




Saltillo, Coahuila a 29 de Octubre de 2013

**Coordinación de Posgrado  
Presente**

Por este conducto nos permitimos informar a esta coordinación que, el documento de tesis preparado por **GEMA ORTIZ HERNÁNDEZ** titulado "**Efectos del acolchado plástico y la fertilización química y biológica sobre la calidad y vida de anaquel de pimiento con recubrimiento biodegradable de poliacetato de vinilo-alcohol polivinílico**" el cual fue presentado el día **24 de Octubre de 2013**, ha sido modificado de acuerdo a las observaciones, comentarios y sugerencias, realizadas por el Comité Evaluador asignado. Por tal motivo, avalamos que el documento adjunto corresponde a la versión final del documento de tesis.

Atentamente,


**SINODALES**



**Dr. Luis Ibarra Jiménez  
Presidente**



**Dr. Florentino Soriano Corral  
Secretario**



**Dr. Antonio S. Ledezma Perez  
Vocal**

**Vo. Bo. de los ASESORES**



**Dr. Antonio Cárdenas Flores**



**Dr. René Darío Peralta Rodríguez**

## TESIS CON CARACTER ABIERTO

PROGRAMA: MAESTRÍA EN CIENCIAS EN AGROPLASTICULTURA

---

AUTOR: GEMA ORTIZ HERNÁNDEZ FIRMA 

TITULO: Efectos del acolchado plástico y la fertilización química y biológica sobre la calidad y vida de anaquel de pimiento, asistida con recubrimiento biodegradable de poliacetato de vinilo-alcohol polivinílico.

ASESORES: Dr. Antonio Cárdenas Flores

FIRMA: 

Dr. René D. Peralta Rodríguez

FIRMA: 

El Centro de Investigación en Química Aplicada clasifica el presente documento de tesis como ABIERTO.

Un documento clasificado como Abierto se expone en los estantes del Centro de Información para su consulta. Dicho documento no puede ser copiado en ninguna modalidad sin autorización por escrito del Titular del Centro de Información o del Director General del CIQA.

Saltillo, Coahuila, a 24 de Octubre de 2013



Sello de la Institución

Dr. Oliverio Santiago Rodríguez Fernández  
Director General del CIQA

**CENTRO DE INVESTIGACIÓN EN QUÍMICA APLICADA**  
**Programa de Maestría en Ciencias en Agroplasticultura**

**TESIS**

**Efectos del acolchado plástico y la fertilización química y biológica sobre la  
calidad y vida de anaquel de pimiento, asistida con recubrimiento  
biodegradable de poliacetato de vinilo-alcohol polivinílico**

*Presentada por:*

**GEMA ORTIZ HERNÁNDEZ**

*Para obtener el grado de:*

**Maestro en Ciencias en Agroplasticultura**

*Asesorada por:*

**Dr. Antonio Cárdenas Flores**  
**Dr. René D. Peralta Rodríguez**

**SINODALES**

  
\_\_\_\_\_  
**Dr. Luis Ibarra Jiménez**  
**Presidente**

  
\_\_\_\_\_  
**Dr. Florentino Soriano Corral**  
**Secretario**

  
\_\_\_\_\_  
**Dr. Antonio Ledezma Pérez**  
**Vocal**

**CENTRO DE INVESTIGACIÓN EN QUÍMICA APLICADA**



**PROGRAMA DE POSGRADO EN AGROPLASTICULTURA**

**“Efectos del acolchado plástico y la fertilización química y biológica sobre la calidad y vida de anaquel de pimiento, asistida con recubrimiento biodegradable de poliacetato de vinilo-alcohol polivinílico.”**

**TESIS**

**Presentada por:**

**GEMA ORTIZ HERNÁNDEZ**

**Para obtener el grado de:**

**MAESTRO EN CIENCIAS EN AGROPLASTICULTURA**

**Saltillo, Coahuila, México.**

**Octubre del 2013.**

## **DECLARACIÓN**

Declaro que la información contenida en la Parte Experimental así como en la Parte de Resultados y Discusiones de este documento y que forman parte de las actividades de investigación y desarrollo realizadas durante el período que se me asignó para llevar a cabo mi trabajo de tesis, será propiedad del Centro de Investigación en Química Aplicada.

Saltillo, Coahuila a 24 de octubre de 2013



GEMA ORTIZ HERNÁNDEZ

Nombre y Firma

## **AGRADECIMIENTOS**

Al Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACYT), por el apoyo brindado durante la maestría que me permitió realizar el presente proyecto.

Al Centro de Investigación en Química Aplicada y cada uno de sus integrantes, por el apoyo brindado durante mi estancia en la institución.

A mis sinodales Dr. Antonio Serguei Ledezma Pérez, Dr. Florentino Soriano Corral y Dr. Luis Ibarra Jiménez por las aportaciones realizadas al presente trabajo.

A mis asesores Dr. Antonio Cárdenas Flores y Dr. René Darío Peralta Rodríguez por su tiempo y conocimientos compartidos para hacer realidad el presente trabajo de investigación.

Al Dr. Alberto Flores Olivas del Departamento de Parasitología Agrícola de la UAAAN por donar material biológico necesario para este trabajo de investigación.

Al M.C. Federico Cerda Ramírez por su apoyo en campo durante el establecimiento y desarrollo del cultivo.

A la M.C. Gladis Yakeline Cortez Mazatán por su apoyo el laboratorio para el desarrollo de los experimentos de poscosecha en CIQA

A la T.S.U. Guadalupe Pérez López del Departamento de Horticultura en la UAAAN por su apoyo en las determinaciones de color de fruto.

A la Dra. Ma. Del Rosario Abraham Juárez del Departamento de Ciencias de la Vida en la UG, Irapuato y al Dr. Víctor Olalde Portugal del Departamento de Biotecnología en el CINVESTAV, Irapuato. Gracias por el apoyo que me brindaron durante mi estancia y por contribuir al presente trabajo.

A la M.C. Gladys De Los Santos Villareal por su apoyo durante mi estancia en CIQA.

A mis compañeros y amigos de Agroplásticos y de Polímeros por brindarme su apoyo incondicional durante mi estancia en CIQA.

A mi familia por darme la fuerza y confianza necesaria para realizar mis metas.

# ÍNDICE GENERAL

<b>ÍNDICE GENERAL</b>	i
<b>ÍNDICE DE CUADROS</b>	v
<b>ÍNDICE DE FIGURAS</b>	vii
<b>1. INTRODUCCIÓN</b>	2
1.1 Cultivo	2
1.1.1 Taxonomía, Descripción Botánica y Distribución Mundial	2
1.1.2 Cultivo de Pimiento en México	3
1.1.3 Valor Comercial y Nutricional	4
1.1.4 Requerimientos Edafoclimáticos del Cultivo de Pimiento	4
1.1.4.1 Temperatura y Humedad Relativa	5
1.1.4.2 Luminosidad	5
1.1.4.3 Suelo	5
1.2 Nutrición Mineral	6
1.2.1 Nitrógeno	6
1.2.2 Fósforo	7
1.3 Uso de Biofertilizantes	7
1.3.1 Hongos Micorrízico-Arbusculares	8
1.3.2 Bacterias Promotoras del Crecimiento Vegetal	10
1.4 Uso de Acolchado Plástico	11
1.4.1 Modificación del Micro-Clima del Suelo	11
1.4.2 Modificación de la Radiación Reflejada en la Planta	12
1.5 Poscosecha	12
1.5.1 Métodos de Preservación de Frutas y Hortalizas en Poscosecha	12
1.5.1.1 Refrigeración y Alteración de la Humedad Relativa	13
1.5.1.2 Atmosferas Controladas de Almacenamiento	13
1.5.1.3 Cubiertas Comestibles	14
1.5.1.4 Cubiertas Comestibles Naturales	14
1.5.1.5 Cubiertas Comestibles Sintéticas	15
1.5.2 Procesos Fisiológicos Importantes en la Calidad de la Fruta en Poscosecha	17
1.5.2.1 Respiración y Factores que la Alteran	17
1.5.2.2 Transpiración y Estructuras de la Planta para Evitar Pérdidas de Humedad	19
1.5.3 Cambios en la Calidad Durante Poscosecha	19



1.5.3.1	Color	19
1.5.3.2	Textura	20
1.5.4	Metabolismo de la Pared Celular Durante la Maduración del Fruto	20
1.5.4.1	Pectinmetilesterasa	22
1.5.4.2	Poligalacturonasa	22
	<b>JUSTIFICACIÓN</b>	24
	<b>HIPÓTESIS</b>	24
	<b>OBJETIVO</b>	25
	<b>OBJETIVOS ESPECÍFICOS</b>	25
<b>II.</b>	<b>MATERIALES Y MÉTODOS</b>	26
2.1	Sitio Experimental	26
2.2	Material Vegetal Empleado.	26
2.3	Cultivo en Campo	26
2.3.1	Producción de Plántula	26
2.3.2	Acondicionamiento de la Parcela y Acolchado Plástico	27
2.3.3	Sistema de Riego	28
2.3.4	Marco de Plantación y Trasplante	28
2.3.5	Tutorado	28
2.4	Factores de Estudio del Cultivo	29
2.4.1	Unidad y Diseño Experimental	29
2.4.2	Fertilización	29
2.4.3	Respuestas Fisiológicas del Cultivo	29
2.4.3.1	Fotosíntesis	29
2.4.3.2	Área Foliar, Altura de Planta, Biomasa	30
2.4.4	Rendimiento Total	30
2.4.5	Calidad de los Frutos.	30
2.4.6	Análisis estadístico	31
<b>III.</b>	<b>ELABORACIÓN DE PVAc-PVA Y EVALUACIONES EN POSCOSECHA</b>	32
3.1	Preparación del Látex PVAc-PVA	32
3.2	Caracterización del Látex PVAc-PVA	32
3.2.1	Diámetro de Partícula	32
3.2.2	Espesor de la Película	33
3.2.3	Permeabilidad al Oxígeno	33
3.2.4	Permeabilidad al Vapor de Agua	33
3.3	Calidad de Poscosecha en Pimientos Variedad Orión	35



3.3.1	Establecimiento del Experimento	35
3.3.2	Sólidos Solubles Totales y pH	36
3.3.3	Ácido Ascórbico	36
3.3.4	Análisis de Pectina	37
3.3.5	Pérdida de Peso	37
3.3.6	Análisis de Fuerza a la Penetración	37
3.3.7	Color	37
3.3.8	Respiración	38
3.4	Análisis Estadístico	38
3.5	Calidad de Poscosecha en Pimientos Variedad Aristotle	38
3.5.1	Establecimiento del Experimento	38
3.5.2	Espesor del Recubrimiento en Frutos de Pimiento	39
3.5.3	Sólidos Solubles Totales y pH	39
3.5.4	Acidez Titulable	39
3.5.5	Ácido Ascórbico	40
3.5.6	Análisis de Fuerza a la Penetración	41
3.5.7	Pérdida de Peso	41
3.5.8	Color	41
3.5.9	Tasa de Respiración	41
3.5.10	Actividad de la Pectinmetilesterasa	42
3.5.11	Actividad de la Poligalacturonasa	42
3.6	Análisis Estadístico	43
<b>IV.</b>	<b>RESULTADOS Y DISCUSIÓN DE EXPERIMENTACIÓN EN CAMPO</b>	<b>44</b>
4.1	Fotosíntesis	44
4.2	Área Foliar, Altura de Planta, Biomasa	45
4.3	Rendimiento	54
4.3.1	Rendimiento del Primer Corte	54
4.3.2	Rendimiento del Segundo Corte	58
4.3.3	Rendimiento Total	61
4.4	Calidad de los Frutos	65
<b>V.</b>	<b>RESULTADOS Y DISCUSIÓN DE EXPERIMENTACIÓN POSCOSECHA</b>	<b>71</b>
5.1	Caracterización de Látex PVAc-PVA	71
5.1.1	Diámetro de Partícula	71
5.1.2	Permeabilidad al Oxígeno	71
5.1.3	Permeabilidad al vapor de agua	72

5.2	Calidad de Poscosecha en Pimientos Variedad Orión	73
5.2.1	Sólidos Solubles Totales	73
5.2.2	pH	75
5.2.3	Ácido ascórbico	80
5.2.4	Análisis de pectina	84
5.2.5	Fuerza de Penetración	85
5.2.6	Pérdida de Peso	88
5.2.7	Color	93
5.2.8	Respiración	100
5.3	Calidad de Poscosecha en Pimientos Variedad Aristotle	101
5.3.1	Espesor del recubrimiento PVAc-PVA	101
5.3.2	Sólidos Solubles Totales	102
5.3.3	pH	104
5.3.4	Acidez Titulable	105
5.3.5	Ácido Ascórbico	105
5.3.6	Pérdida de Peso	107
5.3.7	Fuerza de Penetración	109
5.3.8	Color	110
5.3.9	Actividad de la Pectinmetilesterasa	111
5.3.10	Actividad de la Poligalacturonasa.	113
5.3.11	Respiración	114
<b>VI.</b>	<b>CONCLUSIONES</b>	<b>115</b>
<b>VII.</b>	<b>BIBLIOGRAFIA</b>	<b>118</b>
<b>VIII.</b>	<b>ANEXOS</b>	<b>131</b>

## ÍNDICE DE CUADROS

<b>Cuadro 1.</b> <i>Efecto de la fertilización, uso de acolchado plástico y la variedad sobre la fotosíntesis, la conductancia estomática y la resistencia estomática en plantas de pimiento cv. Orión y Zhotero cultivadas a campo abierto.</i>	45
<b>Cuadro 2.</b> <i>Efecto de la fertilización, el uso de acolchado plástico y la variedad sobre la biomasa y el área foliar en plantas de pimiento cv. Orión y Zhotero cultivadas a campo abierto.</i>	47
<b>Cuadro 3.</b> <i>Efecto de la fertilización, uso de acolchado plástico y la variedad sobre el rendimiento en el primer corte (78 DDT) de plantas de pimiento cv. Orión y Zhotero cultivadas a campo abierto.</i>	55
<b>Cuadro 4.</b> <i>Efecto de la fertilización, uso de acolchado plástico y la variedad sobre el rendimiento en el segundo corte (89 DDT) de plantas de pimiento cv. Orión y Zhotero cultivadas a campo abierto.</i>	59
<b>Cuadro 5.</b> <i>Efecto de la fertilización, uso de acolchado plástico y la variedad sobre el rendimiento total y las pérdidas por golpe de sol y gusano del fruto en plantas de pimiento cv. Orión y Zhotero cultivadas a campo abierto.</i>	62
<b>Cuadro 6.</b> <i>Efecto de la fertilización, uso de acolchado plástico y la variedad sobre la fuerza de penetración, pH y SST en frutos de pimiento cv. Orión y Zhotero cultivados a campo abierto.</i>	66
<b>Cuadro 7.</b> <i>Efecto de las interacciones Fertilización × Acolchado, Fertilización × Variedad y Acolchado × Variedad sobre la fuerza de penetración, pH y SST en frutos de pimiento cultivados a campo abierto.</i>	68
<b>Cuadro 8.</b> <i>Efecto de la fertilización, uso de acolchado plástico y el recubrimiento PVAc-PVA sobre los sólidos solubles totales (SST) en frutos de pimiento almacenados a temperatura ambiente.</i>	74
<b>Cuadro 9.</b> <i>Efecto de la fertilización, uso de acolchado plástico y el recubrimiento PVAc-PVA sobre el pH en frutos de pimiento almacenados a temperatura ambiente.</i>	76
<b>Cuadro 10.</b> <i>Efecto de la Fertilización, Acolchado y Recubrimiento con PVAc-PVA sobre el pH de frutos de pimiento cv. Orión almacenados a temperatura ambiente.</i>	79
<b>Cuadro 11.</b> <i>Efecto de la fertilización, uso de acolchado plástico y recubrimiento PVAc-PVA sobre el contenido de ácido ascórbico de frutos de pimiento cv. Orión almacenados a temperatura ambiente.</i>	82
<b>Cuadro 12.</b> <i>Efecto de la Fertilización y Acolchado, Fertilización y Recubrimiento, Acolchado y Recubrimiento sobre el contenido de ácido ascórbico en frutos de pimiento cv. Orión almacenados a temperatura ambiente.</i>	83
<b>Cuadro 13.</b> <i>Efecto de la fertilización, uso de acolchado plástico y el recubrimiento PVAc-PVA sobre la degradación de la pectina en frutos de pimiento almacenados a temperatura ambiente.</i>	84

<b>Cuadro 14.</b> <i>Efecto de la fertilización, uso de acolchado plástico y el recubrimiento PVAc-PVA sobre la fuerza de penetración en frutos de pimiento cv. Orión almacenados a temperatura ambiente.</i>	86
<b>Cuadro 15.</b> <i>Efecto de la Fertilización, Acolchado y Acolchado, Recubrimiento sobre la pérdida de peso en frutos de pimiento cv. Orión almacenados a temperatura ambiente.</i>	92
<b>Cuadro 16.</b> <i>Efecto de la fertilización, uso de acolchado plástico y el recubrimiento PVAc-PVA sobre el color (CIE Lab) en frutos de pimiento un día después de cosecha.</i>	94
<b>Cuadro 17.</b> <i>Efecto de la fertilización, uso de acolchado plástico y el recubrimiento PVAc-PVA sobre el color (CIE Lab) en frutos de pimiento seis días después de cosecha.</i>	95
<b>Cuadro 18.</b> <i>Efecto de Fertilización y Acolchado sobre el color (CIE Lab) en frutos de pimiento cv. Orión a uno y seis días después de cosecha.</i>	97
<b>Cuadro 19.</b> <i>Efecto del Acolchado y Recubrimiento sobre el color (CIE Lab) en frutos de pimiento cv. Orión a uno y seis días después de cosecha.</i>	98
<b>Cuadro 20.</b> <i>Efecto del recubrimiento PVAc-PVA sobre el color en escala CIE Lab* en frutos de pimiento cv. Aristotle almacenados a temperatura controlada (5 °C).</i>	111

## ÍNDICE DE FIGURAS

- Figura 1.** *Arbúsculo (A) y vesículas (B) de HMA en raíces de palma de aceite colonizadas. Tomado de Peterson et al., 2004.* 9
- Figura 2.** *Esquema de la pared celular vegetal.* 21
- Figura 3.** *Cultivo de pimiento a campo abierto un día después de trasplante.* 28
- Figura 4.** *Diagrama de la escala de color (CIE) L a b: a=verde-rojo, b=azul-amarillo, L=luminosidad.* 31
- Figura 5.** *Pimiento cv. Orión en almacenamiento a temperatura ambiente.* 36
- Figura 6.** *Efecto de la fertilización sobre la altura de planta (A), área foliar (B) y biomasa (C) en plantas de pimiento cultivadas a campo abierto. Promedios de lecturas realizadas a los 45 DDT. Fertilización: 100 %= convencional NP, 50 %= 50 % del NP convencional + biofertilizantes. Las barras representan el error típico (n=36). Columnas con la misma letra, son estadísticamente iguales según la prueba Tukey ( $P \leq 0.05$ ).* 46
- Figura 7.** *Efecto de interacción Variedad x Fertilización sobre la altura de planta (A), área foliar (B) y biomasa (C) en plantas de pimiento cultivadas a campo abierto. Promedios de lecturas realizadas a los 45 DDT. Variedad: O= Orión, Z= Zhotero. Fertilización: 100 %= convencional NP, 50 %= 50 % de NP convencional + biofertilizantes. Las barras representan el error típico (n=18). Columnas con la misma letra, son estadísticamente iguales en base a la prueba Tukey ( $P \leq 0.05$ ).* 49
- Figura 8.** *Efecto de interacción Variedad x Acolchado sobre la altura de planta (A), área foliar (B) y biomasa (C) en plantas de pimiento cultivadas a campo abierto. Promedios de lecturas realizadas a los 45 DDT. Variedad: O= Orión, Z= Zhotero. Acolchado plástico: N=negro, BN=blanco/negro, D=desnudo. Las barras representan el error típico (n=18). Columnas con la misma letra, son estadísticamente iguales en base a la prueba Tukey ( $P \leq 0.05$ ).* 50
- Figura 9.** *Efecto de interacción Fertilización x Acolchado sobre la altura de planta (A), área foliar (B) y biomasa (C) en plantas de pimiento cultivadas a campo abierto. Promedios de lecturas realizadas a los 45 DDT. Fertilización: 100 %= convencional NP, 50 %= 50 % de NP convencional + biofertilizantes. Acolchado plástico: N=negro, BN=blanco/negro, D=desnudo. Las barras representan el error típico (n=18). Columnas con la misma letra, son estadísticamente iguales en base a la prueba Tukey ( $P \leq 0.05$ ).* 51
- Figura 10.** *Efecto de interacción Variedad x Fertilización x Acolchado sobre la biomasa en peso fresco(A) y peso seco (B) en plantas de pimiento cultivadas a campo abierto. Promedios de lecturas realizadas a los 45 DDT. Fertilización: 100 %= convencional NP, 50 %= 50 % de NP convencional + biofertilizantes. Acolchado plástico: N=negro, BN=blanco/negro, D=desnudo. Las barras representan el error*

típico (n=6). Columnas con la misma letra, son estadísticamente iguales según la prueba Tukey ( $P \leq 0.05$ ). 53

**Figura 11.** Efecto de interacción Variedad x Fertilización x Acolchado sobre el área foliar en plantas de pimiento cultivadas a campo abierto. Promedios de lecturas realizadas a los 45 DDT. Fertilización: 100 %= convencional NP, 50 %= 50 % de NP convencional + biofertilizantes. Acolchado plástico: N=negro, BN=blanco/negro, D=desnudo. Las barras representan el error típico (n=6). Columnas con la misma letra, son estadísticamente iguales según la prueba Tukey ( $P \leq 0.05$ ). 53

**Figura 12.** Efecto de las interacciones Fertilización x Variedad (A), Acolchad x Variedad (B) y Fertilización x Acolchado (C) sobre el rendimiento primer de pimiento cultivado a campo abierto. Fertilización: 100 %= convencional NP, 50 %= 50 % del NP convencional + biofertilizantes. Acolchado plástico: N=negro, BN=blanco/negro, D=desnudo. Variedad: O= Orión, Z= Zhotero. Las barras representan el error típico (n=6). Columnas con la misma letra, son estadísticamente iguales según la prueba Tukey ( $P \leq 0.05$ ). 57

**Figura 13.** Efecto de las interacciones Fertilización x Variedad, Acolchad x Variedad y Fertilización x Acolchado sobre el rendimiento segundo de pimiento cultivado a campo abierto. Fertilización: 100 %= convencional NP, 50 %= 50 % del NP convencional + biofertilizantes. Acolchado plástico: N=negro, BN=blanco/negro, D=desnudo. Variedad: O= Orión, Z= Zhotero. Las barras representan el error típico (n=6). Columnas con la misma letra, son estadísticamente iguales según la prueba Tukey ( $P \leq 0.05$ ). 61

**Figura 14.** Efecto de las interacciones Fertilización x Variedad, Acolchad x Variedad y Fertilización x Acolchado sobre el rendimiento total (comprendiendo dos cortes) de pimiento cultivado a campo abierto. Fertilización: 100 %= convencional NP, 50 %= 50 % del NP convencional + biofertilizantes. Acolchado plástico: N=negro, BN=blanco/negro, D=desnudo. Variedad: O= Orión, Z= Zhotero. Las barras representan el error típico (n=6). Columnas con la misma letra, son estadísticamente iguales según la prueba Tukey ( $P \leq 0.05$ ). 64

**Figura 15.** Efecto de la interacción Fertilización x Acolchado sobre el color en frutos de pimiento cultivados a campo abierto. Fertilización: 100 %= convencional NP, 50 %= 50 % de NP convencional + biofertilizantes. Acolchado plástico: N=negro, BN=blanco/negro, D=desnudo. Barras de error típico (n=24). Columnas con la misma letra, son estadísticamente iguales según la prueba Tukey ( $P \leq 0.05$ ). 69

**Figura 16.** Efecto de la interacción Fertilización x Variedad sobre el color en frutos de pimiento cultivados a campo abierto. A) espacio de color L. B) croma ( $C^*$ ). Fertilización: 100 %= convencional NP, 50 %= 50 % de NP convencional + biofertilizantes. Variedad: O=orión, Z=zhotero. Barras de error típico (n=36). Columnas con la misma letra, son estadísticamente iguales según la prueba Tukey ( $P \leq 0.05$ ). 69

- Figura 17.** *Efecto de la interacción Acolchado × Variedad sobre el color en frutos de pimiento cultivados a campo abierto. Acolchado plástico: N=negro, BN=blanco/negro, D=desnudo. Variedad: O=orión, Z=zhotero. Barras de error típico (n=24). Columnas con la misma letra, son estadísticamente iguales según la prueba Tukey ( $P \leq 0.05$ ).* 70
- Figura 18.** *Efecto de la interacción Fertilización × Acolchado × Variedad sobre el color en frutos de pimiento cultivados a campo abierto. Fertilización: 100 %= convencional NP, 50 %= 50 % de NP convencional + biofertilizantes. Acolchado plástico: N=negro, BN=blanco/negro, D=desnudo. Variedad: O= orión, Z=zhotero. Barras de error típico (n=12). Columnas con la misma letra, son estadísticamente iguales en base a la prueba Tukey ( $P \leq 0.05$ ).* 71
- Figura 19.** *Comportamiento general de los sólidos solubles totales (SST) durante 12 días de almacenamiento a temperatura ambiente de frutos de pimiento cv. Orión. Las barras representan el error típico (n=48). Valores con la misma letra, son estadísticamente iguales según la prueba Tukey ( $P \leq 0.05$ ).* 75
- Figura 20.** *Efecto de Fertilización y Acolchado sobre el pH de frutos de pimiento cv. Orión almacenados a temperatura ambiente. A) 1 día, B) 4 días, C) 8 días y D) 12 días después de cosecha. Fertilización: 100 %= convencional de NP, 50 %= 50 % convencional de NP + biofertilizantes. Acolchado plástico: N=negro, BN=blanco/negro, D=desnudo. Las barras representan el error típico (n=8). Columnas con la misma letra, son estadísticamente iguales según la prueba Tukey ( $P \leq 0.05$ ).* 78
- Figura 21.** *Comportamiento general de pH de frutos de pimiento cv. Orión durante el periodo de almacenamiento a temperatura ambiente. Las barras representan el error típico de la media (n=48). Valores con la misma letra son estadísticamente iguales según la prueba de Tukey ( $P \leq 0.05$ ).* 79
- Figura 22.** *Comportamiento de la pectina y la fuerza de penetración al 1, 4, 8 y 12 DDC en frutos de pimiento almacenados a temperatura ambiente.* 85
- Figura 23.** *Efecto de la Fertilización y Acolchado sobre la fuerza de penetración en frutos de pimiento cv. Orión almacenados a temperatura ambiente. Las barras representan el error típico (n=8). Columnas con la misma letra, son estadísticamente iguales según la prueba Tukey ( $P \leq 0.05$ ).* 87
- Figura 24.** *Efecto de la Fertilización, Acolchado y Recubrimiento sobre la fuerza de penetración en frutos de pimiento cv. Orión almacenados a temperatura ambiente. Las barras representan el error típico (n=4). Columnas con la misma letra, son estadísticamente iguales en base a la prueba Tukey ( $P \leq 0.05$ ).* 88
- Figura 25.** *Correlación entre fuerza de corte y pérdida de peso en frutos de pimiento cv. Orión almacenados a temperatura ambiente, al 1, 4, 8 y 12 DDC.* 88



- Figura 26.** *Efecto de la fertilización sobre la pérdida de peso acumulada a los 4, 8 y 12 DDC en frutos de pimiento cultivadas a campo abierto. Fertilización: 100 %= convencional de NP, 50 %= 50 % convencional de NP + biofertilizantes. Las barras representan el error típico (n=46). Columnas con la misma letra, son estadísticamente iguales según la prueba de Tukey ( $P \leq 0.05$ ).* 89
- Figura 27.** *Efecto del recubrimiento PVAc-PVA en la pérdida de peso acumulada a los 4, 8 y 12 DDC en frutos de pimiento cv. Orión cultivadas a campo abierto. Recubrimiento: CR= frutos con recubrimiento, SR= frutos sin recubrimiento. Las barras representan el error típico (n=24). Columnas con la misma letra, son estadísticamente iguales según la prueba Tukey ( $P \leq 0.05$ ).* 90
- Figura 28.** *Efecto de la Fertilización y Recubrimiento sobre la pérdida de peso en frutos de pimiento cv. Orión almacenados a temperatura ambiente. Las barras representan el error típico (n=24). Columnas con la misma letra, son estadísticamente iguales en base a la prueba Tukey ( $P \leq 0.05$ ).* 93
- Figura 29.** *Efecto del recubrimiento PVAc-PVA sobre el color "a" (CIE Lab) en frutos de pimiento cv. Orión almacenados a temperatura ambiente. Lectura de 1 y 6 DDC de los frutos. Recubrimiento: CR= frutos con recubrimiento, SR= frutos sin recubrimiento. Las barras representan el error típico (n=90). Columnas con la misma letra, son estadísticamente iguales según la prueba Tukey ( $P \leq 0.05$ ).* 95
- Figura 30.** *Efecto del recubrimiento PVAc-PVA sobre el \*Croma (CIE Lab) en frutos de pimiento cv. Orión almacenados a temperatura ambiente. Lectura de 1 y 6 DDC de los frutos. Recubrimiento: CR= frutos con recubrimiento, SR= frutos sin recubrimiento. Las barras representan el error típico (n=90). Columnas con la misma letra, son estadísticamente iguales según la prueba Tukey ( $P \leq 0.05$ ).* 96
- Figura 31.** *Efecto del recubrimiento PVAc-PVA sobre la luminosidad (CIE Lab) en frutos de pimiento almacenados a temperatura ambiente. Lectura de 1 y 6 DDC de los frutos. Recubrimiento: CR= frutos con recubrimiento, SR= frutos sin recubrimiento. Barras de error típico (n=90). Columnas con la misma letra, son estadísticamente iguales en base a la prueba Tukey ( $P \leq 0.05$ ).* 99
- Figura 32.** *Efecto del recubrimiento PVAc-PVA sobre el color a\* (CIE Lab) en frutos de pimiento cv. Orión almacenados a temperatura ambiente. Lectura de 1 y 6 DDC de los frutos. Recubrimiento: CR= frutos con recubrimiento, SR= frutos sin recubrimiento. Las barras representan el error típico (n=90). Columnas con la misma letra, son estadísticamente iguales en base a la prueba Tukey ( $P \leq 0.05$ ).* 99
- Figura 33.** *Comportamiento de la concentración de CO<sub>2</sub> respecto al ambiente de almacenamiento a temperatura ambiente de frutos de pimiento cv. Orión respecto al tiempo en horas. Recubrimiento: CR= frutos con recubrimiento, SR= frutos sin recubrimiento. Las barras representan el error típico (n=3).* 101

- Figura 34.** *Micrografía de una sección transversal del pericarpio de fruto de pimiento cv. Aristotle, recubierto con PVAc-PVA (A) y no recubierto (B).* 102
- Figura 35.** *Efecto del recubrimiento PVAc-PVA sobre los sólidos solubles totales (SST) en frutos de pimiento cv. Aristotle almacenados a temperatura controlada (5 ° C). Recubrimiento: CR= frutos con recubrimiento, SR= frutos sin recubrimiento. Las barras representan el error típico (n=8).* 103
- Figura 36.** *Efecto del recubrimiento PVAc-PVA sobre el pH en frutos de pimiento cv. Aristotle almacenados a temperatura controlada (5 ° C). Recubrimiento: CR= frutos con recubrimiento, SR= frutos sin recubrimiento. Las barras representan el error típico (n=8).* 104
- Figura 37.** *Efecto del recubrimiento PVAc-PVA sobre el contenido de ácido ascórbico en frutos de pimiento cv. Aristotle almacenados a temperatura controlada (5 °C). Recubrimiento: CR= frutos con recubrimiento, SR= frutos sin recubrimiento. Las barras representan el error típico (n=8).* 105
- Figura 38.** *Efecto del recubrimiento PVAc-PVA sobre el contenido de ácido ascórbico en frutos de pimiento cv. Aristotle almacenados a temperatura controlada (5 °C). Recubrimiento: CR= frutos con recubrimiento, SR= frutos sin recubrimiento. Las barras representan el error típico (n=2). Columnas con la misma letra, son estadísticamente iguales según la prueba Tukey ( $P \leq 0.05$ ).* 107
- Figura 39.** *Efecto del recubrimiento PVAc-PVA sobre la pérdida de peso acumulado en frutos de pimiento cv. Aristotle almacenados a temperatura controlada (5 °C). Recubrimiento: CR= frutos con recubrimiento, SR= frutos sin recubrimiento. Las barras representan el error típico. Columnas con la misma letra, son estadísticamente iguales según la prueba Tukey ( $P \leq 0.05$ ).* 108
- Figura 40.** *Efecto del recubrimiento PVAc-PVA sobre la fuerza de penetración en frutos de pimiento cv. Aristotle almacenados a temperatura controlada (5 °C). Recubrimiento: CR= frutos con recubrimiento, SR= frutos sin recubrimiento. Las barras representan el error típico (n=89. Columnas con la misma letra, son estadísticamente iguales según la prueba Tukey ( $P \leq 0.05$ ).* 110
- Figura 41.** *Efecto del recubrimiento PVAc-PVA sobre la actividad de la pectinmetilesterasa (PME) en frutos de pimiento cv. Aristotle almacenados a temperatura controlada (5 °C). Recubrimiento: CR= frutos con recubrimiento, SR= frutos sin recubrimiento. Barras de error típico (n=4).* 112
- Figura 42.** *Efecto del recubrimiento PVAc-PVA sobre la actividad de la poligalacturonasa (PG) en frutos de pimiento cv. Aristotle almacenados a temperatura controlada (5 °C). Recubrimiento: CR= frutos con recubrimiento, SR= frutos sin recubrimiento. Las barras representan el error típico (n=4).* 114

**Figura 43.** *Efecto del recubrimiento PVAc-PVA sobre la tasa de respiración en frutos de pimiento cv. Aristotle almacenados a temperatura controlada (25 °C). Recubrimiento: CR= frutos con recubrimiento, SR= frutos sin recubrimiento.*

## RESUMEN

Se evaluó el cultivo de pimiento en campo abierto y su calidad poscosecha durante primavera-verano de 2012, en Saltillo, Coahuila. Los tratamientos en campo fueron: i) fertilización convencional (100 %) y 50 % convencional + Biofert y *Azospirillum* BS 8 (50 %), ii) acolchado plástico negro (N), blanco/negro (BN), o suelo desnudo (D) y iii) variedad Orión (O) y Zhotero (Z). En poscosecha se evaluó la variedad Orión, los tratamientos fueron: iv) frutos con recubrimiento PVAc-PVA (CR) y frutos sin recubrimiento (SR), almacenados a temperatura ambiente. Se determinó sólidos solubles totales (SST), pH, ácido ascórbico, análisis de pectina, pérdida de peso, análisis de fuerza a la penetración, color y respiración a 4, 8 y 12 días después de cosecha (DDC). Finalmente se tomaron mediciones de color del fruto uno y seis DDC mediante espectrofotometría. Los datos obtenidos de cada fecha se evaluaron mediante un ANVA trifactorial 2×3×2 (fertilización×acolchado×recubrimiento), comparando las medias empleando la prueba de Tukey ( $P\leq 0.05$ ). Adicionalmente se evaluó la variedad Aristotle, los tratamientos fueron: i) CR y SR, almacenados a temperatura controlada (5 °C). Se determinó sólidos solubles totales (SST), pH, ácido ascórbico, análisis de pectina, pérdida de peso, análisis de fuerza a la penetración, color, tasa respiración, actividad de la pectinmetilesterasa (PME), actividad de la poligalacturonasa (PG) a 5, 10, 15 y 20 DDC. Los datos obtenidos de cada fecha se evaluaron mediante un ANVA completamente al azar, comparando las medias empleando la prueba de Tukey ( $P\leq 0.05$ ). De acuerdo a los resultados la fertilización 50 % favoreció en desarrollo y producción del cultivo, el tratamiento O-50 %-BN presentó el mayor rendimiento (31.1 Ton ha<sup>-1</sup>). El acolchado plástico no tiene influencia sobre la calidad del pimiento cv. Orión. La fertilización 50 % permite obtener frutos de igual calidad y con menores pérdidas de peso comparado con los de fertilización 100 %. El recubrimiento de PVAc-PVA no compromete la calidad de los frutos y retarda la pérdida de peso en pimientos cv. Orión almacenados a temperatura ambiente. El recubrimiento PVAc-PVA marcó un efecto positivo en el almacenamiento de pimiento cv. Aristotle almacenado 5 °C en relación a SST, pH, mayor firmeza, frutos más luminosos, menor actividad PG, menor pérdida de peso y menor tasa de respiración respecto a los frutos sin recubrimiento. El almacenamiento a 5 °C permite mantener más tiempo las características iniciales de calidad del pimiento respecto a temperatura ambiente.

# 1. INTRODUCCIÓN

## 1.1 Cultivo

### 1.1.1 Taxonomía, Descripción Botánica y Distribución Mundial

La familia de las solanáceas engloba una serie de especies caracterizadas por la coincidencia floral y conocidas por su riqueza en alcaloides, entre las que destacan por su interés agrícola y farmacéutico: el chile, el pimiento, el tomate, la papa y el tabaco.

El género *Capsicum* representa a un diverso grupo de plantas, desde el pimiento dulce, hasta el chile habanero, conocido por ser el más picante de los cultivados en México (Bosland, 1996).

Todas las especies del género *Capsicum* son originarias del hemisferio Oeste, excepto *Capsicum anomalum*, que es originaria de Asia. Hoy día, en el género *Capsicum* se incluyen al menos 25 especies silvestres y 5 especies domésticas, pero esto es sólo una estimación. La taxonomía descrita para el género *Capsicum*, por encima de especie es: Reino, *Plantae*; División, *Magnoliophyta*; Clase, *Magnolipsida*; Orden, *Solanales*; Familia, *Solanaceae*; Género, *Capsicum*. Sin embargo, casi todas las variedades cultivadas se engloban dentro de la especie *Capsicum annuum* L. (Milla, 1996).

La planta de pimiento es herbácea y anual, aunque puede rebrotar y volver a producir frutos en su segundo año, si se realiza una poda de rejuvenecimiento (Serrano, 1996). El sistema radical del pimiento es profundo, está formado por una raíz principal pivotante, aunque en suelos de textura pesada tiene escaso desarrollo. Dispone asimismo, de numerosas raíces laterales que en horizontal llegan a alcanzar de 0.5 a 1 m de longitud. Cultivadas con riego por goteo, las raíces suelen crecer en los primeros 30-40 cm de profundidad. La planta se desarrolla por un tallo principal de crecimiento limitado, que ramifica en tres o cuatro ramas o tallos secundarios entre los 10 y 40 cm de altura, formando una estructura conocida con el nombre de “cruz” del pimiento. Estas ramas se vuelven a bifurcar de forma dicotómica apareciendo los tallos terciarios y así sucesivamente hasta el final de su ciclo. Los tallos son herbáceos y ligeramente lignificados. Sus hojas son simples y de tacto liso, de borde entero o apenas sinuoso en la base del limbo y glabra. Están formadas por un largo pecíolo que une la hoja con el tallo y el limbo, que es plano, delgado y de forma lanceolada. Estas, se encuentran insertadas en el tallo de forma alterna.

Las flores del pimiento son hermafroditas y alógamas y están formadas por pétalos blancos. Suelen aparecer solitarias en cada nudo del tallo, concretamente en la axila de la hoja y son más o menos pequeñas dependiendo de las variedades. Para que se produzca la floración, es necesario que la planta alcance un grado de madurez, que se consigue cuando tiene alrededor de 10 hojas (Serrano, 1996).

El fruto de pimiento se define botánicamente como una baya, constituida por un grueso y jugoso pericarpio, y un tejido placentario al que se unen las semillas, dando lugar a una estructura de superficie tersa, hueca, voluminosa, llena de aire y con forma de cápsula. Estas características del fruto, así como su tamaño, dependen de la variedad (Nuez *et al.*, 1996). Las semillas de pimiento son redondeadas y ligeramente reniformes, suelen tener 3 a 5 mm de longitud, se insertan sobre una placenta cónica de disposición central, y son de color amarillo pálido. La facultad germinativa suele durar por 3 o 4 años.

El cultivo de pimiento ha estado presente en prácticamente la totalidad de las zonas templadas y cálidas del mundo. Al respecto, en el 2007, la producción mundial de pimiento fue alrededor de 27 millones de toneladas, siendo China el mayor productor con 52 % de la participación total, seguido de países como: México (7 %), Turquía (6 %), Indonesia (4 %) y España (4 %). El país que se considera el mayor importador de pimientos es Estados Unidos (EU) (28 %) seguido de Alemania, Reino Unido, Francia, Países Bajos y Canadá, mientras que el principal exportador es México con 25 % de la exportación, seguido de los Países Bajos, España, EU e Israel (FAO, 2009).

### **1.1.2 Cultivo de Pimiento en México**

El pimiento (*Capsicum annuum L.*) es un producto agrícola importante de exportación para México el cual es destinado principalmente a Estados Unidos y Canadá. Durante el 2011 los Estados Unidos importaron pimiento valorado en más de 624 400 000 dólares, de esta cantidad México envió más de 350 300 000 dólares de pimiento (FAS, 2011).

La superficie cosechada, volumen producido y el rendimiento han ido en constante aumento durante los últimos años. Siendo que para el año 2010 México tuvo una producción de 155 785 toneladas, en una superficie sembrada de 2, 996 ha (SIACON, 2010). Cabe señalar que los rendimientos más altos en la producción de pimiento verde se han logrado principalmente por la incorporación de alta tecnología, como la

producción en invernadero con avanzados sistemas de fertirriego, así como el uso de cultivares mejorados e híbridos (SIACON, 2007).

### **1.1.3 Valor Comercial y Nutricional**

En general, el interés del consumidor por la calidad y propiedades nutritivas de los productos vegetales se ha incrementado en los últimos años (Kubota y Thomson, 2006). El pimiento es una excelente fuente de nutrimentos bioactivos como la vitamina C, provitamina A (carotenoides) y compuestos fenólicos (Ghoname *et al.*, 2009). La calidad del producto vegetal es un tema complejo, ya que deben ser consideradas diferentes características organolépticas y nutricionales (Gruda, 2005).

El incremento en la demanda de estos productos ha provocado que empresas incorporen nuevas técnicas de producción de pimiento, las cuales se van expandiendo para satisfacer a los consumidores, como es la incorporación de la tecnología en campos de producción entre ellas el acolchado plástico, la biofertilización obteniendo productos de buena calidad y de una larga duración en anaquel (Mena-Violante *et al.*, 2007; Ibarra *et al.*, 2011). Así como también el acoplamiento con técnicas de preservación de poscosecha como es el caso de las cubiertas comestibles que han sido ampliamente utilizadas en diversos alimentos tanto procesados como frescos, son ampliamente usadas para preservar la calidad y prolongar la vida útil del fruto.

La búsqueda de mercado es altamente aconsejable para los exportadores mexicanos de pimiento fresco, sobre todo al considerar la demanda notable por ésta hortaliza en los mercados extranjeros. La producción de pimiento para comercialización es un negocio en pleno crecimiento para el mercado internacional y representa una de las oportunidades de inversión rentables en México, ya que cuenta con los primeros lugares de producción después de China y de exportación de pimiento dulce verde.

