombra y tres formulaciones de calcio muestreadas al momento de la cosecha (A) y despues de 10 d de almacén a 2° C (C). Para cada tratamiento las medias con la misma letra son estadísticamente iguales (Lsmeans; $\alpha=0.05$)..... | 54 |
| Figura 13 Efecto del factor porcentaje de sombra sobre el ángulo de tono de las fresas cv. Zamorana con y sin aplicaciones de calcio y con y sin periodo de almacenamiento. Las medias con la misma letra son estadísticamente iguales (Lsmeans; $\alpha=0.05$)..... | 55 |
| Figura 14 Efecto del factor aplicaciones de $\text{Ca}(\text{NO}_3)_2$ sobre el ángulo de tono de las fresas cv. Zamorana con y sin sombreado y con y sin periodo de almacenamiento. Las medias con la misma letra son estadísticamente iguales (Lsmeans; $\alpha=0.05$)..... | 57 |
| Figura 15 Efecto del factor tiempo de almacenamiento en refrigeración a 2° C sobre el ángulo de tono de las fresas cv. Zamorana con y sin aplicaciones de calcio, con y sin sombreado. Las medias con la misma letra son estadísticamente iguales (Lsmeans; $\alpha=0.05$)..... | 58 |
| Figura 16. Cambios en cromaticidad en frutos de fresas cv. Zamorana cultivadas bajo diferentes condiciones de sombra y tres formulaciones de calcio muestreadas al momento de la cosecha (C) y despues de 10 d de almacén a 2° C (A). Para cada tratamiento las medias con la misma letra son estadísticamente iguales (Lsmeans; $\alpha=0.05$)..... | 59 |

| | |
|---|----|
| Figura 17 Efecto del factor sombreado sobre cromaticidad de las fresas cv. Zamorana con y sin aplicaciones de calcio y con y sin periodo de almacenamiento. Las medias con la misma letra son estadísticamente iguales (Lsmeans; $\alpha=0.05$)..... | 60 |
| Figura 18 Efecto del factor aplicaciones de $\text{Ca}(\text{NO}_3)_2$ sobre la cromaticidad de las fresas cv. Zamorana con o sin sombreado y con y sin periodo de almacenamiento. Las medias con la misma letra son estadísticamente iguales (Lsmeans; $\alpha=0.05$)..... | 61 |
| Figura 19 Efecto del factor tiempo de almacenamiento en refrigeración a 2° C sobre la cromaticidad de las fresas cv. Zamorana con y sin aplicaciones de calcio y con y sin sombreado. Las medias con la misma letra son estadísticamente iguales (Lsmeans; $\alpha=0.05$)..... | 63 |
| Figura 20. Cambios en la acidez titulable (AT) en frutos de fresas cv. Zamorana cultivadas bajo diferentes condiciones de sombra y tres formulaciones de calcio muestreadas al momento de la cosecha (C) y despues de 10 d de almacén a 2° C (A). Las medias con la misma letra son estadísticamente iguales (Lsmeans; $\alpha=0.05$)..... | 65 |
| Figura 21 Efecto del factor sombreado sobre la acidez titulable (AT) de las fresas cv. Zamorana con y sin aplicaciones de calcio y con y sin periodo de almacenamiento. Las medias con la misma letra son estadísticamente iguales (Lsmeans; $\alpha=0.05$)..... | 66 |
| Figura 22 Efecto del factor aplicaciones de $\text{Ca}(\text{NO}_3)_2$ sobre la acidez titulable (AT) de las fresas cv. Zamorana con y sin aplicaciones de calcio y con y sin periodo de almacenamiento. Las medias con la misma letra son estadísticamente iguales (Lsmeans; $\alpha=0.05$)..... | 67 |
| Figura 23 Efecto del factor tiempo de almacenamiento en refrigeración a 2° C sobre la acidez titulable (AT) de las fresas cv. Zamorana con y sin aplicaciones de calcio y con y sin sombreado. Las medias con la misma letra son estadísticamente iguales (Lsmeans; $\alpha=0.05$)..... | 69 |
| Figura 24. Cambios en SST en frutos de fresas cultivadas bajo diferentes condiciones de sombra y tres formulaciones de calcio muestreadas al momento de la cosecha (C) y despues de 10 d de almacén a 2° C (A). Para cada tratamiento las medias con la misma letra son estadísticamente iguales (Lsmeans; $\alpha=0.05$)..... | 70 |
| Figura 25 Efecto del factor porcentaje de sombra sobre SST de las fresas cv. Zamorana con y sin aplicaciones de calcio y con y sin periodo de almacenamiento.. Las medias con la misma letra son estadísticamente iguales (Lsmeans; $\alpha=0.05$)..... | 71 |

| | |
|--|----|
| Figura 26 Efecto del factor aplicaciones de $\text{Ca}(\text{NO}_3)_2$ sobre SST de las fresas cv. Zamorana con y sin sombreado y con y sin periodo de almacenamiento. Las medias con la misma letra son estadísticamente iguales (Lsmeans; $\alpha=0.05$)..... | 72 |
| Figura 27 Efecto del factor tiempo de almacenamiento en refrigeración a 2° C sobre la AT de las fresas cv. Zamorana con y sin aplicaciones de calcio y con y sin sombreado. Las medias con la misma letra son estadísticamente iguales (Lsmeans; $\alpha=0.05$)..... | 73 |
| Figura 28. Cambios en la respiración en frutos de fresas var. Zamorana cultivadas bajo diferentes condiciones de sombra y tres formulaciones de calcio muestreadas al momento de la cosecha (C) y despues de 10 d de almacén a 2° C (A). Para cada tratamiento las medias con la misma letra son estadísticamente iguales (Lsmeans; $\alpha=0.05$)..... | 75 |
| Figura 29 Efecto del factor sombreado sobre la respiración de las fresas cv. Zamorana con y sin aplicaciones de calcio y con y sin periodo de almacenamiento. Las medias con la misma letra son estadísticamente iguales (Lsmeans; $\alpha=0.05$)..... | 76 |
| Figura 30 Efecto del factor aplicaciones de $\text{Ca}(\text{NO}_3)_2$ sobre la respiración de las fresas cv. Zamorana con y sin sombreado y con y sin periodo de almacenamiento. Las medias con la misma letra son estadísticamente iguales (Lsmeans; $\alpha=0.05$)..... | 77 |
| Figura 31 Efecto del factor tiempo de almacenamiento en refrigeración a 2° C sobre la respiración de las fresas cv. Zamorana con y sin aplicaciones de calcio y con y sin sombreado. Las medias con la misma letra son estadísticamente iguales (Lsmeans; $\alpha=0.05$)..... | 78 |
| Figura 32. Cambios en la producción de etileno en frutos de fresas var. Zamorana cultivadas bajo diferentes condiciones de sombra y tres formulaciones de calcio muestreadas al momento de la cosecha (C) y despues de 10 d de almacén a 2° C (A). Para cada tratamiento las medias con la misma letra son estadísticamente iguales (Lsmeans; $\alpha=0.05$)..... | 79 |
| Figura 33 Efecto del factor sombreado sobre la producción de etileno de las fresas var. Zamorana con y sin aplicaciones de calcio y con y sin periodo de almacenamiento. Las medias con la misma letra son estadísticamente iguales (Lsmeans; $\alpha=0.05$)..... | 80 |
| Figura 34 Efecto del factor aplicaciones de $\text{Ca}(\text{NO}_3)_2$ sobre la producción de etileno de las fresas cv. Zamorana con y sin sombreado y con y sin periodo de almacenamiento.. Las medias con la misma letra son estadísticamente iguales (Lsmeans; $\alpha=0.05$)..... | 81 |

| | |
|---|----|
| Figura 35 Efecto del factor tiempo de almacenamiento en refrigeración a 2° C sobre la producción de etileno de las fresas cv. Zamorana con y sin aplicaciones de calcio y con y sin sombreado. Las medias con la misma letra son estadísticamente iguales (Lsmeans; $\alpha=0.05$). | 82 |
| Figura 36 Contenido de calcio en frutos de fresas cultivadas bajo diferentes condiciones de sombra y tres formulaciones de calcio muestreadas al momento de la cosecha. Las medias con la misma letra son estadísticamente iguales (Tukey; $\alpha=0.05$). | 83 |
| Figura 37 Estratos externos del receptáculo de fresa var. "Zamorana". C=Cutícula | 86 |
| Figura 38 Microfotografía de las células epidérmicas del receptáculo de fresa var. "Zamorana". Se puede apreciar la cutícula (C), un estrato epidérmico (E), lumen celular (L), un parénquima cortical externo (P), pared periclinal externa (Ppex), la interna (Ppi) y pared anticlinal (Pa). | 87 |
| Figura 39 Estratoformas externo del parénquima cortical del receptáculo de la fresa var. "Zamorana". La capa epidérmica (E), la cutícula (C), Pared periclinal del parénquima cortical externo (Ppex), pared periclinal interna del parénquima cortical (Ppi), pared anticlinal (Pa) y plasmodesmos (Pu). | 87 |
| Figura 40 Tricomas en el receptáculo de la fresa var. "Zamorana" | 88 |
| Figura 41 Estoma en la epidermis del receptáculo engrosado de frutos de fresa. A=Células oclusivas; B= Células acompañantes; C=Ostiolo y D= Células normales. | 89 |
| Figura 42 Estomas presentes en la superficie de los aquenios. Cn =Célula normal de la epidermis, Es= estoma | 90 |
| Figura 43 Microfotografías de la epidermis del receptáculo y del parénquima cortical adyacente de fresas var. "Zamorana", cultivados bajo diferentes porcentajes de sombra. E= Epidermis, P= Parénquima cortical externo. Escala= 100 μ m | 92 |
| Figura 44 Microfotografía de los estratos de la epidermis de receptáculo de la fresa cultivados bajo 0 % de sombra. Escala 100 μ m. | 93 |

I. INTRODUCCIÓN

El uso de tecnología en el campo ha abierto nuevas posibilidades a los productores de diferentes cultivos de aumentar su productividad, mejorar la calidad de sus productos para mercados de exportación y además poderlos ofrecer en un periodo de tiempo en que generalmente ya no hay este producto en el mercado o lo hay en pocas cantidades.

En algunas regiones del país como en Zamora, Mich., todos estos beneficios se han logrado con el uso de cubiertas plásticas como parte de un paquete tecnológico que les ha permitido manejar las fechas de cosecha en fresa.

Pero además de la tecnología, existen otros aspectos de suma importancia para obtener un producto de calidad, como es la nutrición de la planta. Varios son los nutrientes que las plantas requieren para poder realizar todas sus funciones. El calcio tiene un importante papel en las plantas, pues actúa tanto a nivel estructural como a nivel metabólico y su deficiencia puede tener un efecto negativo en la calidad poscosecha de los frutos, lo cual repercutirá directamente en la posibilidad de poder comercializar el producto a los diferentes puntos de venta.

Además es sabido que las frutas producidas bajo plásticos son menos firmes, por lo que este trabajo pretende determinar si estas cubiertas plásticas tienen

un efecto en la disminución de firmeza y si es la aplicación de calcio una alternativa para contrarrestar este efecto.

II. OBJETIVO

Identificar el efecto de diferentes condiciones de aplicación de calcio foliar, cultivadas bajo diferentes condiciones de luz sobre los frutos de fresa en su calidad y vida poscosecha.

III. MARCO DE REFERENCIA

3.1 La fresa

3.1.1 Aspectos botánicos

La Fresa es nativa de las regiones templadas en el mundo y se cultiva en grandes cantidades, tanto con fines comerciales como por parte de horticultores aficionados.

Este producto pertenece a la familia *Rosaceae* y al género *Fragaria*. El fruto de la fresa es un *agregado* compuesto de numerosos ovarios, cada uno con su propio óvulo y la semilla que resulta de estos es un "aquenio" que es la fruta verdadera de las fresas (Hancock, 1999). Al que comúnmente conocemos como fruto es más bien un falso fruto botánicamente denominado *eterio* (Branzanti, 1985), que no es más que un receptáculo desarrollado con aquenios sobre de él.

Los aquenios pueden estar hundidos, superficiales o sobresalientes de la pulpa, ser pocos o muy numerosos (Branzanti, 1985), desde 60 hasta 600 (Hancock, 1999). La posición que tengan éstos en el receptáculo determinaran el tamaño y forma final del fruto (Pérez y Sanz, 2007).

En la base del fruto está el cáliz, con sépalos adherentes, libres o reflexos, verdes por lo general, pero a veces casi enrojecidos (Branzanti, 1985).

La parte central del fruto o *corazón* puede estar muy o poco desarrollada y puede haber frutos con corazón vacío o corazón lleno.

Los frutos pueden ser de varias formas según el cultivar: cónicos, cónico-alargados, cónico-redondeados, esferoidales, oblatos, reniformes (Branzanti, 1985).

3.1 Variedades

Se conocen en el mundo más de 1000 variedades de fresa, producto de la gran capacidad de hibridación que presenta la especie. (Hancock, 1999)

En México, el principal estado productor de fresa, Michoacán, basa sus plantaciones en cultivares extranjeros, provenientes principalmente de la Universidad de California, Estados Unidos de América (EUA); la cual está elevando el precio de las regalías de sus variedades, lo que conlleva a un incremento en los costos de producción y decremento en la rentabilidad del cultivo de fresa (Martínez M., *et al.*, 2008). Algunas de estas variedades son la Camino Real, Festival y Camarosa, entre otras.

Otra desventaja de estas variedades norteamericanas es que no son variedades que se adapten de la mejor forma a los climas mexicanos, por lo que actualmente el Colegio de Posgraduados, apoyado por la Fundación

PRODUCE de Michoacán, se ha dado a la tarea de crear un programa de generación de variedades mexicanas que sean desarrolladas especialmente para las condiciones climáticas de lugares como el Valle de Zamora. De este programa se han generado variedades con muy buenos resultados en las evaluaciones de calidad que se han hecho a los frutos. A partir de este programa se generó la variedad CP-Zamorana la cuál fue empleada para este trabajo.

CP- Zamorana es una variedad de día corto y precoz, el tamaño de su fruto es grande y de forma cónica, genera aproximadamente un 60% de fruta para exportación, da frutos de color rojo brillante y de interior rojo y además cumple con las cualidades de fruta para proceso agroindustrial (mermeladas, congelación, etc.)

3.2 La producción de fresa en México

En los últimos cinco años, la producción de fresa en México presenta variaciones, ya que su comportamiento no ha sido el de un cultivo en crecimiento como se puede observar en a Figura 1-A. De los años 2003 a 2007, hubo un ligero incremento de 18 mil toneladas.

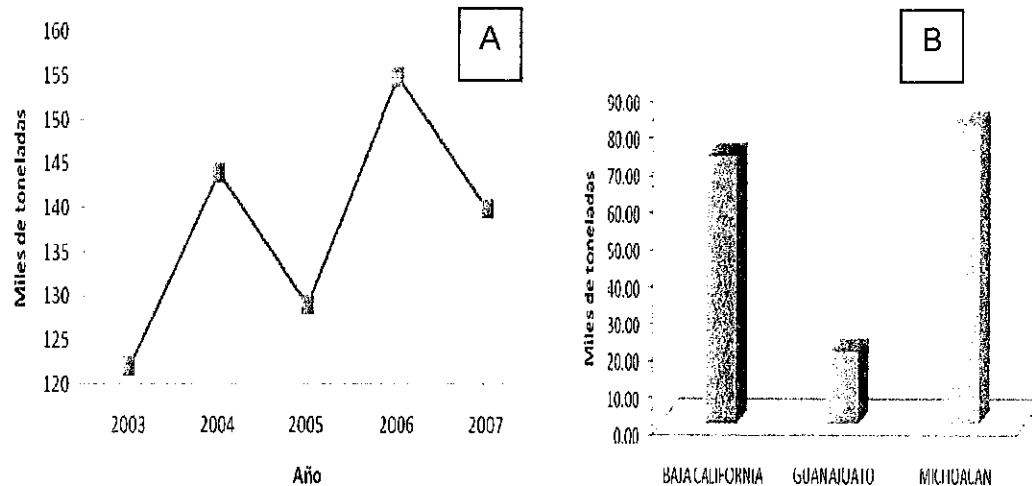


Figura 1 (A) Evolución de la producción de fresa en México, en el período 2003-2007. (B) Volumen de producción de fresa en los principales Estados productores de México para el año 2006

Fuente: Elaboración propia con datos de SIAP-SAGARPA, 2006.

En México existen doce estados productores de fresa: Aguascalientes, Baja California, Baja California Sur, Chihuahua, Sonora, Guanajuato, Jalisco, Estado de México, Michoacán, Morelos, Zacatecas y Veracruz.

De acuerdo con datos dados a conocer por la Secretaría de Agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación (SAGARPA) en 2006 cada uno de esos estados alcanzaron montos importantes de producción que se muestran el Cuadro 1.

Pese a que son 12 los estados productores de fresa en México, solamente tres de ellos resultan tener un nivel significativo de producción: Michoacán, Baja

California y Guanajuato. Entre estos tres estados generan el 90.3 % del total de producción nacional de fresa y solamente uno de ellos que es Michoacán genera el 42.38 % de la producción nacional de fresa situándose con esto como el Estado productor más importante de fresa en México por su volumen de producción (Figura 1-B).

Tabla 1 Superficie sembrada y cosechada, producción, rendimiento y valor de la producción de fresa en los principales Estados productores de México para el año 2006

| Ubicación | Sup. Sembrada (Ha) | Sup. Cosechada (Ha) | Producción (Ton) | Rendimiento (Ton/Ha) | PMR (\$/Ton) | Valor Producción (Miles de Pesos) |
|---------------------|--------------------|---------------------|-------------------|----------------------|-----------------|-----------------------------------|
| AGUASCALIENTES | 25 | 25 | 290 | 11.6 | 2,974.14 | 862.5 |
| BAJA CALIFORNIA | 1,517.00 | 1,517.00 | 72,289.30 | 47.65 | 12,970.90 | 937,657.45 |
| BAJA CALIFORNIA SUR | 180.5 | 180.5 | 8,611.20 | 47.71 | 12,081.29 | 104,034.39 |
| CHIHUAHUA | 60 | 60 | 550 | 9.17 | 13,000.00 | 7,150.00 |
| GUANAJUATO | 1,032.00 | 1,032.00 | 19,527.35 | 18.92 | 6,734.57 | 131,508.30 |
| JALISCO | 141 | 141 | 2,954.00 | 20.95 | 31,413.00 | 92,794.00 |
| MEXICO | 272 | 272 | 6,209.60 | 22.83 | 5,127.54 | 31,840.00 |
| MICHOACAN | 3,116.65 | 3,116.65 | 80,951.53 | 25.97 | 5,322.16 | 430,836.85 |
| MORELOS | 9 | 9 | 110 | 12.22 | 5,272.73 | 580 |
| SONORA | 45 | 45 | 315 | 7 | 26,000.00 | 8,190.00 |
| VERACRUZ | 3 | 3 | 27 | 9 | 6,000.00 | 162 |
| ZACATECAS | 2 | 2 | 8 | 4 | 7,200.00 | 57.6 |
| TOTAL | 6,403.15 | 6,403.15 | 191,842.98 | 29.96 | 9,099.49 | 1,745,673.09 |

Fuente: Elaboración propia con datos de SIAP-SAGARPA, 2006.

3.2.1 Exportaciones Mexicanas

La fresa mexicana tiene una fuerte demanda en el extranjero, EUA el destino principal. En los años 2000, 2001 y 2002, el 99 % de las exportaciones mexicanas de fresa tuvieron como destino EUA. El restante 1 % se reparte

entre los siguientes países: Gran Bretaña, Canadá, Italia, Japón y Francia (Dirección General de Desarrollo Económico de Guanajuato, 2003).

El monto total de exportaciones mexicanas de fresa en el año 2002 (periodo enero-septiembre) fue de 49.24 millones de dólares, cifra que es superior en casi 9 millones de dólares a la alcanzada en el mismo periodo del año 2001 que fue de 39.8 millones de dólares y superior en poco menos de 1 millón de dólares a la registrada en el mismo periodo del 2002 que fue de 48.4 millones de dólares (Dirección General de Desarrollo Económico de Guanajuato, 2003).

3.2.2 Importaciones

Por lo que se refiere a las importaciones, aunque México tiene cierta importancia en la producción de fresa a nivel mundial y que exporta un monto considerable de este producto, también tiene una cantidad considerable de importaciones, siendo EUA el único proveedor de fresa a México. El monto de importaciones mexicanas de fresa en el periodo enero-septiembre de 2002 fue de 11.84 millones de dólares, cifra que supera en 12.13 % a la cantidad de importaciones que se hicieron por parte de México para el mismo periodo del 2001, lo cual nos indica que para el año 2002, la demanda nacional de fresa tuvo que ser cubierta en parte por fresa importada (Dirección General de Desarrollo Económico de Guanajuato, 2003).

3.3 Manejo del cultivo

3.3.1 Riego

En un año de climatología normal, con precipitaciones del orden de 500 ó 600 mm/año y en suelos francos, se estima que es necesario aplicar unos 350 mm desde noviembre hasta junio, repartidos en un centenar de riegos. La pluviometría mínima requerida en seco se sitúa en torno a los 600 mm/año, en regadío es necesario aportar, en algunas latitudes, hasta 2000 mm durante el ciclo del cultivo otoñal (Branzanti, 1985).

3.3.2 Cobertura del suelo o acolchado

Consiste en extender sobre el suelo un material plástico, generalmente polietileno, de forma que la planta va alojada en oquedades realizadas sobre dichas láminas (Branzanti, 1985).

La impermeabilidad del material evita la evaporación del agua del suelo lo que le convierte en un buen regulador hídrico y economizador de agua (Díaz *et al*, 2001).

El sistema contribuye a incrementar la precocidad de la cosecha y de la temperatura media de la zona donde se sitúan las raíces de la planta. En el caso de usar plásticos negros, se impide el crecimiento de malas hierbas y se evita el contacto de los frutos directamente con la tierra, mejorando de esta forma el aspecto comercial de las cosechas (Díaz *et al*, 2001).