### **1.1.4 Requerimientos Edafoclimáticos del Cultivo de Pimiento**

Para el desarrollo y crecimiento favorable del cultivo de pimiento así como para otros cultivos, son necesarias determinadas condiciones climáticas y edáficas durante el establecimiento las cuales se describen a continuación.



#### **1.1.4.1 Temperatura y Humedad Relativa**

La temperatura óptima para germinación es de 20 a 25 °C, siendo la mínima de 12 °C y la máxima de 40 °C. El crecimiento vegetativo es lento cuando la temperatura se encuentra en torno a 15 °C y se detiene por debajo de los 10-12 °C provocando alteraciones que dan lugar a plantas compactas y entrenudos cortos formando rosetas. La temperatura óptima es de 22 a 25 °C durante el día y de 16 a 18 °C durante la noche, temperaturas inferiores ocasionan que el ápice de los frutos cuadrados sea agudo. El cultivo es dañado por heladas a 1 °C (Serrano, 1974).

El desarrollo normal del pimiento se encuentra en el intervalo de humedad entre 60 a 70 %, por lo cual es necesario disponer de buena ventilación del invernadero. En periodo de floración y cuajado la humedad relativa optima está entre 50 y 70 %. Los valores elevados de humedad, acompañados de abundante follaje favorecen los ataques de *Botrytis* spp, *Sclerotinia* spp, y otras enfermedades-fúngicas, además dificulta la fecundación de las flores. La humedad baja provoca frutos deformes y pequeños, que junto a temperaturas elevadas originan la caída de flores e incluso frutos que inician su crecimiento (Serrano, 1996).

#### **1.1.4.2 Luminosidad**

El pimiento es una planta muy exigente en luminosidad, sobre todo en la etapa de floración (Prieto *et al.*, 2003). En condiciones de baja luminosidad, los entrenudos de los tallos del pimiento se alargan demasiado quedando muy débiles como para soportar una producción óptima, disminuye el número de flores y estas son débiles, afectando la cantidad y la calidad de la cosecha (Serrano, 1996). Si la intensidad de la radiación es muy alta, se pueden producir frutos con presencia de quemaduras del sol. El follaje abundante y vigoroso ayuda a prevenir los efectos de quemadura ocasionados por la intensa radiación.

#### **1.1.4.3 Suelo**

El cultivo de pimiento morrón se adapta a numerosos tipos de suelo, siempre que estén bien drenados, ya que es una planta muy sensible a la asfixia radical. Así, los suelos profundos, con buen drenaje, aireación y ricos en materia orgánica, son los que reúnen las mejores cualidades para el óptimo crecimiento y desarrollo de las plantas (Davies *et al.*, 2000).

El pH óptimo del suelo para el cultivo de pimiento está en el intervalo de 6.0-6.5, debido a la disponibilidad de los micronutrientes a ser absorbidos por la planta.

## **1.2 Nutrición Mineral**

La fertilización, después del riego, es el principal factor limitante de la producción hortícola, y tiene como objetivo fundamental la restitución al medio de cultivo de las cantidades de nutrientes absorbidos por las plantas (Moreno *et al.*, 2004).

El periodo de mayor demanda de N, P y K abarca desde los diez días después de floración, hasta el llenado del fruto. Las concentraciones de N, P y K son mayores en hojas, posteriormente en frutos y tallos (Jiménez *et al.*, 2001).

Epstein y Bloom (2004) mencionan que cuando la disponibilidad de los elementos químicos esenciales es insuficiente, excesiva, o están formando compuestos orgánicos, la planta no los puede absorber y se inducen trastornos en el metabolismo de las mismas, que se manifiestan en síntomas visibles sobre el desarrollo como la detención del crecimiento, hojas cloróticas o púrpuras u otras anomalías dependientes de factores como la especie o las condiciones ambientales.

### **1.2.1 Nitrógeno**

El nitrógeno (N) es el principal elemento mineral en los tejidos de la planta, representa aproximadamente el 2 % de la materia seca total y es un componente de las proteínas, ácidos nucleicos, coenzimas y numerosos productos secundarios de las plantas.

La movilidad del N en el suelo es principalmente a través de una combinación de flujo de masa y difusión (De Willigen, 1986). La fijación biológica del N<sub>2</sub> se lleva a cabo por microorganismos de vida libre y endosimbiontes. Esta conversión de gas atmosférico de N<sub>2</sub> en NH<sub>4</sub><sup>+</sup> es extremadamente importante tanto para los sistemas naturales, como para los cultivos (Vance, 2002; Vessey *et al.*, 2004).

La disponibilidad de N en las raíces de la planta es a menudo una limitación importante para el crecimiento vegetal. Sólo una pequeña fracción (0.00024 %) de N planetaria está disponible. Las plantas dependen del equilibrio entre las tasas de mineralización, nitrificación y desnitrificación. Las plantas no pueden acceder directamente a cualquier fuente de N. La limitada disponibilidad de N y la dependencia del crecimiento de los cultivos de este mineral han dado lugar a un masivo consumo de fertilizantes

nitrogenados. Una proporción cada vez mayor de este N se aplica actualmente en los países en desarrollo.

### **1.2.2 Fósforo**

El fósforo (P) es una parte integral del metabolismo energético ya que es constituyente de compuestos importantes como adenosín trifosfato (ATP), adenisín difosfato (ADP), adenisín monofosfato (AMP) y pirofosfato (PPI), que son moléculas de almacenamiento de energía química. Así, también conforman el ADN y ARN, las membranas celulares, fosfoproteínas, aminoácidos y ciertas coenzimas (Alpi y Tognoni, 1991). El fósforo está presente de 0.15 a 1.0 % del peso seco de muchos cultivos con valores de suficiencia de 0.2 a 0.4 % en hojas maduras (Jones *et al.*, 1991). Es probablemente uno de los nutrientes menos disponibles que se encuentran en la rizósfera. La fijación inorgánica y la formación de complejos orgánicos insolubles, son algunas de las razones de su baja disponibilidad en los suelos. Así, encontramos al P formando tres fracciones; una inorgánica soluble, otra inorgánica insoluble, y una fracción orgánica insoluble.

El movimiento del P en el suelo es otro factor limitante, este se realiza principalmente por difusión (0.0013-0.13 cm<sup>2</sup> anuales), y en mucha menor medida por flujo de masa. Entre los principales factores que influyen en el ritmo de difusión encontramos; la solubilidad del fósforo, el gradiente de concentración entre suelo y planta, la humedad es un factor crítico ya que la difusión se realiza en medio acuoso, el incremento de temperatura aumenta la difusión del elemento.

### **1.3 Uso de Biofertilizantes**

El exceso de fertilización química es una práctica agrícola que está provocando serios problemas ecológicos y económicos. Anualmente, el consumo de fertilizantes durante la campaña agrícola 2012-2013 fue de 3.18 millones de toneladas de fertilizantes químicos en la agricultura, de los cuales, las plantas aprovechan solo una parte, mientras que el resto se pierde debido al proceso de lixiviación, o bien queda inmovilizado en el suelo. Por otra parte, el exceso de fertilización, lejos de garantizar la productividad y la calidad de las cosechas, causa fenómenos adversos en los cultivos como el desequilibrio nutricional, inhibición del crecimiento y acumulación de nitrato.

El nitrato existe en forma natural en los suelos y aguas, y es un nutriente imprescindible para plantas y microorganismos. Sin embargo, la presencia de niveles elevados de

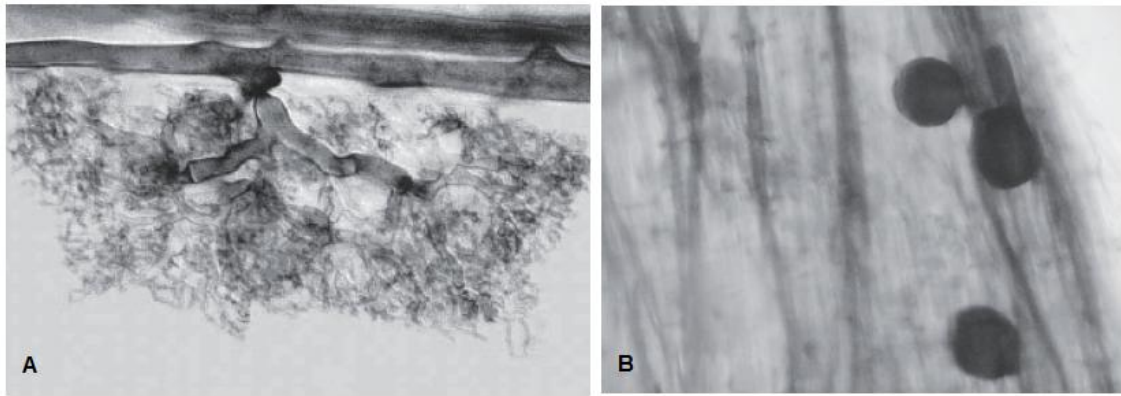
nitratos en los alimentos y el agua, pueden provocar graves repercusiones en la salud de los consumidores. La ingesta de nitratos y su posterior reducción a nitritos, causa en el organismo la conversión de la hemoglobina en metahemoglobina, lo que reduce la capacidad del organismo para captar y ceder oxígeno, problema que afecta particularmente a la población infantil (Sánchez-Echaniz *et al.*, 2001).

La agricultura convencional afecta la base de su propio futuro a través de la degradación de la tierra, la salinización, la excesiva extracción de agua y la reducción de la diversidad genética agropecuaria. Sin embargo, las consecuencias a largo plazo de estos procesos son difíciles de cuantificar.

### **1.3.1 Hongos Micorrízico-Arbusculares**

Los hongos micorrízico-arbusculares (HMA) son microorganismos del suelo que forman simbiosis con el 80 % de las plantas terrestres (Giovanetti *et al.*, 1998; Vierheilig, 2004), formando arbusculos, vesículas (en algunas especies) e hifas, dentro de las células corticales de las raíces que colonizan (Douds *et al.*, 1999) (**Figura 1**). El crecimiento del hongo de manera asimbiótica, se da entre una o dos semanas hasta que hace contacto con la raíz del hospedero, formando una estructura llamada apresorio por donde penetrarán las hifas a las células corticales de la raíz, para formar los arbusculos e incrementar el área de contacto entre la planta y el hongo (Bago *et al.*, 2000).

Se ha identificado la estrigolactona 5-deoxiestrigol en exudados de la raíz de *Lotus japonicus* como el factor responsable de la inducción de la germinación de esporas y ramificación de hifas en germinar esporas de hongos micorrízicos (Akiyama *et al.*, 2005). En la simbiosis con HMA, las plantas obtienen agua y nutrientes minerales de sus simbiosis, lo que les permite sobrevivir bajo diferentes condiciones de estrés (Paszkowski *et al.*, 2006). Los HMA son simbiosis obligados y dependen del carbono proporcionado por su planta huésped para completar su ciclo de desarrollo (Harro *et al.*, 2007). En esta asociación simbiótica entre el hongo y la planta, la planta se beneficia en la toma de nutrientes especialmente P (Requena *et al.*, 2007), aumento de la tolerancia a condiciones de estrés abiótico, mejoramiento de la calidad del suelo, fijación de N<sub>2</sub> (Barea *et al.*, 2005) y aumento en la diversidad y productividad de las plantas en un ecosistema determinado (Azcón-Aguilar *et al.*, 1997; Van Der Heijden *et al.*, 1998).



**Figura 1.** Arbúsculo (A) y vesículas (B) de HMA en raíces de palma de aceite colonizadas. Tomado de Peterson *et al.*, 2004.

Desde el punto de vista nutricional, el crecimiento de la planta debido al aumento en la absorción de P es el principal beneficio que obtiene del HMA, por la baja disponibilidad de este elemento característico en los suelos. Sin embargo, si el P no es un elemento limitante en el suelo, la simbiosis puede llegar a ser reducida o hasta inhibida si se encuentran altos niveles en el suelo (Blancof *et al.*, 1997).

La importancia de los HMA en la agricultura radica en que por su extenso micelio extra radical, se forma un vínculo entre la planta y el suelo debido a que al darse la asociación planta-hongo, las plantas micorrizadas presentan ventajas en cuanto a la absorción de nutrientes de poca movilidad como el P, con respecto a las plantas no micorrizadas, ya que en las primeras el micelio externo se extiende a una mayor distancia en el suelo que los pelos radicales de las plantas no micorrizadas (Blancof *et al.*, 1997). Augé en 2001, reportó que durante la simbiosis los HMA pueden reducir el impacto negativo del estrés hídrico en las plantas, además de la mejora en el estatus nutrimental. Al respecto se han reportado que las plantas de pimiento inoculadas con *Glomus mosseae*, bajo estrés hídrico presentaron mayor biomasa respecto al testigo (Montero *et al.*, 2010). También se ha demostrado que plantas de jitomate y chile creciendo en 22 ppm de fósforo inoculadas con HMA presentan igual vigor y contenido de fósforo que plantas con 44 ppm de fósforo (Salas-Galván, 2000). Durante otra investigación se observó que las plantas de chile guajillo inoculado con HMA tuvieron una mayor acumulación de biomasa (Mena-Violante *et al.*, 2006; Lucas, 2011), además de mejorar el tamaño y textura en frutos, comparado con las plantas no inoculadas (Mena-Violante *et al.*, 2006).

La implementación de la fertilización ecológica como una forma de agricultura ecológica sostenible, donde se utilizan abonos verdes, humus, compost, o microorganismos benéficos, como los HMA, para movilizar y reciclar nutrientes y aprovechar la fertilidad del suelo, es importante y de gran interés como una alternativa ecológica la cual promete generar mejores resultados que los obtenidos por el uso de fertilizantes convencionales.

### **1.3.2 Bacterias Promotoras del Crecimiento Vegetal**

El término PGPR (Plant Growth Promoting Rhizobacteria), se conoce desde 1978 y se acepta para describir a las bacterias que habitan en la rizósfera de las plantas y que pueden tener un efecto positivo sobre los cultivos (Dileep y Dubet, 1992). El efecto benéfico de las rizobacterias radica en diferentes mecanismos mediante las cuales ellas ejercen su acción. Las bacterias rizosféricas son capaces de producir sustancias fisiológicamente activas como: vitaminas, giberelinas, citocininas, ácido indol-acético en cantidades importantes; las cuales, mediante su acción conjunta estimulan la germinación de la semilla, aceleran el desarrollo de las plantas e incrementan el rendimiento de los cultivos (Fendrik *et al.*, 1995; Martínez *et al.*, 1997).

Ciertos géneros bacterianos, fundamentalmente los de vida libre, fijan el nitrógeno atmosférico en proporciones considerables (Martinez y Dibut, 1996).

Los géneros *Azospirillum* y *Azotobacter* producen polisacáridos extracelulares durante el crecimiento y proliferación. Estos compuestos son efectivos en la formación de agregados del suelo, lo que trae como consecuencia mejoras en el intercambio gaseoso y capacidad hídrica de los suelos (Goendi *et al.*, 1995).

Actualmente son reconocidas seis especies en el género *Azospirillum*. Las dos primeras en ser descritas fueron *A. lipoferum* y *A. brasilense* (Tarrand *et al.*, 1978), siendo éstas las más ampliamente estudiadas.

La inoculación de diversas plantas con *Azospirillum* ha mostrado que los principales sitios de colonización son las áreas de elongación celular y las bases de los pelos radicales, además la capacidad de *Azospirillum* para colonizar las raíces de las plantas es variable dependiendo de la cepa (Kapulnik *et al.*, 1985; Levanony y Bashan, 1991). Sólo algunas células de *Azospirillum* llegan a adherirse a la cofia o a los pelos radicales (Kapulnik *et al.*, 1985). Una revisión realizada por Okon y Labandera (1994) menciona

que experimentos de campo en todo el mundo indican el éxito del 60 al 70 % debido a la inoculación con *Azospirillum* con aumentos del rendimiento de 5 a 30 %, también se observó que la inoculación de los cultivos con *Azospirillum* permite reducir en 40-50 % el nivel de los fertilizantes nitrogenados sin que exista disminución en el rendimiento de la cosecha. Recientemente se ha reportado un incremento del 16 % en el rendimiento total en el cultivo de tomate cherry inoculado con *Azospirillum brasilense* y *Glomus intraradices* (Lira-Saldívar, *et al.*, 2011). En otro trabajo, Flores *et al.* (2010) reportan que la fijación biológica de nitrógeno por *Azospirillum brasilense* y *Pantoea dispersa* representa el 46 % del contenido de nitrógeno total en las plantas de Chile.

En numerosos estudios de inoculación con *Azospirillum*, además del mejor crecimiento de las plantas, fueron observados incrementos en el contenido de nitrógeno total de las plantas inoculadas respecto al testigo (O'Hara *et al.*, 1981; Smith *et al.*, 1984; Kapulnik *et al.*, 1985; Murthy y Ladha, 1988). Debido a que los efectos de la inoculación con *Azospirillum* sobre el crecimiento de la raíz y la parte aérea de las plantas son similares a los que se presentan cuando las plantas son tratadas con fitohormonas, fue sugerido que estas sustancias podrían ser responsables del mejor crecimiento de las plantas, así como de los incrementos observados en el contenido de minerales y en el rendimiento de los cultivos (O'Hara *et al.*, 1981; Smith *et al.*, 1984; Kapulnik *et al.*, 1985; Nayak *et al.*, 1986; Caballero-Mellado *et al.*, 1992; Itzigsohn *et al.*, 2000).

#### **1.4 Uso de Acolchado Plástico**

El uso de acolchado plástico ha demostrado tener múltiples beneficios en la agricultura, como incremento en los rendimientos y mayor calidad de la producción, mediante la modificación del micro-ambiente suelo-planta.

##### **1.4.1 Modificación del Micro-Clima del Suelo**

El acolchado plástico genera cambios en el microambiente de la planta y del suelo, los cuales permiten lograr un crecimiento y desarrollo del cultivo más acelerado y por consecuencia tener mayores ventajas que aquellos manejados en forma tradicional (Decoteau *et al.*, 1989). Los beneficios reportados para los cultivos desarrollados con acolchado plástico son: adelanto en las cosechas, incremento en los rendimientos y mayor calidad de la producción (Bellha, 1988; Decoteau *et al.*, 1989; Wien, 1997; Ibarra *et al.*, 2008). Estas respuestas han sido atribuidas a un incremento de la temperatura del suelo, un uso más eficiente del agua y de los fertilizantes y menor



competencia de malezas (Kasperbauer, 2000). En este sentido el acolchado plástico aumenta la temperatura y la humedad del suelo favoreciendo la mineralización del suelo, lo que genera una mayor disponibilidad de nutrientes para las plantas debido a un mejor desarrollo de los microorganismos (Zribi *et al.*, 2011). La determinación del color de acolchado plástico a usar, se ha basado en los efectos de éstos sobre la temperatura del suelo y el control de malezas. Así, el negro y transparente se utilizan para calentar más el suelo en períodos tempranos y regiones más frías; el blanco y metalizado se usan más en período de verano y regiones más cálidas para evitar un sobrecalentamiento del suelo.

#### **1.4.2 Modificación de la Radiación Reflejada en la Planta**

Actualmente se utilizan diferentes tipos de plástico para el acolchado de suelo, variando en cuanto a espesor y color, los cuales, además de tener los efectos benéficos básicos de un acolchado, también modifican la cantidad y longitud de onda de la radiación reflejada, ajustando el crecimiento y desarrollo de las plantas (Kasperbauer, 2000; Quezada-Martín *et al.*, 2011). Las plantas son sensibles a la cantidad, calidad y dirección de la luz, la cual es utilizada como una señal para optimizar su crecimiento y desarrollo en un ambiente determinado. Además de jugar un papel muy importante en la fotosíntesis, la luz está involucrada en la regulación dentro del desarrollo de la planta y en las respuestas fotomorfogénicas, fotoperiódicas y fototrópicas.

### **1.5 Poscosecha**

Durante el almacenamiento de frutas y hortalizas, se presenta el reblandecimiento, debido particularmente por la pérdida de turgencia, la degradación del almidón y las modificaciones químicas en la pared celular (Chen *et al.*, 2011), por lo que constantemente se buscan innovaciones en los métodos de producción y de conservación de los cultivos como se detalla a continuación.

#### **1.5.1 Métodos de Preservación de Frutas y Hortalizas en Poscosecha**

Muchos métodos se han utilizado para el alargamiento de la vida poscosecha de frutas y hortalizas, mediante la alteración de los procesos fisiológicos que conducen a la eventual senescencia y descomposición de los productos. Tales alteraciones incluyen el uso de la refrigeración, la alteración externa de las condiciones atmosféricas de almacenamiento y el uso de envases y recubrimientos.

### **1.5.1.1 Refrigeración y Alteración de la Humedad Relativa**

El descenso de la temperatura de almacenamiento, puede servir para reducir la velocidad de las reacciones metabólicas incluyendo la respiración y la transpiración, así como la actividad enzimática que puede deteriorar el producto. La temperatura de almacenamiento es específica para cada producto. Si las temperaturas de almacenamiento son muy bajas, puede dar lugar a daño por frío. Además, un amplio intervalo de temperaturas de almacenamiento no es recomendable, debido a que tales condiciones conducen a una rápida pérdida de peso en los productos (Salunkhe *et al.*, 1991).

La alteración de la humedad relativa (HR) de almacenamiento también puede retrasar la senescencia. Las frutas y hortalizas deben mantenerse a niveles de HR de 90-95 %. Este alto nivel de HR evita la pérdida de humedad que puede ocurrir debido al aumento en la respiración y transpiración. La pérdida de agua del 5 al 10 % en los productos da como resultado falta de turgencia, convirtiéndose en un producto no comerciable. De acuerdo con González-Aguilar y Tizado en 1993, el síntoma inicial de marchitamiento por pérdida de agua ocurre cuando los frutos han perdido el 5 % de su peso original. Sin embargo, los niveles de HR no deben superar el 95 % para no potenciar el crecimiento de microorganismos patógenos (Salunkhe *et al.*, 1991; Cantwell, 2004).

Las condiciones óptimas de almacenamiento de los frutos de pimiento, bajo las cuales se logran la máxima vida poscosecha (3-5 semanas) son: temperatura de 7.5 °C con una humedad relativa mayor al 95 % (Cantwell *et al.*, 2010).

### **1.5.1.2 Atmosferas Controladas de Almacenamiento**

Las atmosferas controladas de almacenamiento son atmosferas con diferente concentración de gases a la que existe en la atmosfera natural (Salunkhe *et al.*, 1991). Entre los gases que pueden ser alterados por la modificación de la atmosfera se encuentran el dióxido de carbono, oxígeno, monóxido de carbono, nitrógeno, etileno y vapor de agua. Sin embargo, por lo general, las atmosferas controladas de almacenamiento se refieren a una disminución del oxígeno, y un aumento de dióxido de carbono.

El almacenamiento en atmosferas controladas retarda la senescencia mediante el retraso de los procesos fisiológicos, como la respiración, producción de etileno y cambios de

textura. Disminuye la sensibilidad al etileno en frutas. Por desgracia, varios problemas están asociados con el almacenamiento en atmósfera controlada. Tales problemas incluyen patrones de maduración irregular de frutas como los plátanos, peras y tomates, debido a la baja concentración de oxígeno (Salunkhe *et al.*, 1991). Además, si las concentraciones de oxígeno no son suficientes para mantener la respiración aeróbica, la vía respiratoria de la fermentación anaeróbica puede presentarse. Sin dejar de lado los altos costos e insumos energéticos que puede generar el poner en funcionamiento el almacenamiento en atmósferas controladas.

### **1.5.1.3 Cubiertas Comestibles**

Las cubiertas comestibles han sido una alternativa utilizada en diversos alimentos tanto procesados como frescos, dichas cubiertas además de preservar la vida útil y calidad del producto pueden generar un valor agregado al dar una mejor apariencia ante el consumidor.

Las cubiertas comestibles modifican el intercambio gaseoso entre el fruto y la atmósfera en la que se encuentra, de acuerdo a la permeabilidad de estas a diferentes gases implicados en la fisiología del fruto como el CO<sub>2</sub>, O<sub>2</sub>, etileno y vapor de agua. Por ejemplo, Ball en 1997, reporta que la tasa de respiración es igual a la tasa de oxígeno que puede penetrar en la película y proporcionar al producto para la respiración aeróbica. Además, en muchas aplicaciones en alimentos, la función más importante de las películas comestibles es la reducción de la pérdida de humedad, debido a que deben mantenerse ciertos niveles de actividad del agua, ya que es un factor de suma importancia en la calidad y seguridad del alimento (Labuza y Contreras-Medellín, 1981).

### **1.5.1.4 Cubiertas Comestibles Naturales**

Hoy en día, los recubrimientos comestibles se han elaborado de varios materiales, incluidos los lípidos, proteínas, y polisacáridos. En algunos casos, dichos recubrimientos se han utilizado para retardar la pérdida de humedad durante el almacenamiento a corto plazo. Sin embargo, los polisacáridos, por ser de naturaleza hidrófila, no funcionan bien como barrera física a la humedad. La disminución de la permeabilidad al oxígeno puede ayudar a preservar ciertos alimentos, ya que la presencia de oxígeno puede acelerar la pérdida de la calidad nutritiva y sensorial de los

alimentos (Singh, 1994). Por este motivo los recubrimientos deben presentar ciertas propiedades de barrera.

Los recubrimientos comestibles también se pueden hacer de una variedad de fuentes de proteínas. Los recubrimientos de proteínas son hidrófilos y susceptibles a la absorción de la humedad, y por lo tanto la humedad relativa y la temperatura pueden afectarlos. Las fuentes de proteínas utilizadas en estos revestimientos incluyen zeína de maíz, gluten de trigo, proteína de soya, proteínas de la leche y proteínas de origen animal como el colágeno, queratina y gelatina (Gennadios y Weller, 1991). Recubrimientos a base de proteína no han sido aplicados en frutas y hortalizas debido a su limitada resistencia al vapor de agua.

Los recubrimientos a base de lípidos se han utilizado desde hace más de 800 años. Históricamente, los recubrimientos de lípidos se han usado en frutas, así como revestimiento de productos de confitería (Kester y Fennema, 1986; Hardenburg, 1967). Son utilizados principalmente por sus propiedades hidrófobas, lo que los hace buenas barreras para la pérdida de humedad. Además de la prevención de la pérdida de agua, estos recubrimientos se han utilizado para reducir la respiración, extendiendo así la vida útil, así como para mejorar la apariencia mediante la generación de una piel brillante en frutas y hortalizas.

#### **1.5.1.5 Cubiertas Comestibles Sintéticas**

Las cubiertas comestibles sintéticas han sido utilizadas principalmente en la industria farmacéutica, en alimentos tanto frescos como procesados.

Entre los materiales utilizados están los polímeros, encontrando el alcohol polivinílico (PVA) el cual es reconocido como un polímero biodegradable. Es fácilmente consumido por los microorganismos y enzimas cuando se expone al medio ambiente natural (Chiellini *et al.*, 1999; Spiridon *et al.*, 2008), además tiene múltiples usos en la preparación de materiales plásticos, en la industria textil y en la industria farmacéutica. En esta última se emplea como excipiente, como adhesivo, como formador de películas y como matriz. (Carera *et al.*, 2007). Administrado por vía oral, el PVA es relativamente inofensivo. La seguridad del PVA se basa en que la toxicidad oral de PVA es muy baja (DL 50 con un intervalo de 15-20 g kg<sup>-1</sup>), debido a que es muy pobremente absorbido en el tracto gastrointestinal, no se acumula en el cuerpo, y no es

mutagénico o clastogénico. Una evaluación crítica de la información existente sobre PVA apoya su seguridad para su uso como un agente de recubrimiento para productos farmacéuticos y suplementos dietéticos (DeMerlis y Schoneker, 2003).

El acetato de polivinilo (PVAc) es otro material polimérico de importancia comercial obtenido, principalmente, mediante polimerización en emulsión, es no tóxico, ha sido empleado en la protección de productos farmacéuticos y otros alimentos (Hagenmaier y Grohmann, 1999). Además, se conoce que el PVAc de peso molecular mínimo de 2 kDa ha sido aprobado exitosamente por el United States Food and Drug Administration (US FDA) como aditivo directo en alimentos como goma de mascar y otros relacionados. Los reportes al respecto sugieren que el PVAc no representa un riesgo para la salud humana dentro de los límites y especificaciones establecidas (Hagenmaier y Grohmann, 1999).

La polimerización en micro emulsión es el proceso para la obtención del látex de PVAc y PVA para la formación del recubrimiento. Las micro emulsiones son dispersiones de una fase líquida en forma de gotículas en otra fase de mayor cantidad, llamada fase continua. Con este proceso se pueden obtener látices con polímeros de pesos moleculares altos a velocidades de reacción elevadas y con dimensiones de diámetro de partícula nanométricas.

Para llevar a cabo una polimerización en microemulsión, se requiere de un agente tensoactivo en agua, luego se adiciona el monómero (insoluble en agua) el cual se repartirá entre las micelas formadas por el tensoactivo, quedando una pequeña cantidad solubilizado en la fase acuosa. Posteriormente, se necesita un iniciador soluble en agua, el cual empieza a descomponerse para generar radicales libres, los cuales entran a las micelas hinchadas para reaccionar con el monómero que está dentro de ellas y así iniciar la reacción de polimerización. Una vez que la reacción de polimerización inicia, a estas micelas se les denomina partículas.

Entre los tensoactivos utilizados para la polimerización en microemulsión, encontramos al dodecil sulfato de sodio (SDS) el cual presenta una toxicidad baja (DL50 de  $1.427 \text{ mg kg}^{-1}$ ) (Merck, 2010) relacionado con pequeñas cantidades necesaria para la polimerización.

Se ha reportado por Cortez (2006) y Guillen (2013), el uso de látex de PVAc y PVAc-PVA respectivamente obtenido mediante polimerización en micro emulsión, para el recubrimiento de tomate durante su almacenamiento, observando una menor tasa de

respiración, así como una menor pérdida de peso en frutos recubiertos respecto al testigo, discutiendo que los resultados obtenidos respondieron a las propiedades de barrera del recubrimiento.

La disminución de la permeabilidad al oxígeno puede ayudar a preservar ciertos alimentos, ya que la presencia de oxígeno puede acelerar la pérdida de la calidad nutritiva y sensorial de los alimentos (Singh, 1994). Las frutas y hortalizas frescas continúan respirando después de ser recolectadas y en consecuencia, cualquier empaquetado posterior debe tener en cuenta esta actividad respiratoria. Por este motivo es importante que los recubrimientos presenten ciertas propiedades de barrera a los gases implicados en el metabolismo de los alimentos. Sin embargo, la permeabilidad a los gases de un material de empaquetado depende de diversos factores como la naturaleza del gas, la estructura y espesor del material, temperatura y humedad relativa (Ospina y Cartagena, 2008).

### **1.5.2 Procesos Fisiológicos Importantes en la Calidad de la Fruta en Poscosecha**

Después de la cosecha las frutas y hortalizas frescas continúan respirando, en consecuencia existen diferentes procesos fisiológicos importantes a tomar en cuenta entre ellos la respiración, el cambio en la concentración de gases y la transpiración durante la vida de anaquel de los productos.

#### **1.5.2.1 Respiración y Factores que la Alteran**

Durante el proceso de respiración aeróbico, la planta y todos sus tejidos utilizan el oxígeno ( $O_2$ ) de la atmósfera como un aceptor terminal de electrones en la fosforilación oxidativa y liberan el dióxido de carbono ( $CO_2$ ) como subproducto. Aunque rara vez se produce el metabolismo anaeróbico, las plantas también pueden producir ATP a través de la fermentación. Sin embargo, es difícil que las plantas continúen con este proceso debido a la formación de productos metabólicos como el etanol y acetaldehído que son tóxicos para las células de la planta, por lo tanto se acelera la senescencia (Kader, 1987).

Uno de los principales efectos en los cambios en la respiración después de cosecha es la alteración de la atmósfera interna de los frutos. Además de la ruptura del equilibrio de  $O_2$  y  $CO_2$  debido a la cosecha y el daño tisular inducido, otros gases, incluyendo al etileno, cambian su dinámica dentro del fruto. La concentración de etileno se

desplomará durante un breve periodo de tiempo inmediatamente después de cosecha, sin embargo, cuando ha cerrado la herida producida por la cosecha, la concentraciones de etileno en los tejidos vuelve al estado anterior a la cosecha. La concentración de etileno antes de la cosecha no aceleró la respiración debido al efecto inhibitor de los niveles altos de CO<sub>2</sub> en la fruta antes de ser cosechada (Burg y Burg, 1965).

La respiración aeróbica en las frutas puede ser alterada por muchos factores externos tales como la temperatura, concentraciones de O<sub>2</sub> y de CO<sub>2</sub>, la concentración de etileno, y otros tipos de estrés.

La composición del gas de la atmósfera que rodea una fruta afecta la tasa de respiración. La concentración atmosférica normal de O<sub>2</sub> es 20 %, óptima para procesos respiratorios. Se requiere un mínimo de 1-3 % de O<sub>2</sub> para mantener un cierto nivel de metabolismo aeróbico. Cuando la concentración de O<sub>2</sub> cae por debajo de este nivel, las reacciones de descarboxilación se inhiben, y la planta cambia a la vía anaeróbica.

La temperatura es otro factor que influye en gran medida la tasa de respiración de frutas y hortalizas, y no es sorprendente que juegue un papel importante en el mantenimiento de la calidad poscosecha. De acuerdo con la regla de Van't Hoff la velocidad de una reacción biológica puede duplicar o incluso triplicar por cada 10 °C de aumento (Kader, 1987). A temperaturas superiores a 40 °C, la tasa global de la respiración disminuye porque la planta está cerca de su punto de muerte térmica. El punto de muerte térmica es el punto en el que se producen la desnaturalización enzimática (Kader, 1987). Las temperaturas más bajas también pueden influir negativamente en la respiración. A medida que desciende la temperatura ambiente en un producto, la tasa de respiración disminuye. Algunas frutas y hortalizas presentan sensibilidad a temperaturas más bajas y pueden sufrir daño por frío.

La relación superficie-volumen de una fruta también puede afectar la tasa de respiración. Una superficie con mayor área permite un mayor intercambio de gases y por lo tanto mejora la respiración. Además, las hortalizas o frutas con revestimientos naturales como las ceras naturales, tienen tasas de respiración más bajas que las frutas sin esas barreras protectoras (Phan *et al.*, 1975).

### **1.5.2.2 Transpiración y Estructuras de la Planta para Evitar Pérdidas de Humedad**

La transpiración es el movimiento de agua a través del tejido celular de la planta, y la evaporación de esta en la superficie de la planta. Este movimiento de agua es impulsada por el gradiente hídrico entre el tejido de la planta y el aire circundante (Ben-Yehoshua, 1987). Hasta el 90 % del agua en movimiento en la planta se puede perder a través de la transpiración. Las plantas han desarrollado tejidos especializados en la prevención de la pérdida de humedad. Las células de la superficie de las plantas, incluidas las frutas, están equipadas con una cutícula, esta funciona como una barrera hidrófoba, que proporciona resistencia al agua e intercambio gaseoso. La cutícula se compone de capas de cera y de otros lípidos secretados por las células de la epidermis.

### **1.5.3 Cambios en la Calidad Durante Poscosecha**

Diversas variaciones en la calidad de los productos pueden ser observadas después de la cosecha. Tales cambios se presentan en la textura, sabor y color. Además de cambios relacionados con el deterioro de compuestos nutraceuticos.

#### **1.5.3.1 Color**

La clorofila es la responsable del color verde en frutas y hortalizas. Los cambios en el contenido de clorofila son probablemente la alteración del color más dramática en poscosecha. La pérdida de la clorofila se ve influenciada por la luz, la temperatura, y la humedad, aunque la influencia de estos factores es diferente para diferentes tipos de tejidos vegetales. Por ejemplo, la luz puede aumentar la degradación de la clorofila en los tomates, mientras que aumenta la producción de clorofila en las papas (Martens y Baardseth, 1987). La clorofilasa cataliza la escisión de fitol de la clorofila a y b (Whitaker, 1996). Esta enzima se activa después de la cosecha por el aumento de calor producido en las materias primas después de la cosecha. Además la producción de la clorofilasa se incrementa cuando el etileno está presente, por lo tanto altos niveles de etileno son asociados con un menor contenido de clorofila (Martens y Baardseth, 1987). El pigmento verde también se puede perder por fotodegradación, que se produce cuando las moléculas de clorofila se degradan por alta incidencia de luz.

Generalmente en el proceso de maduración de los frutos, van desapareciendo las clorofilas y se van desenmascarando ciertos pigmentos carotenoides a la vez que se



sintetizan otros nuevos. En el pimiento maduro, los carotenoides mayoritarios suelen ser capsantino y capsorrubeno (Nuez *et al.*, 2003).

### 1.5.3.2 Textura

La textura de las frutas y hortalizas es proporcionada por las paredes celulares de los tejidos de la planta, como las células del parénquima, que son las partes comestibles de los vegetales. Estas células absorben agua, lo que genera una presión hidrostática, dando lugar a la textura crocante.

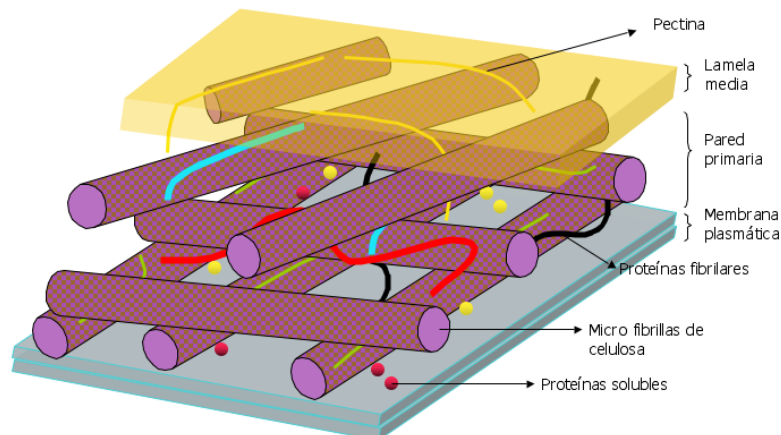
Después de la cosecha varios factores afectan a la textura de las frutas y hortalizas. En primer lugar, la presión de turgencia, y por lo tanto, la textura crocante se altera (Van Buren, 1979). En segundo lugar, las sustancias pécticas se descomponen enzimáticamente a sustancias de bajo peso molecular, esta degradación aumenta la pectina soluble en agua (Batisse *et al.*, 1994).

En poscosecha el ablandamiento del pimiento se puede atribuir a la pérdida de agua y al aumento de pectina soluble (Ben-Yehoshua, 1987). Los pimientos rojo maduro, tienen menores cantidades de pectina insoluble y altas cantidades de pectina soluble en agua en comparación con los pimientos verdes inmaduros. De todos los cambios posteriores a la cosecha en pimiento, el más significativo respecto a la textura es la pérdida de agua (Nyanjage *et al.*, 2005).

### 1.5.4 Metabolismo de la Pared Celular Durante la Maduración del Fruto

La pared celular de las plantas es una estructura que provee fuerza mecánica y rigidez a las células y actúa como una barrera contra el ataque de patógenos. Los componentes principales de la pared celular vegetal son: la celulosa, hemicelulosas, pectinas y proteínas estructurales. La celulosa es un polímero lineal formado por residuos de D-glucosa unidos por enlaces glicosídicos  $\beta$ -(1 $\rightarrow$ 4). La celulosa otorga resistencia mecánica a la pared celular vegetal (Carpita, 1987) (**Figura 2**). Las hemicelulosas constituyen un grupo heterogéneo de polisacáridos flexibles y fuertemente unidos a través de enlaces por puente de hidrógeno a la superficie de las microfibrillas de celulosa (Varner y Lin, 1989). La pectina constituye un grupo heterogéneo de polisacáridos que se caracterizan por contener azúcares ácidos, tales como ácido galacturónico, y azúcares neutros, tales como ramnosa, galactosa y arabinosa. Las pectinas son los polisacáridos más solubles de la pared celular, y pueden ser extraídas

con agua caliente, agentes quelantes o ácidos diluidos (Fischer y Bennett, 1991). Las pectinas más importantes de la pared celular vegetal son: homogalacturonanos, ramnogalacturonanos I, ramnogalacturonanos II.



**Figura 2.** Esquema de la pared celular vegetal (Carpita, 1987).

El ablandamiento de los frutos durante la maduración se puede presentar por: pérdida de la turgencia, degradación de carbohidratos de reserva como el almidón o de las paredes celulares (Jackman y Stanley, 1995). La pérdida de turgencia durante poscosecha es un proceso no fisiológico asociado a la deshidratación de los frutos. La degradación del almidón, resulta en un cambio de textura pronunciado, especialmente en aquellos frutos, como el plátano, donde la cantidad de almidón es un gran porcentaje del peso fresco del fruto (Pathak y Sanwal, 1998).

Los cambios que se presentan en la estructura de la hemicelulosa en las diferentes etapas de la maduración de los frutos, propician un incremento en la cantidad de proteína soluble de la pared celular, así como la ruptura de las cadenas de xiloglucanos y el consecuente decremento en la firmeza del fruto (Brownleader *et al.*, 1999; Rose y Bennett, 1999). Durante la maduración de los frutos como el tomate, la manzana y la pera, se presenta un incremento dramático en el contenido de las pectinas solubles en agua lo que sugiere que, además de la ruptura de los entrecruzamientos de los polímeros, existe una degradación del esqueleto de galacturónidos.

La poligalacturonasa (PG) es la primera determinante en la degradación de los poliurónidos (Giovannini *et al.*, 1989), la despolimerización de poliurónidos se inicia en la etapa media de ablandamiento en las frutas como el aguacate o el tomate, o durante el ablandamiento tardío en otras frutas, incluyendo el melón y melocotón

(Brummell y Harpster, 2001). Pero la degradación de esta no es la única responsable del ablandamiento. La degradación de xiloglucanos inicia el proceso de ablandamiento de los frutos, mientras que la degradación de las pectinas contribuye principalmente al ablandamiento hacia el final de la maduración y en los estadios sobremaduros (Wakabayashi, 2000).

En general, durante el proceso de la maduración hay una pérdida de azúcares neutros, principalmente galactosa, pero también ocurren pérdidas de arabinosa, estos dos azúcares son los principales componentes de las pectinas neutras de la pared celular. También se observan cambios en las pectinas ácidas o fracción de ramnogalacturanos de la pared celular (Fischer y Bennett, 1991; Gómez-Lim, 1999).

#### **1.5.4.1 Pectinmetilesterasa**

La pectinmetilesterasa (PME) es la enzima que cataliza la desmetilación del grupo carboxilo del C6 de residuos del ácido galacturónico. Al igual que la PG, esta enzima se encuentra asociada físicamente a la pared celular y se ha sugerido que la función de la PME es la esterificación de las pectinas de la lámina media para permitir la actividad de la PG durante la maduración de los frutos (Micheli, 2001). Este proceso facilita la despolimerización de las pectinas por enzimas hidrolíticas. Los reportes de los cambios en la actividad de esta enzima durante la maduración son frecuentemente contradictorios, ya que la actividad de PME ha sido reportada que se incrementa o que permanece constante en el plátano (Hultin y Levine, 1965; Brady, 1976), o bien que disminuye en otros frutos; como es el caso reportado para el mango (Ashraf *et al.*, 1981).

Se ha reportado que los niveles de esta enzima, normalmente son muy altos en frutos inmaduros y disminuyen hasta poco antes de la maduración. Esta correlación negativa entre los niveles de PME y el grado de maduración, es empleada por algunos investigadores como indicador del tiempo que falta para que el fruto madure. La actividad de la (PME) está presente en un amplio intervalo de órganos y tejidos, incluyendo rutas, donde pueden jugar un papel importante en la maduración (Hultin y Levine, 1965; Brady, 1976; Fischer y Bennett, 1991).

#### **1.5.4.2 Poligalacturonasa**

Las poligalacturonasas se encuentran involucradas en el desensamblaje de las pectinas de la pared celular que caracteriza distintos procesos del desarrollo de las plantas. La

actividad poligalacturonasa fue asociada a procesos tales como la abscisión de órganos (Bonghi *et al.*, 1992), dehiscencia de vainas y anteras (Meakin y Roberts, 1991), maduración del grano de polen y crecimiento del tubo polínico (Pressey y Reger, 1989; Pressey, 1991), y especialmente con la maduración de los frutos (DellaPenna *et al.*, 1987; Hadfield *et al.*, 1998; Brummell y Harpster, 2001; Asif y Nath, 2005).

Esta enzima se presenta asociada a la maduración del fruto, el sitio principal de su actividad es la laminilla media de la pared celular, tiene un pH óptimo que varía en un intervalo de 4.5-6.0. En los frutos inmaduros, prácticamente no se detecta actividad de PG, pero al aproximarse el periodo de la maduración hay un incremento sustancial y es posible detectar a la enzima y a su mRNA (Rattanapanone *et al.*, 1978; Tucker y Grierson, 1982).

Durante la maduración de los frutos, se han observado grandes cambios en la fracción péctica de la pared celular, atribuidos a la acción de las PGs que de acuerdo al sitio de la cadena en que ejercen su acción se pueden clasificar en: endopoligalacturonasas y exopoligalacturonasas, las cuales catalizan la hidrólisis de los endo y exo enlaces  $\alpha$ -(1 $\rightarrow$ 4) de las cadenas de galacturónidos, correlacionándose con un incremento en el contenido de las pectinas solubles y con el ablandamiento que sufren los frutos durante la maduración (Fischer y Bennett, 1991).

Las PGs han sido identificadas en frutos maduros, tanto en forma exo como endopoligalacturonasas y se ha sugerido que estas son parte de una cadena de enzimas responsables de la degradación de las pectinas asociadas a la maduración.

## **JUSTIFICACIÓN**

Para aumentar la calidad y prolongar el tiempo de almacenamiento del pimiento morrón, con el fin de reducir las pérdidas en poscosecha, es necesario considerar cada una de las fases del proceso de producción, a fin de analizar cuál es la respuesta de las plantas a las condiciones que se someten, con el fin de implementar el uso óptimo de insumos y el aprovechamiento máximo de los factores genéticos y ambientales. La preservación del fruto de pimiento es un factor importante al ser un producto de exportación, susceptible tanto a daños mecánicos, físicos y patogénicos, los cuales demeritan su calidad y por ende su valor económico. Las cubiertas comestibles han sido una alternativa utilizada en diversos alimentos tanto procesados como frescos, dichas cubiertas además de preservar la vida útil y calidad del producto pueden generar un valor agregado al dar una mejor apariencia ante el consumidor. Además, el uso de materiales orgánico-biológicos en la producción de hortalizas ha mostrado una mayor eficiencia de uso de fertilizantes, así como una mejora en la sanidad vegetal lo cual repercute en la calidad de los productos agrícolas. Recientemente las técnicas de plasticultura como el acolchado plástico y la cintilla de goteo han demostrado un uso más eficiente del agua y mayor producción. Aunando las técnicas anteriores podemos encontrar una mayor producción, calidad y un sistema de producción amigable con el ambiente. Es importante saber cómo intervienen las técnicas antes descritas en la producción de chile pimiento.

## **HIPÓTESIS**

Según lo expuesto anteriormente en esta investigación se propone que el uso de biofertilizantes y acolchado plástico para el cultivo de chile pimiento, puede producir frutos con mayor calidad de poscosecha que aquellos que son cultivados convencionalmente, acoplado al uso de recubrimiento de PVAc-PVA puede conservar la calidad de los frutos.

## **OBJETIVO**

Por lo tanto, el objetivo principal de este estudio fue determinar cómo afectan la biofertilización, el acolchado plástico y las películas comestibles de PVAc-PVA utilizadas en poscosecha en la calidad de los frutos de pimiento verde.

## **OBJETIVOS ESPECÍFICOS**

- Estudiar el efecto del acolchado plástico de dos colores distintos (negro y negro/blanco) sobre el desarrollo, producción y calidad de pimiento, así como sus interacciones con el tipo de fertilización y genotipo.
- Estudiar el efecto de los biofertilizantes formulados a base de *Azospirillum* sp. y hongos micorrízico-arbusculares sobre el desarrollo, producción y calidad de pimiento, así como sus interacciones con el color de acolchado plástico y genotipo.
- Estudiar efecto de las prácticas culturales aunado al efecto del recubrimiento PVAc-PVA sobre los cambios físicos y las dinámicas de los compuestos bioquímicos en el fruto del pimiento durante su almacenamiento y maduración bajo cubiertas comestibles.

## II. MATERIALES Y MÉTODOS

### 2.1 Sitio Experimental

La presente investigación se llevó a cabo en dos lugares diferentes. Durante la primera parte se cultivó y analizó la calidad poscosecha de los pimientos. Se desarrolló en el campo experimental del Centro de Investigación en Química Aplicada (CIQA) del Departamento de Plásticos en la Agricultura, localizado en el noroeste de Saltillo, Coahuila cuyas coordenadas geográficas son: 25° 27' de latitud norte y 101° 02' de latitud oeste, con una altitud de 1610 msnm. El clima para esta región es seco estepario de acuerdo con la clasificación de Köepen, y conforme a la modificación hecha por García (1988) para la República Mexicana. El experimento se realizó durante el ciclo primavera-verano del año 2012 a campo abierto. Las temperaturas máxima y mínima promedio durante el ciclo primavera-verano fueron de 34 °C y 19 °C respectivamente (SMN, 2012). El suelo del lote experimental presenta un pH de 8.4, clasificándose como un suelo alcalino, su textura es arcillo-limosa y tiene un contenido bajo de materia orgánica de 0.59 %.

En la segunda parte se analizó la calidad poscosecha de los pimientos procedentes de un cultivo comercial en invernadero. Se desarrolló en la Universidad de Guanajuato, campus Irapuato-Salamanca.

### 2.2 Material Vegetal Empleado.

Para la primera parte de la investigación se cultivaron dos variedades de pimiento morrón para campo abierto (*Capsicum annuum* L. cv. Orión y cv. Zhotero tipo california de ciclo de cultivo semi-determinado, con cambio de color en su maduración de verde a rojo de la casa comercial Enza Zaden. Como biofertilizantes se inocularon BPCV con la cepa BS 8 de *Azospirillum sp.* y HMA con el producto comercial Biofert. Por otro lado en la segunda parte se usó la variedad Aristotle tipo california de ciclo indeterminado, con cambio de color en su maduración de verde a rojo de la casa comercial Seminis, cultivado en invernadero.

### 2.3 Cultivo en Campo

#### 2.3.1 Producción de Plántula

La producción de plántula de las variedades Orión y Zhotero inició el 27 de febrero del 2012; para ello se usaron charolas de germinación de poliestireno expandido color blanco de 200 cavidades cada una, las cuales fueron previamente lavadas con agua corriente y posteriormente desinfectadas con una solución de hipoclorito de sodio comercial al 5 %, inmersas durante 15 min y posteriormente enjuagadas con agua corriente.

Para la siembra se colocó sustrato de turba en cada una de las cavidades y se introdujo una semilla de pimiento *Capsicum annuum* L. cv. Orion o cv Zhotero (Enza Zaden, USA, Holanda, Mexico) en cada una de las cavidades, a 1 cm de profundidad para posteriormente ser cubiertas con el mismo sustrato. Inicialmente se efectuaron riegos cada tercer día hasta la germinación (8 y 10 días después de siembra (DDS) para la variedad Orion y Zhotero respectivamente) usando agua corriente de pH 7.9 y conductividad eléctrica (CE) de 1.4 dS m<sup>-1</sup>. Posteriormente, los riegos se realizaron de acuerdo a las necesidades de las plántulas hasta que aparecieron las primeras hojas verdaderas, a partir de lo cual se inició con la aplicación de nutrimentos a una concentración de ½ de la solución de Hoagland (Hoagland y Arnon, 1950). Dicha concentración de los nutrimentos se incrementó gradualmente hasta el 100 % conforme aumentó la demanda de los mismos por las plántulas. Esta solución se aplicó hasta que las plántulas estuvieron listas para el trasplante, es decir 57 DDS.

El 50 % de las cavidades de cada variedad, fueron inoculadas al sustrato con *Azospirillum* sp. como biofertilizante y el 100 % de las charolas con *Bacillus subtilis* con el producto comercial Alubión® (como agente protector contra *damping off*) los 33 DDS, a una dosis de 1 l ha<sup>-1</sup>, mediante el agua de riego.

### **2.3.2 Acondicionamiento de la Parcela y Acolchado Plástico**

La parcela experimental contó con un área de 350 m<sup>2</sup>, para el acondicionamiento de la misma, se realizó un barbecho y rastreo del terreno, posteriormente se trazaron las camas manualmente de 0.80 m de ancho y a 1.80 m de distancia entre centro y centro de cama. Para fines de tratamiento se acolchó alternadamente con película plástica negra (N), co-extruida blanca/negra (B/N) y se dejó un testigo con suelo sin acolchado (D).



### 2.3.3 Sistema de Riego

El sistema de riego, fue mediante goteo, para el cual se colocó previamente al acolchado una cintilla de goteo T-Tape al centro de cada cama, con emisores separados a 0.30 m y gasto de  $1 \text{ L h}^{-1}$ . Debido a las necesidades de fertilización con N y P del experimento el riego fue fraccionado en dos sistemas independientes de distribución de agua.

### 2.3.4 Marco de Plantación y Trasplante

La plantación tuvo un arreglo de tresbolillo, con distancia entre plantas de 0.30 m considerando una densidad de plantación de  $36,666 \text{ plantas ha}^{-1}$ .

El trasplante se realizó a los 57 DDS con el suelo a capacidad de campo, cuando las plántulas presentaban una altura de 20 cm y un cepellón bien desarrollado. Las plántulas fueron colocadas en cada una de las cavidades, posteriormente fueron tapadas para evitar el efecto chimenea que se presenta en las camas con acolchado plástico (**Figura 3**).



**Figura 3.** *Cultivo de pimienta a campo abierto un día después de trasplante.*

### 2.3.5 Tutorado

Las plantas de pimienta fueron conducidas mediante un tutoreo tipo español a los 24 días después del trasplante (DDT), posteriormente se continuó con esta labor según el crecimiento del cultivo, con un espaciamiento entre hilos de 20 cm.

## **2.4 Factores de Estudio del Cultivo**

### **2.4.1 Unidad y Diseño Experimental**

El diseño fue en parcelas sub-divididas con un arreglo factorial 2x3x2, en el cual se consideraron como factores de variación, el tipo de fertilización, color de acolchado plástico y variedad de pimiento. Con 12 tratamientos y 4 repeticiones. La unidad experimental contó con 20 plantas, distribuidas en 3 m de largo (20 plantas por repetición) con el arreglo de tresbolillo mencionado anteriormente.

### **2.4.2 Fertilización**

Se evaluaron dos tipos de fertilizaciones: i) una fertilización convencional al 100 % de N y P con fertilizantes solubles para la cual se agregaron 102-74-132 durante el ciclo de cultivo y ii) una fertilización convencional al 50 % de NP (56-37-132) donde la fertilización fue complementada inoculando *Azospirillum* BS 8 y Biofert, como biofertilizantes con aplicaciones semanales durante el primer mes después de trasplante, vía riego considerando dosis de 1 L ha<sup>-1</sup>. Para el caso de los HMA, la mitad de las plantas fueron inoculadas con 1 g de producto agregado a la cavidad de trasplante previo al trasplante. En este último, tanto el resto de los macronutrientes como los micronutrientes se aplicaron convencionalmente ya sea por fertirrigación o por aspersiones foliares. La cepa BS 8 fue donada por el Laboratorio de Bioquímica Ecológica del Centro de Investigación y de Estudios Avanzados del IPN – Irapuato mientras que la muestra de Biofert fue facilitada por el Laboratorio de Fitopatología Molecular de la Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro.

### **2.4.3 Respuestas Fisiológicas del Cultivo**

#### **2.4.3.1 Fotosíntesis**

Durante el desarrollo del experimento se realizó una medición de las variables fisiológicas como: la tasa de fotosíntesis neta, la temperatura de la hoja, la conductancia estomática y la transpiración, a los 45 días después del trasplante (DDT) cuando las plantas se encontraban en etapa vegetativa a punto de entrar a floración. La medición se hizo utilizando un analizador de gases en infrarrojo LI-6200 (LI-COR, inc. Lincoln, Nebraska, EU.). Las lecturas se tomaron de 11:00 a 14:00 h (tiempo de verano) en condiciones de cielo despejado, sobre hojas jóvenes pero completamente desarrolladas y en una posición perpendicular a la radiación solar. La medición se realizó en dos plantas

por unidad experimental cuyo promedio fue tomado como el valor de cada repetición.

#### **2.4.3.2 Área Foliar, Altura de Planta, Biomasa**

Para determinar área foliar, altura de planta y biomasa, se realizó un muestreo también a los 45 DDT, tomando el vástago de dos plantas por repetición. Las plantas se seleccionaron de partes intermedias de las repeticiones donde había uniformidad de competencia y alejadas del efecto de borde. La altura se midió desde la base de la planta hasta el ápice principal. Posteriormente se registró el peso fresco de las plantas, las cuales fueron pesadas en una balanza (AL-3K, Denver Instrument). Para la determinación del área foliar, se defoliaron las plantas muestra y las hojas fueron medidas en un integrador de área foliar LI-COR 3100 (LI-COR, inc. Lincoln, Nebraska, EU). Durante la determinación de la biomasa base seca (peso seco de hojas y tallos), las muestras fueron colocadas en una estufa a una temperatura de 70 °C durante 72 h, posteriormente fueron pesadas.

#### **2.4.4 Rendimiento Total**

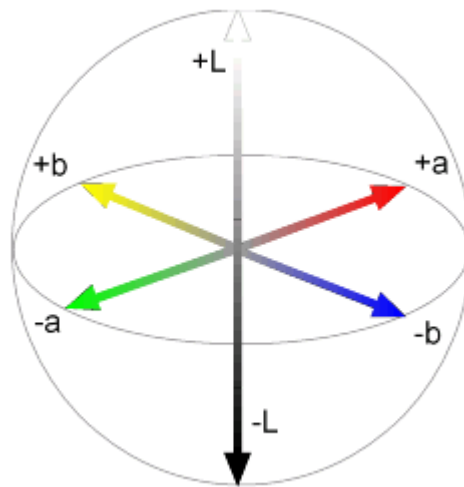
Durante la etapa productiva del cultivo, se realizaron dos cortes a los 78 y 89 DDT. Los frutos de pimiento fueron cosechados de manera manual, tomando en cuenta los parámetros de madurez, tales como el tamaño de fruto igual o mayor a los 10 cm, color verde oscuro uniforme y firmeza al tacto. Los frutos cosechados fueron pesados para obtener el rendimiento por cosecha; para determinar el rendimiento total por planta se consideró el rendimiento acumulado de las cosechas. Además, se separaron los frutos que presentaron daño por golpe de sol y daño por gusano del fruto, los cuales fueron pesados para obtener las pérdidas totales de la cosecha. El rendimiento fue calculado en kilogramos por planta y luego fue estimado en toneladas por hectárea con la siguiente fórmula:  $t\ ha^{-1} = [(kg\ planta^{-1} \times plantas\ ha^{-1}) / (1\ t\ 1000\ kg^{-1})]$ .

#### **2.4.5 Calidad de los Frutos.**

Después de la cosecha se seleccionaron cuatro frutos por tratamiento, de color uniforme y sin deformaciones que no presentarán daños aparentes, en los cuales se analizó la calidad de los pimientos de cada tratamiento, considerando cuatro repeticiones, respecto a los parámetros de calidad los sólidos solubles totales, pH, firmeza y color.

En la determinación de sólidos solubles totales (SST), se preparó una muestra homogénea del fruto, después se colocó en el prisma del refractómetro manual marca

Palm Abbe MISCO PA 2002, posteriormente se registró la lectura directa como se describe en la AOAC (1994). El pH de las muestras de fruto fue determinado según lo describe el método de la AOAC (1994). La determinación de la firmeza del fruto se realizó por punción mediante el uso de un penetrómetro manual modelo FT 011 (2-5 kg) con una punta de 0.8 mm de diámetro y un área de 0.5 mm<sup>2</sup>. El color se midió con un colorímetro Minolta CR-300, mediante la escala del sistema CIE Lab (**Figura 4**). El parámetro de croma (C\*) fue determinado mediante los parámetros a\* y b\* [ $C^* = \sqrt{a^{*2} + b^{*2}}$ ], siendo 0 el centro de la esfera de color y aumenta, según lo hace la distancia del centro. Se tomaron tres lecturas por fruto distribuidas en la parte ecuatorial cuyo promedio se consideró como el valor de cada repetición.



**Figura 4.** Diagrama de la escala de color (CIE) L a b: a=verde-rojo, b=azul-amarillo, L=luminosidad.

#### 2.4.6 Análisis estadístico

Los datos obtenidos fueron evaluados estadísticamente mediante un ANVA utilizando el software XLSTAT 2008, con un diseño factorial el cual consideraron como factores de variación a la variedad, el color del acolchado y el tipo de fertilización. La comparación de medias fue según Tukey con un nivel de significancia al 95 %. Se aplicó una prueba de normalidad para corroborar que los datos presentarán esta distribución.

### **III. ELABORACIÓN DE PVAc-PVA Y EVALUACIONES EN POSCOSECHA**

#### **3.1 Preparación del Látex PVAc-PVA**

La preparación del látex de PVAc-PVA se hizo siguiendo el procedimiento de polimerización en heterofase descrito por Alvarado (2011). Se elaboró una solución micelar en un reactor de 500 ml añadiendo 332 ml de agua destilada y filtrada; 0.8 g de persulfato de potasio como iniciador, 1.1 g de dodecil sulfato de sodio como tensoactivo y 25.4 g de PVA (BP-24, de 118 000-124 000 Da y 86-89 % de hidrolisis). Se agitó mecánicamente durante 30 minutos a 300 rpm y con circulación de agua a 25 °C por la chaqueta del reactor. Una vez disuelto el PVA, se desgasificó la solución pasando argón de ultra alta pureza durante 90 min. Por separado, se desgasificó una solución de acetato de vinilo (50 g) y de éter etílico (6 ml). Este último actúa como agente de transferencia de cadena con el fin de disminuir el peso molecular del PVAc. La desgasificación se realizó para eliminar el oxígeno y que no inhiba la reacción de polimerización. El PVA fue proporcionado por PIM México, S. A. de C. V. (Chang Chun Petrochemical Co., LTD. Taiwan) y los demás reactivos se adquirieron en Aldrich. El VAc se destiló previamente a su uso los otros reactivos se utilizaron tal y como se recibieron. Ya desgasificadas la solución micelar y la solución de acetato de vinilo (VAc) y éter etílico, esta última solución fue colocada en una jeringa GasTight® (Hamilton Company) mediante una bomba dosificadora (KD Scientific) calibrada previamente a un flujo de 0.249 ml min<sup>-1</sup>, durante cuatro horas, manteniendo la temperatura de la reacción en 60 °C, en agitación de 400 rpm y flujo de argón en la mezcla de reacción. Terminada la adición, el sistema se mantuvo durante dos horas más para agotar el monómero. Una vez terminada la reacción, se caracterizó el látex así obtenido mediante la determinación del diámetro promedio de las partículas (dispersión de luz). El látex se guardó en un frasco limpio y seco hasta su uso en el recubrimiento de los pimientos.

#### **3.2 Caracterización del Látex PVAc-PVA**

##### **3.2.1 Diámetro de Partícula**

El diámetro promedio de partícula del látex producto de la reacción descrita, y utilizado para formar las películas sobre los frutos, se determinó en un dispersor de luz cuasielástica (QLS, Malvern 4700) equipado con un láser de argón (con longitud de onda 488 nm). Las mediciones se realizaron a 25 °C y a un ángulo de incidencia del láser de

90<sup>0</sup>, con una potencia de 15 mW. Para la determinación, se dispersaron alícuotas de aproximadamente 0.1 ml de látex en 3 ml de agua desionizada y filtrada.

### **3.2.2 Espesor de la Película**

Se formaron películas de PVAc-PVA, mediante el método de *casting* (Escobar, 2009) en el cual se realizó la evaporación del solvente a temperatura y humedad ambiente durante 48 horas, posterior a la formación de las películas, se midió el grosor con un micrómetro digital (Mitutoyo modelo DI-C1121BT, Japón), con una resolución de 1  $\mu\text{m}$ . El resultado se expresó como el promedio de 15 medidas tomadas aleatoriamente en la superficie las películas que se utilizaron durante el ensayo de permeabilidad.

### **3.2.3 Permeabilidad al Oxígeno**

La permeabilidad de la película de PVAc-PVA se evaluó de acuerdo con el método ASTM D 3985. En esta prueba se ejerce una presión positiva con gas nitrógeno y una en contra con O<sub>2</sub>, para cuantificar el paso de O<sub>2</sub> mediante un sensor infrarrojo. Para la determinación se utilizó un módulo MOCN (OX-TRAN® 2/21, EU), midiendo a temperatura de 23±0.1 °C, presión barométrica de 640 mm Hg y una tasa de flujo 21.48 en ciclos de 6 horas. El grosor de la película de PVAc-PVA utilizada en este ensayo fue de 123.8 ± 15.  $\mu\text{m}$ . La prueba se realizó por duplicado.

### **3.2.4 Permeabilidad al Vapor de Agua**

La permeabilidad al vapor de agua se define como la velocidad de transmisión de vapor de agua por unidad de área del material y por unidad de diferencia de presión entre dos superficies específicas bajo determinadas condiciones de temperatura y humedad. Para la medición de la permeabilidad al vapor de agua en películas se utilizó el método gravimétrico, basado en la norma ASTM E 96. Las muestras se colocaron en tubos de ensayo de 7.5 cm de altura por 10 mm de diámetro interno, a los cuales se les introdujo cloruro de calcio (CaCl<sub>2</sub>) previamente secado a 200 °C, hasta peso constante, posteriormente se colocó la película de PVAc-PVA sobre la boca del tubo sujetándolas a presión con tapas plásticas. Luego se colocaron los tubos dentro de un desecador con una humedad relativa de 99 % y a una temperatura de 25 °C. Los cambios de peso son registrados diariamente mediante una balanza analítica hasta peso constante o hasta que el peso exceda más del 10 % del peso inicial de CaCl<sub>2</sub> utilizado en cada tubo. El grosor de la película de PVAc-PVA utilizada en este ensayo fue 0.106±0.002 mm. Los datos

fueron tratados y sustituidos en la siguiente secuencia de ecuaciones para obtener el valor de permeabilidad de las películas.

$$\Delta P = P_f - P_i \quad \text{Ec. 1}$$

Donde:

$\Delta P$  = ganancia de peso en el tubo

$P_f$  = peso del tubo tomado en un tiempo conocido (g)

$P_i$  = peso inicial del tubo en el ensayo (g)

$$\Delta P \text{ corregido} = \Delta P - \Delta P \text{ control} \quad \text{Ec. 2}$$

Donde:

$\Delta P$  corregido = aumento de peso menos el aumento del tubo testigo

$\Delta P$  = ganancia de peso en el tubo

$\Delta P$  control = aumento del tubo testigo

$$WVT = (dm / dt) \times 1/A \quad \text{Ec. 3}$$

Donde:

WVT = índice de transferencia al vapor de agua

$dm / dt$  = diferencia de masa a través del tiempo (g/h)

A = área de la película expuesta ( $m^2$ )

$$\text{Permeanza} = WVT / (P_{A1} - P_{A0}) = WVT / S (R_0 - R_1) \quad \text{Ec. 4}$$

Donde:

$P_{A1}$  = presión sobre la película, kPa

$P_{A0}$  = presión a la cual está sujeta la película al interior del tubo, kPa

S = presión de vapor de saturación a la temperatura experimental, kPa

$R_0$  = humedad relativa de la cámara

$R_1$  = humedad relativa interna del tubo de prueba

$$WVP = \text{Permeanza} \times \text{grosor} \quad \text{Ec. 5}$$

Donde:

WVP = permeabilidad al vapor de agua ( $g \text{ mm h}^{-1} m^{-2} k^{-1} Pa^{-1}$ )

### **3.3 Calidad de Poscosecha en Pimientos Variedad Orión**

Durante el análisis de calidad poscosecha únicamente se trabajó con los pimientos cv. Orión ya que esta variedad presentó el mejor rendimiento permitiendo tener frutos en números suficientes para este experimento, caso contrario de la variedad Zhotero para la cual no se realizó el análisis.

#### **3.3.1 Establecimiento del Experimento**

Los frutos de pimiento cv. Orión fueron seleccionados de acuerdo al tamaño y con las menores imperfecciones posibles, Se tomaron diez frutos por repetición, considerando cuatro repeticiones por tratamiento en campo. Durante la evaluación de la calidad durante el almacenamiento de los frutos se consideraron como variables la fertilización, el acolchado plástico y el recubrimiento PVAc-PVA; frutos con recubrimiento (CR), y frutos sin recubrimiento (SR). Para ello se hicieron muestreos cada cuatro días a los 1, 4, 8 y 12 días después de cosecha (DDC), con cuatro repeticiones.

Después de seleccionados los frutos fueron lavados con detergente líquido al 5 %. Posteriormente se recubrieron con el látex PVAc-PVA con ayuda de una brocha para cubrir toda la superficie de la epidermis del fruto. Los frutos fueron sujetados del pedúnculo para el secado del recubrimiento a temperatura ambiente. El recubrimiento y almacenamiento se realizó el mismo día de cosecha.

Posterior al secado del recubrimiento, los frutos fueron almacenados en mesas de 2.00 x 1.20 m, separados uno de otro por 2 cm aproximadamente, alternando bloques de frutos recubiertos y frutos no recubiertos (**Figura 5**). Durante su almacenamiento los frutos estuvieron expuestos en condiciones de laboratorio, sin protección a la iluminación artificial, a una temperatura mínima 22 °C y máxima 36 °C y una humedad relativa mínima 54 % y máxima 78 %.





**Figura 5.** *Pimiento cv. Orión en almacenamiento a temperatura ambiente.*

### **3.3.2 Sólidos Solubles Totales y pH**

Para la determinación de SST, se preparó una muestra homogénea del fruto, para lo cual se licuó el fruto por 2 minutos retirando semillas, nervaduras y recubrimiento en los frutos bajo este tratamiento, después se tomó una alícuota, la cual se colocó en el prisma del refractómetro manual, como se realizó en el punto 2.4.5.

El pH de las muestras de fruto fue determinado según lo describe el punto 2.4.5.

### **3.3.3 Ácido Ascórbico**

La determinación de ácido ascórbico se realizó mediante el método del 2,6-dicloroindofenol por titulación. El reactivo de Thielman fue preparado de acuerdo con la AOAC. 967.21. Se utilizó una muestra de 20 g, la cual se añadió a un matraz (100 ml) con 10 ml de HCl al 2 %, aforando con agua destilada a 100 ml. Posteriormente se filtró el contenido del matraz a través de una gasa, del filtrado se tomó una alícuota de 10 ml los cuales se titularon con el reactivo de Thielman hasta la aparición de una coloración rosa que no desapareciera durante 30 segundos y se tomó la lectura en mililitros gastados del reactivo.

Para calcular el contenido de ácido ascórbico en las muestras se realizó una curva de calibración, con una solución patrón de ácido ascórbico (**Anexo I**), según la AOAC 967.21. La concentración de la vitamina C en la muestra, se calcula según la fórmula:

$$\text{Vit. C} = \frac{V * FT * FD * 100}{P}$$

Donde:

Vit. C= vitamina C, en la muestra expresada en mg en 100g.

V= Volumen total en ml del reactivo de Thielman.

FT= Factor de Thielman, obtenido a partir de la curva de calibración

FD= Factor de dilución de la muestra.

P= Peso de la muestra en gramos.

#### **3.3.4 Análisis de Pectina**

La determinación de la pectina se realizó de acuerdo al método de la NMX-F-347-S-1980. Se utilizó una muestra de 50 g peso fresco, a la cual se le realizó una extracción mediante agua en ebullición durante 1 hora, posteriormente se filtró en papel Whatman N° 4, después se añadieron 10 ml de NaOH 1N y 25 ml de CaCl<sub>2</sub> 1N, se dejó en reposo y se filtró en caliente sobre un papel Whatman N° 41, el cual se secó a 105 °C hasta peso constante. El contenido de pectina se expresó en gramos de pectina por cada 100 gramos de fruto.

#### **3.3.5 Pérdida de Peso**

Se registró el peso de los frutos de pimiento individualmente al primer día después de la cosecha y posteriormente cada cuatro días de almacenamiento hasta el final del almacenamiento. La diferencia entre el peso inicial y el peso final de los frutos fue considerada como la pérdida de peso total durante el intervalo de almacenamiento y calculada en porcentaje con base en el peso fresco según el método estándar de AOAC (1994).

#### **3.3.6 Análisis de Fuerza a la Penetración**

La determinación de la firmeza del fruto se realizó por punción, como se describe en el punto 2.4.5.

#### **3.3.7 Color**

Determinación de color de pimientos recubiertos y no recubiertos. Se realizó mediante un colorímetro como se describe en el punto 2.4.5. Se tomaron tres lecturas por fruto, distribuidas en la parte ecuatorial del mismo.

### **3.3.8 Respiración**

Para la tasa de respiración se consideraron tres tratamientos con tres repeticiones, donde los tratamientos fueron dos diámetros de partícula del látex PVAc-PVA y frutos sin recubrimiento. Se seleccionaron tres frutos, se registró su peso y luego fueron empacados en bolsas de polietileno selladas herméticamente. Las lecturas de CO<sub>2</sub> y O<sub>2</sub> fueron tomadas con un respirómetro ((Model 902D O<sub>2</sub> / CO<sub>2</sub> Analyzer ®, Quantek Instrument, EU), se realizó una lectura inicial y posteriormente se realizaron 7 lecturas cada hora al primer día después de cosecha.

### **3.4 Análisis Estadístico**

Los datos de poscosecha que se obtuvieron fueron evaluados estadísticamente mediante un ANVA utilizando el software XLSTAT 2008, con un diseño factorial el cual considerará como factores de variación al color del acolchado, al tipo de fertilización y el recubrimiento con PVAc-PVA. La prueba de comparación de medias fue según Tukey con un nivel de significancia al 95 %. Se aplicó una prueba de normalidad para corroborar que los datos presentarán esta distribución. Se realizó una transformación de variable para los datos de pérdida de peso mediante el método de arco seno  $\sqrt{x}$ .

### **3.5 Calidad de Poscosecha en Pimientos Variedad Aristotle**

Los fruto de pimiento cv. Aristotle se obtuvieron de un invernadero comercial ubicado en la ciudad de Irapuato, Gto. Los pimientos de variedad Aristotle tienen la característica de madurar de verde inmaduro a rojo maduro al igual que la variedad Orión.

#### **3.5.1 Establecimiento del Experimento**

Los frutos de pimiento cv. Aristotle fueron seleccionados de acuerdo al tamaño de talla (aproximadamente 8×10×10 cm) y que fueran lo más homogéneos así como con las menores imperfecciones posibles. Para la evaluación de la calidad durante el almacenamiento de los frutos se consideró como variable de estudio el recubrimiento PVAc-PVA; frutos con recubrimiento (CR), y frutos sin recubrimiento (SR). Para ello se hicieron muestreos cada cinco días a los 1, 5, 10, 15 y 20 DDC, con ocho repeticiones por tratamiento.

Después de seleccionados los frutos fueron lavados con detergente líquido al 5 %. Posteriormente se recubrieron con el látex PVAc-PVA, al igual que los pimientos cv.

Orión, con ayuda de una brocha para cubrir toda la superficie de la epidermis del fruto. Los frutos fueron sujetos del pedúnculo para el secado del recubrimiento a temperatura ambiente. El recubrimiento y almacenamiento se realizó un día de después de cosecha.

Posterior al secado del recubrimiento, los frutos fueron colocados en las parrillas de la cámara de refrigeración, separados uno de otro por 2 cm aproximadamente, alternando bloques de frutos recubiertos y frutos no recubiertos; durante su almacenamiento los frutos estuvieron expuestos a condiciones de refrigeración a una temperatura constante de 5 °C.

### **3.5.2 Espesor del Recubrimiento en Frutos de Pimiento**

Se determinó el espesor de recubrimiento PVAc-PVA en frutos de pimiento, mediante un microscopio óptico con escala del ocular de 10-100  $\mu\text{m}$  para el objetivo de 10 $\times$ . Previamente al recubrimiento de los frutos se agregaron 3 gotas de colorante de fucsina ácida al 1 % y se homogenizó, después se aplicó el látex sobre la epidermis del pimiento y se dejó secar a temperatura ambiente. Posteriormente se realizaron cortes con bisturí de perfil del pericarpio, las muestras se montaron en un portaobjetos sobre una gota de agua y se observaron en el microscopio con el objetivo de 10 $\times$ . Se realizaron observaciones de 15 cortes.

### **3.5.3 Sólidos Solubles Totales y pH**

Para la determinación de SST, se preparó una muestra homogénea del fruto, para lo cual se licuó el fruto por 2 minutos retirando semillas, nervaduras y recubrimiento en los frutos bajo este tratamiento, después se tomó una alícuota, la cual se colocó en el prisma del refractómetro manual (ATAGO modelo MASTER-a 2311) posteriormente se registró la lectura directa como se describe en la AOAC (1994).

El pH de las muestras de fruto fue determinado según lo describe el método de la AOAC (1994).

### **3.5.4 Acidez Titulable**

Se tomó una alícuota de 5 ml de muestra previamente licuada y se añadieron 2 gotas de fenolftaleína como indicador. Después se realizó una titulación con NaOH 0.1 N hasta observar el vire de color. La acidez titulable es reportada como mg de ácido cítrico en

cien gramos de fruto, de acuerdo al método 22.059 de la AOAC (1994). El cálculo de acidez titulable se efectuó con la siguiente fórmula:

$$\text{Acidez (mg } 100 \text{ g}^{-1}) = (V_{\text{NaOH}}) (N_{\text{NaOH}})(\text{meq } \text{Ác. Cítrico}) * 1000 / V_{\text{muestra}} \quad \text{Ec. 7}$$

Donde:

$V_{\text{NaOH}}$  = Volumen de la solución de NaOH utilizado en ml

$N_{\text{NaOH}}$  = Normalidad de la solución de NaOH

meq Ác. Cítrico = Miliequivalentes ácido cítrico igual a 0.064

$V_{\text{muestra}}$  = Volumen de muestra en ml

### 3.5.5 Ácido Ascórbico

La determinación de ácido ascórbico, se realizó mediante el ensayo descrito por (Gillespie-Ainsworth *et al.*, 2007) utilizando ácido ascórbico (marca SIGMA®, al 99 % de pureza) como estándar. Las muestras de los tejidos de chiles (1g) fueron maceradas en mortero con nitrógeno líquido hasta obtener un polvo fino. Posteriormente se agregó 1 ml de solución extractora (**Anexo II**) y se maceró con el pistilo hasta obtener el extracto de forma líquida. El extracto fue transferido a un tubo Eppendorf de 1.5 ml y se centrifugó durante 10 min a 10,500 rpm a una temperatura de 4 °C. El sobrenadante fue extraído con una pipeta Pasteur y filtrado a través de un filtro de fibra de vidrio con poro de 0.45 µm. Posteriormente se volvió a agregar 1 ml de solvente a los tubos y se filtró nuevamente. Los extractos fueron disueltos en 500 µl de metanol (5 %) y analizados mediante cromatografía de líquidos a alta presión (HPLC) utilizando un cromatógrafo de líquidos columna capilar Zorbax SB-C8 (883975-906) 4.6 por 150 nm, tamaño de partícula 5 µm. La temperatura de la columna fue de 24 °C y se empleó una fase móvil 0.05 M de fosfato de sodio en metanol al 0.5 % a una velocidad flujo de 1 ml min<sup>-1</sup> y volumen de inyección de 20 µL. Los cromatogramas mostraron la presencia de ácido ascórbico a 245 nm.

Para calcular la concentración de ácido ascórbico presente en las muestras, se integró el área bajo los picos, y se interpoló con una curva de calibración. Se preparó una curva de calibración cuyas concentraciones cubrieron un intervalo entre 50 y 400 µg ml<sup>-1</sup> (**Anexo III**). Para cada mezcla de ácido ascórbico se calculó la pendiente de la recta, el área se utilizó como factor de conversión para obtener su concentración. Los resultados fueron

expresados como miligramos de equivalente de ácido ascórbico por 100 gramos de tejido fresco (mg ácido ascórbico 100 g<sup>-1</sup>).

### **3.5.6 Análisis de Fuerza a la Penetración**

La determinación de fuerza de penetración se obtuvo utilizando el equipo Texture Analyzer modelo TA-XT2 (New York, USA) con un accesorio de punta plana de 4 mm de diámetro. Para esta prueba se hicieron cortes de 3×3 cm de la parte ecuatorial de los frutos, los cuales fueron empleados en el ensayo. Las condiciones para esta prueba fueron: 1) velocidad de 1 mm s<sup>-1</sup>, y 2) distancia de compresión de 10 mm. Por cada tratamiento se evaluaron 8 frutos por duplicado en el mismo corte.

### **3.5.7 Pérdida de Peso**

Se registró el peso de los frutos de pimiento individualmente al primer día después de la cosecha y posteriormente cada cuatro días de almacenamiento hasta el final del experimento. La diferencia entre el peso inicial y el peso final de los frutos fue considerada como la pérdida de peso total durante el intervalo de almacenamiento y calculada en porcentaje con base en el peso fresco según el método estándar de AOAC (1994).

### **3.5.8 Color**

En esta ocasión, se utilizó un colorímetro (Hunter Lab, ColorFlex EZ, EU) calibrado antes de cada sesión de medición. Las determinaciones se hicieron siguiendo la misma metodología que para el cv. Orión cada cinco días. Las lecturas tomadas fueron reportadas en el sistema internacional de color CIE Lab. También se determinó el parámetro C\* (croma) con la fórmula descrita en la sección III, en el punto 2.4.5., siendo 0 el centro del espacio de color CIE Lab (**Figura 4**).

### **3.5.9 Tasa de Respiración**

Para la tasa de respiración se consideraron dos tratamientos con cuatro repeticiones, donde los tratamientos fueron: frutos con y sin recubrimiento PVAc-PVA almacenados en condiciones de laboratorio (25 °C). Se registró la masa de los frutos antes de ser colocados en la cámara del analizador de gases en infrarrojo LI-6200 (LI-COR, inc. Lincoln, Nebraska, EU) con el que se hizo la medición. Se realizaron cinco lecturas por triplicado de CO<sub>2</sub> cada 24 horas.

### 3.5.10 Actividad de la Pectinmetilesterasa

Se tomaron 5 g de muestra, los cuales fueron homogenizados con 25 ml de acetona grado HPLC a  $-8^{\circ}\text{C}$ , posteriormente se filtró la muestra y el residuo se lavó dos veces con 25 ml de acetona. La masa resultante fue suspendida en 25 ml del tampón de extracción (fosfatos 20 mM, NaCl 1 M, pH 7.0) y colocada en agitación a  $4^{\circ}\text{C}$  por 24 h. Terminado este tiempo las muestras se sometieron a centrifugación a 8,000 rpm durante 30 min a  $4^{\circ}\text{C}$ . El residuo sólido fue desechado y el sobrenadante se recuperó para la determinación de la actividad de pectinmetilesterasa (PME). Posteriormente se elaboró una mezcla de reacción de 25 ml, la cual contenía 2.5 ml de extracto enzimático, pectina cítrica al 1 % y NaCl 0.2 M, la mezcla fue ajustada con NaOH a pH 7.0. Se incubó a  $37^{\circ}\text{C}$  y al cabo de 10 min se detuvo la reacción enzimática por temperatura mediante un baño maría a  $90^{\circ}\text{C}$  por 10 min. La actividad de la PME fue determinada por cuantificación de los protones liberados en la hidrólisis por titulación con NaOH 0.01 M para ajustar el pH nuevamente a 7.0.

Los resultados se expresaron como UPE (unidades de pectinmetilesterasa)/ml ( $\mu\text{eq min}^{-1} \text{ml}^{-1}$ ) donde la actividad de la enzima se expresa como microequivalentes de éster hidrolizados durante el tiempo de tratamiento por mililitro de muestra.

$$UPE/mL = \left( \frac{v \times \frac{N}{1000}}{t \times a} \right) \times 10^6$$

Ec. 8

Donde:

v = volumen de la solución de NaOH usado para titular en ml

N = normalidad de la solución de NaOH usado para titular

t = tiempo de incubación en minutos

a = alícuota en ml

### 3.5.11 Actividad de la Poligalacturonasa

La actividad total de la enzima poligalacturonasa (PG) se determinó utilizando 1 g de muestra previamente congelada en nitrógeno líquido y triturada finamente. La muestra se resuspendió en tampón de acetato 0.05 M (Acetato de sodio/Ac. Acético 1:1, pH 6), y se homogenizó por agitación en vórtex durante 5 segundos. Posteriormente se

centrifugaron a 12,000 rpm durante 30 minutos a 4 °C, decantando el sobrenadante cuidadosamente para no romper la pastilla formada. Se resuspendió la pastilla en 3 ml de tampón de acetato y se centrifugó de nuevo, utilizando los mismos parámetros mencionados anteriormente. La pastilla se extrajo con 3 ml de tampón de acetato conteniendo NaCl 1 M, se homogenizó con vórtex y se dejó dializando toda la noche con una membrana de celulosa de 15 kDa. El extracto enzimático dializado se usó para la determinación de la actividad total de PG. Se utilizó ácido poligalacturónico como sustrato para la determinación de la actividad enzimática. Se tomaron 700 µL del extracto dializado y se incubaron a 37 °C con 700 µl de ácido poligalacturónico 0.3 % en tampón de acetato. Tomando muestras a las 6 horas.

La cantidad de ácido galacturónico liberado se determinó por el método de 2-cianocetamida. El cual consiste en hacer reaccionar cada muestra con 1 ml de tampón de boratos pH 8 y 300 µL de cianocetamida al 1 %. Se colocaron a baño maría por 10 minutos y se dejan enfriar a temperatura ambiente. Después se midió la absorbancia en un espectrofotómetro a 276 nm. Se realizó a su vez una curva de calibración con ácido monogalacturónico con concentraciones de 50 a 300 nM en intervalos regulares de 50 nM (**Anexo IV**).

### **3.6 Análisis Estadístico**

Los datos de poscosecha que se obtuvieron fueron evaluados estadísticamente mediante una prueba de normalidad y un ANVA utilizando el software XLSTAT 2008, con un diseño completamente al azar el cual consideró como factor de variación al recubrimiento de los frutos. Los datos de pérdida de peso fueron los únicos en no presentar una distribución normal por lo que se transformaron mediante el método de arco seno  $\sqrt{x}$ , para ser evaluados por ANVA. Las medias se compararon según la prueba de Tukey con un nivel de significancia al 95 %.



## IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN DE EXPERIMENTACIÓN EN CAMPO

### 4.1 Fotosíntesis

El tratamiento de acolchado plástico del suelo presentó diferencias significativas ( $P \leq 0.05$ ) encontrando que las plantas con mayor actividad fotosintética fueron aquellas cultivadas en suelo desnudo, el cual también presentó mayor conductancia seguido del acolchado blanco/negro, el cual fue significativamente diferente ( $P \leq 0.05$ ) a suelo desnudo e igual ( $P \geq 0.05$ ) al acolchado negro (**Cuadro 1**).

De acuerdo a lo reportado por De La Cruz (2007) hay una relación directamente proporcional entre conductancia estomática y fotosíntesis, es decir que a medida que aumenta una también lo hace la otra, debido a que la conductancia está relacionada con la asimilación del  $\text{CO}_2$ . Dicho comportamiento se observó en los resultados del presente trabajo, donde el tratamiento de suelo desnudo tuvo mayor conductancia así como mayor actividad fotosintética. Respecto al color de acolchado plástico se ha reportado en la literatura, que durante las etapas tempranas (30 DDT) la planta presenta una mayor actividad fotosintética con acolchados plásticos más reflectivos (Quezada-Martín *et al.*, 2011) como lo es el caso del acolchado blanco/negro. De acuerdo a los resultados observados en el **Cuadro 1**, las plantas en suelo desnudo presentaron una mayor actividad fotosintética, seguidas del acolchado negro en contraste de lo reportado el acolchado blanco/negro presentó la menor actividad fotosintética, posiblemente a los 45 DDT que se realizó la medición el cultivo sombreaba gran parte del acolchado perdiéndose el efecto de la luz reflejada.

De acuerdo con los resultados ambas variedades mostraron estadísticamente la misma actividad fotosintética en el cultivo a los 45 DDT. La fertilización convencional al 50 % NP + biofertilizantes, tuvo una actividad fotosintética estadísticamente similar, al tratamiento fertilización convencional al 100 %. Sin embargo este último tratamiento obtuvo una mayor conductancia (**Cuadro 1**). Este resultado puede estar relacionado con la hora de evaluación de la variable, ya que de acuerdo a lo reportado por Lira-Saldívar *et al.* (2011) las plantas de tomate cherry inoculadas con *Glomus intraradices* y *Azospirillum brasilense* alcanzaron la máxima actividad fotosintética de las 8 a 10 horas, equiparando la actividad fotosintética para el resto de las horas del día, comparadas con plantas fertilizadas inorgánicamente. Así que durante las horas de evaluación en el presente trabajo (11am a 1pm) encontramos un comportamiento similar

para actividad fotosintética entre la variable fertilización. Además las plantas fertilizadas al 50 % de NP + biofertilizantes tuvieron una menor conductancia estomática, lo cual nos sugiere que este tratamiento es competitivo, ya que puede igualar la fotosíntesis y tener una menor pérdida de agua por transpiración comparada con las plantas no inoculadas.

**Cuadro 1.** Efecto de la fertilización, uso de acolchado plástico y la variedad sobre la fotosíntesis, la conductancia estomática y la resistencia estomática en plantas de pimiento cv. Orión y Zhotero cultivadas a campo abierto.

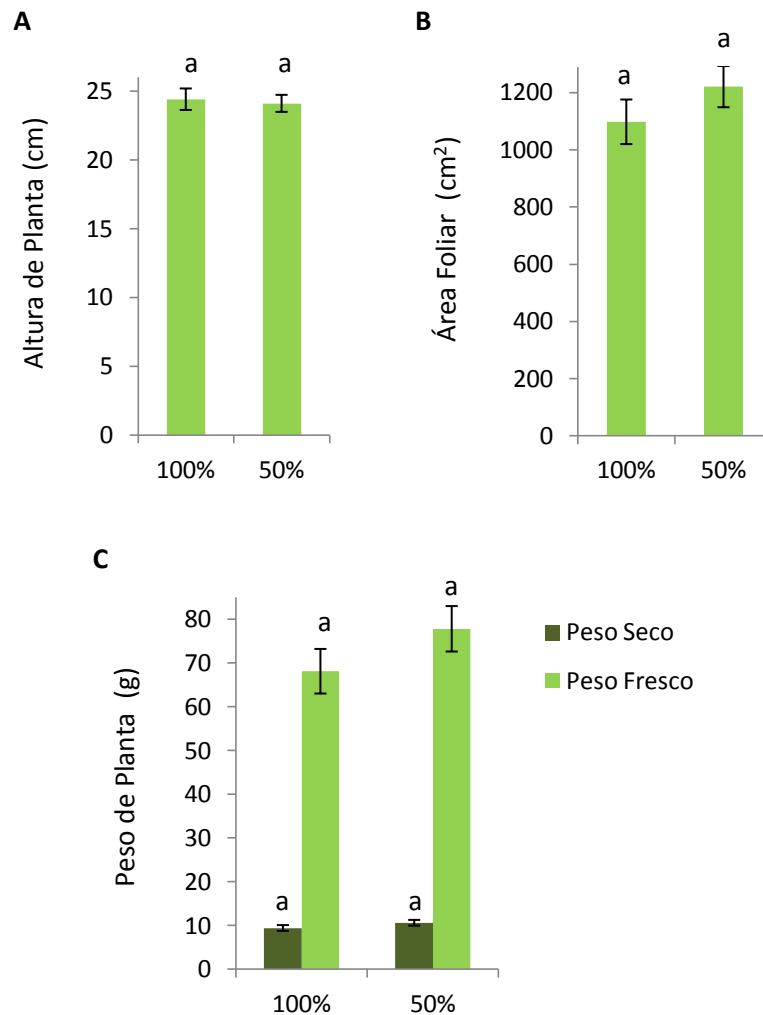
Tratamiento	Fotosíntesis ( $\mu\text{mol CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$ )	Conductancia Estomática ( $\text{cm s}^{-1}$ )
<i>Fertilización</i>		
100 %	7.77 a	4.96 a
50 %	7.73 a	2.71 b
<i>Acolchado</i>		
Negro	7.68 ab	3.84 ab
Blanco/Negro	7.26 b	3.31 b
Desnudo	8.32 a	4.36 a
<i>Variedad</i>		
Orión	7.65 a	3.81 b
Zhotero	7.86 a	3.87 b

Fertilización: 100 % = convencional NP, 50 % = 50 % del NP convencional + biofertilizantes. Promedios (n=6) de valores estimados a 45 días después de trasplante. Valores con la misma letra en columnas, son estadísticamente iguales según la prueba Tukey ( $P \leq 0.05$ ).

#### 4.2 Área Foliar, Altura de Planta, Biomasa

Los tratamientos de fertilización fueron estadísticamente iguales, respecto a las variables altura de planta, acumulación de biomasa y área foliar a los 45 DDT (**Figura 6**). Los resultados observados a los 45 DDT sugieren que una fertilización convencional al 50 % NP + biofertilizantes, tiene el potencial para igualar el crecimiento del cultivo de pimiento bajo fertilización convencional al 100 % tal como reportaron Lira-Saldívar *et al.* (2011) para cultivo de tomate cherry cultivado en casa sombra. Esto puede ser debido al efecto de promoción del crecimiento vegetal por la inoculación con *Azospirillum* como observaron Madhaiyan *et al.* (2010) con la inoculación de *Azospirillum brasilense* en Chile que presentó una mayor altura de planta y un mayor crecimiento del sistema radical el cual se tradujo en mayor superficie de absorción de nutrientes. Como menciona Vessey (2003) las BPCV promueven el crecimiento vegetal

al actuar como biofertilizantes mejorando el estatus nutricional de las plantas huésped. Por su parte durante la simbiosis los HMA pueden reducir el impacto negativo del estrés hídrico en las plantas (Augé, 2001), además de la mejora en el estatus nutricional. Al respecto se ha reportado una mayor acumulación de biomasa en chile guajillo inoculado con HMA (Mena-Violante *et al.*, 2006; Lucas, 2011). También se han reportado que las plantas de pimiento inoculadas con *Glomus mosseae*, bajo estrés hídrico presentaron mayor biomasa respecto al testigo (Montero *et al.*, 2010).



**Figura 6.** Efecto de la fertilización sobre la altura de planta (A), área foliar (B) y biomasa (C) en plantas de pimiento cultivadas a campo abierto. Promedios de lecturas realizadas a los 45 DDT. Fertilización: 100 %= convencional NP, 50 %= 50 % del NP convencional + biofertilizantes. Las barras representan el error típico ( $n=36$ ). Columnas con la misma letra, son estadísticamente iguales según la prueba Tukey ( $P \leq 0.05$ ).

El tratamiento de acolchado plástico presentó diferencias significativas ( $P \leq 0.05$ ) en el efecto simple respecto a los parámetros de área foliar, altura de planta y biomasa. El acolchado plástico blanco/negro acumuló mayor biomasa respecto al acolchado negro y suelo desnudo, con un incremento en peso fresco de 65.6 %, en peso seco 65.8 % y en área foliar 57.5 %, respecto al acolchado negro (**Cuadro 2**). Los resultados encontrados pueden deberse a que el acolchado plástico blanco/negro genera una mayor luz reflejada (Decoteau *et al.*, 1990; Quezada-Martín *et al.*, 2011) y el crecimiento de plantas de pimiento es afectado por cambios relativamente pequeños de luz en el ambiente, inducidos por la superficie de color del acolchado plástico (Decoteau *et al.*, 1990).

Adicionalmente, las variedades presentaron diferencias significativas ( $P \leq 0.05$ ) de área foliar, altura de planta y biomasa. Orión fue la variedad que acumuló mayor biomasa respecto a la variedad Zhotero (**Cuadro 2**). Los resultados encontrados, responden a la naturaleza que Orión y Zhotero son diferentes genotipos.

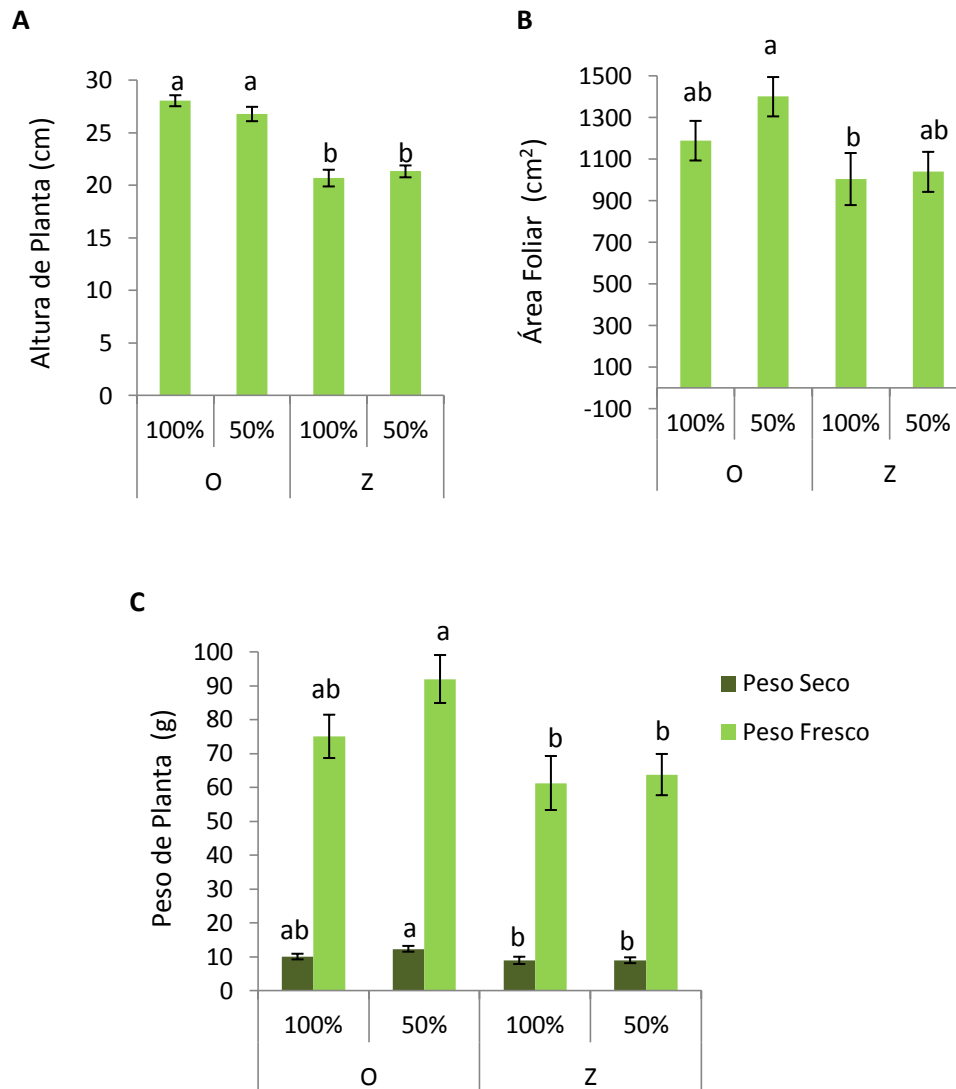
**Cuadro 2.** Efecto de la fertilización, el uso de acolchado plástico y la variedad sobre la biomasa y el área foliar en plantas de pimiento cv. Orión y Zhotero cultivadas a campo abierto.

Tratamiento	Altura (cm)	Peso Fresco Planta (g)	Peso Seco Planta (g)	Peso Seco Hojas (g)	Peso Seco Tallo (g)	Área Foliar (cm <sup>2</sup> )
<i>Fertilización</i>						
100 %	24.4 a	68.1 a	9.4 a	6.6 a	2.8 a	1097.5 a
50 %	24.1 a	77.8 a	10.6 a	7.5 a	3.1 a	1220.5 a
<i>Acolchado</i>						
Negro	23.3 b	62.9 b	8.5 b	6.0 b	2.5 b	1021.6 b
Blanco/Negro	25.8 a	104.2 a	14.1 a	9.7 a	4.4 a	1609.5 a
Desnudo	23.6 ab	51.8 b	7.4 b	5.5 b	1.9 b	845.8 b
<i>Variedad</i>						
Orión	27.4 a	83.5 a	11.1 a	7.7 a	3.5 a	1295.4 a
Zhotero	21.0 b	62.5 b	8.9 b	6.5 a	2.4 b	1022.5 b

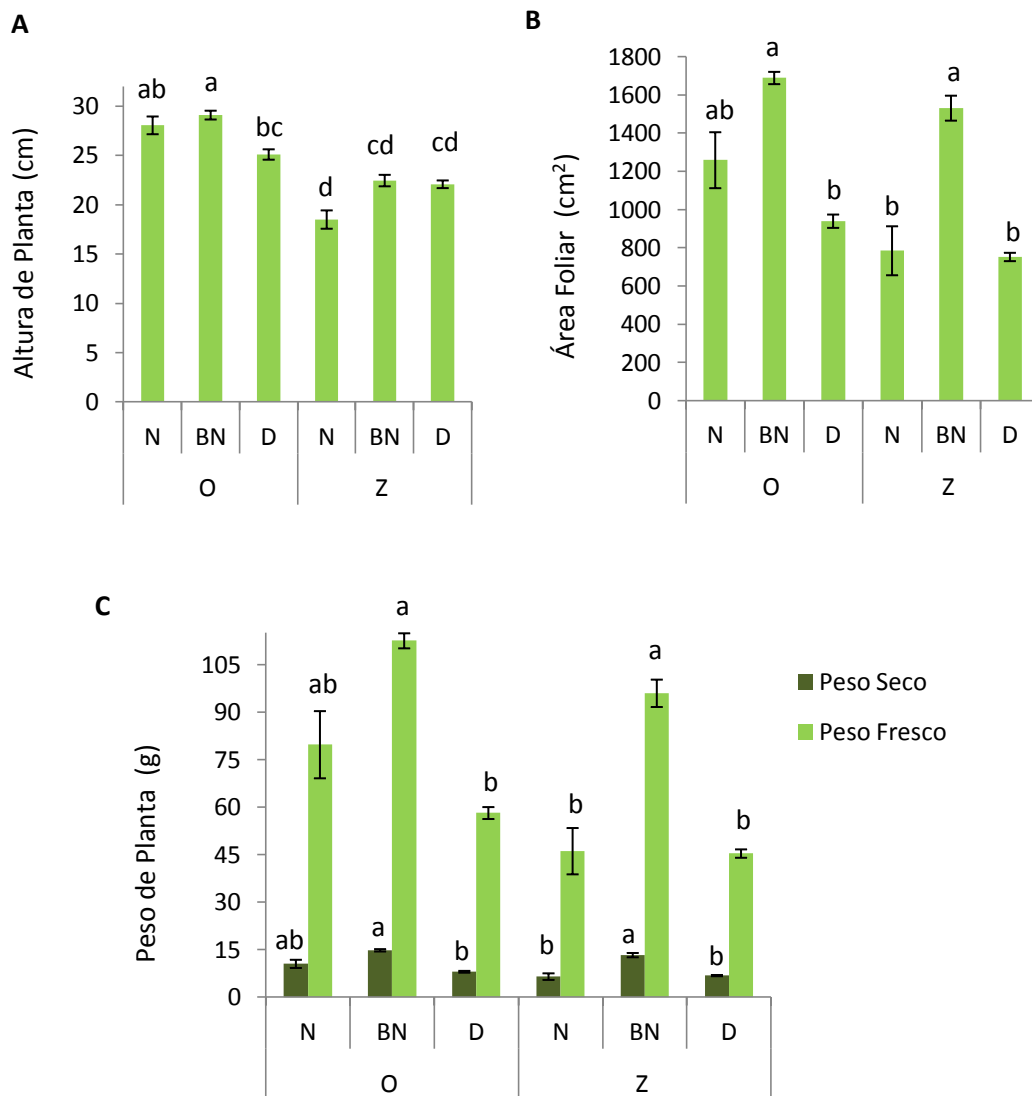
Fertilización: 100 % = convencional NP, 50 % = 50 % del NP convencional + biofertilizantes. Promedios (n=6) de valores estimados a los 45 días después del trasplante. Valores con la misma letra en columnas, son estadísticamente iguales según la prueba Tukey ( $P \leq 0.05$ ).

En la interacción *Variedad x Fertilización* se mostró como el mejor tratamiento a la variedad Orión con fertilización convencional al 50 % NP + biofertilizantes (O-50 %), siendo la variedad Zhotero con fertilización convencional al 100 % (Z-100 %) el

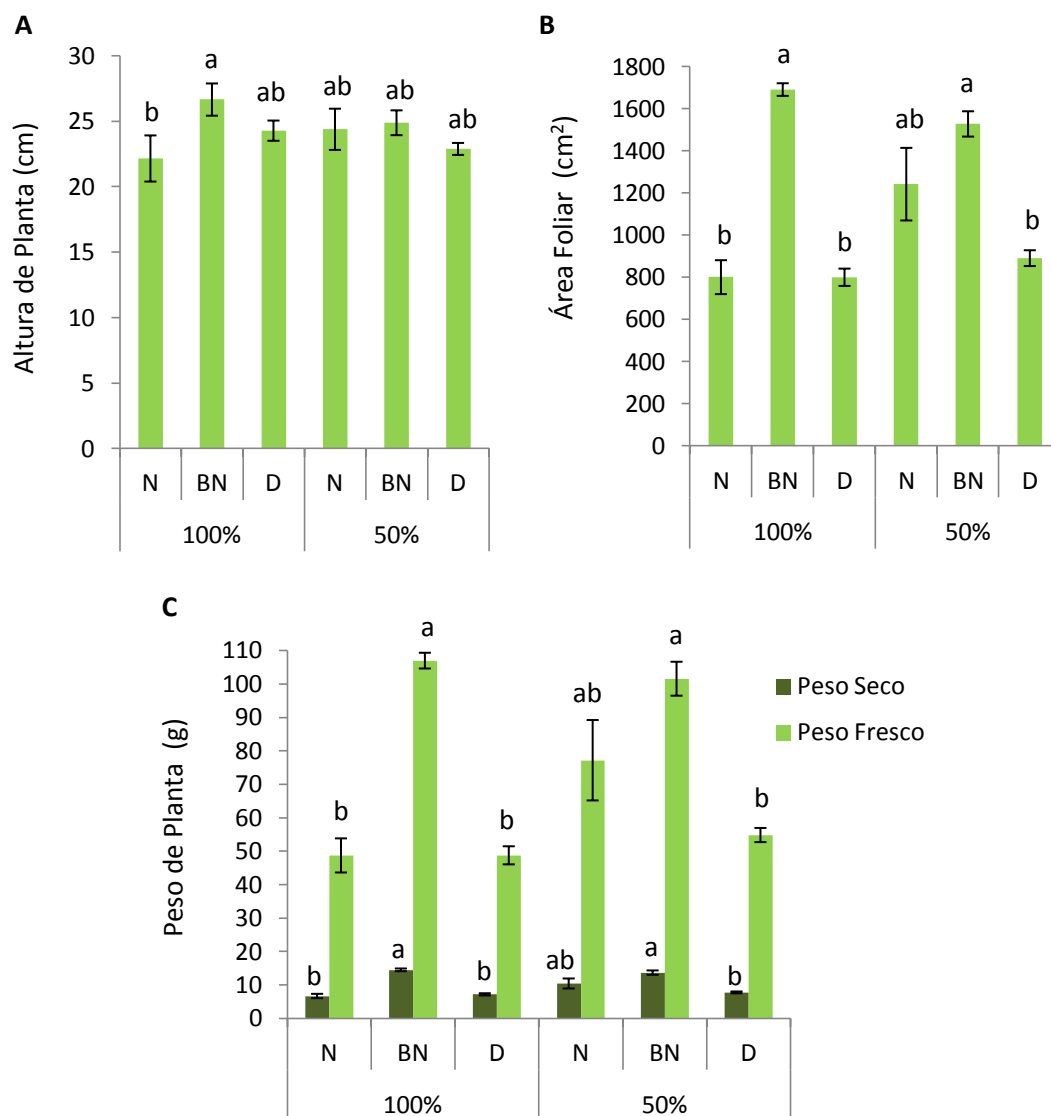
tratamiento más desfavorecido (**Figura 7**). Los tratamientos que presentaron mayor acumulación de biomasa significativamente ( $P \leq 0.05$ ) en la interacción *Variedad x Acolchado* fue la variedad Zhotero en acolchado blanco/negro (Z-BN) y Orión en acolchado/blanco negro (O-BN), además este último presentó la mayor altura de planta (**Figura 8**). Para la interacción *Fertilización x Acolchado* los tratamientos más sobresalientes y significativamente iguales ( $P \leq 0.05$ ), entre ellos son; fertilización convencional al 100 % con acolchado blanco/negro (100 %-BN) y fertilización convencional al 50 % NP + biofertilizantes con acolchado blanco/negro (50 %-BN) (**Figura 10**). La variedad Orión tuvo una mejor interacción a la fertilización al 50 % NP + biofertilizantes, en respuesta al diferente genotipo. En trabajos similares (Lino-Brito *et al.*, 2008), se ha reportado que la variedad de tomate M-10 respondió mejor a la biofertilización (BPCV y HMA) respecto a altura de planta y rendimiento, comparada con V-18.



**Figura 7.** Efecto de interacción Variedad x Fertilización sobre la altura de planta (A), área foliar (B) y biomasa (C) en plantas de pimienta cultivadas a campo abierto. Promedios de lecturas realizadas a los 45 DDT. Variedad: O= Orión, Z= Zhotero. Fertilización: 100 %= convencional NP, 50 %=50 % de NP convencional + biofertilizantes. Las barras representan el error típico (n=18). Columnas con la misma letra, son estadísticamente iguales en base a la prueba Tukey ( $P \leq 0.05$ ).



**Figura 8.** Efecto de interacción Variedad x Acolchado sobre la altura de planta (A), área foliar (B) y biomasa (C) en plantas de pimienta cultivadas a campo abierto. Promedios de lecturas realizadas a los 45 DDT. Variedad: O= Orión, Z= Zhotero. Acolchado plástico: N=negro, BN=blanco/negro, D=desnudo. Las barras representan el error típico (n=18). Columnas con la misma letra, son estadísticamente iguales en base a la prueba Tukey ( $P \leq 0.05$ ).



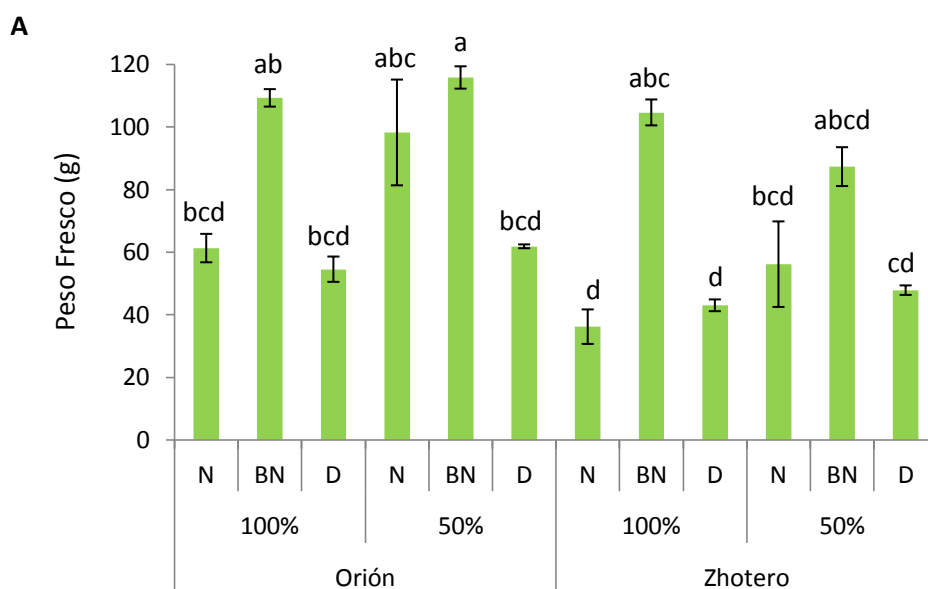
**Figura 9.** Efecto de interacción Fertilización  $\times$  Acolchado sobre la altura de planta (A), área foliar (B) y biomasa (C) en plantas de pimiento cultivadas a campo abierto. Promedios de lecturas realizadas a los 45 DDT. Fertilización: 100 % = convencional NP, 50 % = 50 % de NP convencional + biofertilizantes. Acolchado plástico: N= negro, BN= blanco/negro, D= desnudo. Las barras representan el error típico ( $n=18$ ). Columnas con la misma letra, son estadísticamente iguales en base a la prueba Tukey ( $P \leq 0.05$ ).

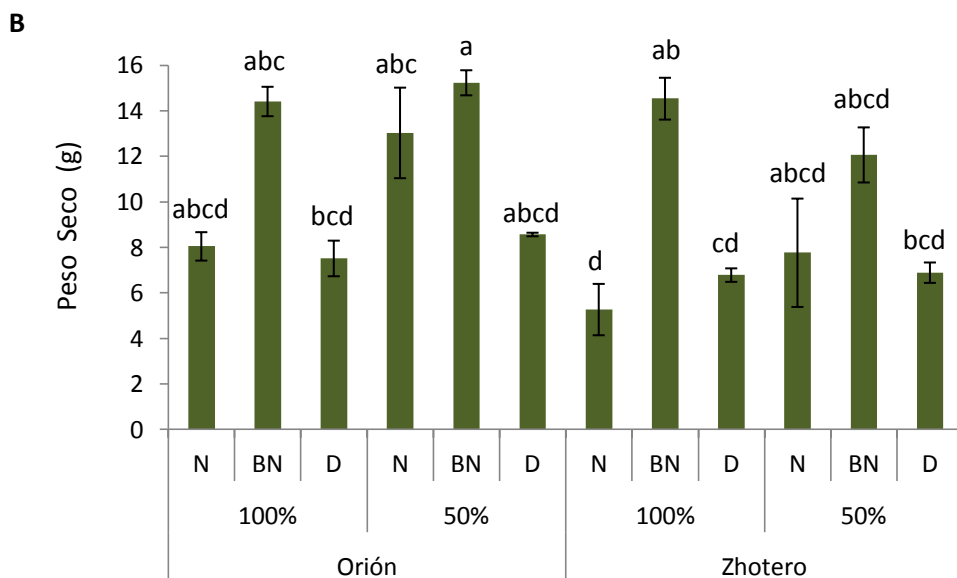
Respecto a la interacción Variedad  $\times$  Fertilización  $\times$  Acolchado, el tratamiento con mayor acumulación de biomasa fue la variedad Orión con fertilización convencional al 50 % NP + biofertilizantes en acolchado blanco/negro (O-50 %-BN), en contraste con la variedad Zhotero con fertilización convencional al 100 % en acolchado negro (Z-100 %-N) que se puede observar en la **Figura 10**. Los resultados en esta interacción pueden explicarse en el sentido del aumento de la temperatura y la humedad del suelo por el



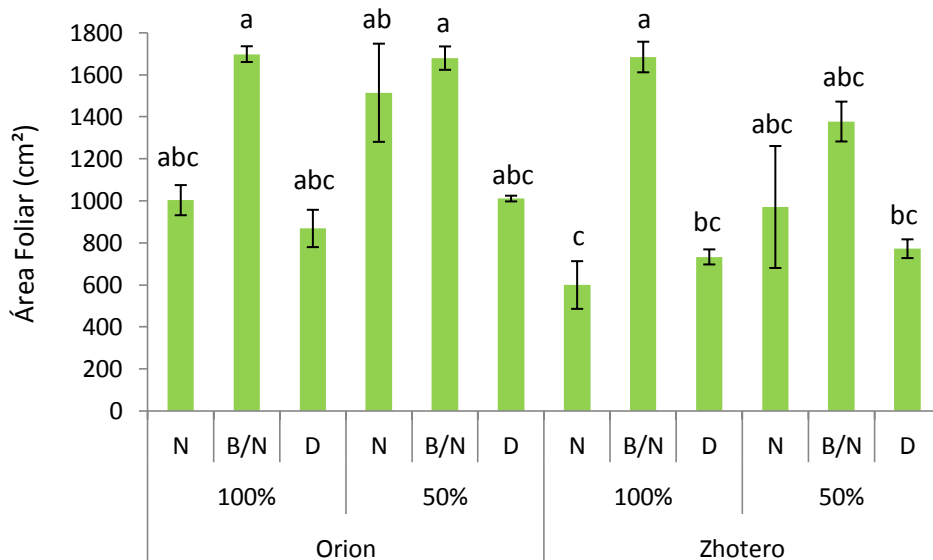
acolchado plástico mejorando el ambiente de la rizósfera y consecuentemente el desarrollo de los microorganismos favoreciendo la mineralización del suelo (Zribi *et al.*, 2011), lo que genera una mayor disponibilidad de nutrientes para las plantas. En este sentido la inoculación de las plantas de pimiento con *Azospirillum* y HMA mejora el estatus nutricional del cultivo (Augé, 2001).

Además los tratamientos con mayor área foliar, fueron la variedad Orión con fertilización convencional al 100 % en acolchado blanco/negro (O-100 %-BN), Zhotero con fertilización convencional al 100 % en acolchado blanco/negro (Z-100 %-BN), Orión con fertilización convencional al 50 % NP + biofertilizantes en acolchado blanco/negro (O-50 %-BN), como se observa en la **Figura 11**. Observándose una marcada influencia respecto a mayor área foliar por el acolchado blanco/negro, debido posiblemente a una mayor radiación fotosintéticamente activa reflejada como menciona Quezada-Martín *et al.* (2011).





**Figura 10.** Efecto de interacción Variedad x Fertilización x Acolchado sobre la biomasa en peso fresco(A) y peso seco (B) en plantas de pimienta cultivadas a campo abierto. Promedios de lecturas realizadas a los 45 DDT. Fertilización: 100 %= convencional NP, 50 %= 50 % de NP convencional + biofertilizantes. Acolchado plástico: N=negro, BN=blanco/negro, D=desnudo. Las barras representan el error típico (n=6). Columnas con la misma letra, son estadísticamente iguales según la prueba Tukey ( $P \leq 0.05$ ).



**Figura 11.** Efecto de interacción Variedad x Fertilización x Acolchado sobre el área foliar en plantas de pimienta cultivadas a campo abierto. Promedios de lecturas realizadas a los 45 DDT. Fertilización: 100 %= convencional NP, 50 %= 50 % de NP convencional + biofertilizantes. Acolchado plástico: N=negro, BN=blanco/negro, D=desnudo. Las barras representan el error típico (n=6). Columnas con la misma letra, son estadísticamente iguales según la prueba Tukey ( $P \leq 0.05$ ).

### 4.3 Rendimiento

Durante la cosecha se clasificaron los frutos en comerciales y no comerciales. Entre los frutos no comerciales, los principales factores causantes de dichas pérdidas fueron, daño por golpe de sol y daño por gusano del fruto.

#### 4.3.1 Rendimiento del Primer Corte

Durante el primer corte de frutos a los 78 DDT, no se encontraron diferencias significativas ( $P \geq 0.05$ ), para los tratamientos de fertilización (**Cuadro 3**). De acuerdo con los resultados la fertilización al 50 % NP + biofertilizantes tiene el potencial de igualar la producción de una fertilización convencional al 100 %. Dado los niveles limitados de nutrimentos presentes en el suelo antes del cultivo (14.6 ppm de N y 5.76 ppm de P), tal y como se mencionó para los parámetros de área foliar, altura de planta y biomasa, la aplicación de biofertilizantes pudo suplir el 50 % de la dosis convencional de N y de P sin pérdidas de rendimiento respecto del testigo. Este hallazgo pudo resultar del efecto promotor del *Azospirillum* inoculado al cultivo, ya que como menciona Vessey (2003) las BPCV promueven el crecimiento vegetal al actuar como biofertilizantes mejorando el estatus nutricional de las plantas huésped así como por la estimulación de simbiosis micorrícica ya que los HMA pueden reducir el impacto negativo del estrés hídrico en las plantas (Augé, 2001), además de la mejora en el estatus nutrimental especialmente de P (Salas-Galván, 2000).

Respecto del tratamiento de acolchado del suelo, el acolchado negro resultó significativamente ( $P \leq 0.05$ ) mayor en rendimiento respecto al acolchado blanco/negro y suelo desnudo, que a su vez fueron estadísticamente iguales ( $P \geq 0.05$ ) (**Cuadro 3**). Los beneficios reportados del uso de acolchado plástico incluyen en el adelanto de cosechas e incremento en los rendimientos entre otros (Bellha, 1988; Wien, 1997). Estas respuestas han sido atribuidas a un incremento de la temperatura del suelo, un uso más eficiente del agua y de los fertilizantes así como una menor competencia de malezas (Kasperbauer, 2000). Respecto a la influencia del color de acolchado Decoteau *et al.* (1989) reportan una mayor temperatura del suelo en acolchados oscuros, además de favorecer la mineralización de nutrientes del suelo (Zribi *et al.*, 2011), lo que genera una mayor disponibilidad de nutrientes para las plantas. La variedad Orión fue superior significativamente ( $P \leq 0.05$ ) durante la evaluación de rendimiento respecto a la variedad Zhotero (**Cuadro 3**). Entre los frutos no comerciales, la variedad Orión tuvo mayores

pérdidas en peso por golpe de sol, las cuales representaron únicamente el 0.008 % del rendimiento comparado contra 0.004 % de Zhotero. Respecto a las pérdidas causadas por daño de gusano del fruto, no se observaron diferencias significativas ( $P \geq 0.05$ ), la mayor pérdida corresponde al tratamiento de acolchado negro, con un 0.004 % del rendimiento durante el primer corte (**Cuadro 3**).

**Cuadro 3.** Efecto de la fertilización, uso de acolchado plástico y la variedad sobre el rendimiento en el primer corte (78 DDT) de plantas de pimiento cv. Orión y Zhotero cultivadas a campo abierto.

Tratamiento	Rendimiento (t ha <sup>-1</sup> )	Pérdidas	
		Golpe de Sol (t ha <sup>-1</sup> )	Gusano del Fruto (t ha <sup>-1</sup> )
<i>Fertilización</i>			
100 %	9.4 a	$8 \times 10^{-4}$ a	$3 \times 10^{-4}$ a
50 %	8.9 a	$1 \times 10^{-4}$ b	$3 \times 10^{-4}$ a
<i>Acolchado</i>			
Negro	11.1 a	$5 \times 10^{-4}$ a	$4 \times 10^{-4}$ a
Blanco/Negro	8.4 b	$6 \times 10^{-4}$ a	$2 \times 10^{-4}$ a
Desnudo	8.0 b	$3 \times 10^{-4}$ a	$2 \times 10^{-4}$ a
<i>Variedad</i>			
Orión	9.8 a	$7 \times 10^{-4}$ a	$2 \times 10^{-4}$ a
Zhotero	8.5 b	$3 \times 10^{-4}$ b	$3 \times 10^{-4}$ a

Fertilización: 100 % = convencional NP, 50 % = 50 % de NP convencional + biofertilizantes. Valores con la misma letra en columnas, son estadísticamente iguales según la prueba Tukey ( $P \leq 0.05$ ).

En relación a la interacción *Fertilización*  $\times$  *Variedad* el tratamiento que tuvo significativamente ( $P \leq 0.05$ ) mejor respuesta respecto a los demás tratamientos fue la fertilización al 50 % NP + biofertilizantes con la variedad Orión (50 %-O) con un rendimiento estimado de 9.7 t ha<sup>-1</sup>, además como se puede observar en la **Figura 12A** la variedad Zhotero responde mejor a una fertilización convencional al 100 % (100 %-Z). Nuestros resultados sugieren que la variedad responde al tipo de fertilización aplicada. De acuerdo a lo reportado una baja fertilización química asistida con biofertilizantes puede igualar y mejorar los rendimientos que aquellos cultivos bajo un manejo con fertilización convencional (Rodríguez *et al.*, 2010), debido a la mejora en el estatus nutrimental de la planta como resultado de la inoculación de biofertilizantes *Azospirillum* y HMA (Augé, 2001; Vessey, 2003).

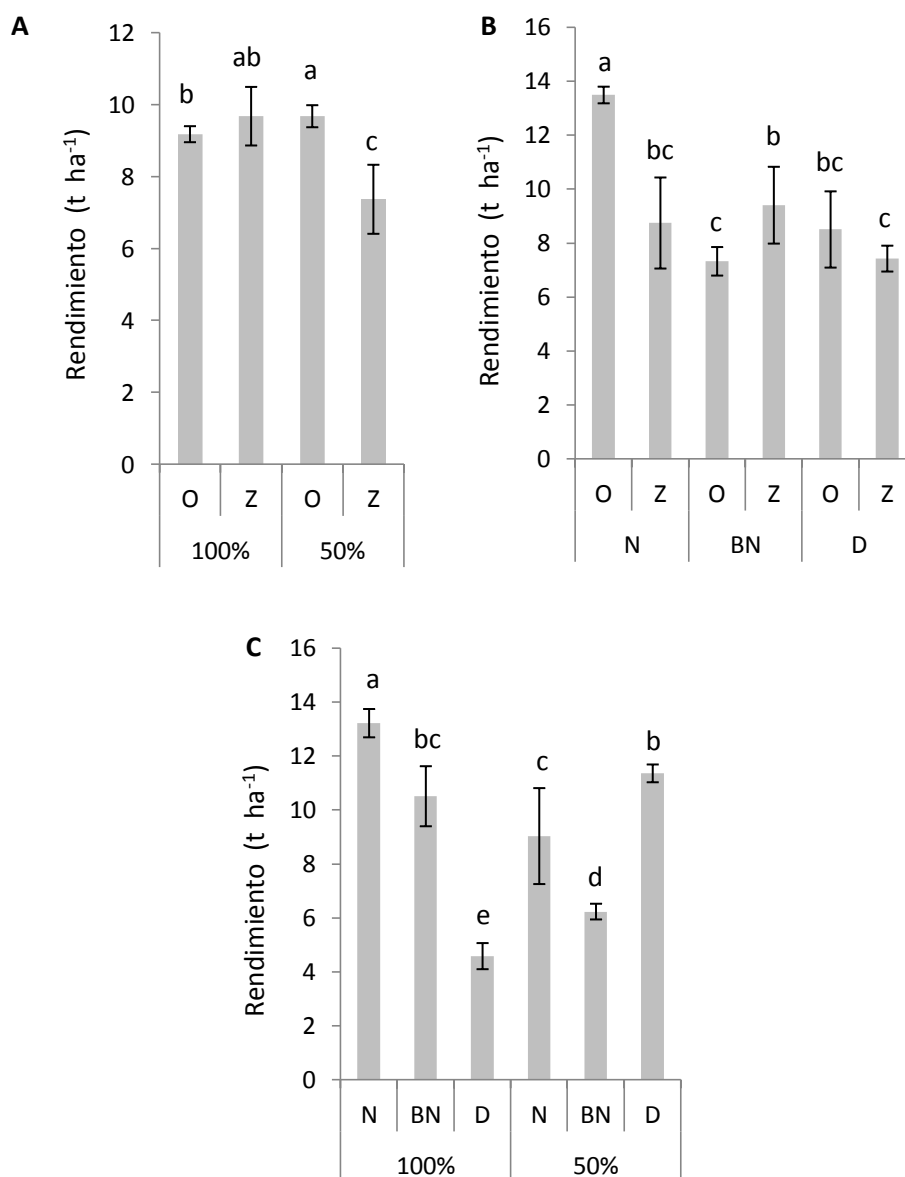
En la **Figura 12B** se aprecia que el tratamiento acolchado negro con la variedad Orión

(N-O) muestra la mejor respuesta en rendimiento estimado de 13.5 t ha<sup>-1</sup> respecto a la interacción *Acolchado* × *Variedad*. Al respecto Decoteau *et al.*, (1989) mencionan que los acolchados oscuros como el negro promueve la precocidad de la producción en las plantas debido a un incremento de la temperatura de la zona radical.

Para la interacción *Fertilización* × *Acolchado* se observaron diferencias significativas ( $P \leq 0.05$ ) respecto a rendimiento entre los tratamientos (**Figura 12C**). Donde la fertilización convencional al 100 % en acolchado negro (100 %-N) presentó el mayor rendimiento, seguido de la fertilización al 50 % NP + biofertilizantes en suelo desnudo (50 %-D). Respecto a nuestros resultados es posible que estemos observando el efecto de la precocidad en el cultivo por el efecto del acolchado negro como resultado del incremento de la temperatura como menciona Decoteau *et al.* (1989), beneficiando la eficiencia de la fertilización. En este sentido el acolchado plástico aumenta la temperatura y la humedad del suelo favoreciendo la mineralización de nutrientes del suelo (Zribi *et al.*, 2011), lo que genera una mayor disponibilidad de nutrientes para las plantas. La respuesta observada en las plantas del tratamiento 50 %-D, puede estar relacionada con la mayor actividad fotosintética encontrada para este tratamiento de suelo desnudo relacionada con una menor temperatura de la hoja, así como con asociación del cultivo con los biofertilizantes, en este sentido los HMA minimizan el impacto del estrés hídrico y mejoran la nutrición de P (Augé, 2001), también las plantas en suelo sin acolchar pueden sufrir de estrés hídrico ya que no existe control de la pérdida de agua del suelo. Además de la promoción de crecimiento y mejora del estatus nutrimental que generan las BPCV (Vessey, 2003).