3.3.3 Macrotúnel

El macrotúnel es una estructura plástica parecida al invernadero q ayuda a conseguir un control parcial del clima (Díaz *et al*, 2001).

El uso de estas estructuras acelera la producción, maduración y protege la calidad de las frutas (Renquist, 2006), pues la velocidad de crecimiento en muchos cultivos es proporcional a la radiación solar absorbida por el follaje de las plantas (Russel,1993).

Se pueden distinguir dos tipos de túneles diferentes. Por un lado los túneles o microtúneles, los cuales cubren un solo surco, constan de una estructura formada por arillos de hierro galvanizado de 6-8 mm de diámetro y de unos 2 m de longitud (Díaz *et al*, 2001).

La otra estructura es el macrotúnel, que llega a cubrir de 7 a 9 hileras de plantas de fresa, los arcos son de 6 a 7 m de longitud y casi 3 m de altura. Ofrece un espacio de trabajo cómodo y una mejor protección (Díaz *et al*, 2001).

El uso del macro túnel se basa en las ventajas que ofrece al cultivo como es la protección al cultivo ante las inclemencias meteorológicas, protección de las cosechas ante agentes externos (pájaros, animales, etc.), mejor gestión de los recursos (agua, abonos, etc.) y aumento de la calidad comercial y de los rendimientos de las cosechas (Díaz *et al.*, 2001)

Los plásticos empleados en los macrotúneles pueden generar diferentes condiciones de luz, estas deficiencias inducen cambios en la y morfología de

las plantas (hojas más grandes, área foliar mayor, peciolo más largos, entre otras) de acuerdo con Borkowska en 2006, consecuencias que pueden tener a su vez efecto en el desarrollo y calidad en los frutos, he de ahí la importancia de su evaluación en la calidad en frutos de fresa.

3.4 El calcio y la calidad del fruto

Alrededor de tres décadas atrás el calcio, junto con otros minerales, tenía únicamente el rol de nutriente, un punto de vista muy simple e inapropiado (Trewavas *et al*, 1994).

En la actualidad se sabe que la acción del Calcio puede ser a nivel enzimático, de pared celular o de membranas (Poovaiah, 1985). A nivel estructural se involucra con la pared celular afectando la textura y alterando la permeabilidad de las membranas (Corrales, 1986).

El calcio a este nivel también puede incrementar la resistencia de los tejidos al ataque de patógenos (Corrales, 1986).

A nivel metabólico –hormonal, el calcio se relaciona con la acción de enzimas, en la degradación de almidón y en el oscurecimiento interno (fenolasa), además de favorecer la síntesis de algunos compuestos importantes, como el ácido ascórbico. A este nivel el calcio también interactúa con las hormonas (Corrales, 1986).

El calcio ayuda a tener enlaces iónicos más fuertes entre pectinas y a mantener la estructura integral de la pared celular (Lara *et al.* , 2004)

Las fresas son un cultivo de alto valor comercial pero de vida postcosecha muy corta, por lo que la aplicación de calcio suplementario es aplicado a otros cultivos para mantener la calidad del producto y la fresa no es la excepción (Esmel y Duval, 2006).

El calcio puede ser aplicado a nivel de suelo o en aplicaciones foliares. Para el caso de la fresa, se han hecho pruebas para determinar su efecto. Uno de estos casos fue el estudio hecho por Lanauzkas y otros investigadores en 2006, quienes aplicaron, entre otros fertilizantes, calcio tanto a suelo como a nivel foliar y los resultados principales, fue que calcio aplicado al suelo causó una reducción en la firmeza de los frutos y el calcio foliar (nitrato de calcio), ayudó a incrementar los niveles de sacarosa.

Por otro lado García en 1994, hizo un experimento de aplicación de nitrato de calcio al fruto diariamente hasta la etapa de corte, en concentraciones de 250 ppm y con esto se incrementó el contenido de calcio en el fruto y hubo mejoras en la textura.

Eaves y Leefe (1962) encontraron que aplicaciones foliares de cloruro de calcio al 0.4 % incrementó la firmeza de las fresas. Y éste resultado fue avalado por la investigación de Cheour *et al.* (1990), quienes encontraron que la aplicación de cloruro de calcio retrasó el proceso de senescencia y el desarrollo de hongos, además incrementó la firmeza en la cosecha y durante el almacenamiento.

En cambio, estudios hechos en Polonia por Wojcik y Lewandosky (2003), no encontraron efecto significativo por la aplicación de calcio foliar en la firmeza ni en la disminución de frutas irregulares pero, las fresas tratadas eran de mejor calidad que las no tratadas.

En otro estudio sobre aplicación de calcio en precosecha hecho por Dunn y Able (2006), se encontró que la aplicación de sulfato de calcio en concentración de 900 ppm incrementó la firmeza y la vida de anaquel; concentraciones de 1800 ppm causaron toxicidad. También afirman que la aplicación de calcio puede variar en resultados dependiendo de las condiciones medioambientales, las formas de aplicación del calcio y por supuesto también varían de acuerdo al cultivar.

3.5 Aceite vegetal como adyuvante

Las partiduras en la cutícula y aperturas en la epidermis como los estomas son sitios posibles de entrada de productos aplicados a las plantas como nutrientes o herbicidas, sin embargo, la cutícula como tal es una barrera para la penetración pero no es tampoco impenetrable (Dybing y Currier, 1961).

Por lo que comúnmente en la agricultura se hace uso de sustancias surfactantes y/o adyuvantes que faciliten la penetración de ciertas sustancias acuosas.

El adyuvante es una sustancia con actividad que se agrega a un herbicida o a una solución para aumentar la efectividad de un pulverizado (Rodríguez, 1999).

Existen tres categorías de adyuvantes: a) Activadores, b) Modificadores de la solución a pulverizar y c) Modificadores de la utilidad. (Rodríguez, 1999).

El aceite vegetal de maíz empleado en esta investigación se encuentra dentro del grupo de los activadores y el objetivo de los aceites vegetales en combinación con un surfactante es que disminuye la tensión de la superficie de las gotas formadas y solubiliza la cutícula de las hojas, además de que el aceite vegetal aumenta la retención del polvo aplicado (en este caso nitrato de calcio) en la hoja (Rodríguez, 1999).

3.6 Poscosecha de la fruta

Pérez y Sanz (2007) mencionan que la calidad de la fruta está determinada por una combinación de características químicas y atributos sensoriales, y los diferentes factores que determinan la calidad de la fruta están clasificados en dos grupos: factores responsables por la calidad externa (color, tamaño y forma del fruto) y factores responsables por la calidad interna (firmeza, sabor, aroma y valor nutricional).

La fresa es un producto altamente perecedero, pues su piel turgente la hace muy susceptible a daños mecánicos y la invasión por algunos microorganismos putrefactores. Además la fresa tiene una elevada tasa de respiración (20 – 40 mg CO₂/kg h a 20° C). Estos factores contribuyen a pérdidas potenciales, a pesar de que el fruto es no climatérico y produce muy poco etileno cerca de 0.1ml/kg h (Yahia, 1992).

3.6.1 Cosecha, selección y empaque

La cosecha de las fresas se realiza de manera manual ya que es un fruto muy susceptible a daños mecánicos y debe ser realizada por personas que hayan recibido la capacitación adecuada pues de no ser así pueden llegar a tenerse pérdidas de hasta 20 % en el momento de la cosecha (Pérez y Sanz, 2007).

Este proceso de recolección se recomienda sea realizado temprano por las mañanas, pero evitando cosechar cuando haya presencia de humedad sobre la superficie del fruto.

Al momento de la cosecha el fruto debe estar sano, entero, libre de rozaduras, algún daño físico, sin tierra y libre de alguna aparente contaminación por patógenos

El índice de cosecha empleado es el color, el cual debe encontrarse dentro de un rango bastante estrecho al momento de la cosecha) normalmente con al menos tres cuartos de color rojo) de manera que todas las frutas respondan de manera similar a las condiciones de manejo (Mitchman y Gordon, 2007).

Las fresas se cosechan con el cáliz y ocasionalmente con pedúnculo dependiendo de las necesidades del comprador y mercado al que se destina.

El proceso de selección y empaque también es llevado a cabo por el cosechador. La selección consiste en colocar en empaques de plástico llamados "clam shell" o bien en canastillas, las frutas que se encuentren libres de daños, como los anteriormente mencionados, y colocar en un contenedor a parte los frutos que no serán comercializados como fruta fresa.

Algunos criterios de selección como el tamaño y el tipo de empaque dependerán del mercado destino.

El empaque es colocado en cajas de cartón que finalmente son las que formarán las estibas para transportar la fruta.

3.6.2 Almacenamiento

La fresa es un producto clasificado como no-climatérico y la transpiración es uno de los principales factores de deterioro pues implica pérdidas de peso que pueden llegar a ser de entre 3 y 6 % además de demeritar la calidad externa del fruto, por lo que un adecuado y oportuno almacenamiento es indispensable (Pérez y Sanz, 2007).

Por ello la refrigeración es el método más importante empleado para el almacenamiento y conservación de la fresa, por lo que debe ser refrigerada tan pronto como sea posible después de la cosecha. Los retrasos por más de 1 hora reducen el porcentaje de fruto comerciable, Mitchman y Gordon (2007) señalan que un retraso en la refrigeración de 4 horas puede reducir a 60 % la cantidad de fruta comercializable.

Dependiendo del manejo postcosecha y madurez al momento de la cosecha, las fresas tienen una vida en el mercado de 1 hasta 2 semanas. Tanto los enfriadores de fresas como las cámaras para su conservación se deben mantener lo más cerca posible de 0 °C (32 ° F) evitando las fluctuaciones de temperatura (Mitchman y Gordon, 2007). Esto junto con un manejo óptimo de

humedad relativa disminuirá las pérdidas de peso, además de detener el desarrollo de organismos patógenos que pudieran acelerar el proceso de deterioro de la fresa.

3.7 Función y composición de la epidermis y de la pared celular

3.7.1 Epidermis

El término epidermis se usa para describir el estrato exterior de las células en todo el cuerpo primario de una planta, desde los tallos, las hojas, las flores, las semillas y los frutos hasta todo el sistema radical (Esau, 1985).

Las funciones normales de la epidermis en las partes aéreas de una planta son la regulación del intercambio de gases en la respiración y en la fotosíntesis principalmente (por medio de los estomas), así como la protección de daños mecánicos (Esau, 1985).

La epidermis contiene una gran variedad de tipos de celulares, la mayor parte del tejido está formado por las células epidérmicas propiamente llamadas células normales de la epidermis y dispersas, entre éstas células están las oclusivas de los estomas y a veces otras células especializadas (Esau, 1985).

7.7.1 Ceras

Las ceras se encuentran adheridas a la pared periclinal externa de las células epidérmicas y son sustancias que no tienen una composición homogénea, sino que más bien se trata de un polímero extremadamente heterogéneo que

resulta de la combinación de cadenas muy largas de ácidos grasos (de hasta 34 carbonos), alcoholes alifáticos y alcanos en presencia de oxígeno (Mauseth, 1988).

Existen dos clases de ceras: (1) La epicuticular que se encuentra propiamente en la superficie de la cutícula y (2) La intracuticular, que son partículas que están entre la matriz de la cutina.

Estas ceras pueden causar que una superficie sea extremadamente hidrofóbica e impermeable, un factor muy importante a considerar durante la aplicación de sustancias exógenas como herbicidas o reguladores de crecimiento (Foy, 1964).

3.7.3 Cutícula

La mayoría de las plantas terrestres poseen un recubrimiento de cutícula en la parte más externa de la epidermis (Gunning y Steer, 1975) de tallos, hojas, frutos, etc., en la interfase con la atmósfera.

Dado que una de las funciones principales de la epidermis es evitar la pérdida excesiva de agua o bien la regulación de la transpiración, ésta debe tener paredes hidrofóbicas, por esto se deposita en ella un material hidrofóbico llamado *cutina*, que al formar un recubrimiento continuo, se le nombra *cutícula*. Cuando ocurre una mezcla de la cutina con materiales de la pared celular, se llama *estrato cuticular* (Mauseth, 1988).

En el caso del receptáculo carnoso y comestible de la fresa se da el proceso de *cuticularización* que implica únicamente el depósito de cutina originando a la cutícula (Easau, 1985).

La cutícula, al ser reflectiva y brillante puede reflejar algo del exceso de la radiación solar, sobre todo, cuando junto con las ceras, da una opacidad o tono blanquecino a los frutos (Martin y Juniper 1970).

Al reflejar la luz ultravioleta del sol, protege al ADN de sus efectos mutagénicos (Mauseth, 1988).

La cutina es completamente indigestible, no se conoce nada que pueda metabolizarla, lo que la hace una excelente barrera de protección contra hongos y bacterias, ya que estos organismos no tienen enzimas capaces de digerir este compuesto (Mauseth, 1988).

Además la cutícula puede ser tan lisa que las esporas que caen en ella resbalan o se desprenden con el viento o brisas suaves (Mauseth, 1988).

La cutícula varía sensiblemente de espesor en distintas plantas y órganos. Las condiciones ambientales entre otros factores influyen en su desarrollo (Esau, 1985).

3.7.4 Pared celular

Las células vegetales poseen pared celular y ésta varía grandemente en cuanto a su composición y su morfología (Jensen, 1977). La principal función

de ésta estructura es la de dar soporte, rigidez y protección a las células vivientes vegetales (Esau, 1985).

Tres partes de la pared celular en plantas son comúnmente reconocidas: la sustancia intercelular o lamina media, la pared primaria y la pared secundaria (Esau, 1985).

La *lámina media* esta formada principalmente por compuestos pectínicos combinados posiblemente con calcio y que se encuentra en el espacio intercelular entre células contiguas (Esau, 1985).

La *pared secundaria* se deposita después de la pared primaria hacia el interior de la célula, está compuesta de celulosa, hemicelulosa y lignina entre otras sustancias (Esau, 1985).

Una célula joven, al dividirse y alargarse, aparece rodeada por una sola pared llamada *pared primaria* (Jensen, 1977), y es la única pared presente en muchos tipos de células.

Esau (1985), hace mención de dos tipos de paredes celulares, según su posición relativa entre ellas y con la superficie exterior del órgano: las anticlinales y las periclinales (Fig. 2). Las paredes anticlinales son aquellas perpendiculares a la superficie externa del órgano, por lo tanto una célula cuenta con 4 paredes anticlinales. Por otro lado, las paredes periclinales son aquellas que tienen una posición paralela a dicha superficie y son, dentro de ellas la pared periclinal externa (Ppext) es la contigua a la superficie y la

periclinal interna es la pared paralela a la Ppext y está hacia el inferior de la célula.

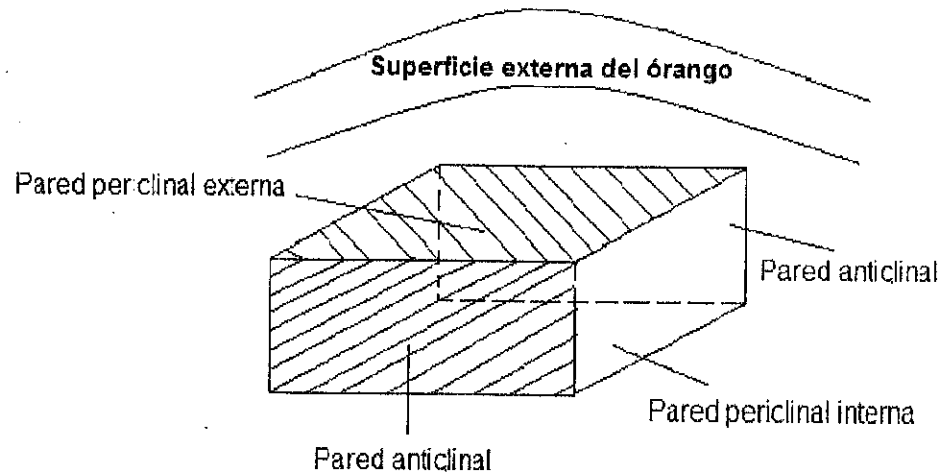


Figura 2 Partes de la pared celular

En cuanto a la composición química de la pared celular Goodwin y Merce (1983), citados por Mauseth (1988), mencionaron que son cuatro los componentes principales de las paredes primarias: celulosa, hemicelulosa, proteínas y sustancias pécticas.

La *celulosa* está compuesta únicamente de moléculas de glucosa ligadas unas a otras. Las moléculas formadas pueden acomodarse de manera paralela entre ellas y formar más puentes hidrógeno de esta forma producirán los agregados llamados *microfibrillas* (Mauseth, 1988).

La *hemicelulosa* consiste de grupos heterogéneos de polisacáridos con diferente solubilidad, algunos de ellos son: xilosas, galactosas y glucanos,

entre otros (Esau, 1965) formando estructuras ramificadas (Gunning y Steer, 1975).

Las *proteínas* pueden tener una configuración muy variada, están formadas por aminoácidos como la serina y pueden contener hasta 25% de hidroxiprolina (Mauseth, 1988).

Las *sustancias pécticas* aparecen en forma de protopectina, pectina y ácidos pécticos los cuales forman parte de los polímeros compuestos principalmente de ácido urónico. Estas sustancias con coloides amorfos plásticos e hidrofílicos tienen entre de sus funciones, la de mantener un estado de alta hidratación en las paredes celulares jóvenes (Esau, 1985).

IV. MATERIALES Y MÉTODOS

4.1 Localización

El lote experimental se estableció en el huerto de Fruticultura San José del Colegio de Posgraduados campus Montecillo, Estado de México.

4.2 Material Vegetal

Las plantas de fresa (*Fragaria x ananassa* Duch.) empleadas fueron de la variedad 'CP-Zamorana' traídas de Zamora, Michoacán y antes de la plantación se sometieron a un periodo de refrigeración de 2 meses. Esta nueva variedad mexicana es descrita como de día corto y de producción precoz, el tamaño de fruto se describe como grande, de forma cónica y bien formada, de color externo rojo brillante e interno también de color rojo y genera un 60% de fruta con calidad para exportación.

4.3 Tratamientos y análisis estadístico

Se emplearon tres cubiertas plásticas calibre 600 de diferente color, que generan diferentes niveles de sombra: 25 (transparente), 35 (verde) y 41 % (blanco lechoso), además de un lote sin cubierta plástica con 0 % de sombra; se realizaron aplicaciones de calcio de la siguiente forma: 1) nitrato de calcio al 1 %, 2) nitrato de calcio al 1 % más aceite vegetal comestible al 0.25 % (en emulsión) y 3) sin calcio. En el fruto se realizaron dos lecturas de las variables respuesta: al momento de la cosecha y después de 10 días de almacén a 2°C,

lo que resulta en un total de 24 combinaciones. La primera aplicación de los tratamientos se realizó al iniciar la fructificación (12 de Septiembre de 2008) de forma foliar y así cada 10 días hasta completar un total de 7 aplicaciones. Después de 20 días de la primera aplicación, se realizó la primera cosecha, posteriormente las cosechas se realizaron cada 3 días y la última fue 10 días después de la última aplicación. La unidad experimental se constituyó de 10 frutos de fresa con 5 repeticiones, a excepción de la respiración donde la unidad experimental fue de 5 frutos y 6 repeticiones. El diseño experimental fue un completamente al azar con arreglo factorial 4 x 3 x 2, las comparaciones de medias fue realizada con Lsmeans ($P > 0.05$) con ayuda del programa SAS v9.0.

4.4 Variables de respuesta

4.4.1 Firmeza

La firmeza es un atributo importante de la calidad de frutas y vegetales, e incluso existen metodologías estandarizadas para medir esta característica (Døving, 2002), y pueden ser métodos destructivos y no destructivos (Rosenthal, 1999). En esta investigación se usó un método destructivo que se describe enseguida.

La firmeza (5 mm de deformación) se midió en la parte ecuatorial de cada fruto de fresa, considerando una muestra de 10 frutos por tratamiento (Esmel *et al.*, 2006). El equipo empleado fue un Stable Micro Systems, UK, Modelo TA-xT2i

con una celda de 5 kg y una velocidad de ensayo de 1 mms^{-1} , el implemento usado fue un esfera de $\frac{1}{2}$ pulgada de diámetro, que simula la forma de los dedos al momento de hacer presión sobre un fruto. Los resultados muestran la fuerza máxima en kgf (o resistencia a la deformación) que presenta cada fruto. Los resultados se convirtieron en Newtons (N) usando la siguiente fórmula (Kader, 1982):

$$N = \text{kgf} \times 9.8$$

4. 4. 2 Color

El color de la superficie de cada fruto fue medido con un colorímetro portátil Hunter Lab modelo Mini Scan XE Plus, obteniendo las lecturas en la escala CIE $L^* a^* b^*$, donde L^* indica la luminosidad y los valores numéricos de a^* y b^* se convirtieron en ángulo de tono o Hue ($H^\circ = \arctan b^*/a^*$) y cromaticidad (Chroma= $(a^{*2} + b^{*2})^{1/2}$) de acuerdo a lo descrito por Francis (1980). Este parámetro se midió en la superficie de cada una de las fresas.

4.4.3 Pérdida fisiológica de peso

Las fresas colocadas en el recipiente de tipo "clam shell" con capacidad de 1 libra se pesaron después de la cosecha y al final del periodo de almacenamiento en frío. Con la siguiente fórmula se obtuvo la pérdida de peso en porcentaje:

$$\text{Pérdida de peso (\%)} = \left(\frac{P_i - P_f}{P_i} \right) \times 100$$

Donde Pi=Peso inicial en gramos y Pf=Peso final en gramos.

4. 4. 4 Acidez titulable

Se determinó de acuerdo a la metodología descrita por la AOAC (1980). Se licuaron 20 g de muestra para posteriormente filtrar y aforar a 100ml con agua destilada. Se tituló una alícuota de 10 mL de la solución problema con Hidróxido de Sodio (NaOH) 0.1N hasta un pH final de 8.1. El indicador empleado fue fenolftaleína. Los resultados se expresan como porcentaje de ácido cítrico de acuerdo a la siguiente fórmula:

$$\% \text{ ácido cítrico} = ((mL \text{ NaOH}) \times 0.1mL L^{-1} \times 0.064meq \times D \times 100) / 10mL$$

4. 4. 5 Sólidos Solubles Totales

El contenido de Sólidos Solubles Totales (SST) se determinó con un refractómetro portátil ATAGO, a partir del jugo de las fresas. Los resultados se expresan en ° Brix.