Los tratamientos de la interacción *Fertilización* × *Acolchado* × *Variedad* también presentaron diferencias estadísticamente significativas ( $P \leq 0.05$ ) siendo la fertilización convencional al 50 % NP + biofertilizantes en acolchado negro con variedad Orión (50 %-N-O) la que tuvo el rendimiento estimado más alto (14.0 t ha<sup>-1</sup>), contrastando ampliamente con el menor rendimiento estimado (3.8 t ha<sup>-1</sup>) que corresponde al tratamiento fertilización convencional al 100 % en suelo desnudo con la variedad Zhotero (100 %-D-Z). El resultado del tratamiento 50 %-N-O puede deberse a que el acolchado plástico aumenta la temperatura y la humedad del suelo mejorando el ambiente de la rizósfera y consecuentemente el desarrollo de los microorganismos (Zribi *et al.*, 2011), como lo son Azospirillum y HMA inoculados en el cultivo y que a su vez mejoran el estatus nutrimental (Augé, 2001; Vessey, 2003) derivando en mayor

rendimiento, aunado al hecho que la variedad Orión presenta mejores rendimiento en fertilización al 50 % NP + biofertilizantes. Por su parte la variedad Zhotero cultivada en suelo desnudo, expuesta a sufrir déficit hídrico por la falta de control en la pérdida de humedad del suelo y con una fertilización convencional al 100 % pudo tener dificultades para amortiguar el déficit de humedad considerando las pérdidas por evaporación en el suelo así como una mayor concentración de solutos fertilizantes.



**Figura 12.** Efecto de las interacciones Fertilización x Variedad (A), Acolchad x Variedad (B) y Fertilización x Acolchado (C) sobre el rendimiento primer de pimiento cultivado a campo abierto. Fertilización: 100 %= convencional NP, 50 %= 50 % del NP convencional + biofertilizantes. Acolchado plástico: N=negro, BN=blanco/negro, D=desnudo. Variedad: O= Orión, Z= Zhotero. Las barras representan el error típico (n=6). Columnas con la misma letra, son estadísticamente iguales según la prueba Tukey ( $P \leq 0.05$ ).

### 4.3.2 Rendimiento del Segundo Corte

El segundo corte de frutos se realizó a los 89 DDT, para los tratamientos de fertilización, acolchado plástico y la variedad mostraron diferencias significativas ( $P \leq 0.05$ ) respecto al rendimiento (**Cuadro 4**). La fertilización al 50 % NP + biofertilizantes fue superior en rendimiento un 15.5 % respecto a la fertilización convencional al 100 %. Durante el segundo corte se observó un mayor beneficio de una baja fertilización química asistida con biofertilizantes (*Azospirillum* y HMA) respecto al primer corte. Tal como mencionan Rodríguez *et al.* (2010) este tipo de tratamiento puede aumentar los rendimientos porque mejora la nutrición del cultivo. Para el tratamiento de acolchado plástico, el mayor rendimiento lo presentó el acolchado negro respecto al acolchado blanco/negro y suelo desnudo, respuesta que se observó también durante el primer corte de frutos a los 78 DDT. Debido posiblemente a una mayor temperatura en la zona radical (Decoteau *et al.*, 1989) y a los beneficios que esto propicia.

Nuevamente la variedad Orión manifestó mayor rendimiento respecto a Zhotero para el segundo corte de frutos. Entre los frutos no comercializables con daño por golpe de sol, el acolchado blanco/negro presentó la mayor pérdida en peso, correspondiente al 0.002 % del rendimiento, el daño por gusano de fruto no mostro diferencias significativas en ningún tratamiento, con un 0.004 % correspondiente a la mayor proporción de pérdidas en peso de rendimiento para el segundo corte (**Cuadro 4**).

**Cuadro 4.** Efecto de la fertilización, uso de acolchado plástico y la variedad sobre el rendimiento en el segundo corte (89 DDT) de plantas de pimiento cv. Orión y Zhotero cultivadas a campo abierto.

Tratamiento	Rendimiento (t ha <sup>-1</sup> )	Pérdidas	
		Golpe de Sol (t ha <sup>-1</sup> )	Gusano del Fruto (t ha <sup>-1</sup> )
<i>Fertilización</i>			
100 %	11.0 b	8×10 <sup>-4</sup> b	3×10 <sup>-4</sup> a
50 %	12.7 a	2.2×10 <sup>-3</sup> a	3×10 <sup>-4</sup> a
<i>Acolchado</i>			
Negro	13.0 a	1.4×10 <sup>-3</sup> ab	3×10 <sup>-4</sup> a
Blanco/Negro	10.7 c	2.1×10 <sup>-3</sup> a	3×10 <sup>-4</sup> a
Desnudo	11.9 b	1.0×10 <sup>-3</sup> b	3×10 <sup>-4</sup> a
<i>Variedad</i>			
Orión	12.5 a	1.3×10 <sup>-3</sup> a	3×10 <sup>-4</sup> a
Zhotero	11.2 b	1.7×10 <sup>-3</sup> a	3×10 <sup>-4</sup> a

Fertilización: 100 % = convencional NP, 50 % = 50 % del NP convencional + biofertilizantes. Valores con la misma letra en columnas, son estadísticamente iguales en según la prueba Tukey ( $P \leq 0.05$ ).

En la interacción *Fertilización* × *Variedad* existieron diferencias significativas ( $P \leq 0.05$ ) donde el tratamiento de fertilización convencional al 50 % NP + biofertilizantes con la variedad Orión (50 %-O) tuvo el mayor rendimiento, esta misma respuesta se presentó durante el primer corte de frutos, respecto al cual tuvo un incremento estimado de 6.2 t ha<sup>-1</sup> para el segundo corte de frutos (**Figura 13A**).

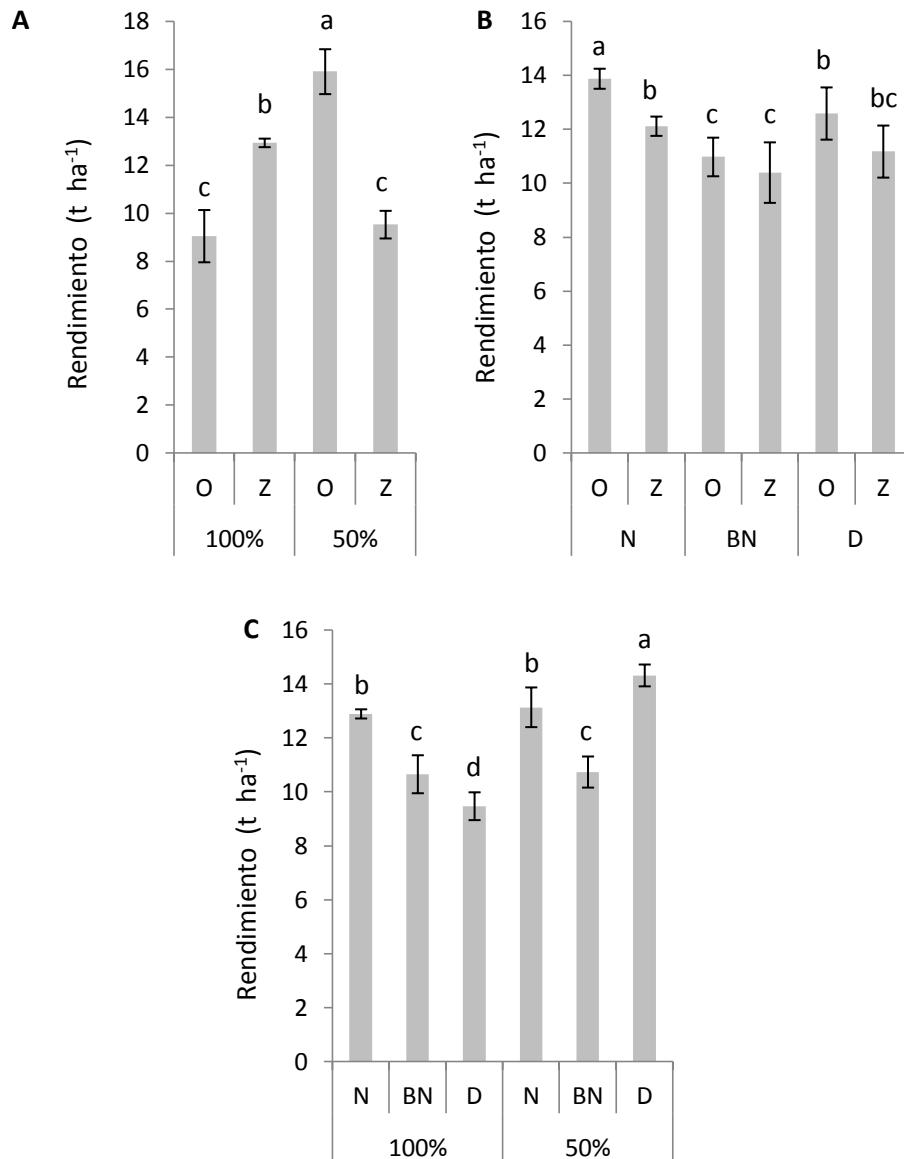
Para la interacción *Acolchado* × *Variedad* el acolchado negro con la variedad Orión (N-O) presentó el rendimiento significativamente más alto ( $P \leq 0.05$ ), siendo superior en 24.1 % respecto al promedio de los demás tratamientos (**Figura 13B**). Dicha diferencia fue más pronunciada durante el primer corte de frutos, donde este tratamiento superó al promedio en 62.7 %, aunado al hecho de que el promedio de los tratamientos presentó un incremento estimado de 3.2 t ha<sup>-1</sup> del primero al segundo corte de frutos. Posiblemente se observó este comportamiento por un efecto de precocidad en la variedad Orión influenciado por el mayor calentamiento del suelo por el acolchado negro (Decoteau *et al.*, 1989); y posteriormente los demás tratamientos empezaron a equipararse con este tratamiento disminuyendo la diferencia inicial.

Para la interacción *Fertilización* × *Acolchado* existieron diferencias significativas ( $P \leq 0.05$ ) siendo el mejor tratamiento la fertilización convencional al 50 % NP +



biofertilizantes en suelo desnudo (50 %-D) seguido de la fertilización convencional al 100 % en acolchado negro (100 %-N), dicha respuesta se invirtió respecto al primer corte de frutos (**Figura 13C**). Este resultado corresponde a un incremento en la producción estimada de 50 %-D de 2.9 t ha<sup>-1</sup> mientras que 100 %-N mantuvo constante su producción con un decremento de 0.3 t ha<sup>-1</sup>. Este resultado puede estar relacionado con efecto de precocidad por el mayor calentamiento del suelo por el acolchado negro (Decoteau *et al.*, 1989) durante el primer corte y posteriormente a un mejor estatus nutrimental de la planta como resultado de la inoculación de biofertilizantes *Azospirillum* y HMA (Augé, 2001; Vessey, 2003), además de un menor impacto negativo del estrés hídrico en las plantas por la simbiosis con HMA (Augé, 2001).

En el caso de la interacción *Fertilización* × *Acolchado* × *Variedad* el mayor rendimiento estimado significativamente ( $P \leq 0.05$ ) lo presentó el tratamiento fertilización convencional al 50 % NP + biofertilizantes en suelo desnudo variedad Orión (50 %-D-O) con un rendimiento 19.5 t ha<sup>-1</sup>, en contraste con un rendimiento estimado de 5.7 t ha<sup>-1</sup> que corresponde al tratamiento de fertilización convencional al 100 % en suelo desnudo variedad Orión (100 %-D-O). Los resultados para esta interacción confirman la preferencia de la variedad Orión por una fertilización química baja asistida con biofertilizantes, así como el beneficio de este tipo de fertilización respecto a la mejora del estatus nutrimental de la planta como resultado de la inoculación de biofertilizantes *Azospirillum* y HMA (Augé, 2001; Vessey, 2003). Además, posiblemente se encontraban con un menor impacto negativo del estrés hídrico en las plantas, debido a la simbiosis con HMA (Augé, 2001), que pudiera estar dando ventaja sobre el tratamiento 100 %-D-O, para el cual la fertilización química no puede amortiguar el déficit de humedad.



**Figura 13.** Efecto de las interacciones Fertilización x Variedad, Acolchad x Variedad y Fertilización x Acolchado sobre el rendimiento segundo de pimienta cultivado a campo abierto. Fertilización: 100 %= convencional NP, 50 %= 50 % del NP convencional + biofertilizantes. Acolchado plástico: N=negro, BN=blanco/negro, D=desnudo. Variedad: O= Orión, Z= Zhotero. Las barras representan el error típico (n=6). Columnas con la misma letra, son estadísticamente iguales según la prueba Tukey ( $P \leq 0.05$ ).

### 4.3.3 Rendimiento Total

Las plantas presentaron una respuesta positiva a la fertilización convencional al 50 % NP + biofertilizantes teniendo significativamente ( $P \leq 0.05$ ) mayor rendimiento respecto a la fertilización convencional al 100 % (**Cuadro 5**; **Error! No se encuentra el origen de la referencia.**). De acuerdo a lo reportado una baja fertilización química asistida con

biofertilizantes puede igualar y mejorar los rendimientos que aquellos cultivos bajo un manejo con fertilización convencional (Rodríguez *et al.*, 2010). En este sentido los biofertilizantes *Azospirillum* y HMA muy probablemente mejoraron el estatus nutrimental de la planta (Augé, 2001; Vessey, 2003). Además, hay evidencias por ejemplo de un incremento del 16 % en el rendimiento total en el cultivo de tomate cherry inoculado con *Azospirillum brasilense* y *Glomus intraradices* (Lira-Saldívar *et al.*, 2011), algo similar a lo ocurrido en esta investigación.

El tratamiento de acolchado plástico mostró influencia significativa ( $P \leq 0.05$ ) en la respuesta rendimiento en frutos comercializables (**Cuadro 5**), encontrando que el mayor rendimiento estimado fue para plantas cultivadas en acolchado negro, respecto al acolchado blanco/negro y suelo desnudo que fueron estadísticamente iguales ( $P \geq 0.05$ ) entre ellos. Posiblemente se presentaron estos resultados relacionados con el incremento en la temperatura en la zona radical en acolchado oscuro, de acuerdo con lo reportado en otras investigaciones donde el acolchado negro ha mostrado tener mayores rendimientos en pimiento (Quezada-Martín *et al.*, 2011) y tomate (Díaz-Pérez *et al.*, 2007) por efecto de, la temperatura.

La variedad de pimiento, presentó diferencia significativa ( $P \leq 0.05$ ) respecto al rendimiento total comprendiendo dos cortes, donde la variedad Orión fue superior estadísticamente, con  $2.5 \text{ t ha}^{-1}$  más de rendimiento total estimado. Las variedades Orión y Zhotero son de alta productividad, las diferencias aquí encontradas pueden obedecer a una mejor adaptabilidad de Orión a las condiciones del medio en que se desarrollaron.

El tratamiento con mejor respuesta a la interacción *Fertilización x Variedad* fue 50 %-O presentando significativamente ( $P \leq 0.05$ ) el mayor rendimiento total estimado (**Figura 14A**). Tendencia que se observó durante el primero y segundo corte de frutos. En relación a que los biofertilizantes *Azospirillum* y HMA mejoran el estatus nutrimental de la planta (Augé, 2001; Vessey, 2003). Además de la respuesta positiva de la variedad Orión a este tipo de fertilización.

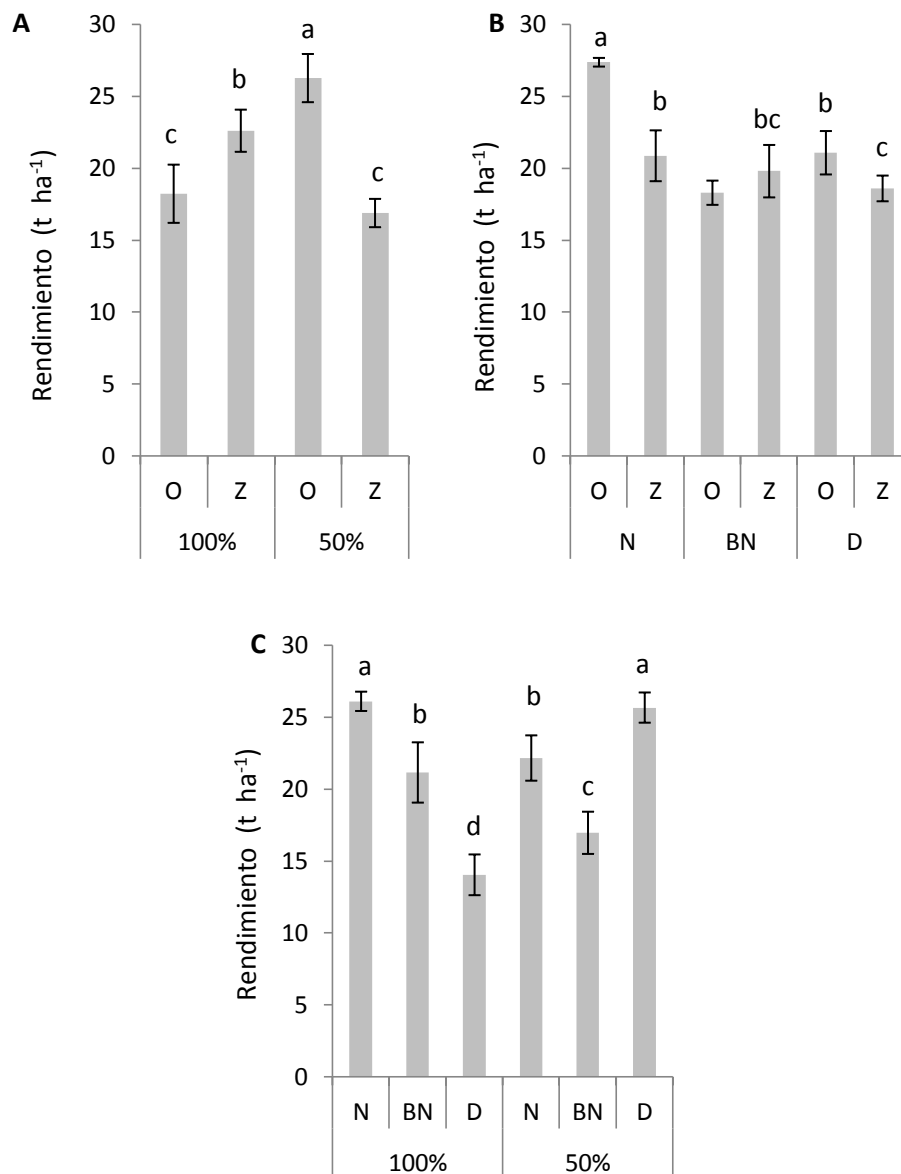
**Cuadro 5.** Efecto de la fertilización, uso de acolchado plástico y la variedad sobre el rendimiento total y las pérdidas por golpe de sol y gusano del fruto en plantas de pimiento cv. Orión y Zhotero cultivadas a campo abierto.

Tratamiento	Rendimiento (t ha <sup>-1</sup> )	Pérdidas	
		Golpe de Sol (t ha <sup>-1</sup> )	Gusano del Fruto (t ha <sup>-1</sup> )
<i>Fertilización</i>			
100 %	20.4 b	1.6×10 <sup>-3</sup> a	6×10 <sup>-4</sup> a
50 %	21.6 a	2.3×10 <sup>-3</sup> a	6×10 <sup>-4</sup> a
<i>Acolchado</i>			
Negro	24.1 a	1.9×10 <sup>-3</sup> ab	7×10 <sup>-4</sup> a
Blanco/Negro	19.1 a	2.7×10 <sup>-3</sup> a	6×10 <sup>-4</sup> a
Desnudo	19.9 a	1.3×10 <sup>-3</sup> b	4×10 <sup>-4</sup> a
<i>Variedad</i>			
Orión	22.3 a	2.4×10 <sup>-3</sup> a	5×10 <sup>-4</sup> a
Zhotero	19.8 b	1.6×10 <sup>-3</sup> a	6×10 <sup>-4</sup> a

Fertilización: 100 % = convencional NP, 50 % = 50 % del NP convencional + biofertilizantes. Valores con la misma letra en filas, son estadísticamente iguales según la prueba Tukey ( $P \leq 0.05$ ).

Para la interacción *Acolchado x Variedad* el mejor tratamiento estadísticamente respecto a rendimiento total estimado, fue el acolchado N-O, como se observó durante el primero y segundo corte de frutos (**Figura 14B**). Respecto a la interacción *Fertilización x Acolchado* los tratamientos 100 %-N y 50 %-D resultaron ser estadísticamente iguales entre ellos y superiores respecto a los demás tratamientos. De acuerdo con los resultados encontrados, una fertilización al 50 % NP + biofertilizantes puede producir frutos de pimiento con el mismo rendimiento estadístico que la fertilización convencional en acolchado negro.

En la interacción *Fertilización x Acolchado x Variedad* el tratamiento O-50 %-D fue mayor significativamente ( $P \leq 0.05$ ) respecto al rendimiento estimado total con una producción de 31.1 t ha<sup>-1</sup> (**Figura 14C**). Comparado con un rendimiento total para el 2011 a nivel nacional de 58.18 t ha<sup>-1</sup> y 22.11 t ha<sup>-1</sup> para el estado de Coahuila (SIAP, 2011). De acuerdo a lo reportado una baja fertilización química asistida con biofertilizantes puede igualar y mejorar los rendimientos que aquellos cultivos bajo un manejo con fertilización convencional (Rodríguez *et al.*, 2010). Además en el cultivo de tomate cherry inoculado con *Azospirillum brasilense* y *Glomus intraradices*, se ha reportado un incremento del 16 % en el rendimiento total (Lira-Saldívar *et al.*, 2011).



**Figura 14.** Efecto de las interacciones Fertilización x Variedad, Acolchad x Variedad y Fertilización x Acolchado sobre el rendimiento total (comprendiendo dos cortes) de pimiento cultivado a campo abierto. Fertilización: 100 %= convencional NP, 50 %= 50 % del NP convencional + biofertilizantes. Acolchado plástico: N=negro, BN=blanco/negro, D=desnudo. Variedad: O= Orión, Z= Zhotero. Las barras representan el error típico (n=6). Columnas con la misma letra, son estadísticamente iguales según la prueba Tukey ( $P \leq 0.05$ ).

El pimiento en campo abierto tiene un ciclo de cultivo aproximado de 100 DDT, contemplando de 4 a 5 cortes de frutos. Durante el experimento solo se realizaron dos cortes, debido al ataque de *Leveillula taurica* en el cultivo en la etapa de cosecha hacia los 80 DDT. La condición climática húmeda para esas semanas favoreció el rápido establecimiento y diseminación de la enfermedad, la cual solo se controló para realizar

el segundo corte de frutos a los 89 DDT y posteriormente se retiró el cultivo de campo. El rendimiento estimado promedio obtenido comprendiendo dos cortes para el presente trabajo fue de 21.05 t ha<sup>-1</sup>, comparado con un rendimiento total en campo abierto para el estado de Coahuila durante el año 2011 de 22.11 t ha<sup>-1</sup> (SIAP, 2011).

#### 4.4 Calidad de los Frutos

Se evaluó la calidad de los pimientos un día después de cosecha respecto al contenido de sólidos solubles totales (SST), pH, fuerza de penetración y color en escala CIE Lab. El contenido de SST presentó diferencias significativas ( $P \leq 0.05$ ) respecto al tipo de fertilización y a la variedad (**Cuadro 6**). La fertilización convencional al 50 % NP + biofertilizantes tuvo mayor contenido de SST, respecto a la fertilización convencional al 100 %, debido posiblemente a que las BPCV promueven el crecimiento vegetal al actuar como biofertilizantes que mejoran el estatus nutricional de las plantas huéspedes (Vessey, 2003), así como también los HMA tienen efectos positivos en la calidad de los frutos, por ejemplo se ha reportado un incremento estadísticamente significativo en SST en tomate cherry inoculado con *Glomus mosseae* (Sirichaiwetchakup *et al.*, 2011).

De acuerdo a los análisis estadísticos del contenido de SST en fruto, la variedad Orión resultó ser superior a Zhotero, mientras que para el tratamiento de fertilización los pimientos que muestran mayor contenido de SST son aquellos cultivados en fertilización convencional al 50 % NP + biofertilizantes.

En la determinación de pH solo se presentaron diferencias estadísticas respecto a la variedad, en donde Zhotero obtuvo significativamente ( $P \leq 0.05$ ) mayor valor de pH (**Cuadro 6**). El pH de los frutos se encuentra relacionado con la síntesis de ácidos orgánicos (Salunkhe *et al.*, 1991), así que a menor contenido de ácidos orgánicos esperaremos valores más altos de pH. De acuerdo con lo anterior la variedad Orión muestra valores más bajos de pH que se traducen en mayor contenido de ácidos orgánicos respecto a la variedad Zhotero.

Durante el análisis de fuerza de penetración no se observaron diferencias significativas ( $P \geq 0.05$ ) respecto a la fuerza de penetración, para los tratamientos fertilización, acolchado y variedad, así como tampoco entre las interacciones entre dos o tres factores, con una fuerza de penetración promedio de 3.8 kg (**Cuadro 6**). El acolchado plástico y la variedad no tuvieron influencia sobre la firmeza de los frutos de pimiento ( $P \geq 0.05$ ).

La fertilización convencional al 50 % NP + biofertilizantes generó frutos de igual firmeza a los cultivados bajo una fertilización convencional al 100 % (**Cuadro 6**). Al respecto, Del Amor en 2008 reportó una firmeza estadísticamente igual entre pimientos cultivados con 40 % de nitrógeno e inoculados con *Azospirillum* y *Pantoea* y pimientos cultivados con 100 % de nitrógeno. Además se ha reportado que las BPCV tienen un efecto positivo en frutos de tomate respecto a la calidad, particularmente en tamaño y textura (Mena-Violante *et al.*, 2007). De acuerdo a lo reportado y a los resultados encontrados, la fertilización al 50 % NP + biofertilizantes tiene el potencial para igualar la firmeza de los pimientos verdes respecto a la fertilización convencional al 100 %.

**Cuadro 6.** Efecto de la fertilización, uso de acolchado plástico y la variedad sobre la fuerza de penetración, pH y SST en frutos de pimiento cv. Orión y Zhotero cultivados a campo abierto.

<b>Tratamiento</b>	<b>Fuerza de penetración (kg)</b>	<b>pH</b>	<b>SST</b>
<i>Fertilización</i>			
100 %	3.9 a	5.3 a	4.9 b
50 %	3.6 a	5.1 a	5.4 a
<i>Acolchado</i>			
Negro	3.6 a	5.2 a	4.9 a
Blanco/Negro	3.8 a	5.3 a	5.2 a
Desnudo	4.0 a	5.0 a	5.4 a
<i>Variedad</i>			
Orión	3.8 a	4.0 b	6.4 a
Zhotero	3.8 a	6.4 a	3.9 b

Fertilización: 100 % = convencional NP, 50 % = 50 % del NP convencional + biofertilizantes. Promedios (n=4) dentro de columnas con la misma letra son estadísticamente iguales según la prueba de Tukey ( $P \leq 0.05$ ).

La firmeza en los pimientos no presentó diferencias significativas ( $P \geq 0.05$ ) en las interacciones entre los factores fertilización, acolchado, variedad. En la interacción *Fertilización* × *Acolchado* respecto a pH y SST fue el tratamiento fertilización convencional al 100 % en suelo desnudo (100 %-D) el que presentó los valores más altos respecto a los otros tratamientos, seguido de la fertilización convencional al 50 % NP + biofertilizantes en acolchado negro (50 %-N) y blanco/negro (50 %-BN). Es posible que la fertilización convencional al 50 % + biofertilizantes tenga una mejor respuesta con acolchados plásticos por el incremento que genera el acolchado en el

suelo respecto a temperatura y humedad, lo cual resulta benéfico para el desarrollo de la actividad benéfica de la microflora (Zribi *et al.*, 2011). Para la interacción *Fertilización* × *Variedad* los tratamientos más sobresalientes e iguales entre ellos fueron la fertilización convencional al 100 % y fertilización convencional al 50 % + biofertilizantes con la variedad Orión (100 %-O, 50 %-O), así mismo estos tratamientos mostraron los mayores contenidos de SST. Durante la interacción *Acolchado* × *Variedad* los frutos con mejores características respecto a pH y SST, corresponden a la variedad Orión en acolchado negro, blanco/negro y suelo desnudo (**Cuadro 7**). Respecto a la interacción de tres factores la *Fertilización* × *Acolchado* × *Variedad*, los mejores tratamientos corresponden a la variedad Orión para los parámetros de pH y contenido de SST (**Anexo V**). Respecto a las interacciones *Fertilización* × *Variedad*, *Acolchado* × *Variedad* y *Fertilización* × *Acolchado* × *Variedad* descritas anteriormente, el factor determinante de la tendencia estuvo marcado por la variedad. De acuerdo a los resultados la variedad Orión expresa mejor comportamiento respecto a pH y SST comparada con Zhotero.

Los frutos de pimiento fueron iguales estadísticamente para el tratamiento de fertilización, respecto a los parámetros de color L, a, b, C\*. La fertilización convencional al 50 % NP + biofertilizantes produce frutos de pimiento de calidad igual estadísticamente respecto al color, en comparación con una fertilización convencional al 100 %. En algunos trabajos se ha reportado un desarrollo de color más intenso en chile ancho inoculado con *Glomus fasciculatum* respecto a su testigo (Mena-Violante *et al.*, 2006), por su parte Del Amor (2008) no encontró diferencias estadísticas en el color de pimientos inoculados con *Azospirillum* y *Pantoea* respecto a su testigo. El acolchado plástico presentó diferencias significativas ( $P \leq 0.05$ ) en la luminosidad de los frutos (L), donde el tratamiento blanco/negro obtuvo los valores más altos que acolchado negro y suelo desnudo. Posiblemente los frutos cultivados bajo acolchado blanco/negro tuvieron un mejor estatus nutrimental derivado de una mayor área foliar y acumulación de biomasa de las plantas de pimiento resultando en frutos más luminosos. La variedad Zhotero mostró un color de fruto verde menos luminosos respecto a la variedad Orión, observándose diferencias significativas ( $P \leq 0.05$ ) para los parámetros de color L, b, C\* (**Anexo V**).

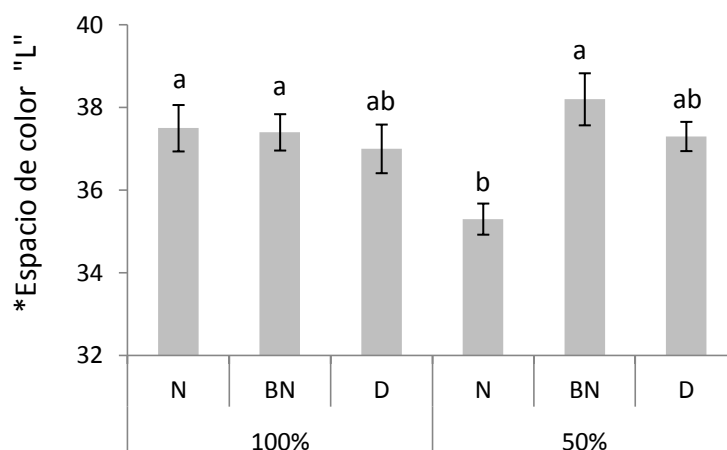


**Cuadro 7.** Efecto de las interacciones Fertilización × Acolchado, Fertilización × Variedad y Acolchado × Variedad sobre la fuerza de penetración, pH y SST en frutos de pimiento cultivados a campo abierto.

Tratamiento	Fuerza de penetración (kg)	pH	SST
<i>Fertilización-Acolchado</i>			
100 %-N	3.8 a	5.6 a	4.6 b
100 %-B/N	4.0 a	5.4 ab	4.8 ab
100 % D	4.1 a	4.8 c	5.5 ab
50 %-N	3.4 a	4.9 bc	5.2 ab
50 %-B/N	3.6 a	5.2 abc	5.6 a
50 %-D	3.9 a	5.3 abc	5.3 ab
<i>Fertilización-Variedad</i>			
100 %-O	3.9 a	4.0 b	6.4 a
100 %-Z	4.1 a	6.5 a	3.5 c
50 %-O	3.7 a	4.0 b	6.4 a
50 %-Z	3.5 a	6.3 a	4.4 b
<i>Acolchado-Variedad</i>			
N-O	3.4 a	4.0 b	6.4 a
N-Z	3.8 a	6.4 a	3.5 b
B/N-O	3.8 a	4.0 b	6.3 a
B/N-Z	3.8 a	6.7 a	4.0 b
D-O	4.2 a	3.9 b	6.5 a
D-Z	3.4 a	6.1 a	4.3 b

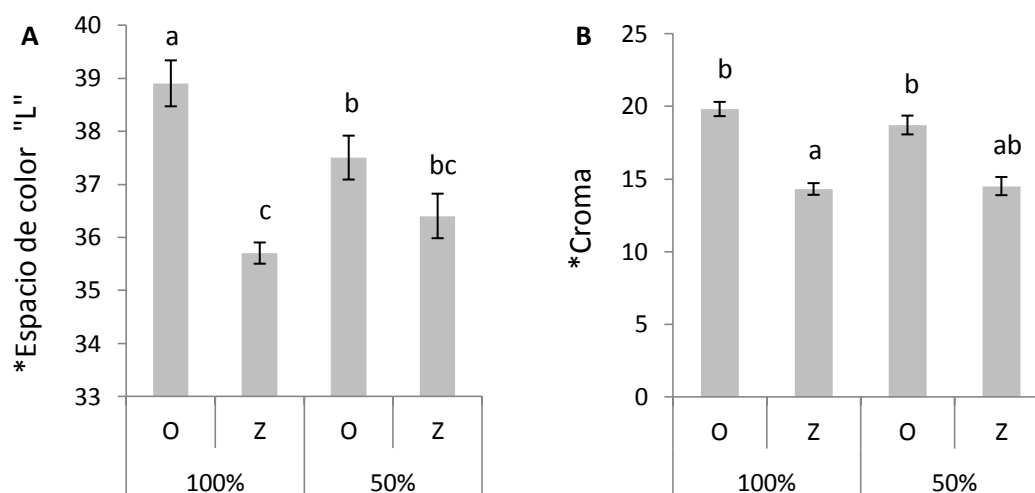
Fertilización: 100 %= convencional NP, 50 %= 50 % de NP convencional + biofertilizantes. Acolchado plástico: N=negro, BN=blanco/negro, D=desnudo. Variedad: O=orión, Z=zhotero. Promedios (n=4) dentro de columnas con la misma letra son estadísticamente iguales según la prueba de Tukey ( $P \leq 0.05$ ).

En la interacción *Fertilización × Acolchado* se presentaron diferencias estadísticas respecto al parámetro L, en donde el tratamiento fertilización convencional al 50 % NP + biofertilizantes en acolchado negro (50 %-N) mostró los frutos menos luminosos significativamente ( $P \leq 0.05$ ) sin embargo para el mismo tratamiento de fertilización en acolchado blanco/negro (50 %-BN) fue superior numéricamente a los demás tratamientos (**Figura 15**). Para el parámetro de color L, se mostró una interacción positiva entre la fertilización al 50 % NP + biofertilizantes y el acolchado plástico blanco/negro, posiblemente por un efecto más uniforme en la temperatura del suelo en comparación con el acolchado negro que presenta intervalos más amplios entre las temperaturas diurnas y nocturnas (Decoteau *et al.*, 1989), lo cual afecta la respuesta de desarrollo del cultivo, así como también de la microfauna del suelo.



**Figura 15.** Efecto de la interacción Fertilización  $\times$  Acolchado sobre el color en frutos de pimiento cultivados a campo abierto. Fertilización: 100 %= convencional NP, 50 %= 50 % de NP convencional + biofertilizantes. Acolchado plástico: N=negro, BN=blanco/negro, D=desnudo. Barras de error típico ( $n=24$ ). Columnas con la misma letra, son estadísticamente iguales según la prueba Tukey ( $P \leq 0.05$ ).

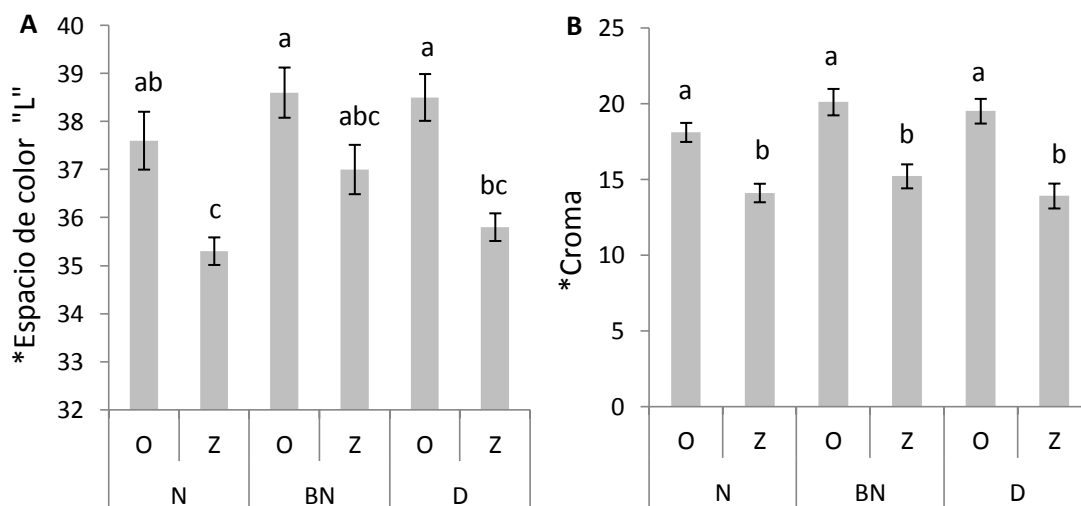
En la interacción Fertilización  $\times$  Variedad se mostraron diferencias significativas ( $P \leq 0.05$ ) entre tratamientos en el espacio de color L y el croma ( $C^*$ ) (Figura 16), para los cuales la variedad Orión produjo frutos de pimiento más atractivos en ambas fertilizaciones (100 %-O, 50 %-O). En general la variedad Orión mostró los valores más altos respecto al color (L,  $C^*$ ), además la variedad Zhotero respondió mejor en fertilización convencional al 50 % NP +biofertilizantes comparada con la fertilización convencional 100 %.



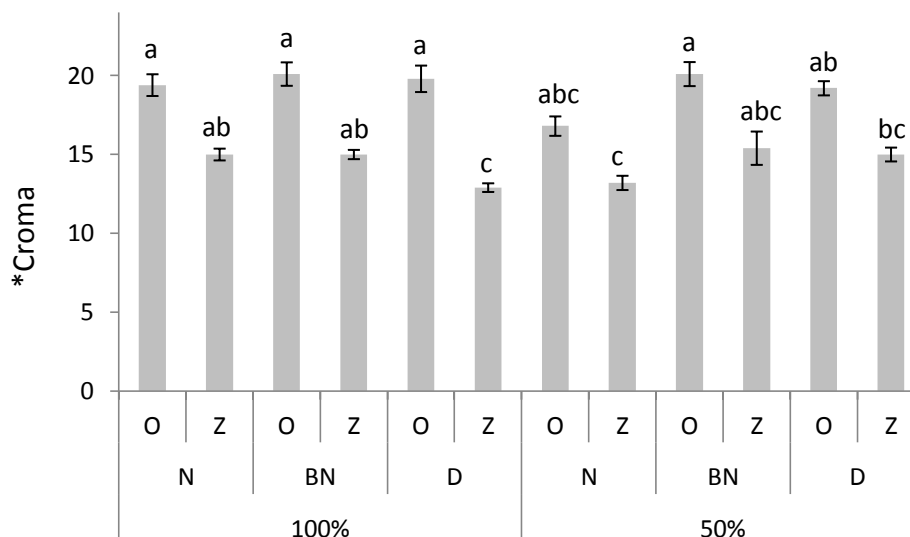
**Figura 16.** Efecto de la interacción Fertilización  $\times$  Variedad sobre el color en frutos de pimiento cultivados a campo abierto. A) espacio de color L. B) croma

(C\*). Fertilización: 100 %= convencional NP, 50 %= 50 % de NP convencional + biofertilizantes. Variedad: O=orión, Z=zhotero. Barras de error típico (n=36). Columnas con la misma letra, son estadísticamente iguales según la prueba Tukey ( $P \leq 0.05$ ).

En la interacción *Acolchado*  $\times$  *Variedad* se mostraron diferencias significativas ( $P \leq 0.05$ ) entre tratamientos en el espacio de color L y el croma (C\*) (**Figura 17**). Durante esta interacción la tendencia estuvo marcada por la variedad, siendo los tratamientos de la variedad Orión (N-O, BN-O, D-O) los más favorecidos respecto a las combinaciones de los tratamientos con la variedad Zhotero (N-Z, BN-Z, D-Z). Para la interacción de tres factores *Fertilización*  $\times$  *Acolchado*  $\times$  *Variedad* se observaron diferencias significativas ( $P \leq 0.05$ ) entre tratamientos respecto al croma (C\*), en donde nuevamente la tendencia fue marcada por variedad, siendo los tratamientos de la variedad Orión los más atractivos respecto al color de los frutos (**Figura 18**). Al respecto las diferencias entre variedad Orión y Zhotero pueden obedecer a una mejor adaptabilidad de Orión a las condiciones del medio en que se desarrollaron.



**Figura 17.** Efecto de la interacción *Acolchado*  $\times$  *Variedad* sobre el color en frutos de pimiento cultivados a campo abierto. Acolchado plástico: N=negro, BN=blanco/negro, D=desnudo. Variedad: O=orión, Z=zhotero. Barras de error típico (n=24). Columnas con la misma letra, son estadísticamente iguales según la prueba Tukey ( $P \leq 0.05$ ).



**Figura 18.** Efecto de la interacción Fertilización  $\times$  Acolchado  $\times$  Variedad sobre el color en frutos de pimiento cultivados a campo abierto. Fertilización: 100 %= convencional NP, 50 %= 50 % de NP convencional + biofertilizantes. Acolchado plástico: N=negro, BN=blanco/negro, D=desnudo. Variedad: O= ori3n, Z=zhotero. Barras de error t3pico ( $n=12$ ). Columnas con la misma letra, son estad3sticamente iguales en base a la prueba Tukey ( $P\leq 0.05$ ).

## V. RESULTADOS Y DISCUSI3N DE EXPERIMENTACI3N POSCOSECHA

### 5.1 Caracterizaci3n de L3tex PVAc-PVA

#### 5.1.1 Di3metro de Part3cula

El l3tex obtenido mediante polimerizaci3n en heterofase tuvo un di3metro de part3cula promedio de 213.13 nm. Las dimensiones de las part3culas del l3tex preparado mediante polimerizaci3n en micro emulsi3n pueden facilitar el recubrimiento de los productos alimenticios para prolongar su vida 3til (Cortez *et al.*, 2011).