4. 4. 6 Respiración y producción de etileno

Estas dos variables se midieron usando un método estático (Mendoza-Wilson y Báez, 2000). El equipo usado fue un cromatógrafo de gases Varian modelo 3400 con una Columna SS, con dos detectores TCD (detector de conductividad térmica) y FID (detector de flama de ionización). Columna de 80 °C y filamentos a 210 °C.

Cinco frutos de fresa se colocaron en un recipiente cerrado de paredes impermeables por una hora. Posteriormente se extrajo una muestra del aire

dentro del recipiente con una jeringa y la muestra se colocó en un vial para posteriormente ser inyectada esta muestra al cromatógrafo; la acumulación de CO₂ y etileno evaluada en el espacio de cabezal del recipiente al final de una hora, junto con la masa del producto y el volumen libre, sirvió como base para calcular las concentraciones y tener una medida de la actividad respiratoria en mL kg⁻¹ h⁻¹.

4.4. 7 Contenido de calcio

El contenido de calcio se determinó únicamente en los 12 tratamientos al momento de la cosecha, el método empleado fue un “análisis de espectro de calcio” (Fick *et al*, 1979). Primero se tomó una muestra de 10 fresas por tratamiento las cuales se cortaron y homogenizaron para tomar una muestra de 20 g. Este procedimiento se realizó por triplicado.

Posteriormente se determinó el contenido de materia seca, luego se pasaron a una mufla por 5 horas a 550 °C para determinar cenizas. Éstas cenizas se sometieron a una digestión con HCl al 50% y puestas en ebullición por 10 minutos.

Las muestras se aforaron a 50 mL y posteriormente se tomaron 3 ml para ser diluidas en LaCl₃ al 1 %.

Con estas preparaciones se hicieron las lecturas en un Perkin Elmer 4000 “Atomic Absorption Spectrophotometer”. Además se elaboró una curva patrón de calcio para posteriormente realizar los cálculos y obtener el contenido de calcio en ppm.

4.4.8 Ultraestructura de la epidermis en la región carnosa externa del receptáculo: Procedimiento para microscopía electrónica de barrido

Las observaciones de la estructura morfoanatómica de la epidermis de "frutos" (receptáculo engrosado) de fresa se realizó con microscopía electrónica de barrido (MEB) y el procesamiento de las muestras previo a las observaciones en microscopio fue el siguiente:

1. Fijación de los cortes de la epidermis de la fresa en glutaraldehído al 2.5% por 4 horas y posteriormente se hicieron tres lavados en buffer de fosfatos.
2. Se deshidrataron con OH al 30, 40, 50, 60, 70, 80, 90, 100, 100 y 100% por una hora en cada una de las concentraciones.
3. Secado a punto crítico por una hora.
4. Se montaron las muestras en los tambores para su recubrimiento con oro.
5. Observación con el Microscopio Electrónico de barrido.

Los tratamientos observados fueron los que no tenían ninguna aplicación de calcio bajo las cuatro condiciones de sombra al momento de la cosecha.

El microscopio electrónico de barrido empleado fue modelo JSM-6390/LGS.

IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

5.1 Firmeza

Análisis del efecto de los tratamientos

Al momento de la cosecha las fresas cultivadas bajo 0% de sombra fueron las que presentaron la mayor firmeza, de éstas las tratadas con una mezcla de 1% de nitrato de calcio y 0.25% de aceite vegetal presentaron una firmeza significativamente mayor que las no tratadas con calcio (Figura 3).

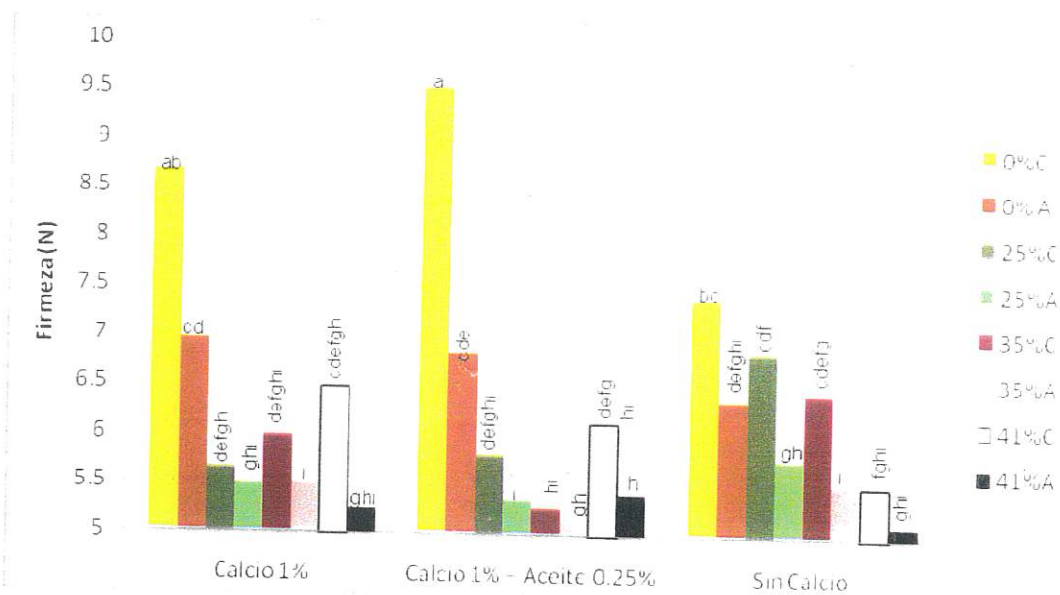


Figura 3. Firmeza (N) en fresas var. Zamorana, cultivadas bajo diferentes condiciones de sombra y tres formulaciones de calcio muestreadas al momento de la cosecha (C) y despues de 10 d de almacén a 2° C (A). Para cada tratamiento las medias con la misma letra son estadísticamente iguales (Lsmeans; $\alpha=0.05$).

Estos resultados fueron de acuerdo a lo que se esperaba, es decir las fresas cultivadas bajo 0 % de sombra fueron las más firmes; sin embargo, el calcio no ayudó a mejorar la firmeza de las fresas ni al momento de la cosecha ni después del almacenamiento.

Efecto del factor porcentaje de sombra

El sombreado tuvo efecto sobre la firmeza de las fresas, siendo las cultivadas bajo 0 % de sombra las más firmes y las cultivadas bajo 41 % de sombra las que presentaron la menor firmeza (Fig. 4)

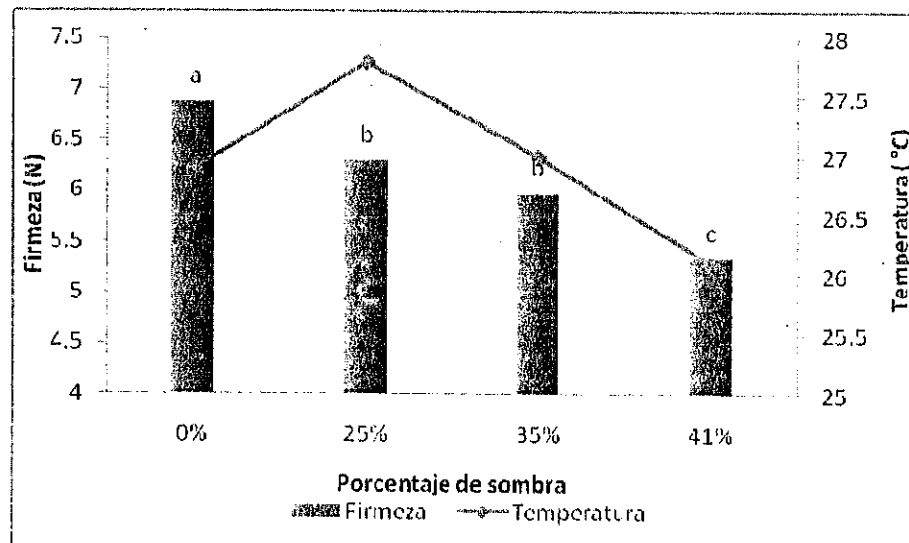


Figura 4 Efecto del factor sombreado y temperatura sobre la firmeza de las fresas var. Zamorana con y sin aplicaciones de calcio y con y sin periodo de almacenamiento. Las medias con la misma letra son estadísticamente iguales (Lsmeans; $\alpha=0.05$).

De manera empírica se maneja la idea de que las fresas cultivadas bajo macrotúnel son menos firmes y que esto es por la temperatura que se genera

en su interior. Esta idea la sustentan autores como Olías *et al.* (1995), quienes afirman que las diferencias en firmeza de las fresas están dadas por las temperaturas que se generan en el interior de los diferentes sistemas de cobertura que generan diferentes niveles de sombreado, ya que el incremento de la temperatura ambiental dentro de los túneles causa un incremento en la temperatura de las frutas, y por consecuencia se da una pérdida de firmeza. Sin embargo, los resultados de la presente investigación contradicen lo afirmado por estos autores ya que al ver la figura 4 se observa que a menor sombreado mayor es la firmeza, pero también que a mayor temperatura mayor es la firmeza.

Lara (2009) evaluó niveles de radiación, así como la fisiología y el crecimiento de las fresas cultivadas bajo las mismas condiciones de sombra, suelo y clima que en la presente investigación, y al medir las temperaturas el resultado fue que a mayor temperatura mayor fue la firmeza de los frutos, y plantea que la firmeza puede estar más bien relacionada a un sistema de protección que generan los frutos de fresa ante altos niveles de radiación.

Osman y Dodd, en 1992, realizaron pruebas para medir la firmeza de las frutas de fresa cultivadas bajo diferentes niveles de sombreado causados por diferentes mallas y encontraron que el sombreado en sí no tuvo ningún efecto sobre la firmeza y postularon la idea de que la firmeza no depende únicamente de la intensidad de la luz (radiación) sino más bien, de la calidad de la luz (longitud de onda) y la presente investigación coincide con esta hipótesis ya este trabajo muestra los cambios a nivel anatómico que se dan en las fresas

(ver apartado 5. 9) al ser cultivadas bajo estas condiciones de sombreado y que se reflejan en los niveles de firmeza.

Efecto del factor aplicaciones de nitrato de calcio foliar

Ni la aplicación de nitrato de calcio sólo ni en mezcla con aceite vegetal, mostró efecto sobre la firmeza de las fresas en comparación con los no tratados con calcio (Fig.5).

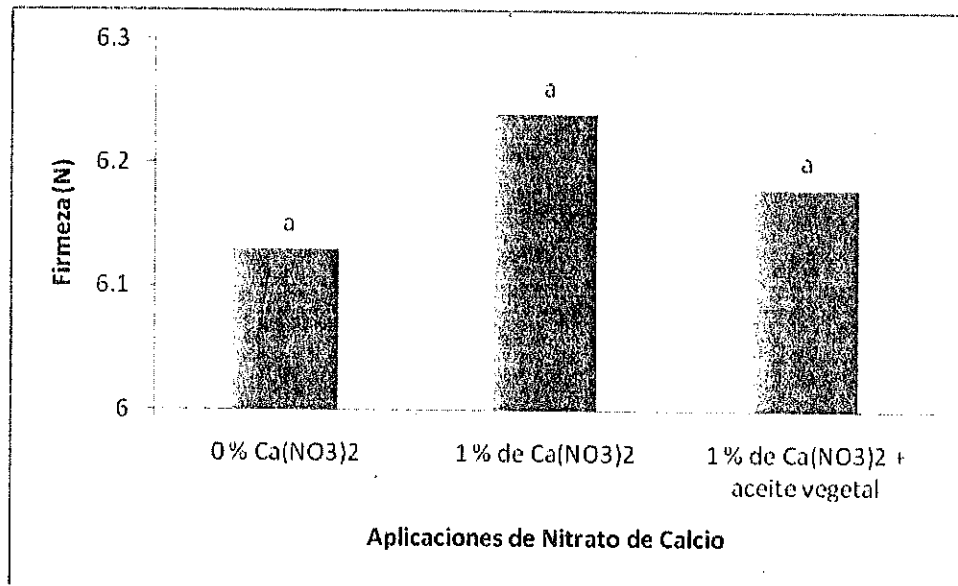


Figura 5 Efecto del factor aplicaciones de $\text{Ca}(\text{NO}_3)_2$ sobre la firmeza de las fresas var. Zamorana con y sin sombreado y con y sin periodo de almacenamiento.. Las medias con la misma letra son estadísticamente iguales (Lsmeans; $\alpha=0.05$).

Se creó que la aplicación adicional de calcio a las plantas mejora la integridad de la pared celular, por lo tanto mejora la firmeza de las frutas (Esmel *et al.*, 2004); sin embargo, en el cultivo de fresa se han encontrado resultados contrastantes. Lanauskas (2006) no encontró efecto favorable en la firmeza

de los frutos de fresa al aplicar calcio foliar, a diferencia de Dunn y Able (2006) quienes comprobaron que el calcio sí puede incrementar la firmeza de éstos y de igual manera estos autores afirman que el efecto del calcio está en función de la forma de aplicación, la variedad y de las condiciones medioambientales bajo las cuales se desarrolla el cultivo. Makus y Morris (1994) no encontraron una relación directa entre las aplicaciones de calcio y la firmeza de las fresas.

El aceite vegetal usualmente empleado en combinación con herbicidas mejora la penetración de éstos e incluso puede potenciar su efecto, por lo que se esperaba contribuyera a una mejor penetración del calcio y con ello lograr una mejora en la firmeza de las fresas, situación que en este caso no se dio, muy probablemente porque como se menciona en el apartado 5.9.1, en fresas lo que se conoce comúnmente como fruto, y que es más bien un receptáculo carnoso, tiene muy escasos estomas, lo cual reduce la penetración de cualquier sustancia y en este trabajo probablemente, fue lo que sucedió con el Ca aplicado.

Efecto del factor tiempo de almacenamiento

Después del periodo de almacenamiento de 10 días en refrigeración se redujo la firmeza de todas las fresas tratadas (fig.6), lo cual era esperado, pues como se mencionó, al perder agua los tejidos internos de la fresa, se pierde la turgencia de las células que es lo que ayuda a la rigidez de las paredes celulares y permite tener frutos firmes.

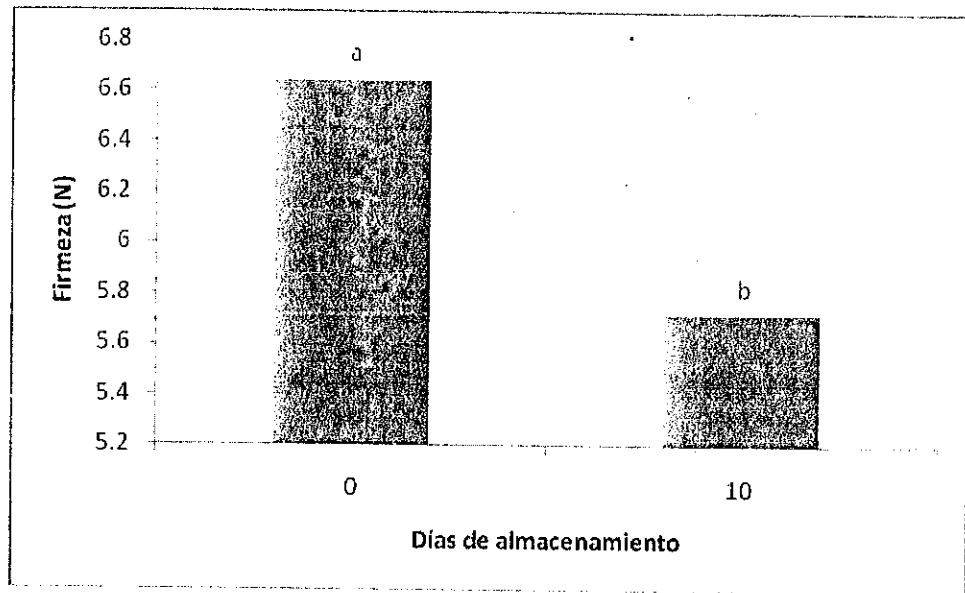


Figura 6 Efecto del factor tiempo de almacenamiento en refrigeración a 2° C sobre la firmeza de las fresas var. Zamorana con y sin aplicaciones de calcio y con y sin sombreado. Las medias con la misma letra son estadísticamente iguales (Lsmeans; $\alpha=0.05$).

Análisis de interacciones

En la figura 7 se puede observar que el calcio tuvo un efecto diferente sobre la firmeza, dependiendo de las condiciones de luz bajo las cuales se encontraban los frutos. Las fresas cultivadas bajo 0% de sombra con o sin aplicaciones de calcio fueron las más firmes.

Los niveles más bajos de firmeza se presentaron en las fresas que recibieron aplicaciones de calcio combinado con aceite vegetal y con 35% de sombra, seguidas de las cultivadas bajo 41% de sombra y que no recibieron aplicaciones foliares de calcio.

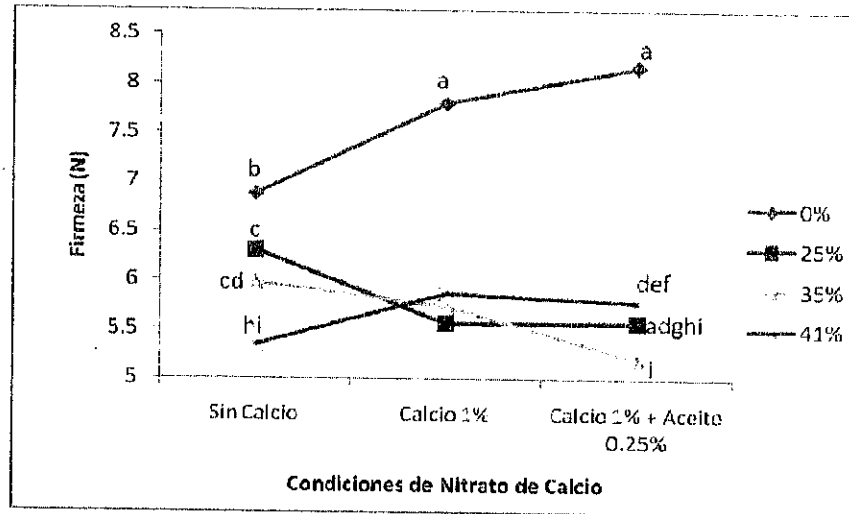


Figura 7 Efecto interactivo del porcentaje de sombra y las condiciones de calcio en fresas de la var. Zamorana. Medias con las misma letra son estadísticamente iguales

5.2 Color

Luminosidad

Análisis del efecto de los tratamientos

Ninguna de las fresas tratadas mostró diferencias significativas ($P \geq 0.05$) en la luminosidad, presentando una L^* entre 32 y 40 % , y una media de 35.19 % lo cual describe a las fresas con una luminosidad baja (Fig.8).

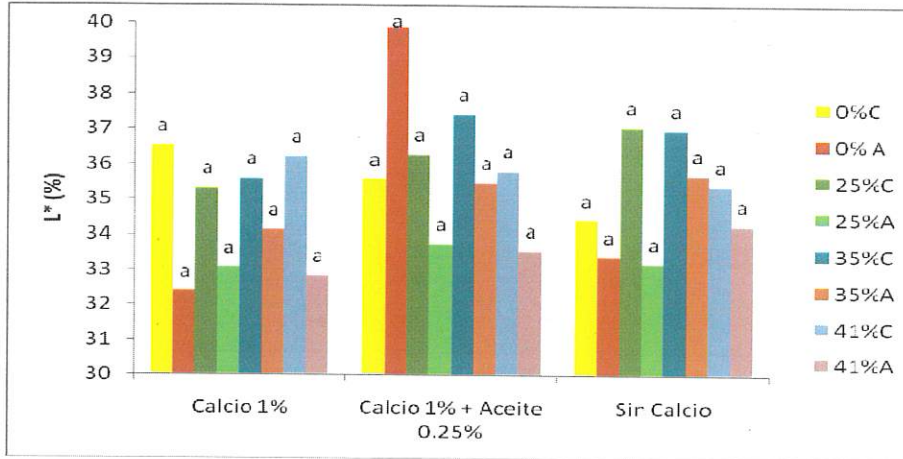


Figura 8. Luminosidad (L^*) en frutos de fresas cv. Zamorana cultivadas bajo diferentes condiciones de sombra y tres formulaciones de calcio muestreadas al momento de la cosecha (C) y después de 10 d de almacén a 2°C (A). Para cada tratamiento las medias con la misma letra son estadísticamente iguales (Lsmeans; $\alpha=0.05$).

Efecto del factor porcentaje de sombra

El sombreado no tuvo efecto sobre la luminosidad de las fresas, los resultados fluctuaron entre 33 y 36.02 % de L^* (Fig.9).

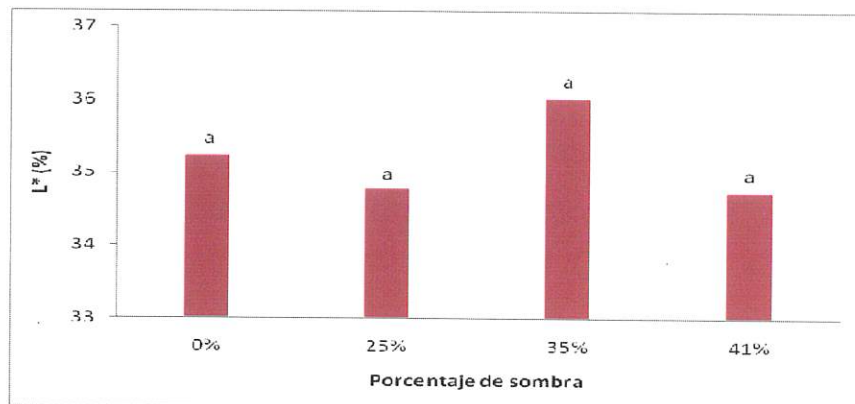


Figura 9 Efecto del factor sombreado sobre la luminosidad de las fresas cv. Zamorana, con y sin aplicaciones de calcio y con y sin periodo de almacenamiento. Las medias con la misma letra son estadísticamente iguales (Lsmeans; $\alpha=0.05$).