#### 5.1.2 Permeabilidad al Ox3geno

La mejor manera para expresar las caracter3sticas de barrera de una pel3cula polim3rica es la permeabilidad, cualidad que indica la cantidad de sustancia que fluye a trav3s de la pel3cula de espesor homog3neo, por unidad de 3rea expuesta, tiempo, y gradiente de presi3n parcial o de concentraci3n, establecida entre las superficies de la pel3cula. (Jim3nez-Torres, 2001). La permeabilidad promedio al O<sub>2</sub> de la pel3cula de l3tex PVAc-

PVA fue de  $3.1 \times 10^{-18}$  mol m m<sup>-2</sup> s<sup>-1</sup> Pa<sup>-1</sup>. Asimismo, la comparación con otros materiales, permite comparar la permeabilidad al O<sub>2</sub> a las películas de PVAc-PVA obtenidas en este ensayo, las cuales mostraron una baja permeabilidad respecto a otros recubrimientos, por ejemplo Arvanitoyannis *et al.* (1998) reportaron valores mayores de permeabilidad (mol m m<sup>-2</sup> s<sup>-1</sup> Pa<sup>-1</sup>) en películas de quitosano-gelatina-sorbitol ( $2.6 \times 10^{-16}$ ) y de (almidón-hidroxiprolil) -gelatina-glicerol ( $4.8 \times 10^{-15}$ ). Jangchud y Chinnan (1999) reportaron que las películas de concentrado de cacahuete exhiben permeabilidad de  $3.7 \times 10^{-18}$  mol m m<sup>-2</sup> s<sup>-1</sup> Pa<sup>-1</sup> mientras que McHugh y Krochta (1994), encontraron que la transmisión de este gas en materiales de proteína aislada de suero de leche y glicerol ocurre entre  $6.9 \times 10^{-18}$  y  $2.8 \times 10^{-18}$  mol m m<sup>-2</sup> s<sup>-1</sup> Pa<sup>-1</sup>, que son valores similares a los encontrados en el presente trabajo. La comparación con materiales plásticos confirma la capacidad de menor permeación de las películas PVAc-PVA, pues Cameron *et al.* (1995) señalaron que los valores, en mol m m<sup>-2</sup> s<sup>-1</sup> Pa<sup>-1</sup>, para polietileno de baja densidad son de  $2.7 \times 10^{-15}$  en el caso del polipropileno reportaron  $9.0 \times 10^{-16}$  y en cloruro de polivinilo  $1.9 \times 10^{-17}$ .

Las frutas y hortalizas frescas continúan respirando después de ser recolectadas y en consecuencia, cualquier empaquetado posterior debe tener en cuenta esta actividad respiratoria. La reducción de O<sub>2</sub> y el enriquecimiento en CO<sub>2</sub> son consecuencias naturales del desarrollo de la respiración cuando las frutas y hortalizas frescas se almacenan en un envase herméticamente cerrado. Estas modificaciones en la composición de la atmósfera, provocan un descenso en la intensidad respiratoria del material vegetal (González, 2000). Si se selecciona una película de permeabilidad intermedia, se establece una adecuada atmosfera modificada de equilibrio cuando las intensidades de transmisión de O<sub>2</sub> y CO<sub>2</sub> a través del paquete son iguales a la intensidad de respiración del producto (Vanalcocha y Requena, 1999).

### **5.1.3 Permeabilidad al vapor de agua**

La permeabilidad al vapor de agua nos indica la capacidad que tiene el material para permitir el paso del vapor de agua a través de él, por lo tanto es deseable una permeabilidad baja en los recubrimientos para tener una mayor resistencia al paso del vapor de agua, y de éste modo, mantener por mayor tiempo la hidratación y frescura en los alimentos.

Las películas de PVAc-PVA presentaron una permeabilidad de  $1.82 \text{ g mm h}^{-1}\text{m}^{-2}\text{kPa}^{-1}$  para un espesor de  $0.106 \pm 0.002 \text{ mm}$ . Resultando ser menos permeables al vapor de agua en comparación a las películas reportadas ( $4.87 \text{ g mm h}^{-1}\text{m}^{-2}\text{kPa}^{-1}$ ) por Escobar *et al.* (2009) formuladas a base de proteínas de suero de leche para un espesor de  $0.120 \text{ mm}$ , así como también aquellas de quitosán-ácido esteárico con  $7.58 \text{ g mm h}^{-1}\text{m}^{-2}\text{kPa}^{-1}$  de permeabilidad para un grosor de  $0.107 \text{ mm}$  estudiadas por Trejo *et al.* (2001).

## 5.2 Calidad de Poscosecha en Pimientos Variedad Orión

### 5.2.1 Sólidos Solubles Totales

Los frutos de pimiento cultivados bajo una fertilización 50 % NP + biofertilizantes presentaron una calidad estadísticamente igual de producto, respecto al parámetro de sólidos solubles totales (SST), que aquellos cultivados bajo fertilización convencional al 100 % durante su almacenamiento a temperatura ambiente a los 1, 4, 8 y 12 DDC (**Cuadro 9**). La fertilización asistida con agentes biológicos puede igualar como se observó en el presente trabajo o superar el contenido de SST, como se ha reportado en tomate cherry inoculado con *Glomus mosseae* donde se presentó un incremento estadísticamente significativo en SST (Sirichaiwetchakup *et al.*, 2011).

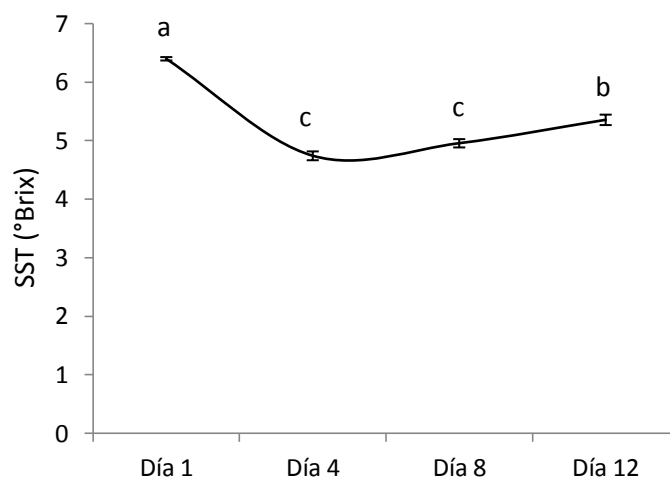
El acolchado plástico usado durante el cultivo de pimiento no marcó diferencia en la calidad de poscosecha para los frutos con tratamiento de acolchado plástico negro y blanco/negro, respecto a los frutos cultivados en suelo desnudo para el contenido de SST (**Cuadro 8**). Durante el almacenamiento el recubrimiento PVAc-PVA en pimiento no presentó efectos significativos ( $P \geq 0.05$ ) sobre los SST comparado con los frutos recubiertos, sugiriendo que el recubrimiento utilizado durante el almacenamiento a temperatura ambiente del pimiento no compromete el contenido de SST de este fruto (**Cuadro 8**) comparado con los pimientos sin recubrir. Los procesos metabólicos relacionados con el avance de la maduración influyen directamente en los niveles de SST, donde las frutas en un estado avanzado de maduración presentan niveles más altos de SST (Lyon, Senter, y Payne, 1992; Mahmood *et al.*, 2011). No hubo diferencias significativas ( $P \geq 0.05$ ) para las interacciones *Fertilización*  $\times$  *Acolchado*, *Fertilización*  $\times$  *Recubrimiento* y *Acolchado*  $\times$  *Recubrimiento*, así como tampoco se presentaron diferencias en los tratamientos para la interacción de tres factores *Fertilización*  $\times$  *Acolchado*  $\times$  *Recubrimiento* (**Anexo 1**).

**Cuadro 8.** Efecto de la fertilización, uso de acolchado plástico y el recubrimiento PVAc-PVA sobre los sólidos solubles totales (SST) en frutos de pimiento almacenados a temperatura ambiente.

Tratamiento	SST			
	Día 1	Día 4	Día 8	Día 12
<i>Fertilización</i>				
100 %	6.4 a	4.7 a	5.0 a	5.4 a
50 %	6.4 a	4.8 a	4.9 a	5.3 a
<i>Acolchado</i>				
N	6.4 a	4.6 a	4.8 a	5.1 a
B/N	6.3 a	4.8 a	5.0 a	5.5 a
D	6.5 a	4.8 a	5.0 a	5.5 a
<i>Recubrimiento</i>				
SR	6.4 a	4.7 a	5.0 a	5.3 a
CR	6.4 a	4.8 a	5.0 a	5.4 a

Fertilización: 100 %= convencional de NP, 50 %= 50 % convencional de NP + biofertilizantes. Acolchado plástico: N=negro, BN=blanco/negro, D=desnudo. Recubrimiento: CR= frutos con recubrimiento, SR= frutos sin recubrimiento. Promedios (n=4) dentro de columnas con la misma letra son estadísticamente iguales según la prueba de Tukey ( $P \leq 0.05$ ).

Sin embargo, el comportamiento general de los SST durante el almacenamiento de los pimientos a temperatura ambiente se puede observar en la **Figura 19** donde el contenido inicial de SST disminuyó significativamente ( $P \leq 0.05$ ) durante los 4, 8 y 12 DDC comparado con los SST el primer día DDC, posiblemente debido al consumo de los azúcares durante la respiración y otras actividades metabólicas (Çagatay *et al.*, 2002), las cuales incrementan por el estrés que se presenta en los frutos después de la cosecha (Burg y Burg, 1965). Sin embargo a partir de los 4 a los 12 DDC el contenido de SST aumenta ligeramente, lo cual pudo deberse a que pasado el tiempo, el estrés de los frutos recién cosechados disminuye y los azúcares empiezan a acumularse por un menor consumo y degradación de los polisacáridos durante la maduración de los frutos (Mahmood *et al.*, 2011) ya que los azúcares representan la mayor fracción de los SST en pimiento (USDA, 2005). Por otra parte el aumento en los SST durante el almacenamiento de los frutos puede estar relacionado también a la constante pérdida de humedad y con ello un efecto de concentración de estos metabolitos (Çagatay *et al.*, 2002).



**Figura 19.** Comportamiento general de los sólidos solubles totales (SST) durante 12 días de almacenamiento a temperatura ambiente de frutos de pimiento vc. Orión. Las barras representan el error típico ( $n=48$ ). Valores con la misma letra, son estadísticamente iguales según la prueba Tukey ( $P \leq 0.05$ ).

### 5.2.2 pH

Los frutos de pimiento cultivados en fertilización convencional al 100 % presentaron mayores valores significativamente ( $P \leq 0.05$ ) para el parámetro de pH, durante los 8 y 12 DDC (**Cuadro 9**). El pH de los frutos se encuentra relacionado con la síntesis de ácidos orgánicos, en el caso de las hortalizas almacenadas se ha descrito un comportamiento general que al disminuir la acidez, consecuentemente aumentan los valores de pH. (Salunkhe *et al.*, 1991). Durante el almacenamiento de los frutos el contenido de ácidos orgánicos, que son sustancias activas durante los cambios en la maduración (Chitarra y Chitarra, 1990), decrece por su consumo durante las reacciones metabólicas que implican la síntesis de pigmentos, enzimas, degradación de las pectinas y celulosas propias del proceso de maduración (Mahmood *et al.*, 2011).

La fertilización convencional al 100 % presentó los valores más altos de pH durante los 8 y 12 DDC, sugiriendo que el contenido de ácidos orgánicos en el fruto, decrecieron en mayor grado por efectos de la maduración de los pimientos más acelerada en comparación con los frutos de pimiento cultivados en fertilización al 50 % NP+ biofertilizantes. Las BPCV y los HMA mejoran el estatus nutricional de las plantas (Augé 2001; Vessey 2003) propiciando una mejor calidad de frutos.



**Cuadro 9.** Efecto de la fertilización, uso de acolchado plástico y el recubrimiento PVAc-PVA sobre el pH en frutos de pimiento almacenados a temperatura ambiente.

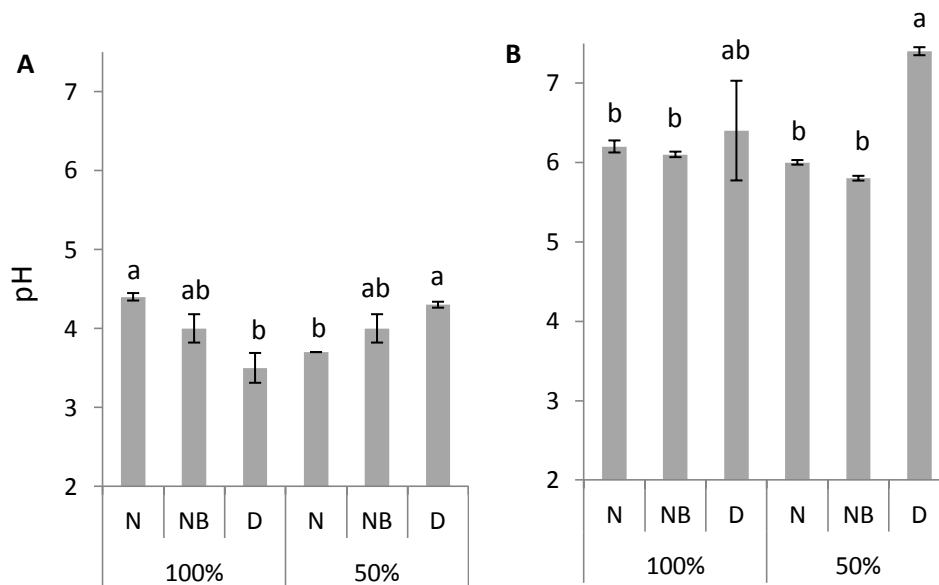
Tratamiento	pH			
	Día 1	Día 4	Día 8	Día 12
<i>Fertilización</i>				
100 %	4.0 a	6.3 a	6.1 a	6.2 a
50 %	4.0 a	6.4 a	6.0 b	6.0 b
<i>Acolchado</i>				
N	4.0 a	6.1 b	6.1 a	6.2 a
B/N	4.0 a	6.0 b	6.0 a	5.0 b
D	3.9 a	6.9 a	6.1 a	6.2 a
<i>Recubrimiento</i>				
SR	4.0 a	6.4 a	6.1 a	6.1 a
CR	4.0 a	6.3 a	6.0 a	6.1 a

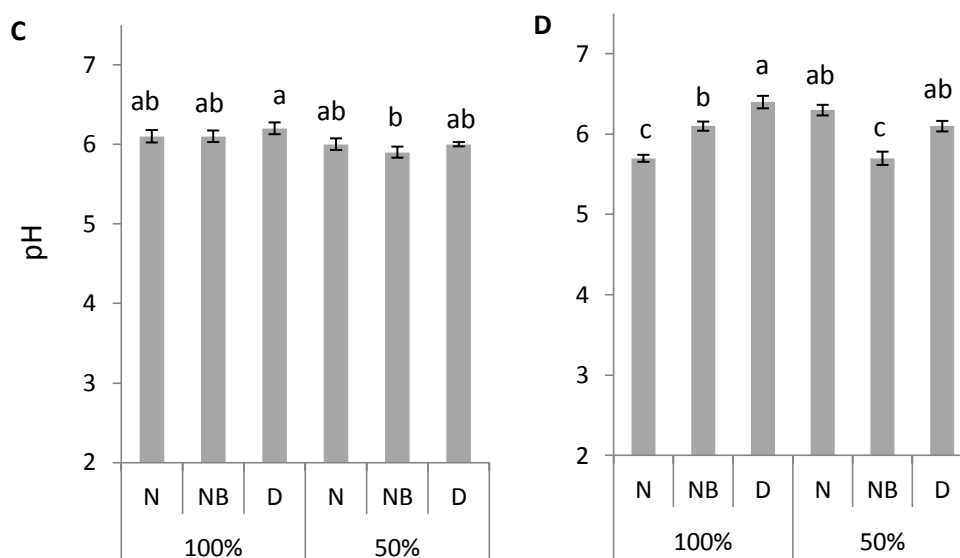
Fertilización: 100 %= convencional de NP, 50 %= 50 % convencional de NP + biofertilizantes. Acolchado plástico: N=negro, BN=blanco/negro, D=desnudo. Recubrimiento: CR= frutos con recubrimiento, SR= frutos sin recubrimiento. Promedios (n=4) dentro de columnas con la misma letra son estadísticamente iguales según la prueba de Tukey ( $P \leq 0.05$ ).

Por otro lado, el tratamiento de acolchado plástico presentó diferencias significativas ( $P \leq 0.05$ ) para el pH, a los 4 y 12 DDC donde los frutos cultivados en suelo desnudo tuvieron los valores más altos, para los 12 DDC el acolchado negro y suelo desnudo fueron estadísticamente similares, con los valores más altos para pH (**Cuadro 9**). De acuerdo a los resultados mostrados, los frutos cultivados en suelo desnudo tienen mayor decaimiento en su contenido de ácidos orgánicos durante los primeros días de almacenamiento, respecto a los frutos cultivados en acolchado plástico, sin embargo el contenido de los frutos cultivados en acolchado plástico negro decrece a la par de los de suelo desnudo para los 12 DDC a temperatura ambiente. Ya que los valores altos de pH están asociados a bajos contenidos de ácidos orgánicos en los frutos (Salunkhe *et al.*, 1991), el acolchado plástico blanco/negro parece tener una influencia positiva sobre la retención del contenido de ácidos orgánicos en poscosecha durante el almacenamiento de los pimientos a temperatura ambiente. Esto se debió posiblemente al efecto del acolchado plástico sobre el aumento de la disponibilidad de humedad en suelo para el cultivo mediante la restricción de la evaporación directa del agua del suelo (Fuchs y Hadas, 2011), derivando en plantas menos estresadas y con ello en frutos con mejores características de poscosecha.

El recubrimiento de PVAc-PVA no tuvo influencia sobre el pH durante el almacenamiento a temperatura ambiente de los pimientos ya que durante el monitoreo a los 4, 8 y 12 DDC no existieron diferencias significativas ( $P \geq 0.05$ ) entre los frutos recubiertos y no recubiertos.

En el efecto doble para la interacción *Fertilización*  $\times$  *Acolchado* el tratamiento que mostró los valores más elevados de pH durante el 4 DDC fue la fertilización convencional al 50 % NP + biofertilizantes en suelo desnudo (50 %-D), seguido por la fertilización convencional al 100 % de NP en suelo desnudo (100 %-D) (**Figura 20**), posteriormente los tratamientos se comportaron de manera similar presentando valores de pH promedio de 6.1 y 6.1 respectivamente a los 8 y 12 DDC.





**Figura 20.** Efecto de Fertilización y Acolchado sobre el pH de frutos de pimienta cv. Orión almacenados a temperatura ambiente. A) 1 día, B) 4 días, C) 8 días y D) 12 días después de cosecha. Fertilización: 100 %= convencional de NP, 50 %= 50 % convencional de NP + biofertilizantes. Acolchado plástico: N=negro, BN=blanco/negro, D=desnudo. Las barras representan el error típico (n=8). Columnas con la misma letra, son estadísticamente iguales según la prueba Tukey ( $P \leq 0.05$ ).

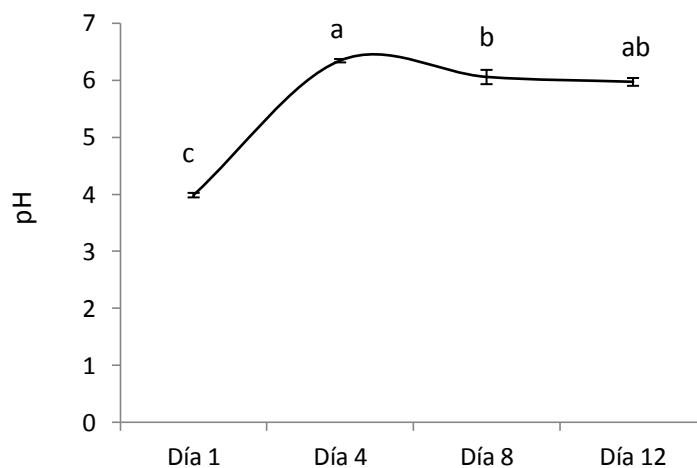
En la interacción triple *Fertilización* × *Acolchado* × *Recubrimiento* se presentaron diferencias significativas ( $P \leq 0.05$ ) solo hasta los 12 DDC (**Cuadro 10**), en donde el tratamiento que tuvo el incremento más bajo de pH, fue la fertilización convencional al 50 % NP + biofertilizantes en acolchado blanco/negro sin recubrimiento.

La tendencia general de los valores de pH durante el almacenamiento de los frutos de pimienta a temperatura ambiente fue en incremento hacia los 4 DDC y posteriormente se estabilizó durante los 8, 12 DDC, como se puede apreciar en la **Figura 21** de acuerdo con lo descrito por Salunkhe *et al.*, en 1991, los valores de pH tienden a incrementar durante el almacenamiento de las hortalizas. Este incremento de pH puede estar relacionado con el decremento de los ácidos orgánicos como menciona Mahmood *et al.*, 2011.

**Cuadro 10.** Efecto de la Fertilización, Acolchado y Recubrimiento con PVAc-PVA sobre el pH de frutos de pimiento cv. Orión almacenados a temperatura ambiente.

Tratamiento	pH			
	Día 1	Día 4	Día 8	Día 12
<i>Fertilización-Acolchado-Recubrimiento</i>				
100 %-N-SR	4.4 a	6.2 a	6.2 a	6.1 abc
100 %-N-CR	4.4 a	6.2 a	6.0 a	6.1 abc
100 %-B/N-SR	4.0 a	6.2 a	6.1 a	6.0 abc
100 %-B/N-CR	4.0 a	6.1 a	6.0 a	6.2 bc
100 %-D-SR	3.5 a	6.4 a	6.2 a	6.4 a
100 %-D-CR	3.5 a	6.4 a	6.2 a	6.4 a
50 %-N-SR	3.7 a	6.0 a	6.0 a	6.3 a
50 %-N-CR	3.7 a	6.1 a	6.0 a	6.2 ab
50 %-B/N-SR	4.0 a	5.8 a	6.0 a	5.7 c
50 %-B/N-CR	4.0 a	5.8 a	5.8 a	5.8 bc
50 %-D-SR	4.3 a	7.5 a	6.0 a	6.1 abc
50 %-D-CR	4.3 a	7.3 a	6.0 a	6.2 ab

Fertilización: 100 %= convencional, 50 %= convencional + agentes biológicos. Acolchado plástico: N=negro, BN=blanco/negro, D=desnudo. Recubrimiento: CR= frutos con recubrimiento, SR= frutos sin recubrimiento. Promedios (n=4) dentro de columnas con la misma letra son estadísticamente iguales según la prueba de Tukey ( $P \leq 0.05$ ).



**Figura 21.** Comportamiento general de pH de frutos de pimiento cv. Orión durante el periodo de almacenamiento a temperatura ambiente. Las barras representan el error típico de la media (n=48). Valores con la misma letra son estadísticamente iguales según la prueba de Tukey ( $P \leq 0.05$ ).

### 5.2.3 Ácido ascórbico

La vitamina C expresada como ácido ascórbico es un parámetro de calidad nutrimental de los alimentos vegetales, la concentración de este cambia durante la maduración y senescencia de los frutos. En esta investigación, el contenido de ácido ascórbico para el tratamiento de fertilización convencional al 100 % fue mayor significativamente ( $P \leq 0.05$ ) a los 1, 4, 8 y 12 DDC. Es posible que el mayor contenido de ácido ascórbico en los frutos cultivados bajo fertilización convencional al 100 % de NP se deba a un mayor grado de madurez al momento de la cosecha, ya que posiblemente los frutos estuvieron bajo estrés salino con este tipo de fertilización. Al respecto varios estudios (Walker *et al.*, 1980; Maggio *et al.*, 2003; Navarro *et al.*, 2006) han mostrado que el estrés salino acelera la maduración de los frutos, disminuyendo con ello la etapa intermedia entre la maduración organoléptica y el inicio de la senescencia. Además, algunos autores reportan que los pimientos orgánicamente producidos tienen un mayor contenido de compuestos biológicamente activos, incluyendo la vitamina C, sin embargo este tema es todavía muy controvertido (Szafirowska *et al.*, 2009, Hallmann *et al.*, 2012). Por ejemplo Del Amor en 2008 encontró mayor contenido de vitamina C en pimientos verdes inoculados con *Azospirillum* y *Pantonea*, en contraste con los resultados aquí mostrados (**Cuadro 11**), esta diferencia puede deberse a que los frutos aquí analizados no fueron cultivados orgánicamente, sino bajo una fertilización asistida con *Glomus* y *Azospirillum*.

De acuerdo con varios reportes, los frutos de pimiento pueden presentar cambios drásticos en la concentración de ácido ascórbico durante su desarrollo, mostrando valores bajos (alrededor  $5 \text{ mg } 100\text{g}^{-1}$ ) en etapas inmaduras (verdes) que aumentan más de 40 veces en las etapas maduras completas (Marín *et al.*, 2004; Pérez-López *et al.*, 2007). Sin embargo el incremento en la concentración de ácido ascórbico durante el almacenamiento de los frutos, también está relacionado con la pérdida de masa causada principalmente por la pérdida de agua y el efecto de concentración que se genera de ácido ascórbico en los frutos como reportó Jiménez *et al.*, en 2003. Además se ha reportado una disminución del contenido de ácido ascórbico durante la maduración avanzada (Gnayfeed *et al.*, 2001) que la atribuyen a la función antioxidante de este compuesto durante la maduración a senescencia (Markus *et al.*, 1999). Respecto al tratamiento acolchado plástico, los frutos con mayor contenido de ácido ascórbico fueron los de suelo desnudo durante el 1, 4 y 8 DDC, lo cual pudo deberse a una mayor

madurez de los frutos durante recolección, ya que presentaron frutos de color menos saturado comparados con los de acolchado plástico (**Cuadro 11**) y a través del tiempo de almacenamiento, se conservó esta diferencia de la concentración de ácido ascórbico. Por lo anterior podemos sugerir que los tratamientos de acolchado plástico están relacionados con una menor madurez de los frutos durante su recolección y posteriormente una menor maduración durante el almacenamiento respuesta muy probablemente ligada a una mayor disponibilidad de agua durante el cultivo (Fuchs y Hadas, 2011).

El recubrimiento de PVAc-PVA tiene influencia sobre el contenido de ácido ascórbico en frutos de pimiento almacenados a temperatura ambiente, ya que para los 8 y 12 DDC los frutos recubiertos fueron estadísticamente superiores en contenido de ácido ascórbico respecto a los frutos no recubiertos (**Cuadro 11**). El incremento de vitamina C en frutos recubiertos no lo podemos atribuir en su totalidad a la pérdida de agua como menciona Jiménez *et al.*, en 2003, ya que los frutos sin recubrimiento perdieron mayor peso (**Figura 27**). Así como tampoco podemos relacionarlo con certeza a una mayor maduración (Marín *et al.*, 2004; Pérez-López *et al.*, 2007) de los frutos con recubrimiento, debido a que el color se monitoreo hasta los 6 DDC y los resultados a este tiempo de almacenamiento no muestran diferencias estadísticas entre frutos con recubrimiento y sin recubrimiento (**Anexo II**). De acuerdo a lo anterior podemos sugerir que los pimientos con recubrimiento tuvieron un menor consumo de ácido ascórbico (como antioxidante por ejemplo) durante el almacenamiento (Markus *et al.*, 1999), esto relacionado con un menor estrés hídrico durante su almacenamiento.

Durante el almacenamiento, en la interacción *Fertilización × Acolchado*, el tratamiento con fertilización convencional al 100 % en suelo desnudo (100 %-D) presentó mayor concentración de ácido ascórbico al 1, 4, 8 y 12 DDC (**Cuadro 12**). Este comportamiento puede estar relacionado con una mayor madurez de los frutos al ser recolectados aunado al mantenimiento de esta diferencia en relación a los otros tratamientos por el efecto de concentración del ácido ascórbico por la pérdida de agua, ya que no se presentaron diferencias estadísticas respecto a la pérdida de peso entre tratamientos. Los cultivos hortícolas bajo estrés tienden a reducir su calidad comparados con cultivos en condiciones óptimas. El acolchado plástico amortigua el efecto de estrés hídrico en las plantas, así como también los HMA pueden reducir los efectos de estrés asociados a la nutrición y el agua (Montero *et al.*, 2010). Hacia los 12 DDC se observó

que los tratamientos de fertilización al 100 % (100 %-N, 100 %-BN y 100 %-D) tuvieron mayor contenido de ácido ascórbico relacionado con la mayor pérdida de peso (**Figura 26**) que presentaron. De acuerdo con los resultados podemos sugerir que la fertilización convencional al 50 % NP + biofertilizantes y el uso de acolchado plástico generan frutos de pimiento que mantienen de manera más constante el contenido de ácido ascórbico.

**Cuadro 11.** Efecto de la fertilización, uso de acolchado plástico y recubrimiento PVAc-PVA sobre el contenido de ácido ascórbico de frutos de pimiento cv. Orión almacenados a temperatura ambiente.

Tratamiento	Ácido ascórbico (mg/100g)			
	Día 1	Día 4	Día 8	Día 12
<i>Fertilización</i>				
100 %	44.5 a	50.2 a	65.8 a	73.0 a
50 %	42.9 b	47.9 b	58.5 b	68.7 b
<i>Acolchado</i>				
N	43.7 ab	45.9 b	59.5 b	71.5 a
B/N	42.6 b	47.5 b	61.5 b	70.6 a
D	44.8 a	53.7 a	65.5 a	70.5 a
<i>Recubrimiento</i>				
SR	43.9 a	48.2 a	60.1 b	68.7 b
CR	43.5 a	49.9 a	64.2 a	73.0 a

Fertilización: 100 %= convencional de NP, 50 %= 50 % convencional + biofertilizantes. Acolchado plástico: N=negro, BN=blanco/negro, D=desnudo. Recubrimiento: CR= frutos con recubrimiento, SR= frutos sin recubrimiento. Promedios (n=4) dentro de columnas con la misma letra son estadísticamente iguales según la prueba de Tukey ( $P \leq 0.05$ ).

Los pimientos cultivados con fertilización convencional al 100 % con recubrimiento (100 %-CR), presentaron durante la interacción *Fertilización*  $\times$  *Recubrimiento*, el mayor contenido de ácido ascórbico durante el almacenamiento al 1, 4, 8 y 12 DDC (**Cuadro 12**). El comportamiento del tratamiento 100 %-CR, puede obedecer a una mayor madurez al momento de la cosecha, así como a una concentración del ácido ascórbico de acuerdo a las mayores pérdidas de peso que se presentaron en tratamientos con fertilización al 100 % (**Figura 26**), aunado a un menor decrecimiento de la vitamina C, para la actividad antioxidante ya que se observó una menor pérdida de humedad en frutos con recubrimiento.

**Cuadro 12.** Efecto de la Fertilización y Acolchado, Fertilización y Recubrimiento, Acolchado y Recubrimiento sobre el contenido de ácido ascórbico en frutos de pimiento cv. Orión almacenados a temperatura ambiente.

Tratamiento	Ácido ascórbico (mg100g <sup>-1</sup> )			
	Día 1	Día 4	Día 8	Día 12
<i>Fertilización-Acolchado</i>				
100 %-N	44.1 a	48.3 b	62.2 bc	74.2 a
100 %-B/N	44.8 a	48.3 b	65.5 ab	72.2 ab
100 % D	44.6 a	53.9 a	69.7 a	72.6 ab
50 %-N	43.2 ab	43.6 c	56.8 e	68.9 b
50 %-B/N	40.3 b	46.6 bc	57.4 de	68.9 b
50 %-D	45.1 a	53.4 a	61.3 cd	68.4 b
<i>Fertilización-Recubrimiento</i>				
100 %-SR	44.5 a	48.3 b	64.2 b	70.5 b
100 %-CR	44.5 a	52.1 a	67.4 a	75.5 a
50 %-SR	43.4 a	48.1 b	55.9 d	66.9 b
50 %-CR	42.4 a	47.6 b	61.1 c	70.5 b
<i>Acolchado-Recubrimiento</i>				
N-SR	43.7 a	44.9 c	58.2 c	70.0 ab
N-CR	43.7 a	47.0 bc	60.8 bc	73.1 a
B/N-SR	43.3 a	48.2 bc	58.6 c	69.1 ab
B/N-CR	41.9 a	46.7 bc	64.4 ab	71.9 ab
D-SR	44.8 a	51.4 ab	63.4 b	67.0 b
D-CR	44.9 a	55.9 a	67.6 a	74.0 a

Fertilización: 100 %= convencional de NP, 50 %= 50 % convencional de NP + biofertilizantes. Acolchado plástico: N=negro, BN=blanco/negro, D=desnudo. Recubrimiento: CR= frutos con recubrimiento, SR= frutos sin recubrimiento. Promedios (n=4) dentro de columna con la misma letra son estadísticamente iguales según la prueba de Tukey ( $P \leq 0.05$ ).

Para la interacción *Acolchado*  $\times$  *Recubrimiento* el tratamiento suelo desnudo con frutos recubiertos, presentó un mayor contenido de ácido ascórbico (**Cuadro 12**) durante los 4, 8 y 12 DDC. Posiblemente observamos una mayor maduración de los frutos en el cultivo en suelo desnudo, sumado al efecto de un menor decremento de ácido ascórbico debido al menor estrés hídrico poscosecha en frutos con recubrimiento.

Para comprender la dinámica en la concentración del ácido ascórbico en frutos de pimiento entran en juego varios factores que no sólo dependen de la genética sino también de la etapa de desarrollo, las prácticas agrícolas, y condiciones de almacenamiento (Marín *et al.*, 2004), como se observó en los resultados anteriormente mostrados.



#### 5.2.4 Análisis de pectina

Dentro de los procesos que afectan la textura de los frutos durante su maduración a senescencia, encontramos a la despolimerización de las sustancias pécticas que provoca el ablandamiento de los tejidos por el incremento de la actividad enzimática en la maduración (Sañudo *et al.*, 2008). Durante el almacenamiento de los frutos de pimiento, no se encontraron diferencias significativas ( $P \geq 0.05$ ) entre los tratamientos de fertilización, acolchado plástico y recubrimiento como se observa en el **Cuadro 13**. A través de los días de almacenamiento, el contenido de pectina en los frutos permaneció constante al 1, 4, 8 y 12 DDC, en contraste con el continuo decremento de la firmeza en los frutos (**Figura 11**). De acuerdo a lo reportado, la degradación de las sustancias pécticas se presenta y va en aumento en la etapa final de maduración del pimiento (Ann-Ball, 1999). De esta manera es posible que debido a la etapa de madurez temprana (verde) de los pimientos analizados durante este trabajo no se hayan observado diferencias entre tratamientos en el contenido de pectina.

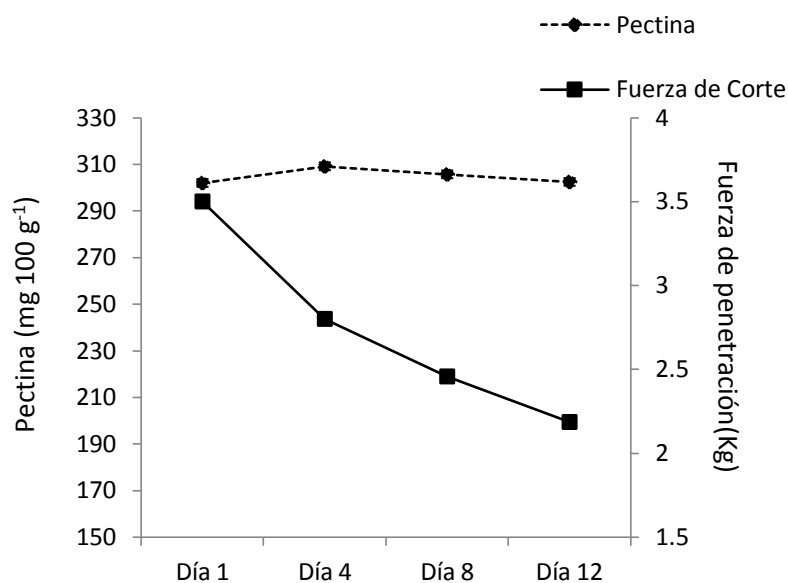
**Cuadro 13.** Efecto de la fertilización, uso de acolchado plástico y el recubrimiento PVAc-PVA sobre la degradación de la pectina en frutos de pimiento almacenados a temperatura ambiente.

Tratamiento	Día 1	Pectina (mg/100g)		
		Día 4	Día 8	Día 12
<i>Fertilización</i>				
100 %	301.5 a	306.1 a	304.9 a	299.9 a
50 %	302.4 a	311.9 a	306.0 a	304.9 a
<i>Acolchado</i>				
N	303.9 a	304.5 a	308.2 a	303.1 a
B/N	300.8 a	312.3 a	303.8 a	297.3 a
D	301.1 a	310.3 a	305.6 a	306.8 a
<i>Recubrimiento</i>				
SR	301.5 a	309.9 a	305.0 a	301.5 a
CR	302.4 a	308.5 a	305.9 a	303.3 a

Fertilización: 100 %= convencional de NP, 50 %= 50 % convencional de NP + biofertilizantes. Acolchado plástico: N=negro, BN=blanco/negro, D=desnudo. Recubrimiento: CR= frutos con recubrimiento, SR= frutos sin recubrimiento. Promedios (n=4) dentro de la fila con la misma letra son estadísticamente iguales según la prueba de Tukey ( $P \leq 0.05$ ).

El contenido de pectina durante el almacenamiento de los frutos a temperatura ambiente no presentó diferencias estadísticas ( $P \geq 0.05$ ) para ningún tratamiento en las interacciones *Fertilización* × *Acolchado*, *Fertilización* × *Recubrimiento*, *Acolchado* ×

*Recubrimiento*, así como tampoco para la interacción de tres factores *Fertilización* × *Acolchado* × *Recubrimiento*.



**Figura 22.** Comportamiento de la pectina y la fuerza de penetración al 1, 4, 8 y 12 DDC en frutos de pimiento almacenados a temperatura ambiente.

### 5.2.5 Fuerza de Penetración

La fuerza de penetración está relacionada directamente con la firmeza del fruto. A través del tiempo los frutos fueron perdiendo firmeza y con ello la resistencia a la penetración fue en decremento. Entre las causas más probables de la pérdida de firmeza en los frutos se encuentra la pérdida de humedad. Los resultados muestran que existe una alta correlación negativa entre estas dos variables durante el almacenamiento de los frutos de pimiento (**Figura 25**). La pérdida de peso, como menciona Kader en 1987 esta principalmente en función de la pérdida de agua, conduciendo a cambios en la textura, así como cambios de apariencia, y es el principal contribuyente del deterioro de los pimientos verdes.

Los frutos fertilizados al 50 % NP + biofertilizantes tuvieron mayor firmeza que aquellos cultivados con una fertilización convencional al 100 % para el 1er DDC. Esto coincide con reportes previos que indican que las BPCV tienen un efecto positivo en frutos de tomate respecto a la calidad, particularmente en tamaño y textura (Mena-Violante *et al.*, 2007). Por su parte Del Amor en 2008, reporta una firmeza

estadísticamente igual para frutos de pimiento cultivados con 40 % de nitrógeno inoculados con *Azospirillum* y *Pantoea* que aquellos cultivados al 100 % de nitrógeno. De acuerdo a lo reportado y a los resultados encontrados en el presente trabajo, la fertilización al 50 % NP + biofertilizantes tiene el potencial para igualar o mejorar la calidad de los pimientos verdes respecto a la firmeza encontrada en frutos de plantas fertilizadas convencionalmente.

Durante el monitoreo de esta variable no se presentaron diferencias significativas ( $P \geq 0.05$ ) entre los tratamientos de fertilización, acolchado plástico y recubrimiento PVAc-PVA a los 4, 8 y 12 DDC. (**Cuadro 14**). Nuestros resultados pueden deberse a la acelerada deshidratación de los frutos durante su almacenamiento a temperatura ambiente, concordando con lo reportado para frutos de melón inoculados con HMA donde no se encontraron diferencias estadísticas durante su almacenamiento en la firmeza respecto al testigo (Padilla *et al.*, 2006), pero en contraste con Mena-Violante *et al* en 2009 que reportan una mayor firmeza en 22 % para frutos de tomate inoculados con *Bacillus subtilis* a los 10 días de almacenamiento a temperatura de 26 °C.

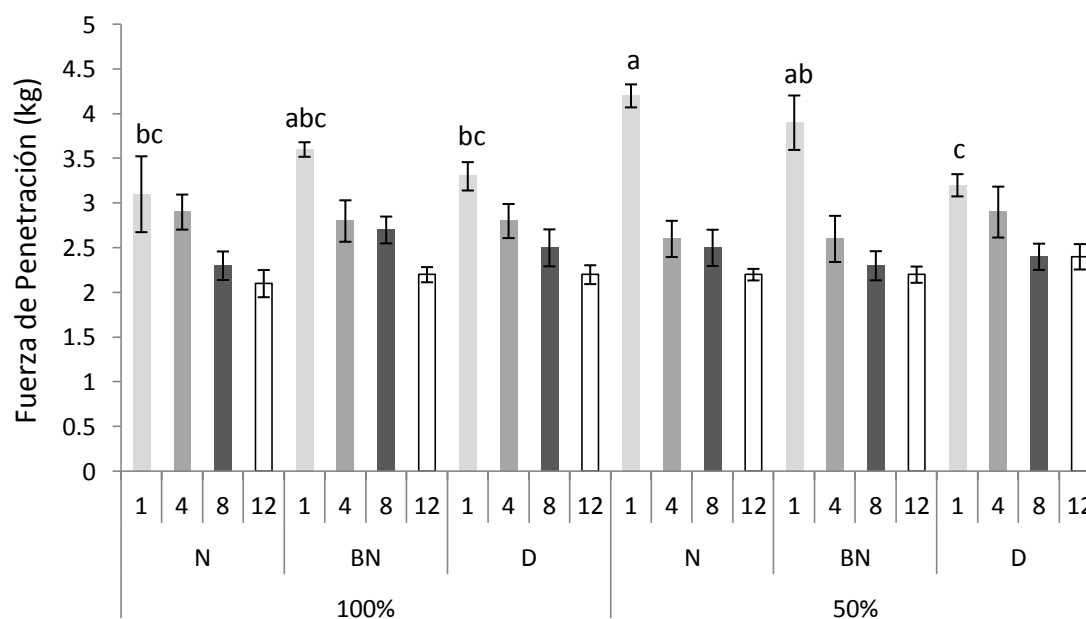
**Cuadro 14.** Efecto de la fertilización, uso de acolchado plástico y el recubrimiento PVAc-PVA sobre la fuerza de penetración en frutos de pimiento cv. Orión almacenados a temperatura ambiente.

Tratamiento	Fuerza de penetración (kg)			
	Día 1	Día 4	Día 8	Día 12
<i>Fertilización</i>				
100 %	3.3 b	2.8 a	2.5 a	2.1 a
50 %	3.7 a	2.8 a	2.4 a	2.2 a
<i>Acolchado</i>				
N	3.7 a	2.6 ab	2.4 a	2.1 a
B/N	3.7 a	2.7 b	2.5 a	2.2 a
D	3.1 b	3.0 a	2.5 a	2.3 a
<i>Recubrimiento</i>				
SR	3.5 a	2.9 a	2.4 a	2.2 a
CR	3.5 a	2.8 a	2.5 a	2.2 a

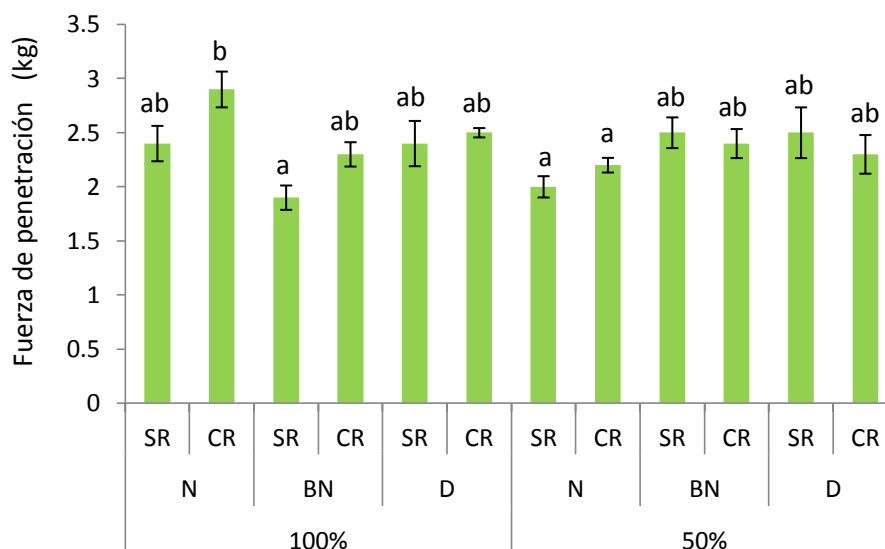
Fertilización: 100 %= convencional de NP, 50 %= 50 % convencional de NP + biofertilizantes. Acolchado plástico: N=negro, BN=blanco/negro, D=desnudo. Recubrimiento: CR= frutos con recubrimiento, SR= frutos sin recubrimiento. Promedios (n=4) dentro de columnas con la misma letra son estadísticamente iguales según la prueba de Tukey ( $P \leq 0.05$ ).

Para el análisis de fuerza de penetración se presentaron diferencias significativas ( $P \leq 0.05$ ) en la interacción *Fertilización*  $\times$  *Acolchado*, únicamente en los valores iniciales al 1 DDC donde el tratamiento con firmeza más elevada fue la fertilización convencional al 50 % NP + biofertilizantes en acolchado negro (50 %-N) sin embargo este efecto no se mantuvo durante el tiempo de almacenamiento, observándose que a los 4, 8 y 12 DDC los tratamientos fueron estadísticamente iguales respecto a la firmeza de los frutos del resto de los tratamientos (**Figura 23**). En general se observó una mayor firmeza inicial para los tratamiento de fertilización convencional al 50 % NP + biofertilizantes para los frutos de pimiento como se describió en el efecto simple.

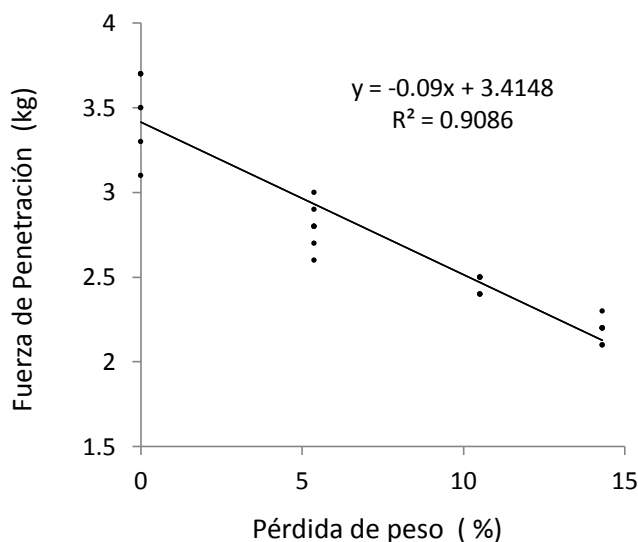
No se presentaron diferencias entre tratamientos para las interacciones entre *Fertilización*  $\times$  *Recubrimiento* o *Acolchado*  $\times$  *Recubrimiento* (**Anexo II**). Además, para el caso de la interacción de tres factores *Fertilización*  $\times$  *Acolchado*  $\times$  *Recubrimiento* se mostraron diferencias significativas ( $P \leq 0.05$ ) entre los tratamientos para los 12 DDC, en donde los tratamientos 100 %-BN-SR, 50 %-N-SR y 50 %-N-CR tuvieron la menor firmeza estadísticamente en contraste con el tratamiento 100 %-N-CR fue el tratamiento con mayor fuerza de penetración en frutos de pimiento almacenados a temperatura ambiente (**Figura 24**).



**Figura 23.** Efecto de la Fertilización y Acolchado sobre la fuerza de penetración en frutos de pimiento cv. Orión almacenados a temperatura ambiente. Las arras representan el error típico ( $n=8$ ). Columnas con la misma letra, son estadísticamente iguales según la prueba Tukey ( $P \leq 0.05$ ).



**Figura 24.** Efecto de la Fertilización, Acolchado y Recubrimiento sobre la fuerza de penetración en frutos de pimiento cv. Orión almacenados a temperatura ambiente. Las barras representan el error típico ( $n=4$ ). Columnas con la misma letra, son estadísticamente iguales en base a la prueba Tukey ( $P \leq 0.05$ ).



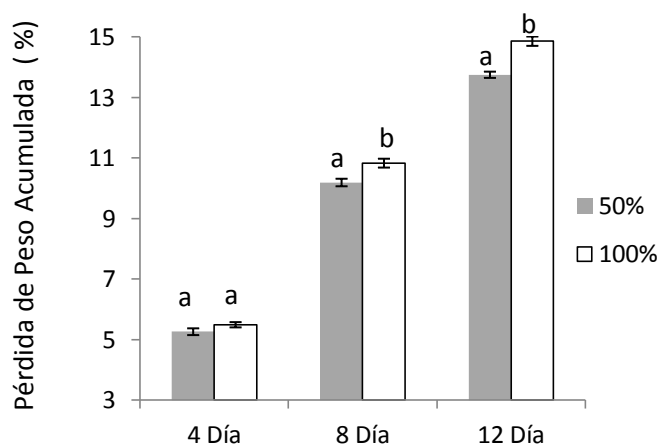
**Figura 25.** Correlación entre fuerza de corte y pérdida de peso en frutos de pimiento cv. Orión almacenados a temperatura ambiente, al 1, 4, 8 y 12 DDC.

### 5.2.6 Pérdida de Peso

Durante el almacenamiento la pérdida de peso es un factor limitante para la vida de anaquel de diversos productos frescos y el pimiento no es la excepción (Kader, 1987). Los frutos estuvieron expuestos a condiciones de laboratorio a una temperatura mínima

22°C y máxima 36°C y una humedad relativa mínima de 54 % y máxima de 78 %. Los resultados mostraron mayores pérdidas de peso al promediar de 5.3 % en los primeros cuatro días de almacenamiento, mientras que del cuarto al octavo día perdieron 5.1 % y a partir de este último al doceavo día de almacenamiento se observaron pérdidas de 3.7 % promedio, acumulando una pérdida de peso total promedio de 14.26 % a los 12 días.

El tratamiento de fertilización aplicada al cultivo de pimiento presentó diferencias significativas ( $P \leq 0.05$ ) ya que los frutos cultivados con fertilización convencional al 100 % registraron pérdidas de peso 8.3 % y 13.2 % superiores, a los 8 y 12 DDC respectivamente, comparados con la fertilización convencional al 50 % NP + biofertilizantes (**Figura 26**). De acuerdo con los resultados encontrados el tipo de fertilización afecta la pérdida de peso durante el almacenamiento de los pimientos. En algunos trabajos similares pero en cultivo de tomate inoculado con *Bacillus subtilis*, se han reportado menores pérdidas en peso (Mena-Violante *et al.*, 2009), mientras que durante el almacenamiento de frutos de melón cultivados con HMA no se encontraron diferencias en pérdida de peso comparados con el testigo no inoculado (Padilla *et al.*, 2006).

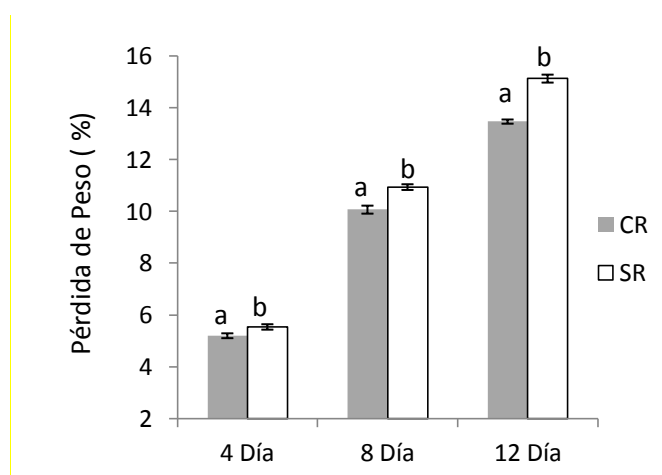


**Figura 26.** Efecto de la fertilización sobre la pérdida de peso acumulada a los 4, 8 y 12 DDC en frutos de pimiento cultivadas a campo abierto. Fertilización: 100 %= convencional de NP, 50 %= 50 % convencional de NP + biofertilizantes. Las barras representan el error típico ( $n=46$ ). Columnas con la misma letra, son estadísticamente iguales según la prueba de Tukey ( $P \leq 0.05$ ).

Respecto al tratamiento de acolchado plástico, este no tuvo influencia sobre la calidad de poscosecha de los pimientos respecto a la pérdida de peso, ya que no mostró diferencias estadísticas durante el almacenamiento a temperatura ambiente de los frutos

a los 4, 8 y 12 DDC comparado con el testigo.

En el tratamiento de recubrimiento PVAc-PVA, los frutos sin recubrimiento tuvieron significativamente ( $P \leq 0.05$ ) mayores pérdidas de peso en 6.5 %, 10.9 % y 23.2 % a los 4, 8 y 12 DDC respectivamente, en relación a los frutos con recubrimiento (**Figura 27**). El recubrimiento PVAc-PVA retardó la pérdida de peso en los pimientos almacenados a temperatura ambiente, posiblemente por una menor deshidratación de los frutos, mediante una menor difusión de vapor de agua entre el fruto y la atmosfera. En trabajos similares con recubrimientos comestibles sintéticos, Cortez (2006) con un recubrimiento de PVAc y Guillén (2013) con un recubrimiento de PVAc-PVA utilizados en frutos de tomate reportaron una reducción en pérdida de peso durante el almacenamiento de los frutos, coincidiendo con los resultados encontrados durante este trabajo.



**Figura 27.** Efecto del recubrimiento PVAc-PVA en la pérdida de peso acumulada a los 4, 8 y 12 DDC en frutos de pimiento cv. Orión cultivadas a campo abierto. Recubrimiento: CR= frutos con recubrimiento, SR= frutos sin recubrimiento. Las barras representan el error típico ( $n=24$ ). Columnas con la misma letra, son estadísticamente iguales según la prueba Tukey ( $P \leq 0.05$ ).

La interacción *Fertilización*  $\times$  *Acolchado* causó diferencias significativas ( $P \leq 0.05$ ) en los frutos únicamente a los 12 DDC (**Cuadro 15**), encontrando que los tratamientos con menores pérdidas de peso corresponden a los frutos con fertilización al 50 % NP + biofertilizantes en acolchado negro y blanco/negro (50 %-N, 50 %-BN). En contraste para esta interacción, el tratamiento más desfavorecido fue la fertilización convencional y acolchado plástico blanco/negro (100 %-BN), presentando un 14.9 % de pérdida de peso acumulada. De acuerdo a los resultados encontrados es posible que estemos

observando una mayor calidad poscosecha en los frutos cultivados en fertilización al 50 % NP + biofertilizantes en acolchados plásticos, debido al efecto del acolchado plástico sobre la rizósfera de la planta (humedad y temperatura) la cual es a su vez del medio ambiente de los microorganismos inoculados (*Glomus* y *Azospirillum*). Al respecto se ha reportado que el acolchado plástico mejora el ambiente de la rizósfera y consecuentemente el desarrollo de los microorganismos (Zribi *et al.*, 2011). Además las BPCV promueven el crecimiento vegetal al actuar como biofertilizantes que mejoran el estatus nutricional de las plantas huéspedes (Vessey, 2003) que a su vez deriva en una mejor calidad de frutos. En este sentido, Mena-Violante y Olalde-Portugal (2007) reportaron los efectos positivos de *Bacillus subtilis* sobre la calidad de frutos de tomates, en particular sobre el tamaño y la textura. Por su parte durante la simbiosis los HMA pueden reducir el impacto negativo del estrés hídrico en las plantas (Augé, 2001), además de la mejora en el estatus nutrimental.

En la interacción *Acolchado* × *Recubrimiento* existieron diferencias significativas para los 8 y 12 DDC, en donde los tratamientos con recubrimiento tuvieron las menores pérdidas de peso como es el caso de frutos en acolchado blanco/negro y suelo desnudo con recubrimiento (BN-CR y D-CR). Este resultado puede estar relacionado a la mayor actividad fotosintética que presentaron las plantas de pimiento en acolchado blanco/negro y suelo desnudo, derivando en una mejor calidad de frutos. El recubrimiento está afectando positivamente la calidad del pimiento respecto a las pérdidas de peso posiblemente por una menor deshidratación de los frutos, por las propiedades barrera mediante una menor difusión de vapor de agua entre el fruto y la atmosfera.

Para la interacción *Fertilización* × *Recubrimiento* se marcaron diferencias estadísticas durante todo el almacenamiento de los frutos a temperatura ambiente entre los tratamientos. Los tratamientos con significativamente ( $P \leq 0.05$ ) menores pérdidas de peso fueron los frutos con recubrimiento tanto en fertilización convencional al 100 % y fertilización al 50 % NP + biofertilizantes (100 %-CR y 50 %-CR) pero estadísticamente iguales ( $P \geq 0.05$ ) entre ellos respecto a los demás tratamientos (**Figura 28**). Observando nuevamente el efecto positivo del recubrimiento PVAc-PVA en la calidad de poscosecha del pimiento almacenado a temperatura ambiente, coincidiendo con el comportamiento en frutos de tomate recubiertos con PVA y PVAc-PVA (Cortez, 2006; Guillén, 2013). Respecto a la fertilización entre los frutos sin recubrimiento, el

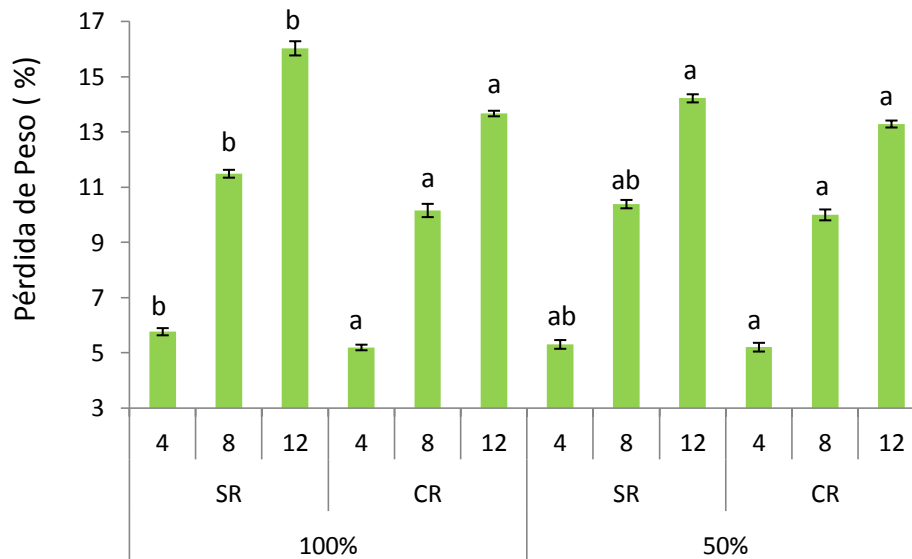


tratamiento de fertilización al 50 % NP + biofertilizantes sin recubrimiento (50 %-SR) presentó menor pérdida de peso en relación a la fertilización convencional al 100 % sin recubrimiento (100 %-SR). El tipo de fertilización impactó la calidad de los frutos de pimiento durante su almacenamiento, encontrando efectos positivos respecto a la fertilización al 50 % +biofertilizantes, relacionado la mejora en el estatus nutricional de las plantas por las BPCV y los HMA al actuar como biofertilizantes (Vessey, 2003; Cardoso y Kuyper, 2006), además los HMA pueden reducir el impacto negativo del estrés hídrico en las plantas (Augé, 2001), que a su vez deriva en una mejor calidad de frutos.

**Cuadro 15.** Efecto de la Fertilización, Acolchado y Acolchado, Recubrimiento sobre la pérdida de peso en frutos de pimiento cv. Orión almacenados a temperatura ambiente.

Tratamiento	Pérdida de peso (%)		
	4 Día	8 Día	12 Día
<i>Fertilización-Acolchado</i>			
100 %-N	5.7 a	5.3 a	3.8 ab
100 %-B/N	5.2 a	5.3 a	4.9 a
100 % D	5.6 a	5.3 a	3.9 ab
50 %-N	5.0 a	4.9 a	3.4 b
50 %-B/N	5.3 a	4.8 a	3.5 b
50 %-D	5.4 a	5.1 a	3.8 ab
<i>Acolchado-Recubrimiento</i>			
N-SR	5.6 a	5.0 ab	3.7 bc
B/N-SR	5.3 a	5.5 ab	4.6 a
D-SR	5.8 a	5.6 a	4.3 ab
N-CR	5.2 a	5.2 ab	3.5 ab
B/N-CR	5.2 a	4.6 b	3.3 c
D-CR	5.2 a	4.7 ab	3.4 c

Fertilización: 100 %= convencional de NP, 50 %= 50 % convencional de NP + biofertilizantes. Acolchado plástico: N=negro, BN=blanco/negro, D=desnudo. Recubrimiento: CR= frutos con recubrimiento, SR= frutos sin recubrimiento. Promedios (n=4) dentro de la fila con la misma letra son estadísticamente iguales según la prueba de Tukey ( $P \leq 0.05$ ).



**Figura 28.** Efecto de la Fertilización y Recubrimiento sobre la pérdida de peso en frutos de pimiento cv. Orión almacenados a temperatura ambiente. Las barras representan el error típico (n=24). Columnas con la misma letra, son estadísticamente iguales en base a la prueba Tukey ( $P \leq 0.05$ ).

### 5.2.7 Color

Las propiedades de color del fruto de pimiento cambian con la maduración como resultado de la degradación de la clorofila y el aumento considerable en contenido de carotenoides. Este cambio está directamente relacionado con la temperatura e iluminación a la que está expuesto el fruto (Serrano, 2009).

Entre los tratamientos de fertilización en cultivo de pimiento, la fertilización convencional al 50 % NP + biofertilizantes mostró ser estadísticamente ( $P \leq 0.05$ ) igual, para los 1 y 6 DDC respecto los parámetros de color  $a^*$ ,  $b^*$  y L comparada con los frutos obtenidos de una fertilización convencional al 100 % (**Cuadro 16**). Durante un estudio realizado en pimiento verde, con una fertilización reducida al 40 % en nitrógeno e inoculado con *Azospirillum* y *Pantoea*, encontraron valores similares al testigo en el parámetro de color  $a^*$  (verde-rojo de la escala CIE Lab) y valores mayores de  $a^*$  para 40 % de nitrógeno sin inocular, argumentando que los frutos con deficiencia de nitrógeno presentan precocidad a la maduración (Del Amor *et al.*, 2008). De acuerdo con los resultados observados durante este trabajo una fertilización al 50 % NP complementada con biofertilizantes (*Glomus* y *Azospirillum*) tiene el potencial de

producir frutos de igual calidad de color respecto a una fertilización convencional al 100 %.

Del mismo modo, el tratamiento de acolchado plástico no tuvo influencia sobre el color de los frutos de pimiento al 1 y 6 DDC (**Cuadro 16 y 17**). Sin embargo, los frutos recubiertos con PVAc-PVA, presentaron un color verde significativamente ( $P \leq 0.05$ ) más intenso, respecto a los frutos no recubierto (**Figura 29**), para el primer día, efecto que se perdió para el día 6 de observación, ya que los frutos de pimiento estaban pasando de color verde a rojo, debido a la maduración característica de la variedad Orión. Al respecto, Ozden *et al*, (2002) mencionan que el contenido de clorofila en frutos de pimiento almacenados a temperatura ambiente decrece a partir del tercer día. La clorofila, es el pigmento mayoritario en pimiento inmaduro (verde) mientras que en el caso de pimiento maduro (rojo) los pigmentos mayoritarios son los carotenoides por tanto, conforme avanza la maduración del pimiento el parámetro de color  $a^*$  (-a verde, +a rojo) aumenta, pasando de valores bajos (verde), a valores más altos de  $a^*$  (rojo), debido a la degradación de la clorofila y al aumento progresivo de la concentración de carotenoides en los cromoplastos (Gómez-Ladrón de Guevara y Pardo-González, 1996).

**Cuadro 16.** Efecto de la fertilización, uso de acolchado plástico y el recubrimiento PVAc-PVA sobre el color (CIE Lab) en frutos de pimiento un día después de cosecha.

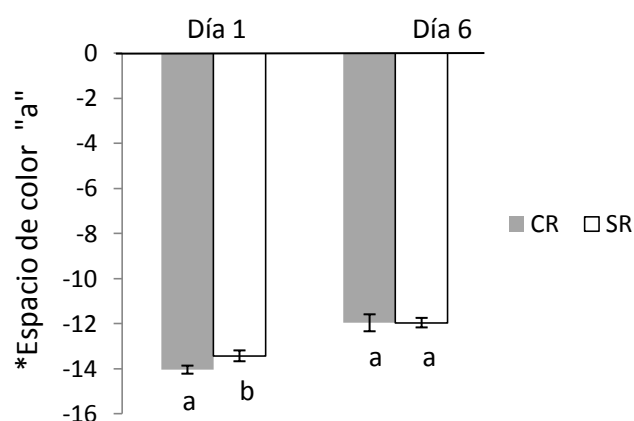
Tratamiento	Día 1			
	L	$a^*$	$b^*$	$C^*$
<i>Fertilización</i>				
100 %	39.2 a	-13.8 a	18.3 a	23.0 a
50 %	39.4 a	-13.7 a	18.6 a	23.2 a
<i>Acolchado</i>				
N	39.4 ab	-13.8 a	19.4 a	24.0 a
B/N	40.1 a	-13.9 a	18.5 a	23.1 a
D	38.4 b	-13.6 a	17.6 a	22.2 a

Fertilización: 100 %= convencional de NP, 50 %= 50 % convencional de NP + biofertilizantes. Acolchado plástico: N=negro, BN=blanco/negro, D=desnudo. Promedios (n=4) dentro de la fila con la misma letra son estadísticamente iguales según la prueba de Tukey ( $P \leq 0.05$ ).

**Cuadro 17.** Efecto de la fertilización, uso de acolchado plástico y el recubrimiento PVAc-PVA sobre el color (CIE Lab) en frutos de pimiento seis días después de cosecha.

Tratamiento	Día 6			
	L	a*	b*	C*
<i>Fertilización</i>				
100 %	38.3 a	-11.8 a	15.5 a	19.7 a
50 %	38.4 a	-12.1 a	15.8 a	20.0 a
<i>Acolchado</i>				
N	38.4 a	-12.1 a	15.4 a	19.6 a
B/N	38.8 a	-12.1 a	16.2 a	20.3 a
D	37.9 a	-11.7 a	15.4 a	19.6 a

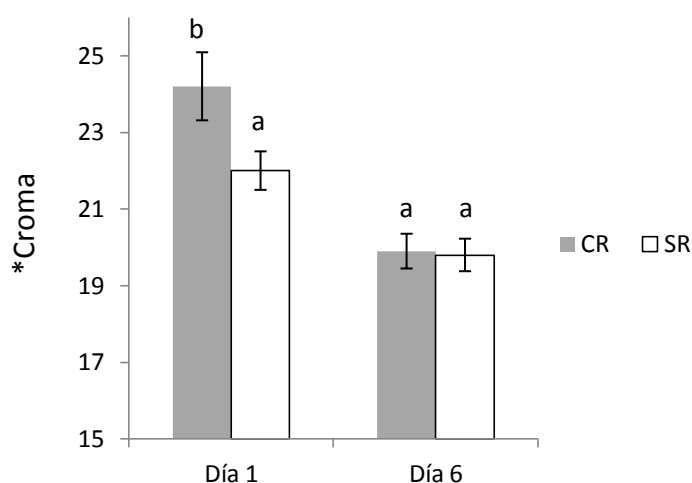
Fertilización: 100 %= convencional de NP, 50 %= 50 % convencional de NP + biofertilizantes. Acolchado plástico: N=negro, BN=blanco/negro, D=desnudo. Promedios (n=4) dentro de la fila con la misma letra son estadísticamente iguales según la prueba de Tukey ( $P \leq 0.05$ ).



**Figura 29.** Efecto del recubrimiento PVAc-PVA sobre el color "a" (CIE Lab) en frutos de pimiento cv. Orión almacenados a temperatura ambiente. Lectura de 1 y 6 DDC de los frutos. Recubrimiento: CR= frutos con recubrimiento, SR= frutos sin recubrimiento. Las barras representan el error típico (n=90). Columnas con la misma letra, son estadísticamente iguales según la prueba Tukey ( $P \leq 0.05$ ).

El parámetro de color croma ( $C^*$ ) se calculó a partir de los valores  $a^*$  y  $b^*$ , por lo tanto, su comportamiento lo describe la tendencia de estos dos valores. Los colores más intensos son aquellos con mayor valor de  $C^*$  de acuerdo con la escala CIE Lab (Serrano 2009). En el tratamiento con recubrimiento, como podemos observar en la **Figura 30**, el valor más alto de  $C^*$  ( $P < 0.05$ ) para el primer día de observación, se obtuvo en pimientos con recubrimiento, siendo el valor de  $C^*$  menor en pimiento sin

recubrimiento. El recubrimiento PVAc-PVA puede influir positivamente sobre la calidad del fruto, presentando frutos con mayor intensidad de color, en relación a los no recubiertos. Al respecto se ha reportado incrementos de la apariencia de los frutos con el uso de recubrimientos sintéticos, por ejemplo Hagenmaier y Grohmann en 1999 observaron un incremento en el brillo de manzanas recubiertas con PVAc, comparados con los no recubiertos. Para los tratamientos fertilización y acolchado plástico no se presentaron diferencias significativas en el C\* (**Cuadro 16 y 17**).



**Figura 30.** Efecto del recubrimiento PVAc-PVA sobre el \*Croma (CIE Lab) en frutos de pimiento cv. Orión almacenados a temperatura ambiente. Lectura de 1 y 6 DDC de los frutos. Recubrimiento: CR= frutos con recubrimiento, SR= frutos sin recubrimiento. Las barras representan el error típico (n=90). Columnas con la misma letra, son estadísticamente iguales según la prueba Tukey ( $P \leq 0.05$ ).

Por otro lado, no existieron diferencias significativas entre tratamientos para la interacción *Fertilización*  $\times$  *Recubrimiento* respecto a los parámetros de color en escala CIE Lab durante el almacenamiento de los pimientos a temperatura ambiente (**Anexo II**). En la interacción *Fertilización*  $\times$  *Acolchado* los tratamientos mostraron diferencias significativas ( $P \leq 0.05$ ) respecto al parámetro de color L\* al 1 DDC, siendo el tratamiento fertilización convencional al 100 % en acolchado blanco/negro el que mayor luminosidad presentó, en contraste con la fertilización convencional al 100 % en suelo desnudo (100 %-D) que obtuvo el valor más bajo de luminosidad respecto a los demás tratamientos. Sin embargo el efecto en la luminosidad de los frutos no se observó a los 6 DDC resultando todos los tratamientos iguales estadísticamente (**Cuadro 18**). El decaimiento de la luminosidad de los frutos a través del tiempo de almacenamiento

puede estar relacionado a una menor turgencia en el fruto causada por la pérdida de peso, lo que genera un arrugamiento de la epidermis del fruto.

**Cuadro 18.** Efecto de Fertilización y Acolchado sobre el color (CIE Lab) en frutos de pimiento cv. Orión a uno y seis días después de cosecha.

Tratamiento	L	Día 1		
		a*	b*	C*
<i>Fertilización-Acolchado</i>				
100 %-N	38.6 bc	-13.5 a	17.4 a	22.0 a
100 %-B/N	40.9 a	-14.2 a	19.6 a	24.3 a
100 % D	38.1 c	-13.7 a	17.9 a	22.6 a
50 %-N	40.2 ab	-14.2 a	21.3 a	25.9 a
50 %-B/N	39.3 abc	-13.5 a	17.3 a	21.9 a
50 %-D	38.8 bc	-13.4 a	17.3 a	21.9 a
Día 6				
100 %-N	38.3 a	-11.8 a	14.7 a	18.9 a
100 %-B/N	39.0 a	-12.5 a	16.7 a	20.9 a
100 % D	37.7 a	-11.2 a	15.2 a	19.3 a
50 %-N	38.6 a	-12.4 a	16.1 a	20.4 a
50 %-B/N	38.6 a	-11.8 a	15.7 a	19.7 a
50 %-D	38.0 a	-12.2 a	15.6 a	19.8 a

Fertilización: 100 %= convencional de NP, 50 %= 50 % de NP convencional + biofertilizantes. Acolchado plástico: N=negro, BN=blanco/negro, D=desnudo. Promedios (n=4) dentro de la fila con la misma letra son estadísticamente iguales según la prueba de Tukey ( $P \leq 0.05$ ).

En la interacción *Acolchado* × *Recubrimiento* los tratamientos presentaron diferencia significativa ( $P \leq 0.05$ ) respecto a los parámetros de color L y a\* durante el 1 DDC, donde el parámetro a\* los tratamientos de acolchado blanco/negro con recubrimiento (BN-CR) y sin recubrimiento (BN-SR) fueron el de mayor y menor intensidad del color verde respectivamente, hacia los 6 DDC no se mostraron diferencias estadísticas. Para el parámetro L\* relacionado con la luminosidad los frutos de acolchado blanco/negro con recubrimiento tuvieron los valores más altos de L\* y los valores más bajos correspondieron a los frutos de suelo desnudo con recubrimiento, conservándose esta tendencia a los 6 DDC. Esta interacción tuvo influencia sobre la luminosidad de los frutos de pimiento, sin embargo el efecto no se mantiene durante la poscosecha (**Cuadro 19**). La mayor intensidad de color y luminosidad en los frutos de pimiento puede ser respuesta de una mayor área foliar y actividad fotosintética que se observó en las plantas en acolchado blanco/negro, así como también en mejor estado hídrico en las

plantas (Fuchs y Hadas, 2011).

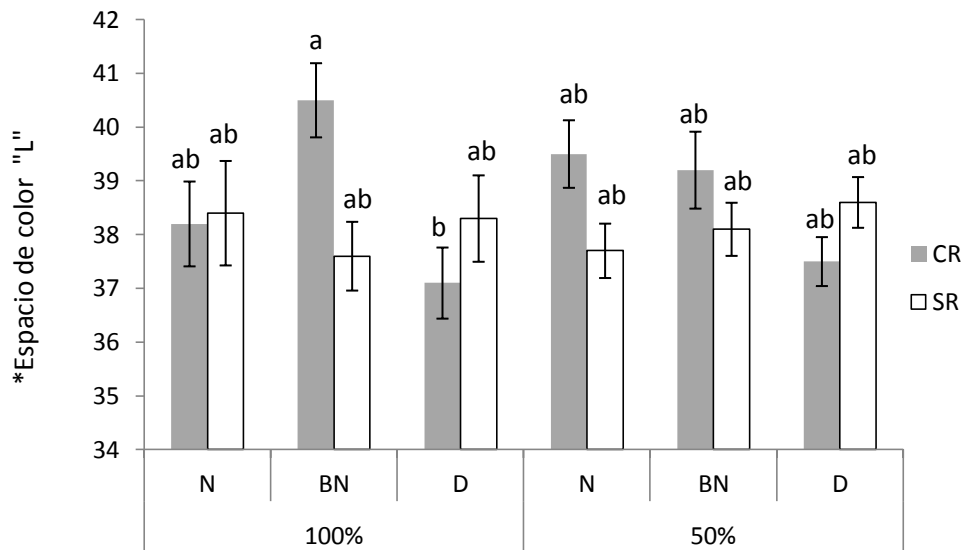
**Cuadro 19.** Efecto del Acolchado y Recubrimiento sobre el color (CIE Lab) en frutos de pimiento cv. Orión a uno y seis días después de cosecha.

Tratamiento	L	Día 1		
		a*	b*	C*
<i>Acolchado-Recubrimiento</i>				
N-SR	40.1 ab	-14.0 a	18.7 a	23.4 a
N-CR	38.7 bc	-13.7 ab	20.0 a	24.6 a
BN-SR	38.7 bc	-13.0 b	16.4 a	20.9 a
BN-CR	41.5 a	-14.8 a	20.5 a	25.3 a
D-SR	39.2 bc	-13.4 ab	17.2 a	21.8 a
D-CR	37.7 c	-13.7 ab	18.0 a	22.7 a
Día 6				
N-SR	38.0 ab	-12.5 a	15.9 a	20.3 a
N-CR	38.8 ab	-11.7 a	14.9 a	18.9 a
BN-SR	37.8 b	-11.9 a	15.1 a	19.3 a
BN-CR	39.8 a	-12.3 a	17.4 a	21.4 a
D-SR	38.4 ab	-11.5 a	15.6 a	19.9 a
D-CR	37.3 b	-11.9 a	15.1 a	19.2 a

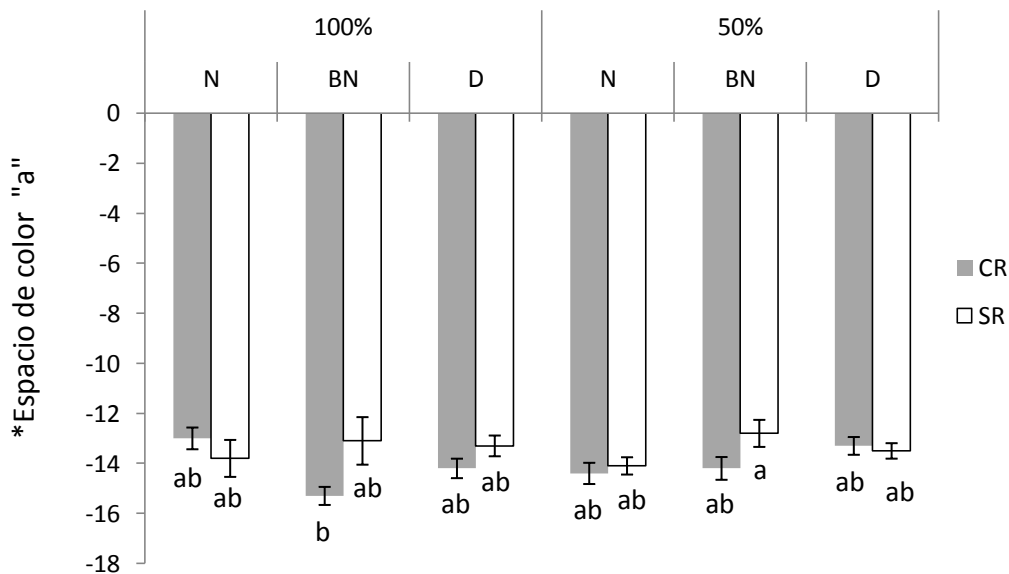
Acolchado plástico: N=negro, BN=blanco/negro, D=desnudo. Recubrimiento: CR= frutos con recubrimiento, SR= frutos sin recubrimiento. Promedios (n=4) dentro de la fila con la misma letra son estadísticamente iguales según la prueba de Tukey ( $P \leq 0.05$ ).

Por su parte, la interacción *Fertilización*  $\times$  *Acolchado*  $\times$  *Recubrimiento* los tratamientos de acolchado plástico blanco/negro presentaron valores más altos de L\* en frutos recubiertos (100 %-BN-CR, 50 %-BN-CR). Los frutos de pimiento más luminosos significativamente ( $P \leq 0.05$ ) al 1 DDC pertenecen al tratamiento 100 %-BN-CR, conservando este efecto hacia los 6 DDC (**Figura 31**). También se encontraron diferencias significativas ( $P \leq 0.05$ ) en el parámetro de color a\* para la interacción *Fertilización*  $\times$  *Acolchado*  $\times$  *Recubrimiento* donde el tratamiento que presentó frutos de color verde más intenso fue 100 %-BN-CR al 1 DDC, sin embargo para los 6 DDC todos los tratamientos fueron estadísticamente iguales (**Figura 32**). Durante esta interacción la respuesta estuvo marcada por el efecto del acolchado plástico, siendo el acolchado plástico blanco/negro el tratamiento que mejores características confirió a los frutos, como respuesta de una mayor actividad fotosintética y área foliar. Por su parte el recubrimiento PVAc-PVA mejoró la apariencia de los frutos respecto al color, sin embargo este efecto no perduró durante el almacenamiento, de acuerdo con Hagenmaier

y Grohmann (1999), las películas comestibles a base de PVAc presentan mayor brillo en los frutos



**Figura 31.** Efecto del recubrimiento PVAc-PVA sobre la luminosidad (CIE Lab) en frutos de pimienta almacenados a temperatura ambiente. Lectura de 1 y 6 DDC de los frutos. Recubrimiento: CR= frutos con recubrimiento, SR= frutos sin recubrimiento. Barras de error típico (n=90). Columnas con la misma letra, son estadísticamente iguales en base a la prueba Tukey ( $P \leq 0.05$ ).



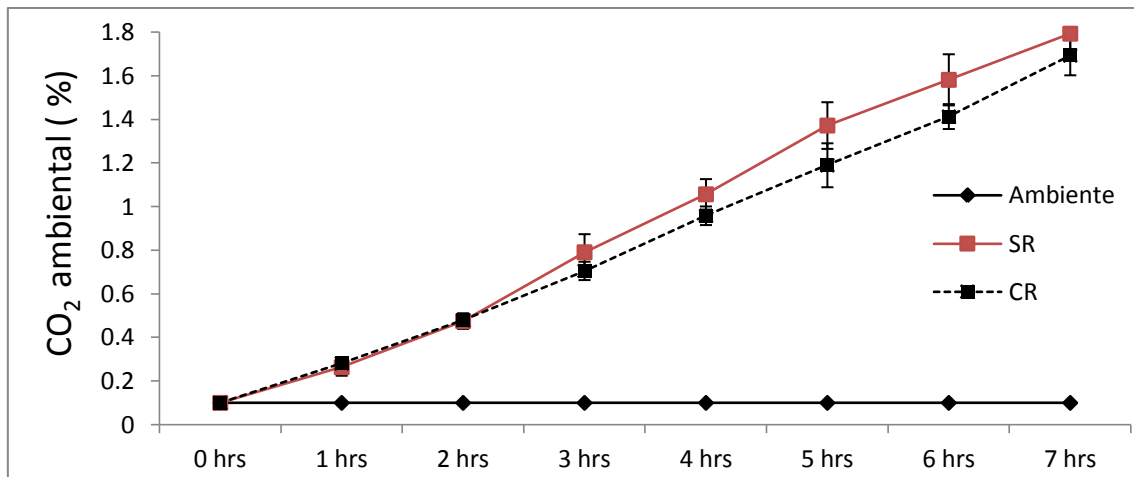
**Figura 32.** Efecto del recubrimiento PVAc-PVA sobre el color  $a^*$  (CIE Lab) en frutos de pimienta cv. Orión almacenados a temperatura ambiente. Lectura de 1 y 6 DDC de los frutos. Recubrimiento: CR= frutos con recubrimiento, SR= frutos sin recubrimiento. Las barras representan el error típico (n=90). Columnas con la misma letra, son estadísticamente iguales en base a la prueba Tukey ( $P \leq 0.05$ ).



### 5.2.8 Respiración

La respiración es uno de los principales procesos fisiológicos que se desean controlar durante el almacenamiento de los frutos ya está directamente relacionado con su avance en la madurez y senescencia. Las cubiertas comestibles han sido una alternativa para conservación en poscosecha ya que estas modifican el intercambio de gases como el etileno, O<sub>2</sub>, CO<sub>2</sub> y vapor de agua entre la atmosfera y el fruto, según la permeabilidad de los recubrimientos.

La respiración en frutos recubiertos con PVAc-PVA y frutos sin recubrimiento no presentó diferencias significativas ( $P \leq 0.05$ ) durante siete horas continuas de monitoreo (**Figura 33**). En trabajos similares, se ha encontrado por Cortez (2006) y Guillen (2013), con recubrimientos de PVAc y PVAc-PVA respectivamente, en frutos de tomate que los frutos recubiertos tuvieron menor tasa de respiración respecto a los no recubiertos. De acuerdo a lo anterior el recubrimiento de PVAc-PVA puede modificar el intercambio gaseoso de la atmosfera y el fruto, sin embargo esto depende de diversos factores como el grosor del recubrimiento, la permeabilidad, así como la tasa de respiración de los frutos. Durante el análisis de permeabilidad al O<sub>2</sub> las películas de PVAc-PVA se clasificaron como de baja permeabilidad. Aunado a esto los pimientos han sido descritos como frutos no climatéricos que presentan baja tasa de respiración resultando en un bajo consumo de O<sub>2</sub>, comparado con los frutos climatéricos como es el caso del tomate. Así que a pesar de la baja permeabilidad de la película PVAc-PVA, esta no disminuyó la tasa de respiración de los pimientos almacenados a temperatura controlada (5 °C), posiblemente por la baja concentración que requieren los frutos para realizar esta función metabólica.

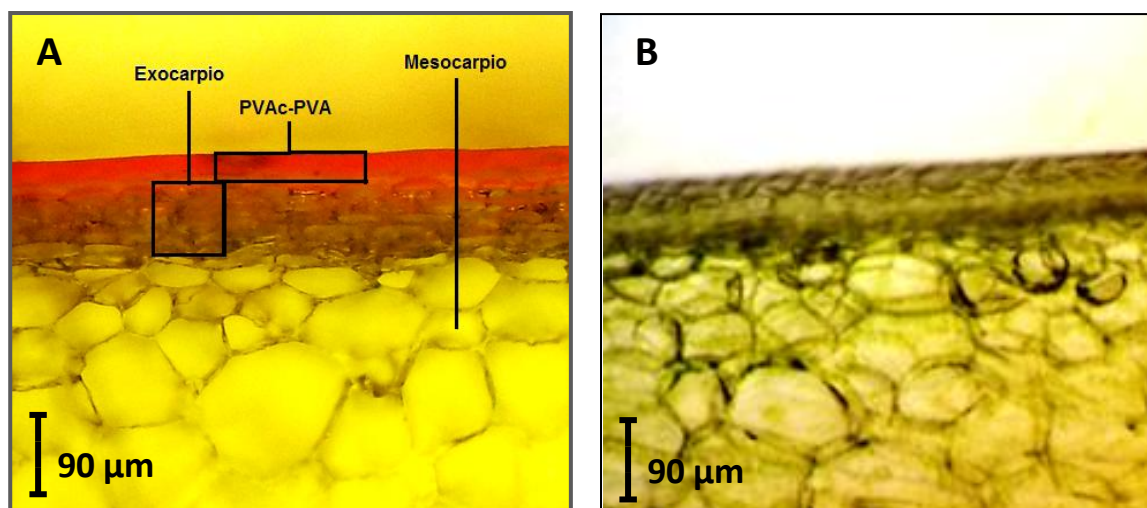


**Figura 33.** Comportamiento de la concentración de  $CO_2$  respecto al ambiente de almacenamiento a temperatura ambiente de frutos de pimiento cv. Orión respecto al tiempo en horas. Recubrimiento: CR= frutos con recubrimiento, SR= frutos sin recubrimiento. Las barras representan el error típico ( $n=3$ ).

### 5.3 Calidad de Poscosecha en Pimientos Variedad Aristotle

#### 5.3.1 Espesor del recubrimiento PVAc-PVA

El recubrimiento de PVAc-PVA en los frutos de pimiento cv. Aristotle tuvo un grosor de  $31 \pm 1 \mu\text{m}$ , de acuerdo a una escala óptica de 10-1000  $\mu\text{m}$  para el objetivo de 10 $\times$ . En la **Figura 34** se puede observar un corte de perfil del pericarpio de pimiento con recubrimiento (A) en la cual el perfil de color fiusha corresponde a la película PVAc-PVA.