Estos resultados coinciden con los encontrados por Osman y Dodd (1992), quienes no encontraron diferencias en L^* de la superficie de las fresas tras haberlas cultivado bajo diferentes porcentajes de sombra (0, 21, 40, 49 y 59 %) generados por mallas con diferentes niveles de apertura.

En este sentido, no se tenía una hipótesis clara de que sería lo que sucedería, pues de manera empírica se hace el comentario de que las fresas cultivadas bajo macro túnel son de mejor calidad pero no se hace una especificación para saber en cuáles variables esto es así y en cuáles no. De los resultados del presente trabajo se puede establecer que en fresas cv. Zamorana, el sombreado causado por los diferentes plásticos de los macro túneles no hizo una diferencia en la luminosidad de las frutas de fresa.

Efecto del factor aplicaciones de Nitrato de Calcio foliar

No hubo efecto del factor aplicaciones de nitrato de calcio ($P \geq 0.05$) sobre la luminosidad de los frutos de fresa en comparación con los no tratados con calcio (Fig. 10). La luminosidad de las fresas osciló entre 33 y 36%.

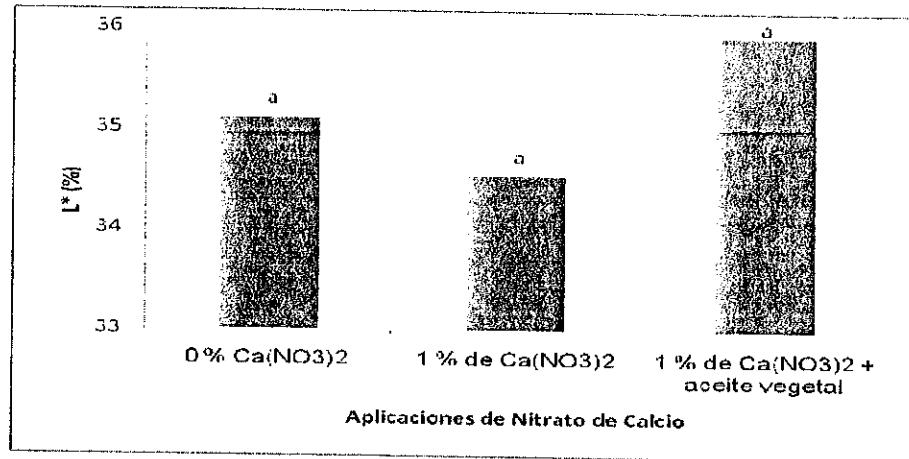


Figura 10 Efecto del factor aplicaciones de $\text{Ca}(\text{NO}_3)_2$ sobre la luminosidad (L^*) de las fresas cv. Zamorana, con y sin sombreado y con y sin periodo de almacenamiento. Las medias con la misma letra son estadísticamente iguales (Lsmeans; $\alpha=0.05$).

Al respecto, no hay reportes que hablen del efecto del calcio sobre la luminosidad de las fresas y en este sentido se pensaba que el calcio no tendría porque afectar la L^* , a menos que ocurriera que las aplicaciones foliares del $\text{Ca}(\text{NO}_3)_2$ en alguna de sus combinaciones dejaran residuos sobre la superficie de los frutos y afectarían así las variables de color, pero esto no sucedió.

Efecto del factor tiempo de almacenamiento

La luminosidad fue afectada por el almacenamiento (10 días), lo cual se puede observar claramente en la figura 11. Esta situación no es favorable pues para los consumidores en el momento de la compra la luminosidad es uno de los

factores de mayor importancia para que cause un buen gusto a la vista y entre menor sea la luminosidad menos atractivo es el producto.

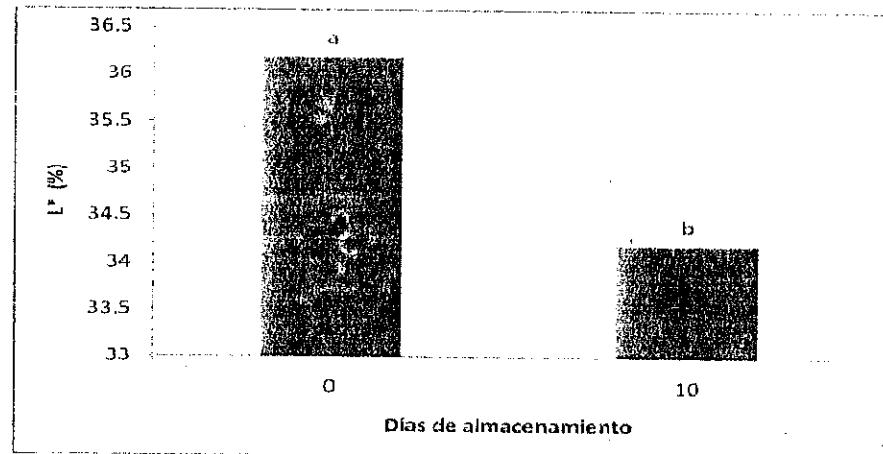


Figura 11 Efecto del factor tiempo de almacenamiento en refrigeración a 2° C sobre la luminosidad de las fresas cv. Zamorana, con y sin aplicaciones de calcio y con y sin sombreado. Las medias con la misma letra son estadísticamente iguales (Lsmeans; $\alpha=0.05$).

La disminución de L^* en este caso coincide con los resultados obtenidos por Nunes *et al.* (2006), quien reportó que después del almacenamiento de las frutas por 8 días a 1° C, la luminosidad disminuyó provocando un oscurecimiento de las fresas cosechadas cuando estaban con $\frac{3}{4}$ de color rojo de las variedades 'Chandler', 'Oso Grande' y 'Sweet Charlie'. Pelayo *et al.* (2003) en su investigación observaron que después almacenar frutos de fresa por 9 días a 5° C de cv. 'Aromas', las frutas se tornaron más oscuras debido a los bajos valores de L^* y lo mismo sucedió a fresas cv. 'Selva'. Sin embargo, en la variedad de fresas 'Diamante' se mantuvo estable e inició su oscurecimiento después de 11 días de almacén, por lo que estos autores atribuyen la velocidad de reducción de L^* , a las variedades.

La disminución de la luminosidad puede ser atribuible al hecho de que un tejido, en este caso el de la epidermis, al estar turgente refleja más luz debido a lo liso de la superficie, pero cuando las células de los tejidos pierden agua (hecho que se da en poscosecha), la superficie de éstas se vuelve más rugosa y reflejará menos luz, por lo tanto al realizar las mediciones de luminosidad los valores presentan una disminución.

Ángulo de tono

Análisis del efecto de los tratamientos

El ángulo de tono fue diferente entre las fresas tratadas (Fig. 12), las fresas cultivadas bajo 35% de sombra y sin aplicaciones de calcio presentaron los valores más altos de tono al momento de la cosecha.

Los tratamientos que causaron el menor valor de ángulo de tono (fresas más rojas) fueron las fresas cultivadas bajo 0 y 41% de sombra después del periodo de almacenamiento de 10 días, con aplicaciones de calcio en mezcla con aceite vegetal o sin esta.

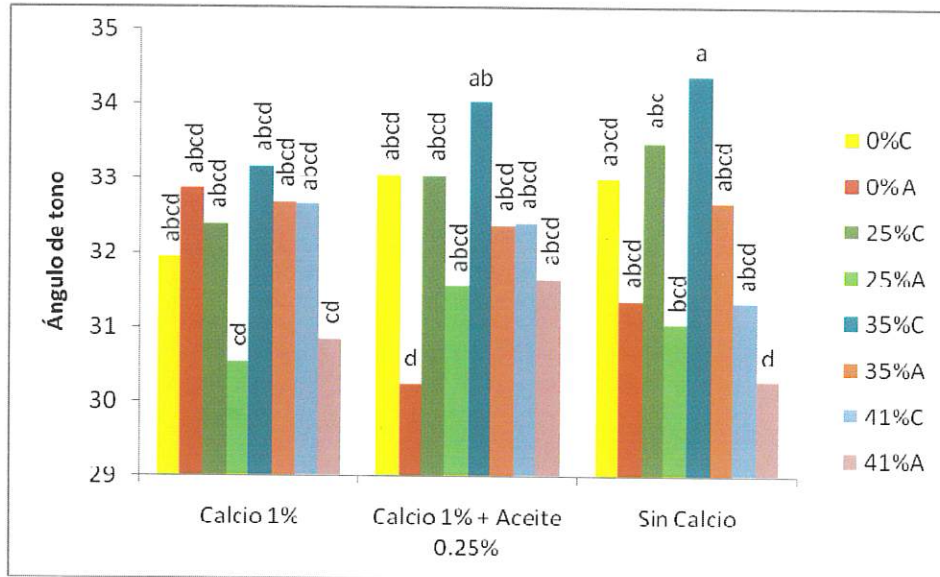


Figura 12. Cambios en el ángulo de tono en frutos de fresas cv. Zamorana cultivadas bajo diferentes condiciones de sombra y tres formulaciones de calcio muestreadas al momento de la cosecha (A) y después de 10 d de almacén a 2° C (C). Para cada tratamiento las medias con la misma letra son estadísticamente iguales (Lsmeans; $\alpha=0.05$).

Lo esperado era que el tono fuera menor (más rojas), en las fresas cultivadas sin sombra con o sin aplicaciones de calcio al momento de la cosecha, pues la síntesis de antocianinas, que dan el color rojo a las fresas, requiere de luz para poder llevarse a cabo (Craker y Wetherbee, 1973). Sin embargo, podría ser no sólo la importancia de la intensidad de la luz, sino también de su calidad (longitud de onda) lo que afecta a las síntesis de antocianinas.

Efecto del factor porcentaje de sombra

El factor porcentaje de sombra tuvo efecto sobre el ángulo de tono de los frutos fresas, las cultivadas bajo 35 % de sombra presentaron en promedio el mayor ángulo de tono (Fig. 13), lo que describe a las fresas con un color rojo tendiente al marrón, y las fresas que desarrollaron el color más rojo fueron las cultivadas bajo 41, 25 y 0 % de sombra.

Sin embargo, lo que se esperaba observar era que a mayor sombreado, mayores fueran los valores de ángulo de tono, ya que probablemente al tener menos intensidad de luz la síntesis de antocianinas sería menor y por lo tanto los valores de tono incrementarían.

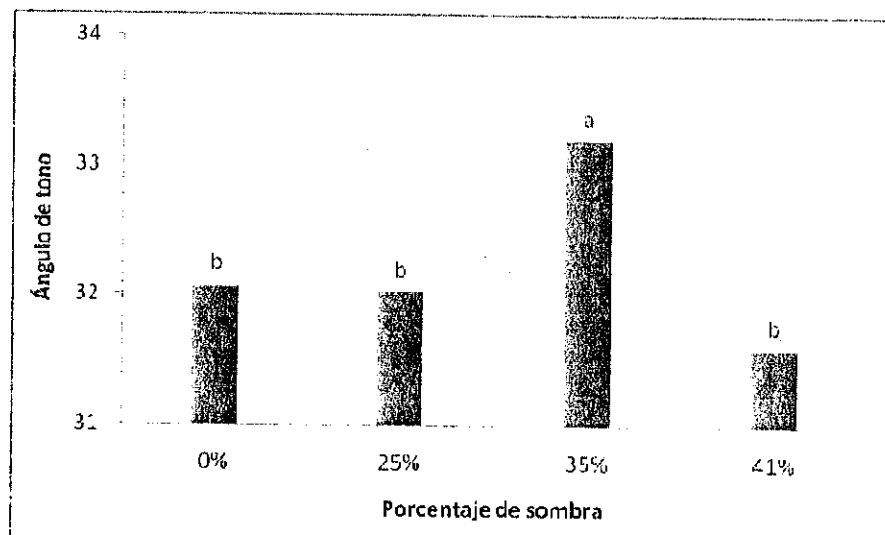


Figura 13 Efecto del factor porcentaje de sombra sobre el ángulo de tono de las fresas cv. Zamorana con y sin aplicaciones de calcio y con y sin periodo de almacenamiento. Las medias con la misma letra son estadísticamente iguales (Lsmeans; $\alpha=0.05$)

El color rojo-oscuro que adquieren las fresas al final de su maduración se debe a la pelargonidina-3-glucósido (88 % del total de las antocianinas) y a la cianidina-3-glucósido, pero el cómo se desarrolle el color depende mucho de la variedad, la intensidad de luz y condiciones de temperatura durante el periodo de maduración y almacenamiento poscosecha que reciban los frutos (Pérez y Sanz, 2007), pero aun no se han hecho estudios que se enfoquen de manera específica al efecto del sombreado sobre el parámetro ángulo de tono.

Efecto del factor aplicaciones de Nitrato de Calcio foliar

El nitrado de calcio mezclado con aceite vegetal mostró una diferencia significativa en el ángulo de tono en comparación con las fresas tratadas únicamente con nitrato de calcio (Fig. 14). Al observar la figura se recomienda no hacer aplicaciones de calcio solo ni en mezcla con aceite vegetal, pues lo que se busca son valores menores de ángulo de tono para tener fresas más rojas.

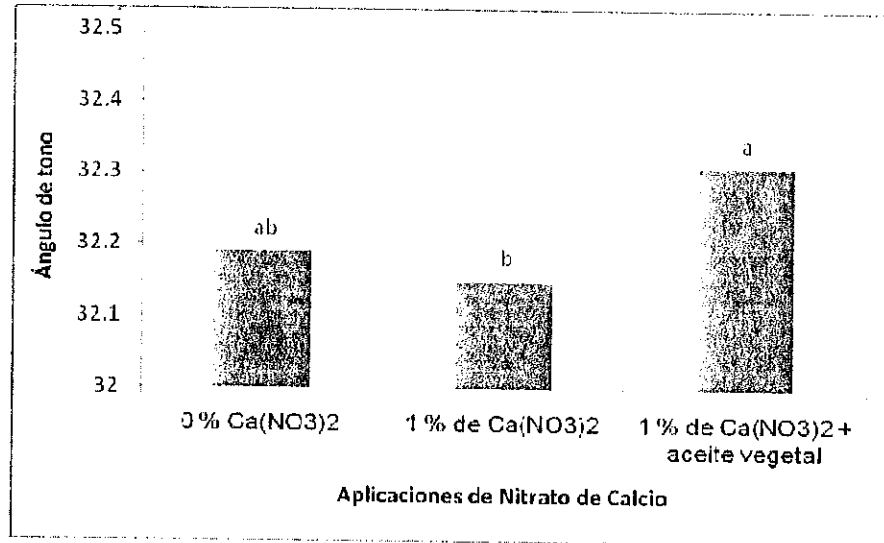


Figura 14 Efecto del factor aplicaciones de $\text{Ca}(\text{NO}_3)_2$ sobre el ángulo de tono de las fresas cv. Zamorana con y sin sombreado y con y sin periodo de almacenamiento. Las medias con la misma letra son estadísticamente iguales (Lsmeans; $\alpha=0.05$).

Makus y Morris (1998) realizaron aplicaciones de $\text{Ca}(\text{NO}_3)_2$ en tres diferentes niveles en fresa y en ninguno de ellos encontraron diferencias en ninguno de los parámetros de color, incluyendo al ángulo de tono. Autores como Sugaya *et al.* (2004), encontraron concentraciones más altas de antocianinas en manzanas 'Fuji' tratadas con aplicaciones de calcio precosecha, por lo que sería apropiado que en futuras investigaciones en fresa, se realicen análisis de contenido de antocianinas para poder observar la relación entre éstas y el ángulo de tono de los frutos.

Efecto del factor tiempo de almacenamiento

El tiempo de almacenamiento (10 días) tuvo efecto sobre el tono de las fresas, hecho que se esperaba como parte de los procesos de senescencia de estos frutos (Fig. 15).

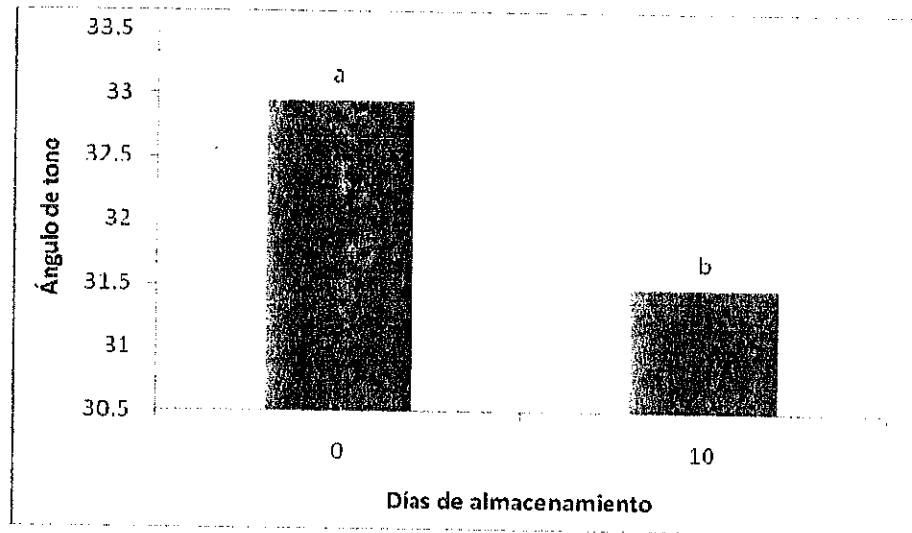


Figura 15 Efecto del factor tiempo de almacenamiento en refrigeración a 2° C sobre el ángulo de tono de las fresas cv. Zamorana con y sin aplicaciones de calcio, con y sin sombreado. Las medias con la misma letra son estadísticamente iguales (Lsmeans; $\alpha=0.05$).

Al respecto, contrariamente Sacks y Shawd (1993) no encontraron cambios significativos en el ángulo de tono de las fresas después de 7 días de almacen a 0° C en 7 variedades de fresas californianas.

La disminución del ángulo de tono reportado en la Fig. 15, pudiera ser consecuencia de la pérdida de agua que se da en el almacenamiento, y causa una concentración de antocianinas por lo que los valores de ángulo tono disminuyen.

Cromaticidad

Análisis del efecto de los tratamientos

La cromaticidad mostró diferencias entre los tratamientos aplicados. Las fresas cultivadas bajo 35 % de sombra y que no recibieron aplicaciones de calcio fueron las que tuvieron el valor más alto de cromaticidad al momento de la cosecha (Figura 16). Los valores más bajos de cromaticidad los registraron las fresas cultivadas sin sombra y bajo 41 % de sombra después del almacenamiento y que recibieron aplicaciones de calcio al 1%, al igual que las fresas cultivadas sin sombra después del almacenamiento con calcio al 1% en combinación con aceite al 0,25 % y las que no recibieron aplicaciones de calcio.

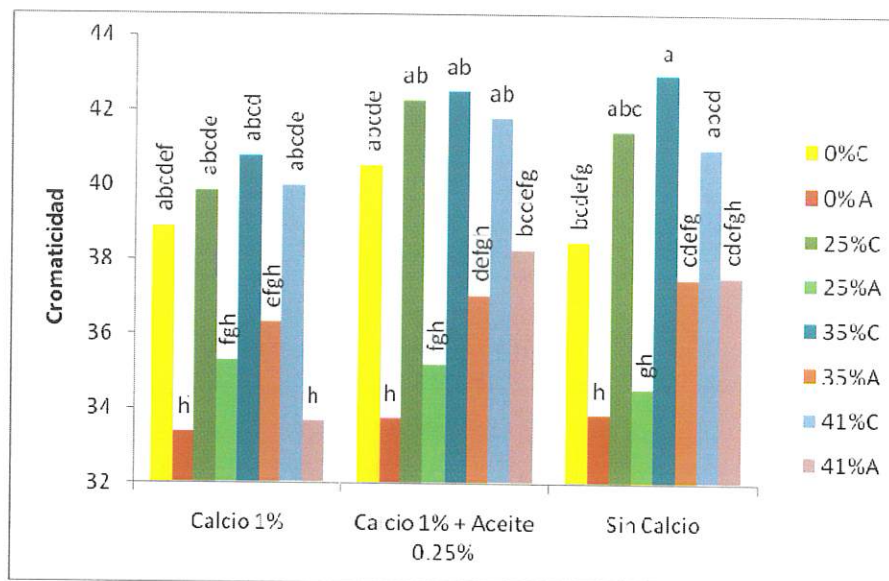


Figura 16. Cambios en cromaticidad en frutos de fresas cv. Zamorana cultivadas bajo diferentes condiciones de sombra y tres formulaciones de calcio muestreadas al momento de la cosecha (C) y después de 10 d de almacén a 2° C (A). Para cada tratamiento las medias con la misma letra son estadísticamente iguales (Lsmeans; $\alpha=0.05$).

Recordando que la cromaticidad es un índice de saturación, si este disminuye se tendrá un color menos puro o con mayor saturación, lo que hace a las fresas menos atractivas a la vista y, por lo tanto, menos deseables.

Al iniciar la fase experimental de la presente investigación no se tenía claro cuál sería el efecto que tendrían los diferentes tratamientos sobre la cromaticidad de los frutos de fresa, pues no hay investigaciones que traten sobre este tema en específico.

Efecto del factor porcentaje de sombra

Las fresas cultivadas bajo 35 % de sombra, presentaron una cromaticidad significativamente mayor a las cultivadas bajo 0 y 25 % de sombra (Fig. 17), esto sin importar si recibieron aplicaciones de calcio o no.

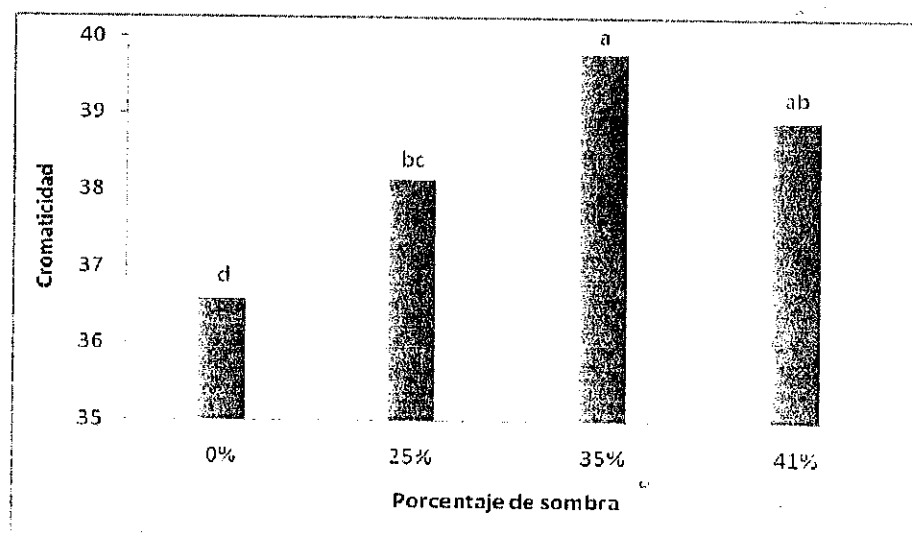


Figura 17 Efecto del factor sombreado sobre cromaticidad de las fresas cv. Zamorana con y sin aplicaciones de calcio y con y sin periodo de almacenamiento. Las medias con la misma letra son estadísticamente iguales (Lsmeans; $\alpha=0.05$).

No existen reportes que hayan estudiado el efecto del sombreado sobre la cromaticidad, pero siempre lo que se espera es tener valores de cromaticidad altos para que sean colores más puros y el color rojo sea más atractivo.

Otro factor a considerar en el estudio de la cromaticidad afectada por el sombreado deberá ser determinar el tipo y la cantidad de antocianinas que se desarrollan bajo estas condiciones.

Efecto del factor aplicaciones de Nitrato de Calcio foliar

El nitrato de calcio mezclado con aceite vegetal aumentó significativamente los valores de pureza de color de las fresas (Fig. 18). Hecho que es favorable, pues entre mayor sea el índice de cromaticidad se tendrán colores más puros y atractivos a la vista.

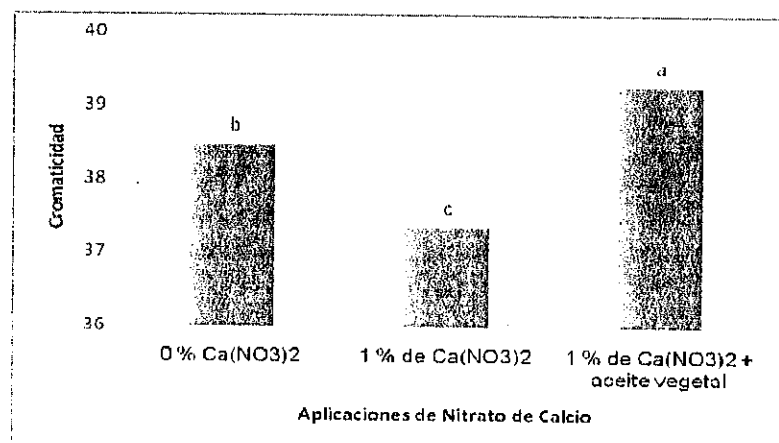


Figura 18 Efecto del factor aplicaciones de Ca(NO₃)₂ sobre la cromaticidad de las fresas cv. Zamorana con o sin sombreado y con y sin periodo de almacenamiento. Las medias con la misma letra son estadísticamente iguales (Lsmeans; $\alpha=0.05$).

No existen estudios sobre el efecto del calcio foliar sobre la cromaticidad de las fresas, ni tampoco del efecto que tiene el calcio en combinación con el aceite vegetal, que en este caso parece ser el elemento que tuvo efecto sobre la cromaticidad y se requeriría realizar más estudios al respecto para poder dar una explicación acertada sobre este hecho, esto porque el nivel de aplicación de calcio sólo (sin aceite) causó el menor registro de chroma (Figura 18)

Efecto del factor tiempo de almacenamiento

La cromaticidad disminuyó de manera significativa después del almacenamiento (Fig. 19), dando a los frutos un aspecto no deseable; sin embargo, estos resultados eran de esperarse pues coincide con varios estudios hechos con anterioridad por otros autores. Por ejemplo, Sacks y Shawd (1993) observaron una disminución de la cromaticidad después de 7 días de almacenamiento en 7 variedades de fresas californianas. Este mismo resultado fue observado por Nunes y Brench (1995), en las variedades 'Chandler', 'Oso Grande' y 'Sweet Charlie', en las cuales se observó una disminución de cromaticidad después de una semana de almacenamiento a 1° C más un día a 20° C. Posteriormente Nunes *et al.* (2006) encontró que después de almacenar fresas por 8 días a 1° C el chroma disminuyó en variedades como 'Chandler' y 'Oso Grande'.

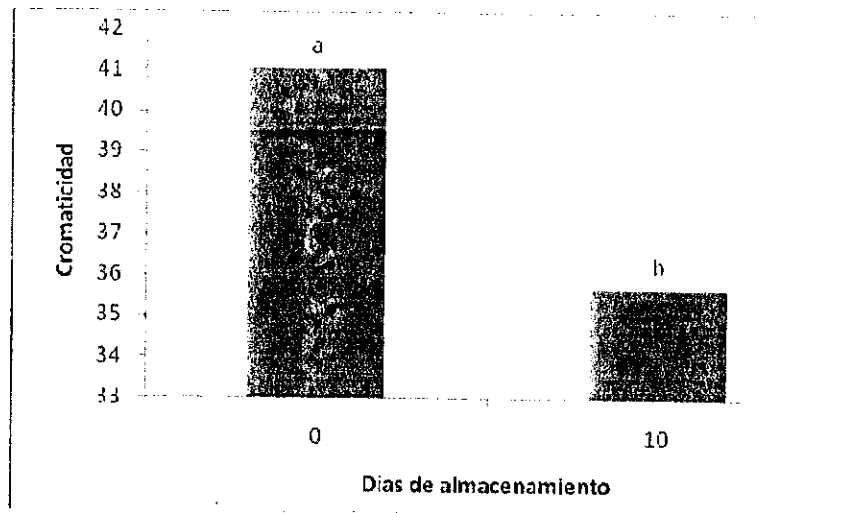


Figura 19 Efecto del factor tiempo de almacenamiento en refrigeración a 2° C sobre la cromaticidad de las fresas cv. Zamorana con y sin aplicaciones de calcio y con y sin sombreado. Las medias con la misma letra son estadísticamente iguales (Lsmeans; $\alpha=0.05$).

Una posible explicación a este fenómeno es que las antocianinas tengan un cambio en su estructura por los cambios en pH que se dan en el interior de los frutos y que si este cambio de pH tendiera al incremento, podría estar causando un oscurecimiento o pérdida de pureza de color, debido al cambio de las antocianinas hacia un color más azul causado por el incremento en el pH.

5.3 Pérdida de peso (Pp)

Análisis del efecto de los tratamientos

Después de 10 días de almacén ninguno de los tratamientos aplicados provocó una diferencia significativa en la pérdida de peso entre las fresas tratadas.

Pérez y Sanz (2007), reportan que las pérdidas de peso en fresa son de entre 3 y 6%, por lo que las fresas tratadas en el presente estudio se encontraron dentro de los parámetros reportados como normales pues ninguno de ellos tuvo pérdidas de peso superiores al 4.5 %, pues la pérdida de peso se encontró en el intervalo de 3.2 y 4.4 %.

Efecto del factor porcentaje de sombra

El sombreado, bajo el cual fueron cultivadas las fresas, no tuvo efecto significativo sobre la pérdida de peso. El rango de pérdida de peso fue entre 3.6 y 3.8 %. Los investigadores Osman y Dodd (1992), no encontraron diferencias en la pérdida de peso de fresas cv. Ostara cultivadas bajo diferentes porcentajes de luz.

Al respecto se esperaba que las fresas cultivadas bajo 0 % de sombra hubieran tenido menor porcentaje de pérdida de peso, pensando en que al estar expuestas a una mayor intensidad de luz solar, estas fresas hubieran desarrollado una cutícula de mayor grosor y como consecuencia la pérdida de agua fuera menor.

Efecto del factor aplicaciones de calcio foliar

Las aplicaciones foliares de calcio con o sin aceite no tuvieron efecto sobre la pérdida de peso, todas las fresas tratadas con o sin calcio perdieron entre el 3.62 y 3.68 % de su peso, porcentajes que se encuentran dentro de lo

esperado pues no superan el 6 % que es reportado como el porcentaje de pérdida de peso normal (Pérez y Sanz, 2007).

5.4 Acidez titulable (AT)

Análisis del efecto de los tratamientos

Los tratamientos aplicados tuvieron efecto sobre la acidez titulable (AT) de los frutos de fresa (Fig. 20). Las fresas con mayor AT fueron las cultivadas bajo 25 % de sombra, que no recibieron aplicaciones de calcio y que fueron muestreadas después de 10 días de almacenamiento en comparación con las de menor acidez, que fueron las fresas tratadas con 1 % de calcio y con 0 % de sombra y después del almacenamiento.

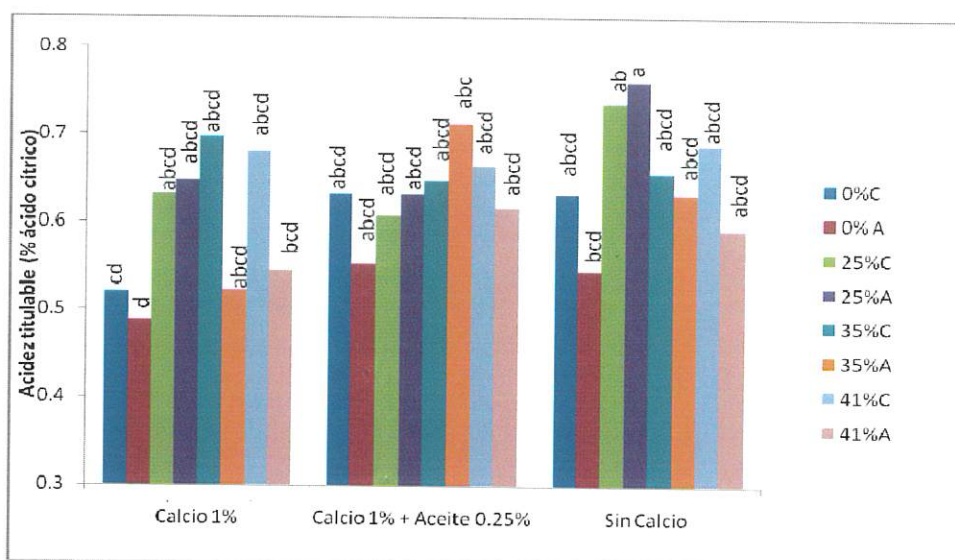


Figura 20. Cambios en la acidez titulable (AT) en frutos de fresas cv. Zamorana cultivadas bajo diferentes condiciones de sombra y tres formulaciones de calcio muestreadas al momento de la cosecha (C) y después de 10 d de almacén a 2° C (A). Las medias con la misma letra son estadísticamente iguales (Lsmeans; $\alpha=0.05$).

Mitchman et al. (1996), sugieren un máximo de 0.8 % de AT para que las fresas tengan un sabor aceptable. En el presente estudio todas las fresas tratadas tuvieron porcentajes de AT menores al 0.8 %.

Efecto del factor porcentaje de sombra

El cultivar las plantas de fresa bajo sombra tuvo efecto significativo sobre la AT, siendo las cultivadas bajo sombreado donde la acidez de las fresas es mayor (entre 0.63 y 0.67 %) y las cultivadas sin sombra presentaron menor AT (0.56 %), situación que en este caso es favorable pues permite que las fresas sean más agradables al consumidor. Todas las fresas tratadas presentaron AT menor al 0.8 % recomendado (Mitchman et al., 2007) (Fig. 21).

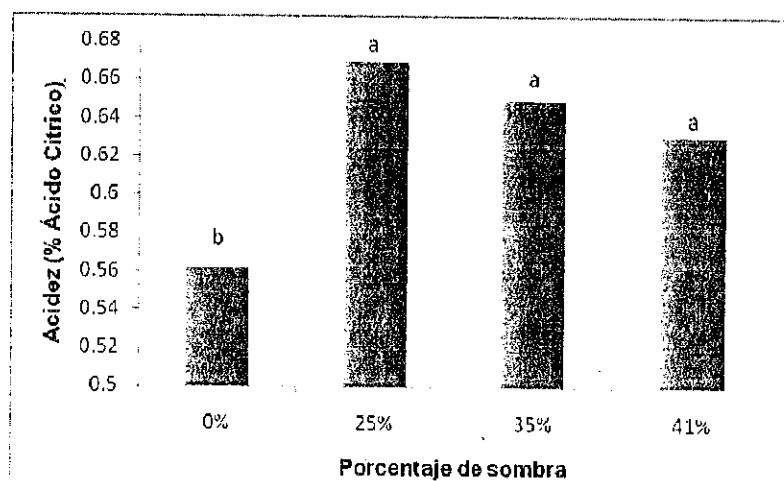


Figura 21 Efecto del factor sombreado sobre la acidez titulable (AT) de las fresas cv. Zamorana con y sin aplicaciones de calcio y con y sin periodo de almacenamiento. Las medias con la misma letra son estadísticamente iguales (Lsmeans; $\alpha=0.05$).

La mayor acidez en las fresas bajo plásticos puede ser una consecuencia del ciclo de la respiración, pues los ácidos orgánicos como el ácido cítrico, son un sustrato de este proceso de respiración (Salisbury y Ross, 1994), y si se considera el hecho de que dentro de los plásticos las plantas se encuentran bajo mayor estrés, entonces los procesos metabólicos se aceleran y por lo tanto se requiere de mayor ácido cítrico para satisfacer sus necesidades metabólicas.

Efecto del factor aplicaciones de Nitrato de Calcio foliar

El nitrato de calcio en combinación con aceite vegetal sí tuvo efecto sobre la acidez titulable de las fresas (Fig. 22), provocando un incremento del porcentaje de ácido cítrico.

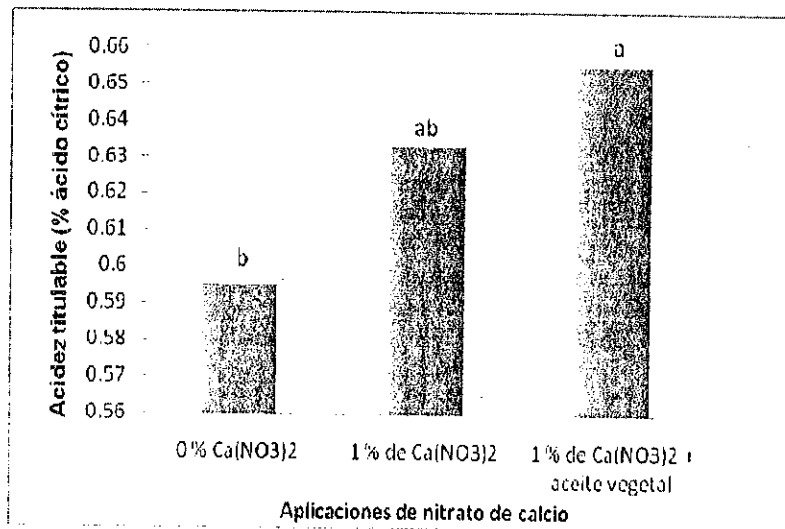


Figura 22 Efecto del factor aplicaciones de Ca(NO₃)₂ sobre la acidez titulable (AT) de las fresas cv. Zamorana con y sin aplicaciones de calcio y con y sin periodo de almacenamiento. Las medias con la misma letra son estadísticamente iguales (Lsmeans; $\alpha=0.05$).

Los resultados que se han encontrado en investigaciones hechas al respecto son diferentes; por ejemplo, Cheour (1990), realizó aplicaciones foliares de cloruro de calcio y observaron una disminución de la acidez titulable de las fresas tratadas. Dunn y Able (2006) al hacer aplicaciones de calcio por fertirrigación encontraron que a concentraciones de 900 a 1800 ppm la AT disminuyó (entre 0.2 y 0.3 % AT), y a 300 ppm la AT se incrementó arriba de 0.5 % de AT.

Con base en los resultados obtenidos en la presente investigación, no se recomienda hacer aplicaciones de nitrato de calcio solo ni en combinación con aceite vegetal pues lo que se busca es tener una baja AT. Por ello, se recomienda hacer mayor investigación para lograr conocer con certeza el mecanismo de acción del calcio y su efecto sobre la AT.

Efecto del factor tiempo de almacenamiento

El tiempo de almacenamiento tuvo un efecto favorable sobre la acidez de las frutas de fresa cv. Zamorana (Fig. 23) ya que después de 10 días de almacenamiento, la AT disminuyó en aproximadamente un 7%.

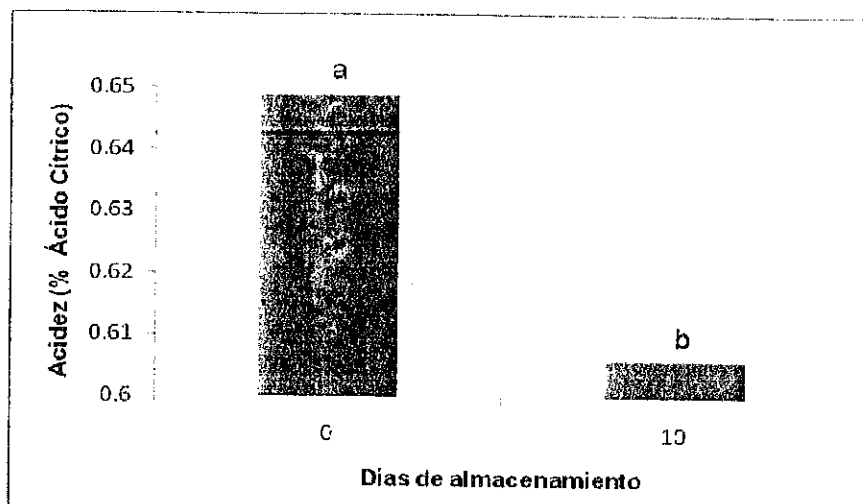


Figura 23 Efecto del factor tiempo de almacenamiento en refrigeración a 2° C sobre la acidez titulable (AT) de las fresas cv. Zamorana con y sin aplicaciones de calcio y con y sin sombreado. Las medias con la misma letra son estadísticamente iguales (Lsmeans; $\alpha=0.05$).

Pelayo *et al.* (2003) no encontraron cambios significativos en AT en fresas cv. 'Aromas', 'Selva' y 'Diamante' después de 9 días de almacén a 5° C, situación diferente a la que encontraron Nunes *et al.* (2006), pues la AT de los cultivares de fresa 'Chandler', 'Oso Grande' y 'Sweet Charlie' después de 8 días de almacenamiento a 1° C, presentaron incrementos significativos en AT.

Probablemente la explicación a la disminución en la AT de las frutas de fresa de la presente investigación, es que al iniciar los procesos de senescencia se continúan consumiendo ácidos orgánicos por ser sustratos de diferentes reacciones metabólicas, dentro de las cuales se encuentra el ácido cítrico, por lo que es de esperarse esta disminución de AT.

5.5 Sólidos Solubles Totales (SST)

Análisis del efecto de los tratamientos

Los sólidos solubles totales se vieron afectados por algunos de los tratamientos aplicados, siendo las fresas cultivadas bajo 35 % de sombra con aplicaciones de calcio al 1 % en combinación con aceite después del almacenamiento las que presentaron el valor más alto de SST (Fig. 24), en comparación con las fresas cultivadas bajo 25 % de sombra con aplicaciones de calcio al 1 % al momento de cosecha pues registraron el valor más bajo de SST.

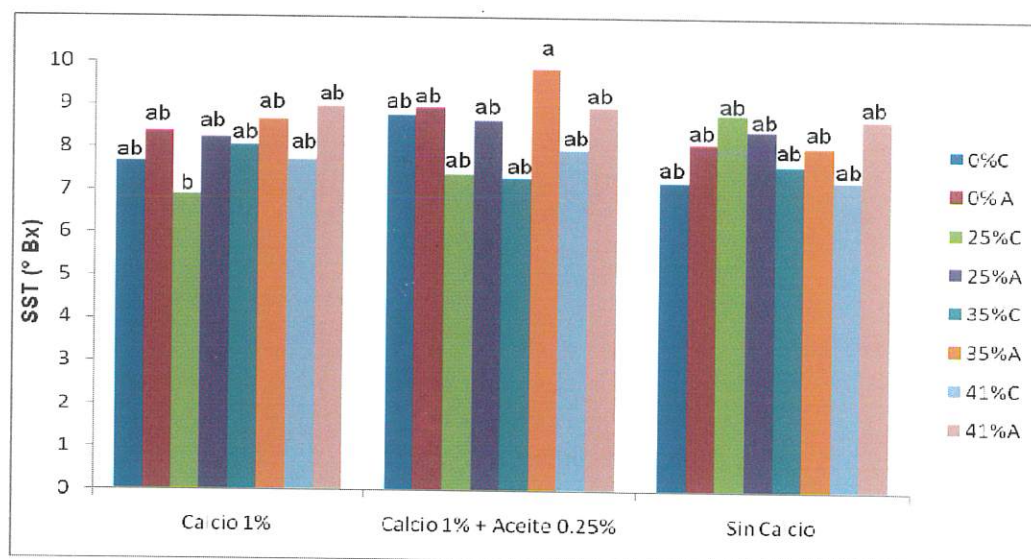


Figura 24. Cambios en SST en frutos de fresas cultivadas bajo diferentes condiciones de sombra y tres formulaciones de calcio muestreadas al momento de la cosecha (C) y después de 10 d de almacén a 2° C (A). Para cada tratamiento las medias con la misma letra son estadísticamente iguales (Lsmeans; $\alpha=0.05$).

En este sentido, lo que se esperaba era que los valores de SST se mantuvieran iguales o sufrieran un incremento después del tiempo de

almacenamiento sin importar si recibieron o no aplicaciones de calcio, tanto en sombreado como sin éste. Mitchman (1996) sugieren un mínimo de 7% de SST para que una fresa tenga un sabor aceptable, en la presente investigación las fresas tratadas presentaron entre 7 y 10° Bx.

Efecto del factor porcentaje de sombra

No existieron diferencias estadísticas en las concentraciones de SST, entre las fresas cultivadas bajo los diferentes sombreados (Figura 25).

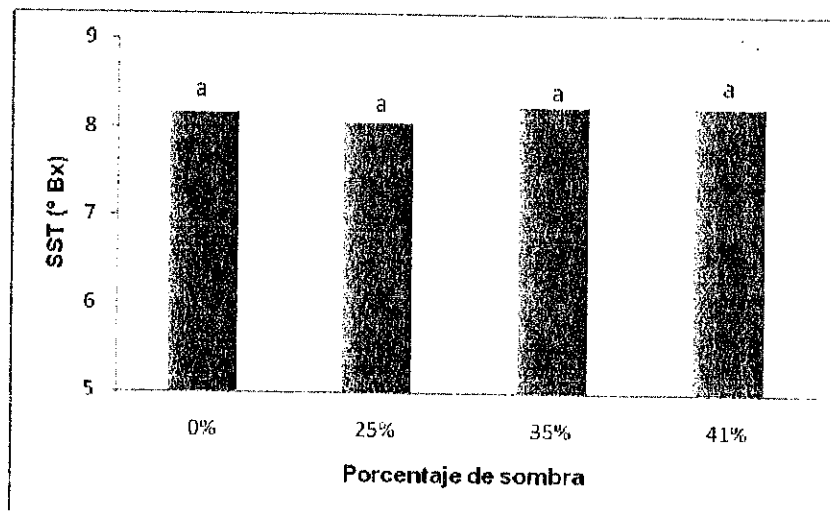


Figura 25 Efecto del factor porcentaje de sombra sobre SST de las fresas cv. Zamorana con y sin aplicaciones de calcio y con y sin periodo de almacenamiento.. Las medias con la misma letra son estadísticamente iguales (Lsmeans; $\alpha=0.05$).

Se esperaba que las fresas cultivadas bajo sombreado presentaran menores cantidades de SST, pues estas condiciones de sombreado generan estrés y cierto desequilibrio metabólico y que por tal razón no tendieran a la acumulación de azúcares (sustancias que son el mayor elemento presente en

los SST), sin embargo no sucedió así, resultado que también es favorable pues se puede asegurar que para la var. Zamorana el sombreado no es un factor que demerite la calidad del sabor (en cuanto a azúcares se refiere).

Miura et al. (1993) observaron una ligera disminución de SST en fresas cultivadas bajo 60% de sombreado. Por otro lado, Osman y Dood (1992) no encontraron diferencias el contenido de SST en fresas var. Ostara, cultivadas bajo diferentes niveles de sombra.

Efecto del factor aplicaciones de Nitrato de Calcio foliar El contenido de sólidos solubles totales de frutos con aplicaciones de calcio solo o en combinación con aceite vegetal, no fue significativamente diferente que en las fresas que no recibieron aplicaciones (Fig. 26). La aplicación foliar de calcio en las condiciones que se aplicó en la presente investigación no es recomendable para incrementar el contenido de SST.

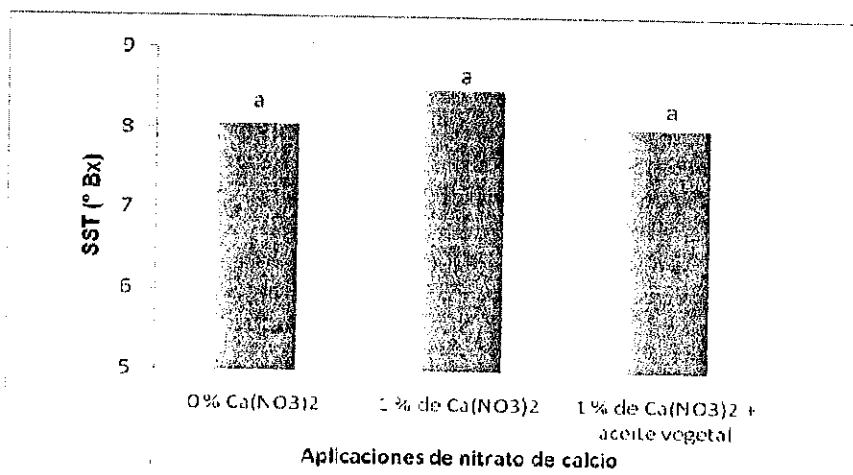


Figura 26 Efecto del factor aplicaciones de $\text{Ca}(\text{NO}_3)_2$ sobre SST de las fresas cv. Zamorana con y sin sombreado y con y sin periodo de almacenamiento. Las medias con la misma letra son estadísticamente iguales (Lsmeans; $\alpha=0.05$).

No se tenía claro cuál sería el efecto de las aplicaciones de calcio pues diferentes investigaciones han encontrado resultados contrastantes; Fiola y Shaffner (1992) aplicaron "Nutrical®" en pre cosecha de manera foliar y observaron un incremento de SST. Pero autores como Makus y Morris (1994), no encontraron cambios en el contenido de SST al aplicar CaNO_3 en precosecha.

Efecto del factor tiempo de almacenamiento

Los días de almacenamiento tuvieron efecto sobre el contenido de SST (Fig. 27), causando un incremento de 10.8 % de éstos, situación que es favorable pues este incremento se refleja en el sabor más dulce de los frutos lo cual es deseable por los consumidores.

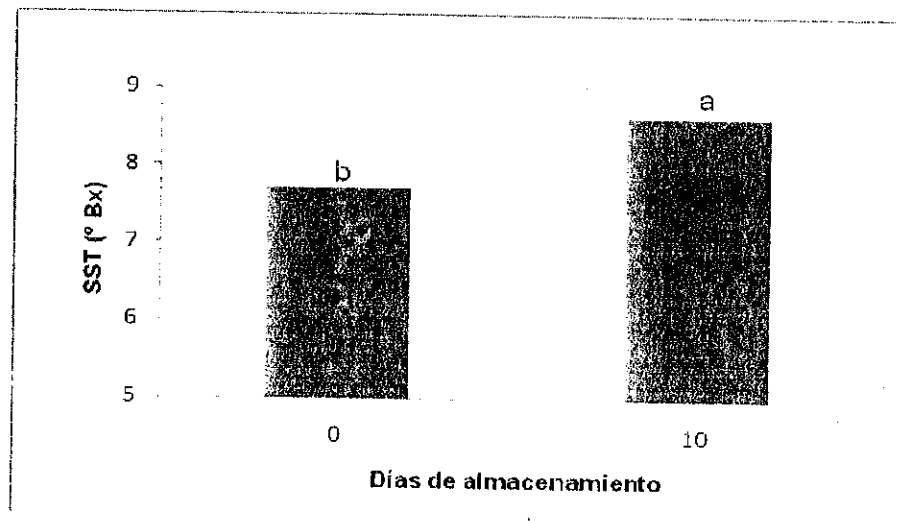


Figura 27 Efecto del factor tiempo de almacenamiento en refrigeración a 2° C sobre la AT de las fresas cv. Zamorana con y sin aplicaciones de calcio y con y sin sombreado. Las medias con la misma letra son estadísticamente iguales (Lsmeans; $\alpha=0.05$).

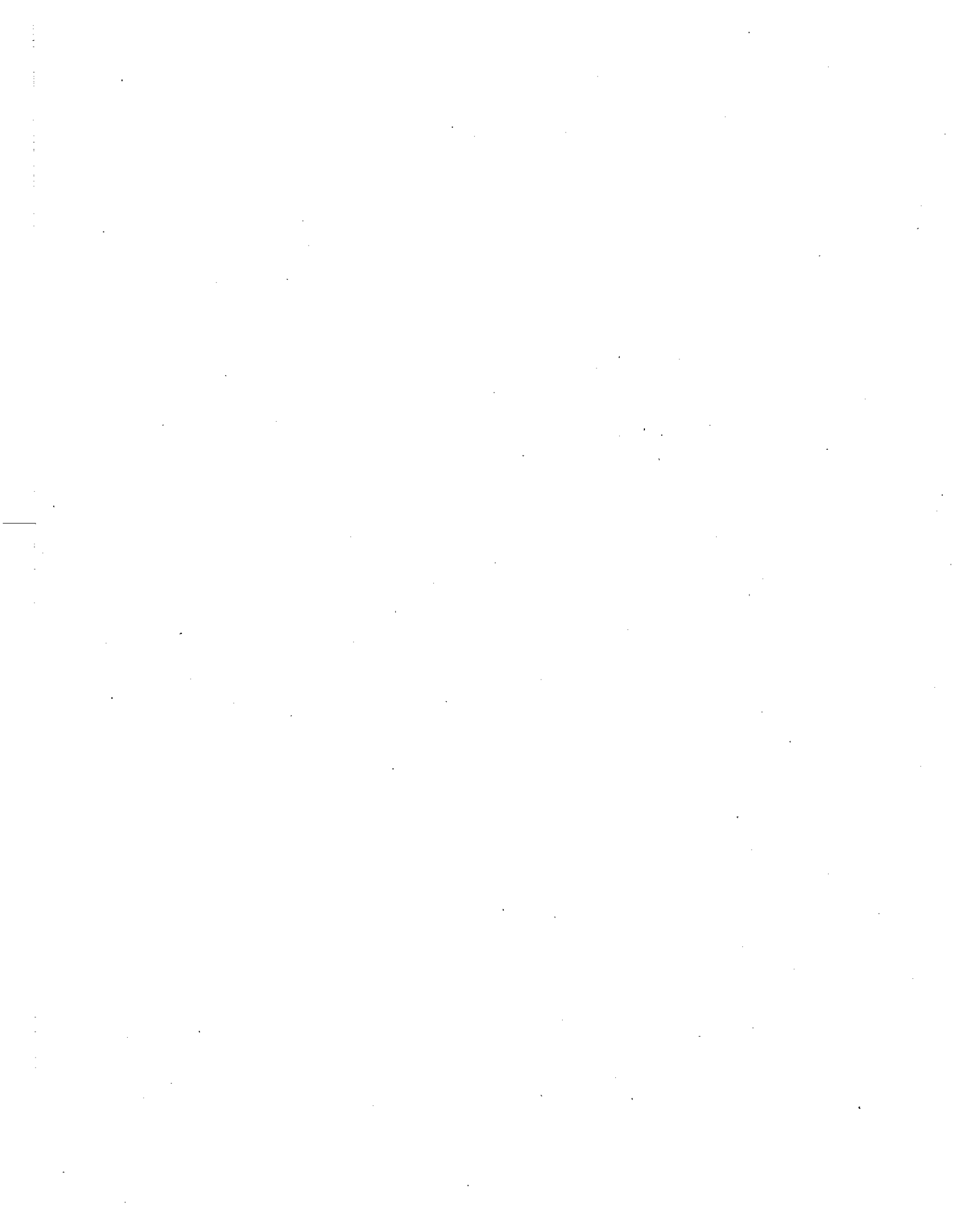
Éste comportamiento era de esperarse pues generalmente, con el paso de los días hay pérdida de agua y con ello una concentración de los SST, *Nunes et al.* (2006) explica este incremento relacionándolo con el hecho de que al darse un incremento de AT durante el almacenamiento, indudablemente éstos ácidos contribuyen a incrementar la fracción de SST, además, Huber (1984) y *Nogata et al.* (1993) mencionan que probablemente durante el almacenamiento de las fresas también se da una solubilización de hemicelulosa de las paredes celulares que también contribuye al incremento de los SST.

Los resultados concuerdan con estudios realizados por *Nunes et al* (2006), quienes observaron que después de 8 días de almacenamiento a 1 °C los SST incrementaron entre un 6.5 a 10 %.

5.6 Tasa de Respiración (CO₂)

Análisis del efecto de los tratamientos

Las fresas cultivadas bajo 0, 35 y 41 % de sombra y que recibieron aplicaciones de calcio al 1% al momento de la cosecha presentaron el índice de respiración más bajo al igual que las cultivadas bajo 0 y 41 % de sombra al momento de la cosecha y que no recibieron aplicaciones de calcio, esto en contraste con cultivadas bajo 35 % de sombra y que recibieron aplicaciones de calcio en mezcla con aceite vegetal que después de 10 d de almacenamiento tuvieron el índice de respiración más alto (Fig. 28).



Las fresas cultivadas bajo 35 % tuvieron el índice de respiración más alto en comparación con las cultivadas bajo 41 % de sombra que presentaron el menor índice de respiración (Fig. 29).

También es posible observar una tendencia (sin contundencia estadística), de que a mayor sombra mayor es la tasa de respiración, pero la tasa de respiración se redujo drásticamente cuando el porcentaje de sombra excedió el 35 % y llegó al 41 % de sombra.

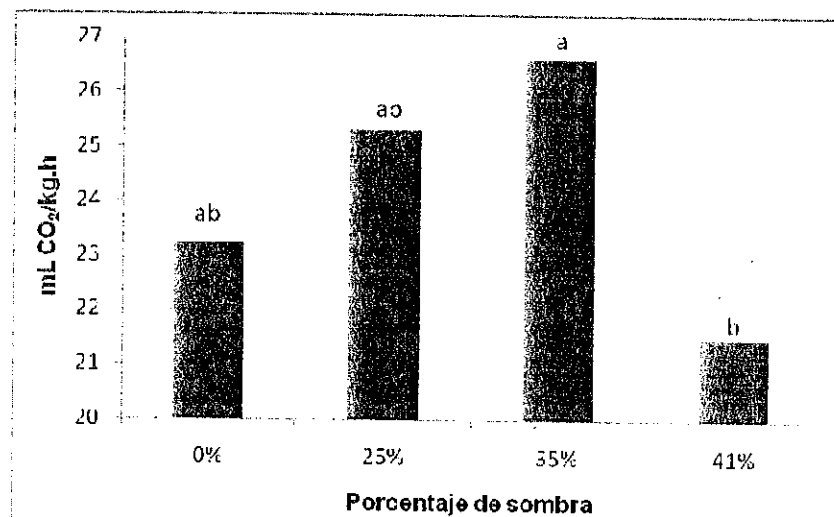


Figura 29 Efecto del factor sombreado sobre la respiración de las fresas cv. Zamorana con y sin aplicaciones de calcio y con y sin periodo de almacenamiento. Las medias con la misma letra son estadísticamente iguales (Lsmeans; $\alpha=0.05$).

Efecto del factor aplicaciones de nitrato de calcio foliar

En la figura 30 se observa que las fresas que fueron tratadas con 1 % de calcio tuvieron mayor índice de respiración que las fresas que no recibieron ningún tratamiento con calcio particularmente cuando del calcio se aplicó solo (sin aceite vegetal).

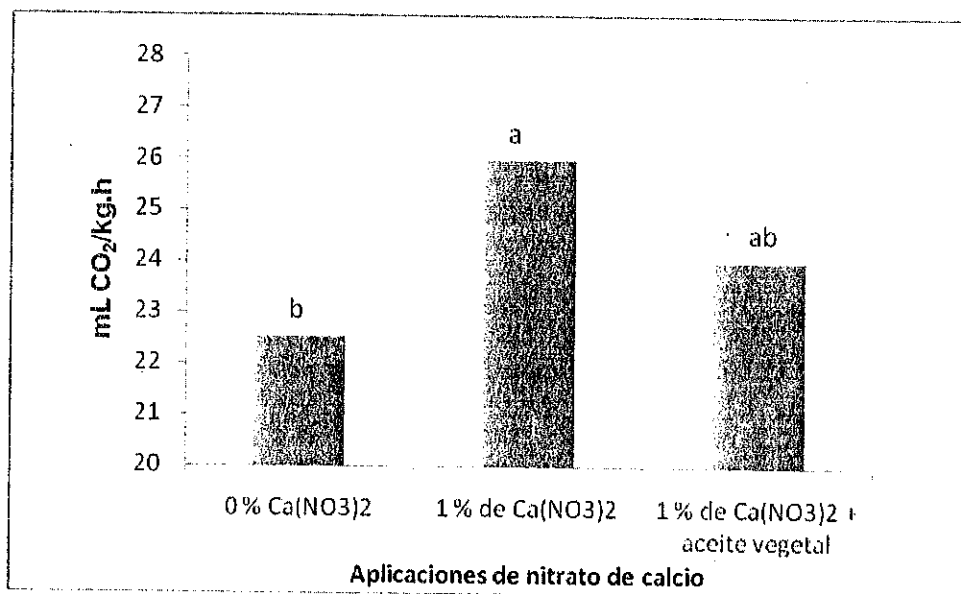


Figura 30 Efecto del factor aplicaciones de $\text{Ca}(\text{NO}_3)_2$ sobre la respiración de las fresas cv. Zamorana con y sin sombreado y con y sin periodo de almacenamiento. Las medias con la misma letra son estadísticamente iguales (Lsmeans; $\alpha=0.05$).

Estos resultados no coinciden con lo esperado, pues se pensaba que las aplicaciones de calcio pudieran hacer que las fresas disminuyeran su índice de respiración, sin embargo esto no sucedió así, probablemente porque al ser el nitrato de calcio una sal, generó algún tipo de estrés osmótico y por lo tanto incrementó la tasa de respiración de los frutos. Al respecto, autores como Fiola

y Shaffner (1992), reportan que al aplicar Nutrical® no hubo diferencias significativas en el índice de respiración de las fresas var. "Erliglow".

Efecto del factor tiempo de almacenamiento

Las fresas por ser frutos no climatéricos no presenta pico de respiración, pero si es posible un incremento de ésta, en la figura 31 se puede observar un incremento en la velocidad de respiración, pero que sigue estando dentro de los parámetros normales reportados en la literatura, aunque claro, lo deseable siempre es mantener la respiración en los niveles más bajos posibles para así disminuir el ritmo de senescencia.

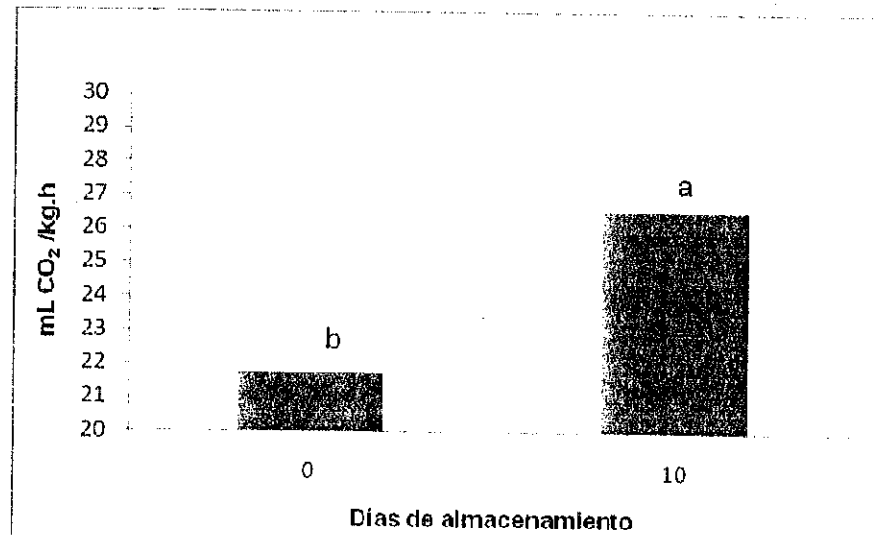


Figura 31 Efecto del factor tiempo de almacenamiento en refrigeración a 2° C sobre la respiración de las fresas cv. Zamorana con y sin aplicaciones de calcio y con y sin sombreado. Las medias con la misma letra son estadísticamente iguales (Lsmeans; $\alpha=0.05$).

5.7 Etileno (C₂H₄)

Análisis del efecto de los tratamientos

Los tratamientos aplicados tuvieron efecto sobre la producción de etileno, en la figura 32 se observa como las fresas cultivadas bajo 0 % de sombra y que no recibieron aplicaciones de calcio, al momento de la cosecha fueron las que presentaron la menor producción de etileno, lo cual fue estadísticamente diferente a las cultivadas bajo 35 % de sombra y que recibieron aplicaciones de calcio en mezcla con aceite vegetal y que después de 10 días de refrigeración tuvieron la mayor tasa de producción de etileno.

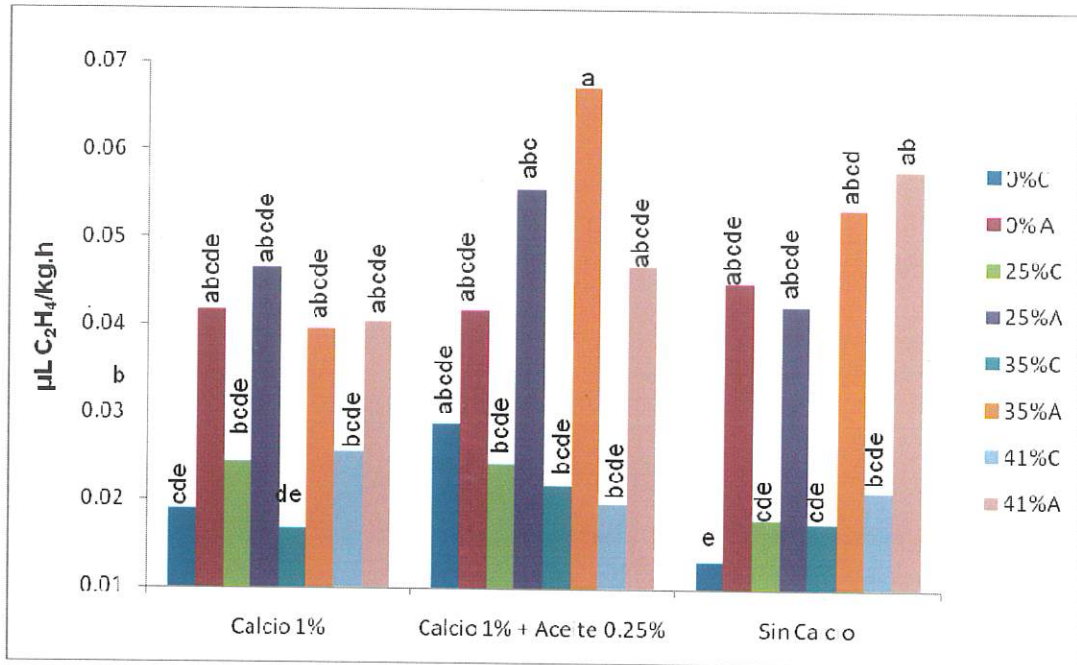


Figura 32. Cambios en la producción de etileno en frutos de fresas var. Zamorana cultivadas bajo diferentes condiciones de sombra y tres formulaciones de calcio muestreadas al momento de la cosecha (C) y después de 10 d de almacén a 2° C (A). Para cada tratamiento las medias con la misma letra son estadísticamente iguales (Lsmeans; $\alpha=0.05$).

Mitchman *et al.* (2002), reportan un índice de producción de etileno para fresas menor a $0.1 \mu\text{L}/\text{C}_2\text{H}_4/\text{kg h}$ a 20°C , lo que coincide con las fresas observadas en el presente trabajo, pues todas las fresas tratadas se encuentran dentro de este rango.

Efecto del factor porcentaje de sombra

La producción de etileno de las fresas tratadas no se vió afectada por el factor porcentaje de sombra bajo el cual fueron cultivadas (Fig 33). Lo cual era de esperarse pues, las fresas al ser no climatéricas difícilmente se ve afectada la producción de etileno por algun factor externo.

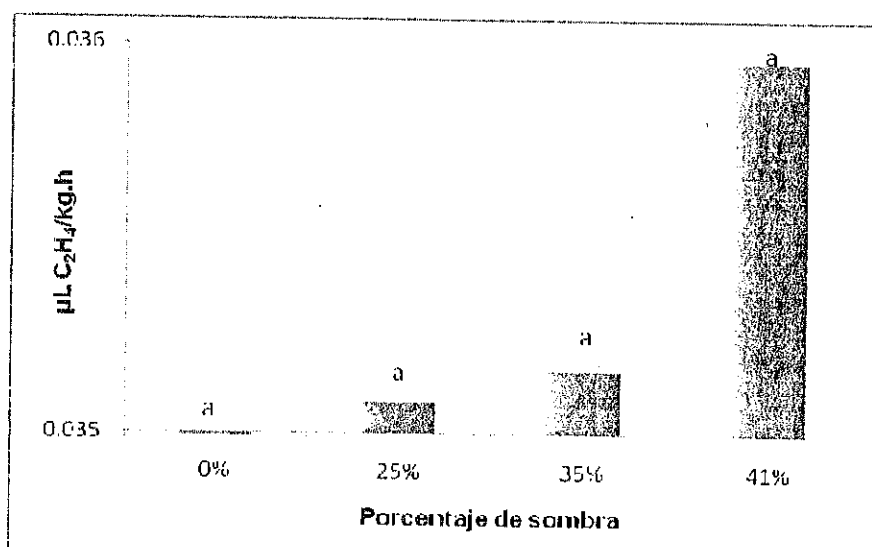


Figura 33 Efecto del factor sombreado sobre la producción de etileno de las fresas var. Zamorana con y sin aplicaciones de calcio y con y sin periodo de almacenamiento. Las medias con la misma letra son estadísticamente iguales (Lsmeans; $\alpha=0.05$).

Efecto del factor aplicaciones de nitrato de calcio foliar

Las aplicaciones de calcio foliar solas o en combinación con aceite, no afectaron la producción de etileno en comparación con las frutas no tratadas (Fig 34).

No existe mucha investigación al respecto ya que difícilmente la producción de etileno se ve afectada por factores externos, ya que son frutos no climatéricos. Fiola y Shaffner (1992) al aplicar "Nutrical" observaron una ligera disminución en la producción de etileno.

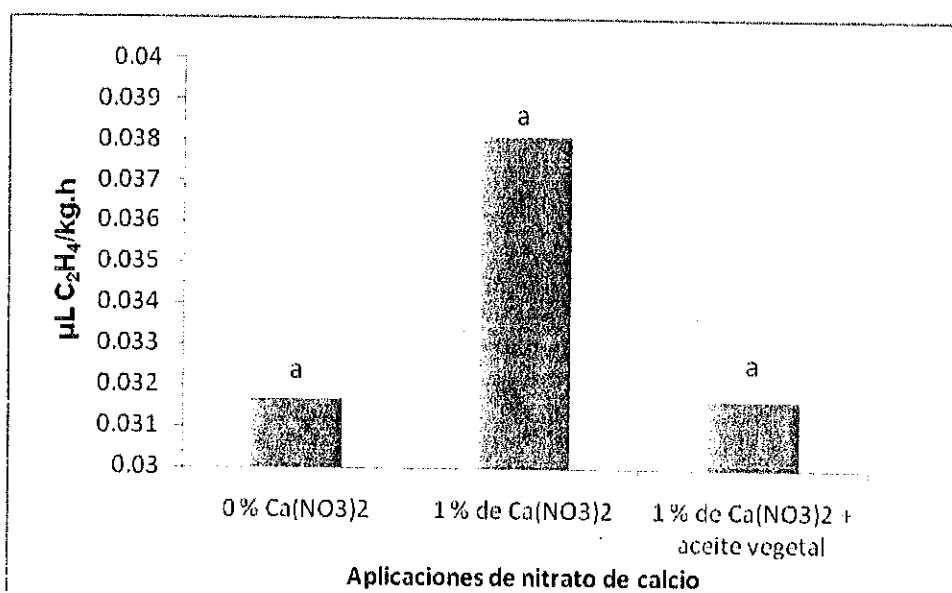


Figura 34 Efecto del factor aplicaciones de $\text{Ca}(\text{NO}_3)_2$ sobre la producción de etileno de las fresas cv. Zamorana con y sin sombreado y con y sin periodo de almacenamiento.. Las medias con la misma letra son estadísticamente iguales (Lsmeans; $\alpha=0.05$).

Efecto del factor tiempo de almacenamiento

En la fig. 35 se aprecia que los 10 días en refrigeración, las bajas temperaturas sí tuvieron un efecto sobre la producción de etileno, aumentando de 0.02 $\mu\text{L C}_2\text{H}_4/\text{kg.h}$ a 0.04 $\text{C}_2\text{H}_4/\text{kg.h}$, probablemente como una respuesta a la refrigeración, pues el frío es también un factor de estrés y puede ser la razón de este ligero incremento.

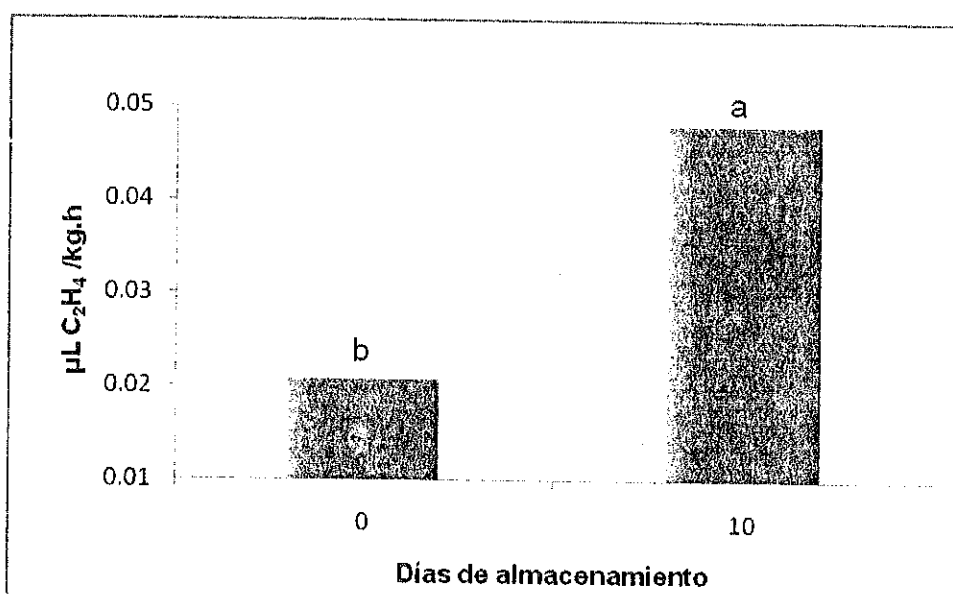


Figura 35 Efecto del factor tiempo de almacenamiento en refrigeración a 2° C sobre la producción de etileno de las fresas cv. Zamorana con y sin aplicaciones de calcio y con y sin sombreado. Las medias con la misma letra son estadísticamente iguales (Lsmeans; $\alpha=0.05$).

5.8 Contenido de Calcio

El contenido de calcio entre las fresas analizadas fue de entre 800 y 1200 ppm (Fig.36) y no hubo efecto significativo de los tratamientos en esta variable.

En este sentido, el Departamento de Agricultura de Estados Unidos (USDA, 2010), reporta el contenido de calcio en fresas frescas de 1600 ppm, por lo que las fresas var. "Zamorana" tienen una cantidad menor, pero hay que recordar que el contenido de calcio depende en gran medida de la variedad que se trate.

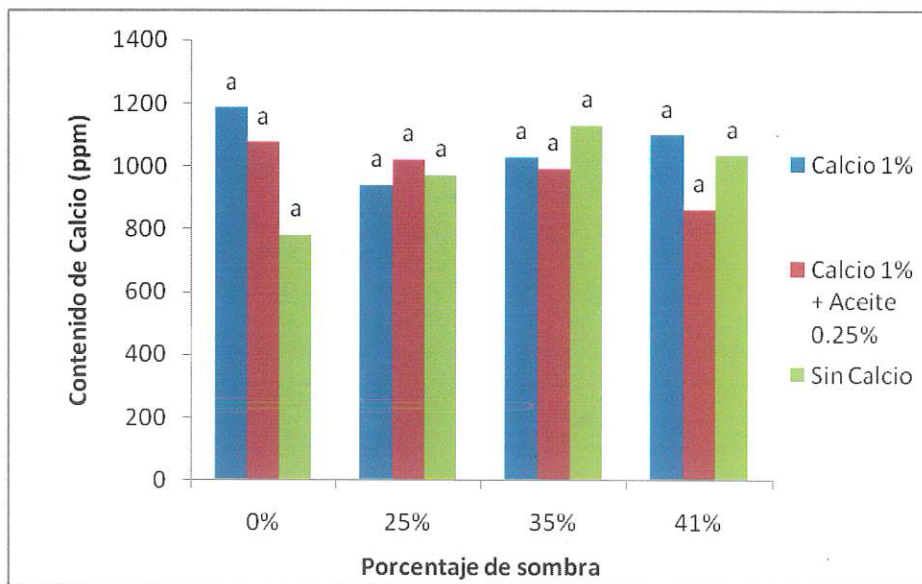


Figura 36 Contenido de calcio en frutos de fresas cultivadas bajo diferentes condiciones de sombra y tres formulaciones de calcio muestreadas al momento de la cosecha. Las medias con la misma letra son estadísticamente iguales (Tukey; $\alpha=0.05$).

Efecto del factor porcentaje de sombra

El sombreado bajo el cual fueron cultivadas las fresas, no tuvo efecto significativo sobre el contenido de calcio.

Efecto del factor aplicaciones de calcio foliar

Las aplicaciones de calcio foliar no tuvieron efecto sobre el contenido de calcio. En este sentido, autores como Makus y Morris (1994) afirman que no se ha podido encontrar una relación directa entre las aplicaciones de calcio y el contenido de este elemento en las fresas, ni tampoco una relación entre la frecuencia de aplicación del calcio y la concentración de éste en los tejidos de las fresas (Cheour *et al.*, 1990).

Lo que es interesante resaltar, es que en la investigación realizada por Makus y Morris (1994) se analizó el contenido de calcio en los diferentes partes del receptáculo carnoso y encontraron que los niveles más altos de calcio se entraban en los aqueniolos (comúnmente nombradas como "semillas"), seguidos de tejido "dermal" y en el parénquima cortical (tejido carnoso del interior de la fresas) se encontraba la menor concentración de calcio. Con este hecho se puede sustentar la idea de que difícilmente un elemento, en este caso el calcio, puede penetrar por la epidermis, tejido en el cual no hay estomas que faciliten la penetración de este elemento, situación contraria a la que se da en los aqueniolos, pues como se ve en el apartado 5.9.1 figura 43, los estomas se encuentran en abundancia en estas estructuras lo que facilitaría la penetración del elemento en cuestión. Por lo que parece que el contenido de calcio en la región carnosa de la fresa depende de cómo la planta lo absorbe y distribuye (Cheour *et al.*, 1990).

Efecto del factor tiempo de almacenamiento

Este factor no se pudo analizar pues no se realizaron mediciones de calcio a las fresas después de 10 d de almacenamiento.

5.9 Ultraestructura de la epidermis en la región carnosa externa del receptáculo

5.9.1 Características epidérmicas generales

Es conveniente mencionar que lo que se conoce comúnmente como el fruto de la fresa corresponde al receptáculo engrosado, es decir, se trata de un tallo. El fruto botánicamente hablando, corresponde al conjunto de las llamadas comúnmente "semillas" pero se trata de *aqueniolos*; el conjunto de ellos conforman un poliaquenio, siendo este último, el fruto botánico de la fresa. Un poliaquenio deriva de un gineceo sincárpico, es decir, de los carpelos de una sola flor, separados entre sí. A continuación se hace una descripción de las características epidérmicas generales del receptáculo carnoso engrosado y maduro de la fresa de la variedad Zamorana, observado mediante microscopía electrónica de barrido.

En la figura 37 se observó que el receptáculo no presentó una cutícula gruesa desarrollada y se encuentra intacta, sin depósitos de lignina.

El receptáculo de la fresa presenta un estrato epidérmico de células pequeñas y delgadas, seguido de células de parénquima más grandes (Fig. 38 y 39). En

esta misma figura (40) se puede apreciar la cutícula (C) aunque un poco enrollada a consecuencia del corte, las punteaduras (Pu) que como función tienen el unir los citoplasmas a las células contiguas; las paredes periclinales externas (Ppex) e internas (Ppi) y las paredes anticlinales (Pa); y por último el tejido del parénquima (P) que son células mucho más grandes, pues su principal función es el almacén de sustancias de reserva (agua, azúcares y ácidos principalmente).

Otra de las características de la superficie externa de la epidermis receptacular es que presenta tricomas abundantes (Figura 40).

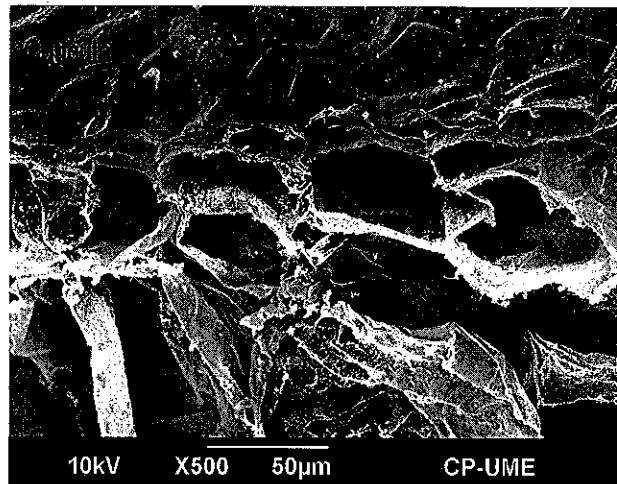


Figura 37 Estratos externos del receptáculo de fresa var. "Zamorana".

C=Cutícula



Figura 38 Microfotografía de las células epidérmicas del receptáculo de fresa var. "Zamorana". Se puede apreciar la cutícula (C), un estrato epidérmico (E), lumen celular (L), un parénquima cortical externo (P), pared periclinal externa (Ppex), la interna (Ppi) y pared anticlinal (Pa).

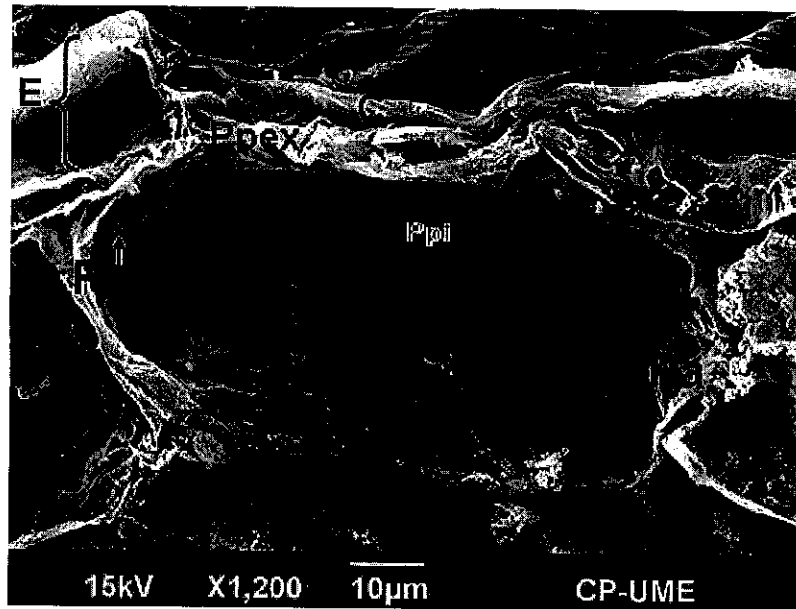


Figura 39 Estratoformas externo del parénquima cortical del receptáculo de la fresa var. "Zamorana". La capa epidérmica (E), la cutícula (C), Pared periclinal del parénquima cortical externo (Ppex), pared periclinal interna del parénquima cortical (Ppi), pared anticlinal (Pa) y plasmodesmos (Pu).

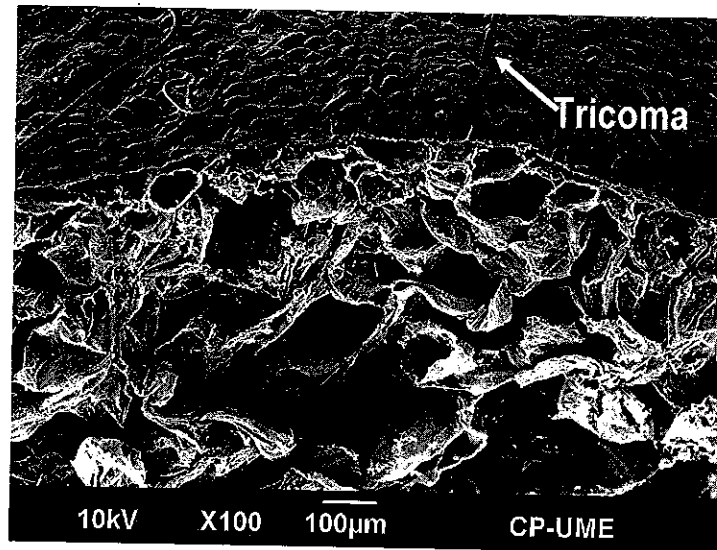


Figura 40 Tricomas en el receptáculo de la fresa var. "Zamorana".

La epidermis presenta estomas escasos en su superficie, en la figura 41 se aprecia uno de ellos y que cuenta con cinco células acompañantes, células oclusivas y con un ostiolo. El resto de las células son células normales.

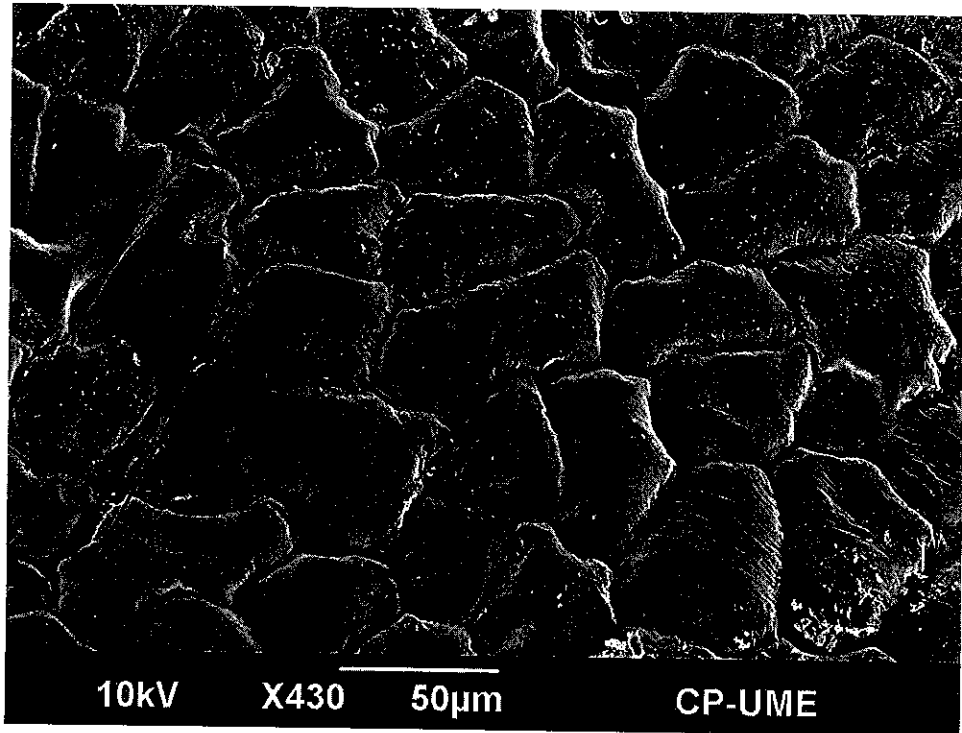


Figura 41 Estoma en la epidermis del receptáculo engrosado de frutos de fresa. A=Células oclusivas; B= Células acompañantes; C=Ostiolo y D= Células normales.

Cabe destacar que la mayoría de los estomas se encuentran en los frutillos de las fresa que son los aqueniolos (Fig.42).

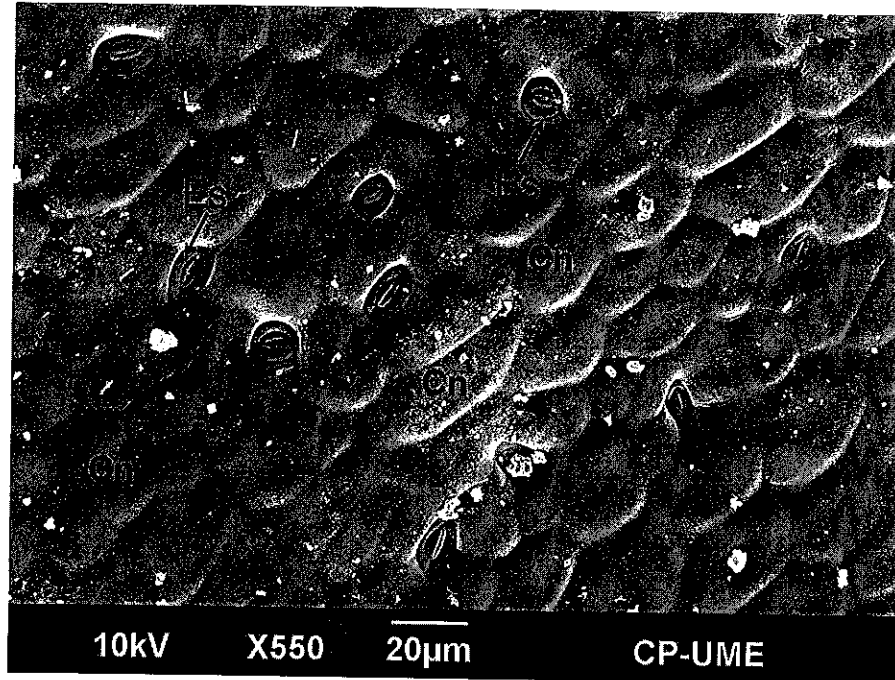


Figura 42 Estomas presentes en la superficie de los aquenios. Cn =Célula normal de la epidermis, Es= estoma

5.9.2 Efecto del sombreado

En el caso de la cutícula en los diferentes tratamientos no se es posible determinar si alguna es de mayor o menor grosor pues se observaron homogéneas (Fig. 43). Y de igual manera, las paredes periclinales externas se observaron iguales en todas las fresas.

Se observó en las microfotografías de las fresas cultivadas bajo 25, 35 y 41% de sombreado, un estrato celular de la epidermis, estos resultados coinciden con los observados por Nishizawa *et al.* (2003) quienes estudiaron la relación entre el tiempo de almacén y la anatomía epidermal de los receptáculos de fresa, y para poder comprobarlo observó 7 variedades de fresas *Fragaria x*

ananassa y una de *F. chiloensis*, encontrando en todas ellas únicamente un estrato epidermal. De igual manera, Vito *et al.* (2002) al realizar un estudio sobre el "bronceado" en fresas encontraron, que en las fresas de la var. "Commander" únicamente desarrollan un estrato en el tejido de la epidermis.

Esto a diferencia de lo observado en el presente estudio donde las fresas cultivadas bajo 0 % de sombra presentó hasta tres estratos epidérmicos (Figura 43).

En la presente investigación, las fresas cultivadas bajo 0 % de sombra presentaron divisiones periclinales para formar más estratos celulares (Fig. 44) como respuesta a la intensidad luminosa de los rayos solares, respuesta que también ha sido observada principalmente en las hojas de distintas plantas donde las expuestas a mayor intensidad de luz son más gruesas que las que se encuentran bajo algún tipo de sombreado (Poincelot, 1980).

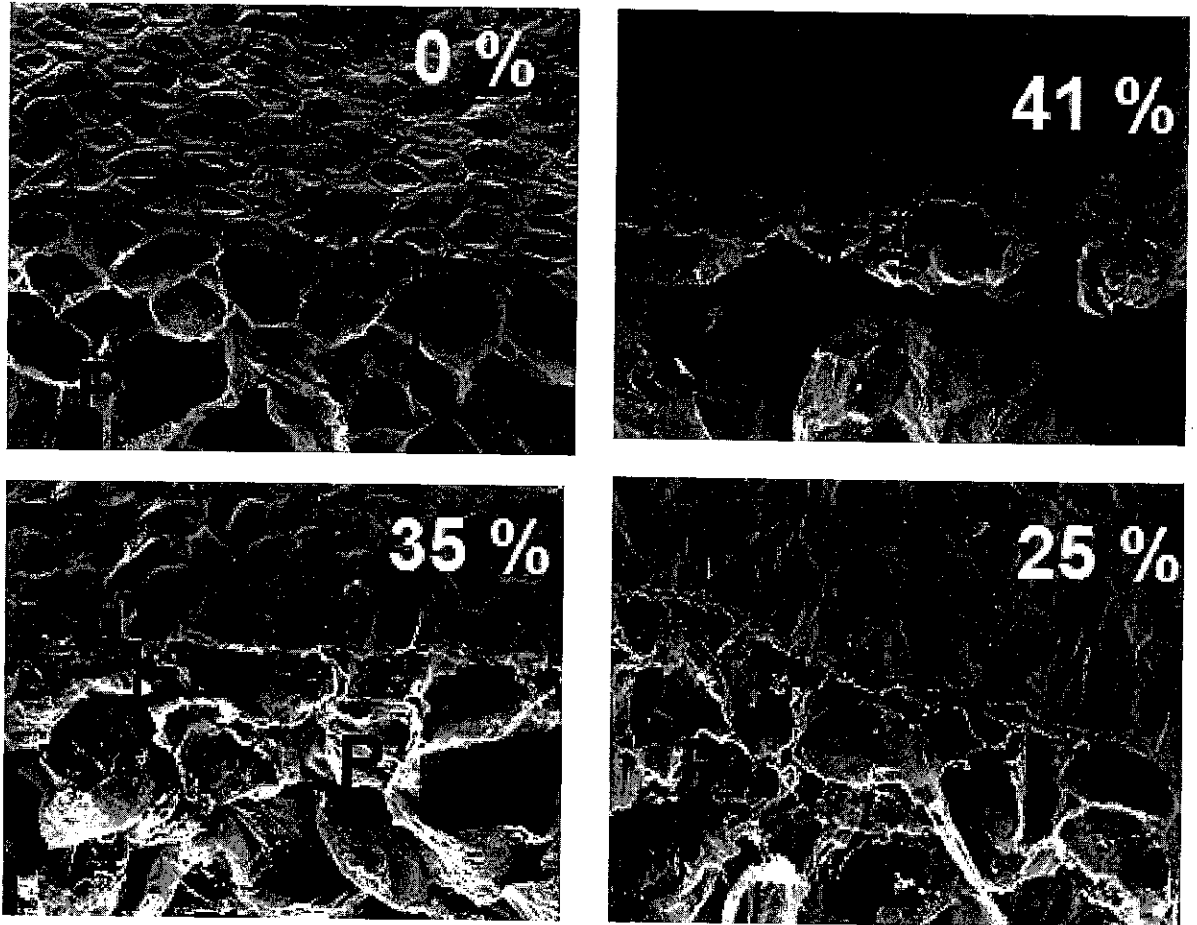


Figura 43 Microfotografías de la epidermis del receptáculo y del parénquima cortical adyacente de fresas var. "Zamorana", cultivados bajo diferentes porcentajes de sombra. E= Epidermis, P= Parénquima cortical externo. Escala= 100 μ m

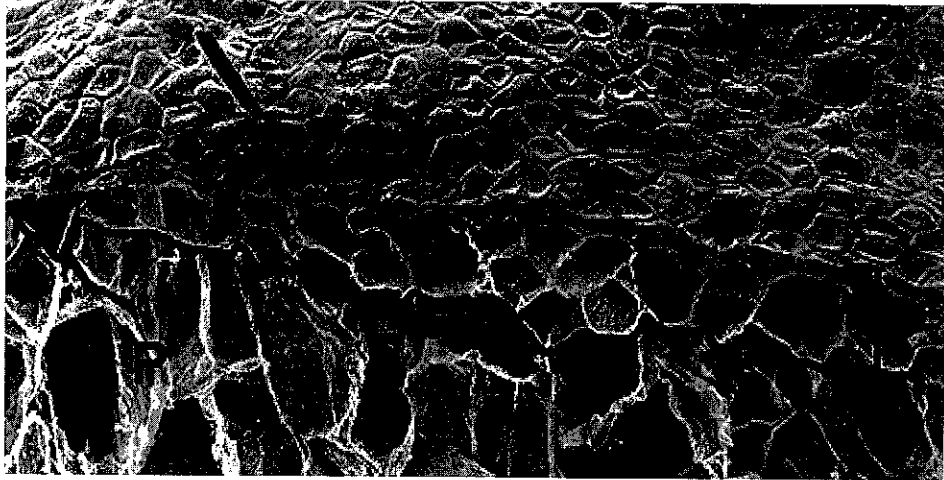


Figura 44 Microfotografía de los estratos de la epidermis de receptáculo de la fresa cultivados bajo 0 % de sombra. Escala 100 μ m.

V. CONCLUSIONES

- Las fresas con mayor firmeza fueron cultivadas bajo 0 % de sombra (cielo abierto) y las aplicaciones de calcio foliar no tuvieron efecto sobre la firmeza; sin embargo, ésta sí disminuyó de manera significativa después de 10 días de almacenamiento en refrigeración.
- El sombreado generado por los diferentes macro túneles es un factor que influye en la firmeza de las fresas y las temperaturas que se generan dentro de lo macro túneles no son la única causa de la disminución de la firmeza como los explican algunos autores.
- Ninguno de los factores (sombra, nitrato de calcio o tiempo de almacenamiento), tuvieron efecto sobre la luminosidad de las fresas.
- El mayor hue se observó en las fresas cultivadas bajo 35 % de sombra y se incrementó después de 10 días de almacenamiento, sin que las aplicaciones de calcio tuvieran un efecto significativo sobre los frutos.
- La cromaticidad disminuyó después del periodo de almacenamiento, sin que tuvieran efecto las aplicaciones de calcio, ni el nivel de sombra bajo el cual fueron cultivadas las fresas.
- Las fresas con menor AT fueron las cultivadas bajo 0 % de sombra, con 1 % de calcio foliar y después de 10 días de almacenamiento.

- El contenido de SST no mostró diferencias entre las fresas tratadas con o sin sombra, ni las tratadas o no con calcio. El almacenamiento, al igual que en otras variables, si tuvo efecto sobre esta variable, ya que las fresas después del almacenamiento presentaron un contenido de SST mayor a las fresas recién cosechadas.
- Tanto la producción de CO₂ como de etileno tuvieron un ligero incremento de su concentración después de 10 días de almacenamiento; sin embargo, se encuentran dentro de los límites reportados en la literatura para este producto caracterizado como no climatérico.
- Ninguno de los factores estudiados tuvo efecto sobre el contenido de calcio en los frutos de fresa; es decir, que no se encontró una relación directa entre las aplicaciones de calcio y el contenido de este elemento en los frutos, y tampoco una relación entre el contenido de calcio en frutos y la firmeza de los mismos.
- A nivel anatómico se pudo observar que las fresas desarrollaron cutículas intactas (de grosor no determinado), con múltiples tricomas en su superficie y con escasos estomas en la capa externa epidermal y concentrándose éstos en los aqueniolos.
- El sombreado sí causó un efecto sobre la estructura morfo anatómica de la epidermis de las fresas cultivadas bajo 0 % de sombra, probablemente como respuesta a la mayor intensidad de luz, presentando hasta tres estratos celulares en el tejido epidermal externo del receptáculo carnoso, lo que les confiere mayor firmeza a los frutos.

VI. LITERATURA CITADA

- AOAC. 1980. Official methods of analysis of AOAC international. 16th edition vol. II. Maryland, EUA. Chapter 37 p11.
- Bazanti E. 1985. La fresa. Ed. Mundi Prensa. Madrid, España. 386 p
- Borkowska B. 2006. The photosynthetic activity of plants growing under different environmental condition. International Journal of Fruit Science 2:3
- Cheour F., Willemont C., Arul J., Desjardins Y., Makhlout J., Charest P. M. y Gosselin A. 1990. Foliar application of calcium chloride delays postharvest ripening of strawberry. J. Amer. Soc. Hort. Sci. 115: 789-792
- Corrales J. 1986. Efecto del portainjerto sobre el comportamiento fisiológico y calidad del fruto de pera cv Paraíso bajo condiciones de temporal. Tesis de Maestría. Colegio de Posgraduados, Montecillos México. 6-12
- Craker L y Wetherbee P. 1973. Ethylen, light and anthocyanin synthesis. Plant Physiolo 51:436-438
- Díaz S. T., Espín G. E., Fontecha R. A., Jimenez G. J. C., López G. J., Salmerón C. A. 2001. Los Filmes Plásticos en la Producción Agrícola. Ed. Repsol YPF. España. 191-273

- Dirección General de Desarrollo Económico de Guanajuato, 2003. 1-16
- Døving A. y Måge F. 2002. Methods of testing strawberry fruit firmness. *Acta Agriculturae Scandinavica: Section B Soil & Plant Science* 52:43-51
- Dunn J. y Able A. 2006. Pre-harvest calcium effects on sensory quality and calcium mobility in strawberry fruit. *Acta Horticulturae* 708: 307-312.
- Dybing D. y Currier H. 1961. Foliar penetration by chemicals. *Plant Physiology*. 36 (2): 169-174.
- Eaves C. A. y Leefe J.S. 1962. Note on the influence of Calcium on the firmness of Strawberries. *Canadian J. Plant Sci.* 42:746-747
- Esau K. 1985. Anatomía vegetal. Ed. Omega. 3a ed. España. P 33-66, 147-153
- Esmel C. E., Duval J. R. y Sargent S. A. (2006). The influence of Calcium Thiosulfate on Yield and Postharvest Quality, of "Sweet Charlie" Strawberry. *J. Sci. Food Agric.* 86: 180-190
- Fick R., McDowell L., Miles P., Wilkinson N., Funk J., Conred J. 1979. *Métodos de Análisis de Minerales para Tejidos de Plantas y Animales*. Gainesville, Florida, EE.UU, Departamento de Ciencia Animal, Universidad de Florida 35 p.
- Fiola A y Shaffner D. 1992. Foliar preharvest calcium treatment influence on yield and quality attributes of strawberry. *Hort Science* 27: 490-500
- Francis F. J. 1980. Color quality evaluation of horticultural crops. *HortScience* 15:58-59

- Foy C. 1964. Review of herbicide penetration through plant surfaces. Foliar penetration vol. 12 (5): 473.
- Goodwin M. y Merce E. 1983. Introduction to plant biochemistry. Pergamon Press Ltd., London
- Gunning B., Steer M. 1975. Ultrastructure and the biology of plant cell. Ed. Edward Arnold. London, UK.
- Hancock J. 1999. Strawberries. Ed. CABI Publishing. U. S. A. 256p
- Huber D.J. 1984. Strawberry fruit softening: the potential roles of polyuronides and hemicelluloses. J Food Sci 49: 1310-1315
- Jensen W.A. 1977. La célula vegetal. Ed. Herrero Hermanos Sucesores S. A. p 10-11
- Kader A. A. 1982. Proper units for firmness and abscission force data. HortScience 17:707-707
- Lanauskas J., N. Uselis, A. Valiuškaitė and P. Viškelis. 2006. Effect of foliar and soil applied fertilizers on strawberry healthiness, yield and berry quality. Agronomy Research 4: 247-250.
- Lara I., García P. y Vendrell M. 2004. Modification in cell wall composition after cold storage of fruit- treated strawberry (*Fragaria x ananassa* Duch.) fruit. Postharvest Biology and Technology 34: 331-339.
- Lara M. 2009. Niveles de radiación, fisiología, crecimiento y productividad em fresas cultivadas bajo macrotúneles plásticos. Tesis Maestria. Colegio de Postgraduados, Montecillos, Texcoco, Edo. De México, Mexico.

- Makus D. y Morris J. 1994. Effect of pre-harvest calcium applications on firmness, decay, and mineral distribution in strawberry fruit. HortScience 29: 427-581.
- Matínez M., Nieto D., Téliz D., Rodríguez J., Martínez Ma. T., Vaquera H. y Carillo O. 2008. Comparación cualitativa de fresas (*Fragaria ananassa* Duch.) de cultivares mexicanos y estadounidenses. Revista Chapingo Serie Horticultura 14(2): 113-119
- Mauseth J. 1988. Plant anatomy. Ed. Benjamin Cummings. Texas, U. S. A. p 35-38, 174-178
- Mendoza-Wilson A. M. R. Báez- Sañudo. 2000. Medición de la tasa respiratoria por sistema cerrado en melón cantaloupe. Horticultura Mexicana. 8(2): 158,163.
- Mitchman B. 1996. Quality assurance for strawberries: a case study. Publ. 85. Perishable Handling Newsletter. Department of Pomology, University of California, Davis, CA, 3p
- Mitchman E., Crisosto C. y Kader A. 2002. Department of Pomology, University of California, Davis, CA. Última consulta, 27 de Marzo, 2010, en:<http://postharvest.ucdavis.edu/Produce/ProduceFacts/Espanol/Fresa.shtml>
- Mitchman E. y Gordon F. 2007. Sistemas de manejo postcosecha: frutas pequeñas, fresas y frutas de arbusto. En: Tecnología Postcosecha de Productos Hortofrutícolas. Kader A. Universidad de California. E. U. A.

- Miura H., Yoshida M. y Yamasaki A. (1993) Effect of light intensity on growth and ripening of strawberry fruit. *Acta Horticulturae* 348
- Nishizawa, T., Kondo, Y., Nagasawa, S., Retamales, J.B., Lavin, A. y Motomura, Y. 2003. Storability and its relationship with the anatomy of epidermal tissues of ripe Chilean strawberry (*Fragaria chiloensis*) fruit. *Acta Hort. (ISHS)* 626:347-352
- Nogata Y., Ohta H. y Voragen AGV. 1993. Polygalacturonase in strawberry fruit. *Phytochemistry* 34:617-620
- Nunes C., Brecht J., Morais A. y Sargent S. 1995. Physical and chemical quality characteristics of strawberries after storage and reduced by a short delay to cooling. *Postharvest Biology and Technology*. 6 (1-2):17-28.
- Nunes C., Brecht J., Morais A. y Sargent S. 2006. Physicochemical changes during strawberry development in the field compared with those that occur in harvest fruit during storage. *J Sci Food Agric* 86: 180-190.
- Olías J. M., Sanz C. y Pérez A. 1995. Acondicionamiento post-recolección del fresón de Huelva para consume en fresco. Ed. Caja Rural de Huelva, España.
- Osman A. y Dood P. 1992. Changes in some physical and chemical characteristics of strawberry (*Fragaria x ananassa* Duchesne) cv. Ostara under different shading levels. *Acta Hort* 292:195-218.
- Pelayo C., Ebeler S. y Kader A. 2003. Postharvest life and flavor quality of three strawberry cultivars kept at 5 °C in air or air+20kPa CO₂. *Postharvest Biology and Technology* 27: 171-183

- Pérez A. y Sanz C. 2007. Techniques for postharvest handling, storage and transport of fruit. En: The strawberry crop at Huelva. Junta de Andalucía. España. 219-244.
- Poincelot R., 1980. Horticulture: Principles and practical applications. Ed. Prentice Hall. New Jersey. Pp 135-137
- Poovaiah B. W. 1985. Role of calcium and calmodulin in plant growth and development. Hort Science 20: 347-352
- Renquist S. 2006. An evaluation of blueberry cultivars grown in plastic tunnels in Douglas County, Oregon. International Journal of Fruit Science 4: 31
- Rodríguez N. 1999. Adyuvantes. Colegio de Ingenieros Agrónomos de La Pampa. De internet: www.cialp.org.ar/informacion/apuntes/apunte03.htm. última consulta: 16 de Junio de 2009
- Rosenthal A. J. 1999. Food Texture Measurement and Perception. Aspen Publishers. Maryland, E. U. A.
- Russel G. 1993. Absorbed radiation and crop growth. Crop Structure and light microclimate, characterization and applications. INRA editors. París, Francia. 518 p
- Sacks E. y Shaw D. 1993. Color change in fresh strawberry fruit of seven genotypes stored at 0 °C. HortScience. 28 (3): 209-210
- Salisbury F y Ross. 1994. Fisiología vegetal. Ed. Iberoamericana. 7ª ed. México. 759 p.
- SIAP-SAGARPA: www.siap.sagarpa.gob.mx (Última consulta 29 de Enero 2009)

- Sugaya Z, H. Gemma y S. Iwahori. 2004. The Effect of Calcium, Nitrogen and Phosphorus on Anthocyanin Synthesis in 'Fuji' Apple Callus. *Acta Hort.* 653: 209-214
- Trewavas A. J., Read N. D. y Knight M. R. 1994. Calcium measurement and dynamics during signal transduction in living plant cells. *Biochemical Mechanisms Involved in Plant Growth Regulation, Proceedings of the phytochemical society of Europe.* 26: 1329-1341
- USDA. [http://199.133.10.140/codesearchwebapp/\(wbdwlgzxoibeje55spitb3me\)/measures.aspx?id=63223020](http://199.133.10.140/codesearchwebapp/(wbdwlgzxoibeje55spitb3me)/measures.aspx?id=63223020). Última consulta: 27 de marzo de 2010.
- Vito S. Polito, Kirk D. Larson, y Katherine Pinney. 2002. Anatomical and histochemical factors associated with bronzing development in strawberry fruit. *J. Amer. Soc. Hort. Sci.* 127(3):355–357.
- Wojcik P. y Lewandowski M. 2003. Effect of Calcium and boron sprays on yield and quality of 'Elsanta' Strawberry. *J. Plant Nutrition* 26:671-682
- Yahia E. 1992. Manejo poscosecha de frutos pequeños. En: *Fisiología y tecnología poscosecha de productos hortícolas.* Yahia E. e Higuera I. Ed. Limusa. México. 183-187p