**Figura 34.** Micrografía de una sección transversal del pericarpio de fruto de pimienta cv. Aristotle, recubierto con PVAc-PVA (A) y no recubierto (B).

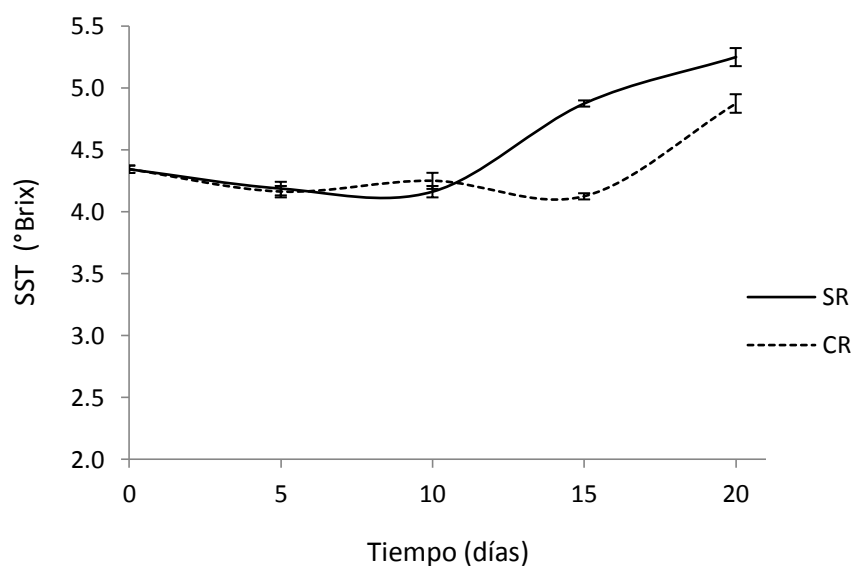
### 5.3.2 Sólidos Solubles Totales

El efecto del recubrimiento PVAc-PVA sobre los sólidos solubles totales (SST) en frutos de pimienta, no presenta diferencias significativas ( $P \leq 0.05$ ) a los 5 y 10 DDC, sino hasta los 15 y 20 DDC. Los frutos recubiertos mantuvieron el contenido de SST constante hasta los 15 DDC, teniendo una mayor concentración a los 20 DDC, en comparación con los frutos sin recubrimiento donde la concentración de SST permaneció constante hasta los 10 DDC y posteriormente esta incrementó resultando estadísticamente mayor durante los 15 y 20 DDC (**Figura 35**). Comparado con los frutos almacenados a temperatura ambiente variedad Orión, para la cual no se presentaron diferencias estadísticas entre frutos con y sin recubrimiento, se observó un decremento de los SST a los 4 DDC y posteriormente un incremento a los 8 y 12 DDC.

El aumento de SST conforme la maduración de los frutos es debido a la mayor degradación de polisacáridos y la acumulación de azúcares (Mahmood *et al.*, 2011). Los procesos metabólicos relacionados con el avance de la maduración influyen directamente en los niveles de SST, donde los frutos en avanzado estado de maduración presentan niveles más altos de SST (Lyon, Senter, y Payne, 1992; Mahmood *et al.*, 2011). Los frutos recubiertos mantuvieron por mayor tiempo los SST sin incremento, posiblemente por la modificación en el intercambio de gases y la influencia de este efecto en la tasa de respiración de los frutos y con ello una actividad metabólica más lenta de la maduración (**Figura 35**). En este sentido Ali *et al.*, (2011) afirmaron que una

menor tasa de respiración también ralentiza la síntesis y el uso de los metabolitos resultando en menor contenido de SST debido al cambio más lento de carbohidratos complejos a azúcares solubles. Sin embargo el aumento en los SST durante el almacenamiento de los frutos también puede estar relacionado a la constante pérdida de humedad y con ello un efecto de concentración de estos metabolitos en los frutos (Cagatay *et al.*, 2002). De acuerdo a lo anterior el aumento observado en SST puede ser debido a los cambios durante la maduración aunado a la deshidratación de los frutos, considerando este último tuvo el efecto mayoritario ya que los frutos almacenados a temperatura de refrigeración reducen su actividad metabólica y la pérdida de humedad (Hernández-Muñoz *et al.*, 2006).

El almacenamiento poscosecha a bajas temperaturas es un tratamiento ampliamente utilizado para disminuir las actividades metabólicas de los frutos y pérdidas de humedad, de la misma manera las cubiertas comestibles son una alternativa para mantener la calidad de los productos frescos y procesados. Durante este estudio se observó un efecto positivo al almacenamiento en temperatura controlada (5 °C) y al recubrimiento PVAc-PVA, donde se mantuvo el contenido de SST constante por cinco días más que los frutos no recubiertos y diez días más comparados con el almacenamiento a temperatura ambiente.

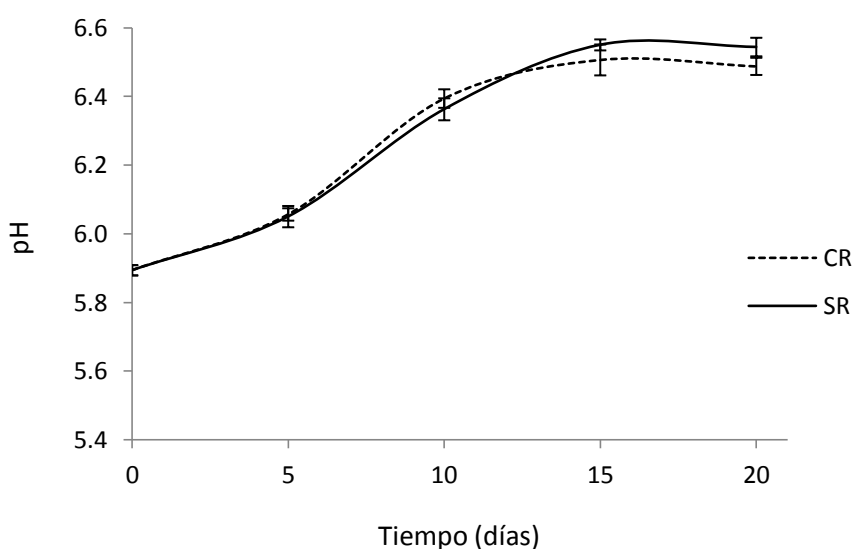


**Figura 35.** Efecto del recubrimiento PVAc-PVA sobre los sólidos solubles totales (SST) en frutos de pimiento cv. Aristotle almacenados a temperatura controlada (5 °C). Recubrimiento: CR= frutos con recubrimiento, SR= frutos sin recubrimiento. Las barras representan el error típico (n=8).

### 5.3.3 pH

El recubrimiento PVAc-PVA, no muestra influencia sobre el pH en los frutos de pimiento durante su almacenamiento a 5 °C, para los cuales no se encontraron diferencias significativas ( $P \geq 0.05$ ) a los 5, 10, 15 y 20 DDC. El pH presentó un incremento significativo ( $P \leq 0.05$ ) a partir de los 5 DDC, estabilizándose de los 15 a los 20 DDC (**Figura 36**).

El pH de los frutos se encuentra relacionado con la acidez y esta a su vez con la síntesis de ácidos orgánicos. En el caso de las hortalizas almacenadas como las judías verdes y las espinacas, se ha descrito generalmente menor acidez y en estos estudios un aumento en los valores de pH fueron acompañados por una disminución en la acidez titulable (Salunkhe *et al.*, 1991). En el presente estudio los frutos de pimiento con recubrimiento y sin recubrimiento presentaron un incremento en el pH así como en acidez titulable (**Figura 37**) durante su almacenamiento. Los pimientos almacenados a temperatura ambiente variedad Orión tuvieron un comportamiento similar a los frutos almacenados a temperatura controlada (5 °C), con un incremento inicial y posteriormente un pH constante, para la variedad Orión el incremento de pH ocurrió entre los primeros cuatro días mientras que para la variedad Aristotle incrementó del 1 DDC hasta los 15 DDC.

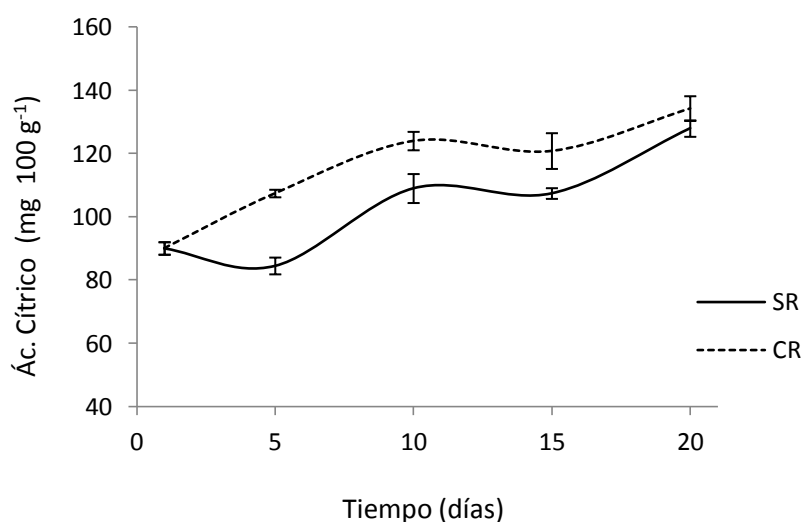


**Figura 36.** Efecto del recubrimiento PVAc-PVA sobre el pH en frutos de pimiento cv. Aristotle almacenados a temperatura controlada (5 °C). Recubrimiento: CR= frutos con recubrimiento, SR= frutos sin recubrimiento. Las barras representan el error típico ( $n=8$ ).

### 5.3.4 Acidez Titulable

La acidez titulable (AT) expresada como ácido cítrico presentó una tendencia a incrementarse en los frutos de pimiento durante su almacenamiento (**Figura 37**).

El contenido de ácido cítrico fue menor significativamente diferente ( $P \leq 0.05$ ) a los 5, 10 y 15 DDC en los frutos con recubrimiento respecto a los frutos sin recubrimiento (**Figura 37**). Estos resultados coinciden con Mahmood *et al.* (2011) quienes reportaron que en los pimientos verdes, los ácidos orgánicos están presentes en pequeñas cantidades, cuando el proceso de maduración aún no ha comenzado para luego incrementarse hacia su madurez. Aunado a esto los ácidos orgánicos son sustancias activas durante la maduración (Chitarra y Chitarra, 1990). Los pimientos exhibieron un aumento, cuando se compararon sus contenidos iniciales de AT y finales en el período de almacenamiento, dependiendo del tratamiento específico aplicado. Este comportamiento de incremento de acidez titulable en pimientos fue observado también por Molinari *et al.*, 1999 y Ozden en 2002.



**Figura 37.** Efecto del recubrimiento PVAc-PVA sobre el contenido de ácido ascórbico en frutos de pimiento cv. Aristotle almacenados a temperatura controlada (5 °C). Recubrimiento: CR= frutos con recubrimiento, SR= frutos sin recubrimiento. Las barras representan el error típico (n=8).

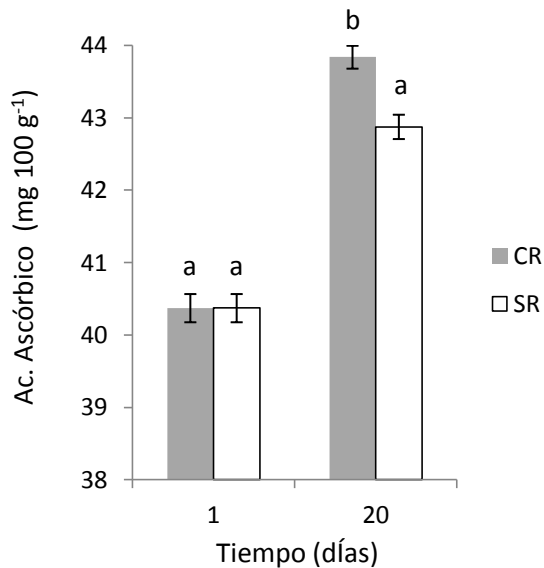
### 5.3.5 Ácido Ascórbico

En el presente estudio el contenido de vitamina C (ácido ascórbico) se incrementó en los

frutos de pimiento durante su almacenamiento en un 7.4 % en promedio hacia los 20 DDC almacenados a temperatura de 5 °C (**Figura 38**). El recubrimiento de PVAc-PVA influyó sobre el contenido de ácido ascórbico en frutos de pimiento a temperatura controlada (5 °C) de acuerdo con los resultados, los frutos con recubrimiento presentaron estadísticamente mayor contenido de ácido ascórbico en comparación con los frutos no recubiertos. Este comportamiento también se presentó en frutos de pimiento variedad Orión almacenados a temperatura ambiente, donde los frutos recubiertos tuvieron mayor contenido de vitamina C.

Los pimientos almacenados a temperatura controlada mostraron un comportamiento general de incremento respecto al ácido ascórbico, el cual va cambiando su concentración de acuerdo a la madurez. Se ha reportado que en la etapa de madurez el contenido de ácido ascórbico puede aumentar más de 40 veces en las etapas maduras completas (Marín *et al.*, 2004; Pérez-López *et al.*, 2007). Pero si consideramos la pérdida de masa en los frutos causada principalmente por la pérdida de agua y el efecto de concentración que se genera de ácido ascórbico en los frutos, como reporta Jiménez *et al.* en 2003, podríamos sugerir que los pimientos con recubrimiento están reteniendo mayor contenido de ácido ascórbico, lo cual se traduce en mayor calidad del fruto, así como una menor senescencia. Además se ha reportado una disminución del contenido de ácido ascórbico durante la maduración avanzada (Gnayfeed *et al.*, 2001) que la atribuyen a la función antioxidante de este durante la maduración a senescencia (Markus *et al.*, 1999).

Derivado de los hallazgos obtenidos por Jiménez *et al.*, en 2003 estos autores sugieren que la biosíntesis de ácido ascórbico no decrece durante la maduración y senescencia, ellos observaron un decrecimiento en la actividad de la ascorbato oxidasa durante el almacenamiento de pimientos rojos, lo cual contribuía a una menor tasa de oxidación y en consecuencia el contenido de ácido ascórbico permanecía constante. Es posible que durante el almacenamiento de pimientos, el recubrimiento de PVAc-PVA esté afectando la actividad de la ascorbato oxidasa relacionado con una menor respiración, provocando menor oxidación del ácido ascórbico y una mayor acumulación en comparación con los frutos no recubiertos.



**Figura 38.** Efecto del recubrimiento PVAc-PVA sobre el contenido de ácido ascórbico en frutos de pimiento cv. Aristotle almacenados a temperatura controlada (5 °C). Recubrimiento: CR= frutos con recubrimiento, SR= frutos sin recubrimiento. Las barras representan el error típico (n=2). Columnas con la misma letra, son estadísticamente iguales según la prueba Tukey ( $P \leq 0.05$ ).

Derivado de los hallazgos obtenidos por Jiménez *et al.*, en 2003 estos autores sugieren que la biosíntesis de ácido ascórbico no decrece durante la maduración y senescencia, ellos observaron un decrecimiento en la actividad de la ascorbato oxidasa durante el almacenamiento de pimientos rojos, lo cual contribuía a una menor tasa de oxidación y en consecuencia el contenido de ácido ascórbico permanecía constante. Es posible que durante el almacenamiento de pimientos, el recubrimiento de PVAc-PVA esté afectando la actividad de la ascorbato oxidasa relacionado con una menor respiración, provocando menor oxidación del ácido ascórbico y una mayor acumulación en comparación con los frutos no recubiertos.

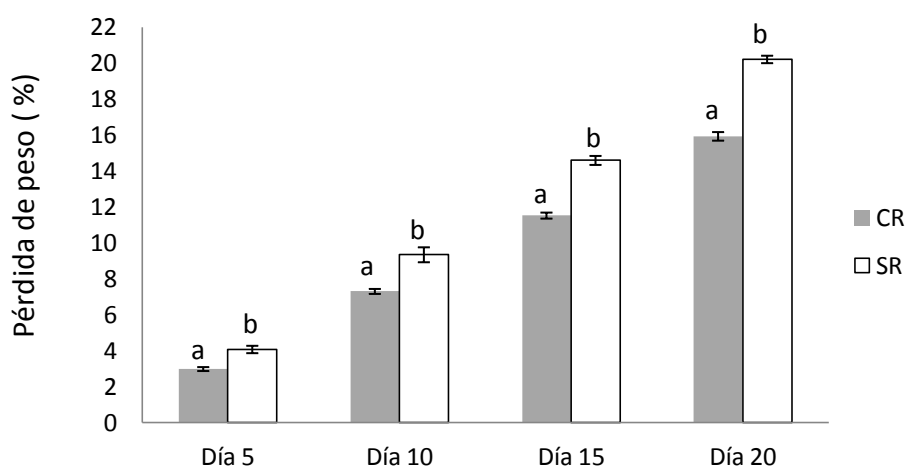
### 5.3.6 Pérdida de Peso

Uno de los factores limitantes de la calidad de poscosecha de los pimientos se debe al rápido marchitamiento asociado a la pérdida de agua por la transpiración (Raffo *et al.*, 2007). De acuerdo con González-Aguilar y Tiznado en 1993, el síntoma inicial de marchitamiento por pérdida de agua ocurre cuando los frutos han perdido el 5 % de su peso original. En el presente trabajo, los frutos con recubrimiento perdieron significativamente ( $P \leq 0.05$ ) menos peso durante el almacenamiento a temperatura



controlada (5 °C) a los 5, 10, 15 y 20 DDC en comparación con los frutos sin recubrimiento (**Figura 39**). Hacia los 5 DDC los frutos sin recubrimiento habían perdido un 36.6 % de peso más que los frutos recubiertos, a los 10, 15 y 20 DDC tuvieron pérdidas superiores en un 27.9 %, 26.6 % y 26.9 % respectivamente (**Figura 40**).

El recubrimiento de PVAc-PVA disminuyó la pérdida de peso en pimientos verdes como lo expresan los resultados encontrados, posiblemente por una menor deshidratación de los frutos, debido a las propiedades de barrera del recubrimiento, mediante una menor difusión de vapor de agua entre el fruto y la atmosfera (Hagenmaier y Grohmann, 1999, 2000; Galietta *et al.*, 2005). Al respecto se ha encontrado en trabajos similares con recubrimientos comestibles sintéticos, por Cortez (2006) con un recubrimiento de PVAc y Guillén (2013) con un recubrimiento de PVAc-PVA utilizados en frutos de tomate, una reducción en pérdida de peso durante el almacenamiento de los frutos respecto al testigo no recubierto.



**Figura 39.** Efecto del recubrimiento PVAc-PVA sobre la pérdida de peso acumulado en frutos de pimiento cv. Aristotle almacenados a temperatura controlada (5 °C). Recubrimiento: CR= frutos con recubrimiento, SR= frutos sin recubrimiento. Las barras representan el error típico. Columnas con la misma letra, son estadísticamente iguales según la prueba Tukey ( $P \leq 0.05$ ).

La transpiración en frutas y hortalizas en poscosecha, es la eliminación de vapor de agua que no tiene compensación y por lo tanto se traduce en pérdidas de peso considerables, el almacenamiento en refrigeración ayuda a disminuir dichas pérdidas (Krarup, 2001). Durante el desarrollo de este trabajo se observaron mayores pérdidas de

peso en los frutos almacenados a temperatura ambiente variedad Orión, hacia el 4 DDC los frutos sin y con recubrimiento perdieron el 5.5 % y 5.2 % de peso respectivamente, mientras que para los frutos almacenados a temperatura controlada (5 °C) variedad Aristotle, las pérdidas de peso en frutos fueron 2.9 % y 4.1 % respectivamente. De acuerdo con lo que reporta Krarup (2001) el almacenamiento en refrigeración disminuye las pérdidas de peso, ya que las bajas temperaturas disminuyen las actividades metabólicas (Hernández-Muñoz *et al.*, 2006), además de una menor pérdida de agua en los frutos en respuesta a una humedad relativa mayor que a temperatura ambiente, debido a que en temperaturas bajas se requiere menor vapor de agua para saturar el ambiente.

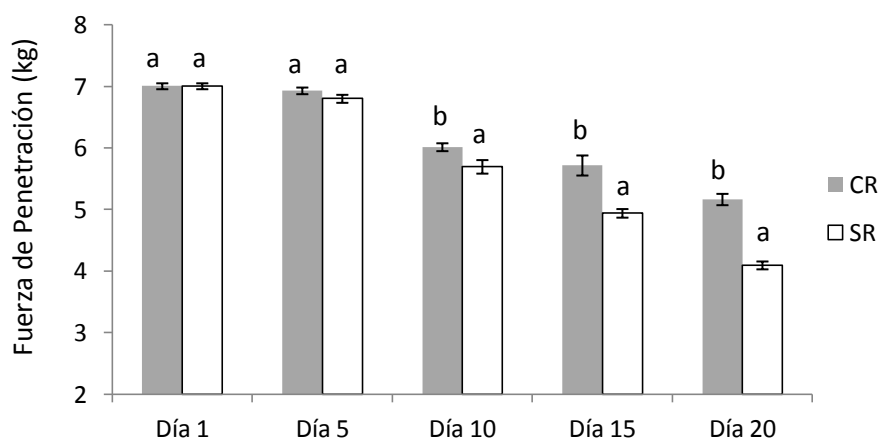
### 5.3.7 Fuerza de Penetración

Durante el almacenamiento de los pimientos con y sin recubrimiento de acuerdo con el análisis de fuerza de penetración fue decreciendo su resistencia presentando un decaimiento promedio de 33.9 % a los 20 DDC a temperatura controlada (5 °C). El recubrimiento de PVAc-PVA permitió mantener una firmeza mayor significativamente ( $P \leq 0.05$ ) en frutos de pimiento a los 10, 15 y 20 DDC en 5.6 %, 15.7 %, y 26.1 % más de fuerza de penetración respectivamente (**Figura 40**) comparado con los frutos sin recubrimiento. Diferentes autores reportan que la firmeza está directamente relacionada con la pérdida de peso (González-Aguilar *et al.*, 1999; Cantwell, 2004; Raffo *et al.*, 2007), los resultados obtenidos en este trabajo también sugieren dicha relación, que se puede observar en la **Figura 40** y **41**, donde los frutos sin recubrimiento tuvieron mayor pérdida de peso y resultaron ser los más bajos en firmeza. De acuerdo con lo anterior el recubrimiento de PVAc-PVA pudo estar funcionando como una barrera física poco permeable al vapor de agua lo que permitió menor pérdida de peso y en consecuencia mantuvo mayor firmeza en los frutos de pimiento durante su almacenamiento.

Durante el almacenamiento de los frutos a temperatura ambiente variedad Orión los frutos con y sin recubrimiento habían perdido 17.1 % y 20.0 % de la fuerza necesaria para la penetración a los 4 DDC, mientras que para los frutos almacenados a temperatura controlada (5 °C) variedad Aristotle las pérdidas fueron de 2.9 % y 1.1 % a los 5 DDC respectivamente.

### 5.3.8 Color

El recubrimiento de PVAc-PVA presentó un efecto significativo ( $P \leq 0.05$ ) para el parámetro  $L^*$  de la escala de color CIE Lab\*, donde los frutos recubiertos mostraron valores mayores a los 5, 10 y 15 DDC, comparados con los frutos sin recubrimiento (Cuadro 20). De acuerdo a los resultados encontrados para este parámetro, podemos sugerir que el recubrimiento mejora la apariencia de los frutos de pimiento respecto a luminosidad. Al respecto Hagenmaier y Grohmann en 1999 observaron un incremento en el brillo de manzanas recubiertas con PVAc, comparados con las no recubiertas. Durante el almacenamiento de los pimientos a temperatura controlada ( $5\text{ }^{\circ}\text{C}$ ) no se observaron cambios de color en la epidermis del fruto, posiblemente debido a la disminución del metabolismo de los frutos dada la baja temperatura de almacenamiento, promoviendo el retraso en la maduración de los pimientos. Los cambios de color en la maduración del pimiento están directamente relacionado con la temperatura e iluminación a la que está expuesto el fruto (Serrano, 2009).



**Figura 40.** Efecto del recubrimiento PVAc-PVA sobre la fuerza de penetración en frutos de pimiento cv. Aritotle almacenados a temperatura controlada ( $5\text{ }^{\circ}\text{C}$ ). Recubrimiento: CR= frutos con recubrimiento, SR= frutos sin recubrimiento. Las barras representan el error típico ( $n=89$ ). Columnas con la misma letra, son estadísticamente iguales según la prueba Tukey ( $P \leq 0.05$ ).

Durante la evaluación de color para los frutos almacenados a temperatura ambiente variedad Orión, no se observaron cambios en la luminosidad, únicamente se presentaron cambios para el parámetro  $a^*$  donde el recubrimiento de PVAc-PVA presentó frutos

verde más intenso respecto a los frutos no recubiertos sin embargo esta característica no se conservó durante el almacenamiento por la transición de color de los frutos característica de la maduración, así como también a la excesiva deshidratación de los frutos a diferencia de los pimientos almacenados a temperatura controlada (5 °C), la apariencia más luminosa de los frutos recubiertos se conservó hasta los 15 DDC. Es posible que la diferencia en la respuesta de los pimientos al tratamiento del recubrimiento respecto al color, se deba a características genéticas de variedad en cuanto a la serosidad de la cutícula.

**Cuadro 20.** Efecto del recubrimiento PVAc-PVA sobre el color en escala CIE Lab\* en frutos de pimiento cv. Aristotle almacenados a temperatura controlada (5 °C).

Día	Recubrimiento	L	A	b	C*
1	SR	37.4 a	-10.2 a	22.6 a	24.8 a
	CR	35.2 a	-9.6 a	22.6 a	25.1 a
5	SR	31.6 b	-9.6 a	17.4 b	19.9 b
	CR	34.0 a	-10.2 a	19.8 a	22.3 a
10	SR	31.4 b	-8.9 a	21.8 a	23.9 a
	CR	38.5 a	-10.2 a	24.2 a	26.4 a
15	SR	36.2 b	-10.6 a	25.7 a	27.8 a
	CR	38.5 a	-10.0 a	23.3 a	25.5 a
20	SR	38.5 a	-10.2 a	24.7 a	26.7 a
	CR	39.9 a	-9.9 a	27.1 a	29.2 a

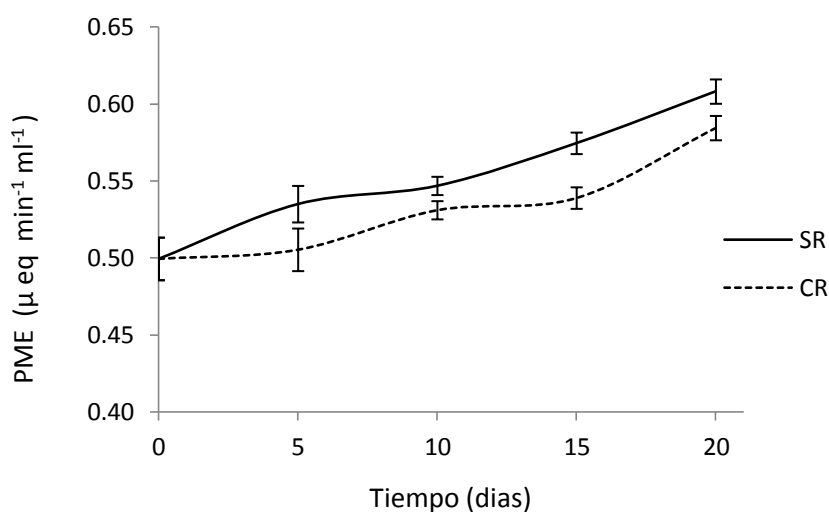
Promedios (n=8) con la misma letra entre columnas a los 1, 5, 10, 15 y 20 días de almacenamiento, son estadísticamente iguales según la prueba Tukey ( $P \leq 0.05$ ).

### 5.3.9 Actividad de la Pectinmetilesterasa

El ablandamiento es el principal problema de poscosecha del pimiento, reduciendo severamente la calidad y aceptabilidad del producto en el mercado (Nyanjage *et al.*, 2005). El reblandecimiento se debe en parte a la pérdida de turgencia, la degradación del almidón y modificaciones químicas en la pared celular (Chen *et al.*, 2011), también está asociado a la actividad de enzimas degradadoras de la pared celular tales como

poligalacturanasa (PG), pectinametilsterasa (PME), celulasa y  $\beta$ -galactosidasa.

El comportamiento general de la actividad de la PME, fue en constante incremento durante el almacenamiento de los pimientos verdes a temperatura controlada (5 °C). No existió diferencia significativa ( $P \geq 0.05$ ) entre los tratamientos al tiempo de almacenamiento de 5, 10, 15, 20 DDC (**Figura 41**), donde los pimientos con recubrimiento tuvieron una menor actividad enzimática respecto a los no recubiertos. Respecto a los resultados encontrados, el recubrimiento de PVAc-PVA parece tener influencia sobre la actividad enzimática de PME en frutos de pimiento almacenados a 5 °C (**Figura 41**). El incremento gradual en la actividad enzimática que mostraron los frutos de ambos tratamientos puede deberse a la pérdida de agua en los frutos y al efecto de concentración que genera. Como mencionan algunos autores (Priya *et al.*, 1995; Undurraga *et al.*, en 2011) la actividad enzimática de la PME es más alta en frutos verdes disminuyendo progresivamente hacia la madurez del fruto. De acuerdo a lo anterior, a pesar de que los pimientos fueron cosechados y monitoreados durante su almacenamiento a 5 °C en una etapa de maduración temprana (verde), presentaron incrementos en la actividad de la PME. El incremento de la actividad enzimática fue posiblemente en respuesta de la deshidratación de los frutos durante su almacenamiento, además la respuesta de los frutos con recubrimiento a disminuir la actividad de la PME puede estar relacionada con la menor pérdida de peso de pimientos bajo este tratamiento.

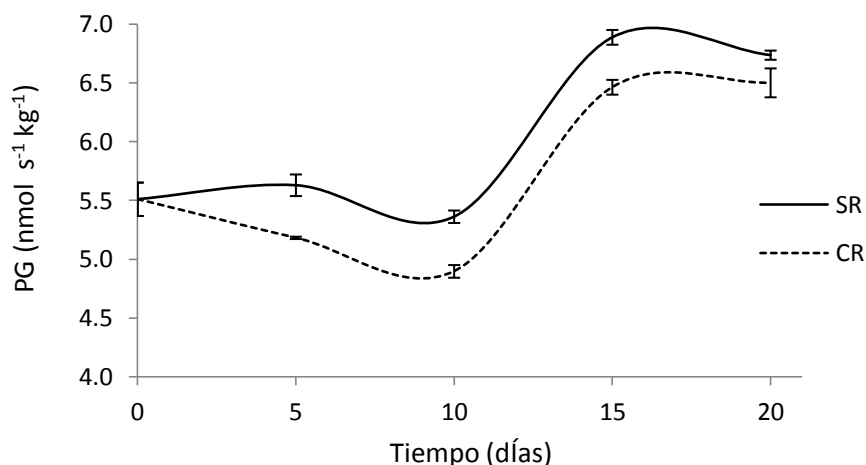


**Figura 41.** Efecto del recubrimiento PVAc-PVA sobre la actividad de la pectinmetilesterasa (PME) en frutos de pimiento cv. Aristotle almacenados a temperatura controlada (5 °C). Recubrimiento: CR= frutos con recubrimiento, SR= frutos sin recubrimiento. Barras de error típico (n=4).

### 5.3.10 Actividad de la Poligalacturonasa.

La actividad de la poligalacturonasa (PG) presentó diferencias significativas ( $P \leq 0.05$ ) entre tratamientos a los 5, 15 y 20 DDC, para los 10 DDC los frutos sin recubrimiento tuvieron una actividad enzimática mayor (**Figura 42**). El comportamiento general de la actividad de la PG se mantuvo constante significativamente ( $P \leq 0.05$ ) hasta los 10 DDC, posteriormente presentó un incremento hacia los 15 DDC y nuevamente fue constante hasta los 20 DDC, coincidiendo con el comportamiento de los SST los cuales también incrementaron a partir de los 10 DDC (**Figura 42**). Al respecto Guadarrama y Andrade en 2012, observaron que la reducción en la actividad de la PME durante la maduración del tomate, tuvo una marcada influencia en el metabolismo de la pectina y un incremento del contenido de SST. Es posible que el incremento en la actividad de la PG y con ello el aumento de pectina soluble en el medio se traduzca en el incremento de los SST que se presentó en los pimientos.

La actividad de la PG está relacionada con la actividad de la PME, ya que sin la actividad de esta última enzima, el sustrato de la PG no está presente en el medio y por lo tanto no habrá incremento en la actividad de la PG. Guadarrama en 2001, menciona que la PG actúa sobre el ácido poligalacturónico con cierto grado de desmetilación el cual se atribuye a la actividad previa de PME. De acuerdo con algunos reportes, los pimientos son frutos no climatéricos para los cuales la actividad enzimática de PG es muy baja durante sus primeras etapas de maduración incrementando hacia el final de esta (Ann-Ball, 1999; Ahmed *et al.*, 2011). Además la respuesta de la actividad enzimática está influenciada por la temperatura de almacenamiento, ya que hay una menor actividad metabólica en los frutos a temperaturas bajas según Hernández-Muñoz (2006) y con ello una mayor vida de anaquel.



**Figura 42.** Efecto del recubrimiento PVAc-PVA sobre la actividad de la poligalacturonasa (PG) en frutos de pimiento cv. Aristotle almacenados a temperatura controlada (5 °C). Recubrimiento: CR= frutos con recubrimiento, SR= frutos sin recubrimiento. Las barras representan el error típico (n=4).

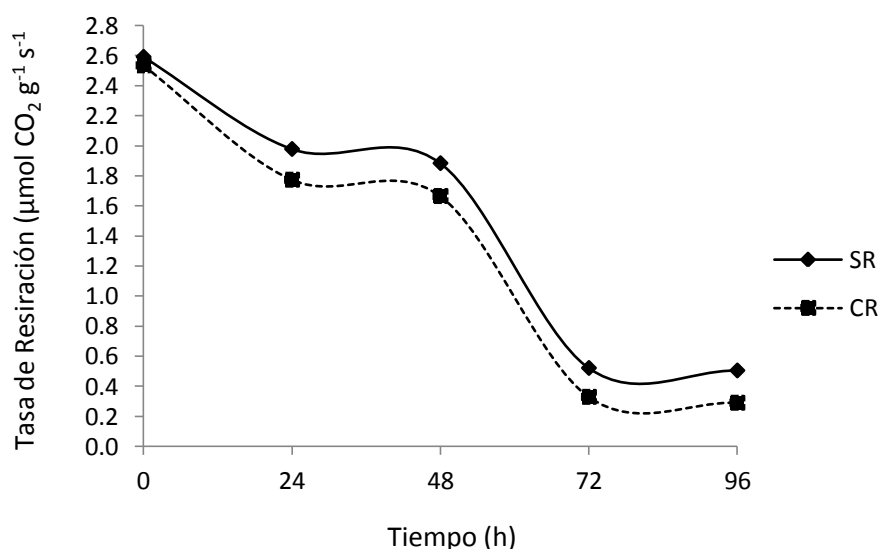
### 5.3.11 Respiración

La respiración es uno de los principales procesos fisiológicos que se desean controlar durante la poscosecha ya sea durante el almacenamiento de los frutos o en anaquel. La relación superficie-volumen de una fruta también puede afectar la tasa de respiración. Además, las hortalizas o frutas revestidas con ceras naturales, tienen tasas de respiración más bajas que las frutas sin esas barreras protectoras (Phan *et al.*, 1975). Las cubiertas comestibles han sido una alternativa en poscosecha ya que estas modifican el intercambio de gases como el etileno, O<sub>2</sub>, CO<sub>2</sub> y vapor de agua entre la atmósfera y el fruto, según la permeabilidad de cada recubrimiento.

Los frutos de pimiento recubiertos y almacenados a temperatura controlada (25 °C) mostraron una tasa de respiración significativamente ( $P \leq 0.05$ ) menor a las 72 y 96 horas (**Figura 43**) comparados con los frutos sin recubrimiento. En este caso coincidiendo con los resultados encontrados por Cortez en 2006 y Guillen en 2013, con recubrimientos de PVAc y PVAc-PVA respectivamente, en frutos de tomate donde los frutos recubiertos tuvieron menor tasa de respiración. De acuerdo a lo anterior podemos sugerir que el recubrimiento de PVAc-PVA puede estar modificando el intercambio gaseoso entre la atmósfera y el fruto, disminuyendo la respiración de los pimientos almacenados a 25 °C. Otros reportes en pimientos recubiertos con hidrocoloides lipídicos, no muestran

disminución en la tasa de respiración de los frutos, argumentando que el recubrimiento no presenta la propiedad de barrera a los gases (Lerdthanangkul y Krochta, 1996; Conforti y Zinck, 2002).

El comportamiento general de la respiración fue decreciendo como se observa en la **Figura 43**. Los pimientos son frutos no climatéricos, los cuales no presentan incrementos en su tasa de respiración durante su almacenamiento. Además la temperatura es otro factor que influye en gran medida la tasa de respiración de frutas y hortalizas, a medida que desciende la temperatura ambiente en un producto, la tasa de respiración disminuye (Kader, 1987).



**Figura 43.** Efecto del recubrimiento PVAc-PVA sobre la tasa de respiración en frutos de pimiento cv. Aristotle almacenados a temperatura controlada (25 °C). Recubrimiento: CR= frutos con recubrimiento, SR= frutos sin recubrimiento.

## VI. CONCLUSIONES

El cultivo de pimiento a campo abierto respondió positivamente al uso de acolchado plástico y tipo de fertilización aplicada. El acolchado plástico modificó la respuesta incrementando la actividad fotosintética, acumulación de biomasa y rendimiento del cultivo. Presentando mayor altura de planta así como mayor acumulación de biomasa el acolchado blanco/negro, mientras que el acolchado negro tuvo el mayor rendimiento respecto a los otros.



Por su parte la fertilización convencional al 50 % de NP + biofertilizantes fue un tratamiento competitivo, ya que pudo igualar la actividad fotosintética y desarrolló el potencial para igualar el desarrollo del cultivo de pimiento (altura de planta y acumulación de biomasa), además de que presentó el mayor rendimiento y calidad de los pimientos verdes (pH, firmeza, color) respecto a la fertilización convencional al 100 % NP.

La variedad Orión tuvo una mejor adaptabilidad a las condiciones del medio ambiente en que se desarrolló el cultivo, presentando mayor rendimiento y frutos con mejores características (SST, pH, color) respecto a la variedad Zhotero. En términos de rendimiento, de acuerdo con nuestros hallazgos y para las condiciones de cultivo en campo del experimento, es recomendable el cultivo de la variedad Orión en suelo desnudo, con 50 % de la fertilización convencional adicionada con biofertilizantes ya que estas prácticas permitieron el mayor rendimiento de entre todos los estudiados.

Durante la poscosecha, en el almacenamiento de pimiento a temperatura ambiente, la práctica de acolchado plástico usado durante su cultivo no marcó diferencia en la calidad respecto al contenido de SST e intensidad de color. Sin embargo los frutos bajo acolchado plástico comparados con los de suelo desnudo mostraron indicios de menor madurez a la cosecha principalmente en relación a un menor contenido vitamina C. Finalmente, en relación a la fertilización convencional al 50 % NP + biofertilizantes, encontramos que esta generó una mayor calidad de fruto ya que dicha fertilización dio lugar a pimientos con una menor pérdida de peso comparado con la fertilización al 100 % NP.

Además, la aplicación del recubrimiento de PVAc-PVA en los frutos, marcó un efecto positivo en el almacenamiento de pimiento tanto a temperatura ambiente como en temperatura controlada, presentando una disminución en la pérdida de peso, por una menor deshidratación de los frutos posiblemente debida a las propiedades de barrera del recubrimiento de baja permeabilidad al vapor de agua. Además, el recubrimiento disminuyó la tasa de respiración lo que impactó la velocidad de maduración de los frutos recubiertos. También, el recubrimiento permitió mantener el contenido de SST, pH, a la par de los no recubiertos, durante el almacenamiento a temperatura ambiente y mientras que generó menor concentración de SST, mayor firmeza y mayor retención del

contenido de vitamina C, así como mayor luminosidad en los frutos almacenados a 5 °C.

De acuerdo a los resultados, podemos sugerir que la fertilización convencional al 50 % NP + biofertilizantes y el recubrimiento de PVAc-PVA tienen el potencial de mejorar la apariencia y calidad de los pimientos durante su almacenamiento, además de ser tecnologías amigables con el ambiente.

## VII. BIBLIOGRAFIA

- Ahmed SS, Gong ZH, Khan MA , Yin YX, Guo WL y Imran J. 2011 . Activity and expression of polygalacturonase vary at different fruit ripening stages of sweet pepper cultivars. *Genetics and Molecular Research*. 10(4): 3275-3290
- Akiyama K, Matsuzaki K, Hayashi H. 2005. Plant sesquiterpenes induce hyphal branching in arbuscular mycorrhizal fungi. *Nature* 435: 824–827
- Ali, A., Muhammad, M.T.M., Sijam, K., Siddiqui, Y., 2011. Effect of chitosan coating on the physicochemical characteristics of Eksotika II papaya (*Carica papaya* L.) fruit during cold storage. *Food Chem*. 124, 620-625
- Alpi A, Tognoni F. 1991. Cultivo en invernadero. 3a edición. Ediciones Mundi-Prensa. Madrid, España. Pp, 347
- Alvarado, RL. 2011. Síntesis de poliacetato de vinilo mediante polimerización en heterofase para aplicación en el cubrimiento de frutas. Tesis Ingeniería, 39. Instituto Tecnológico de Durango.
- Ann-Ball J. 1999. Development and Effectiveness of Three Hydrocolloid-Lipid Emulsion Coatings on Preservation of Quality Characteristics in Green Bell Peppers. Tesis doctoral.
- AOAC. 1984. Official methods of analysis. Association of Official Analytical Chemists. 14 th Ed. Arlington, VA.
- AOAC. 967.21. Vitamina C (Ascorbic Acid) in Vitamin Preparations and Juices. 2,4-Dichloroindophenol Titrimetric Method.
- Arvanitoyannis IS, Nakayama A, Aiba SI. 1998. Chitosan and gelatin based edible films: state diagrams, mechanical and permeation properties. *Carbohydrate Polymers* 37(4): 371-382
- Ashraf MN, Khan NN, Ahman M y Elahi M. 1981. Studies on the pectinesterase activity and some chemical constituents of some Pakistani mango varieties during storage ripening. *Journal of Agricultural food chemistry*. 29: 526
- Asif MH y Nath P (2005). Expression of multiple forms of polygalacturonase gene during ripening in banana fruit. *Plant Physiology Biochemistry* 43: 177-184
- ASTM Standard Test Methods for Water Vapor Transmission of Materials. ASTM Standard Method E96.
- Augé RM. 2001. Water relations, drought and vesicular–arbuscular mycorrhizal symbiosis. *Mycorrhiza*. 11: 3-42
- Azcón-Aguilar C y Barea J. 1997. Applying mycorrhiza biotechnology to horticulture: significance and potentials. *Scientia Horticulturae*. 68: 1-24
- Bago B, Pfeffer P y Shachar-Hill Y. 2000. Carbon metabolism and transport in arbuscular mycorrhizas. *Journal of Plant Physiology*. 124: 949-957

- Ball J. 1997. Evaluation of Two Lipid-Based Edible Coatings for their Ability to Preserve Post Harvest Quality Characteristics of Green Bell Peppers. M.S. Thesis. Virginia Polytechnic Institute and State University, Blacksburg, VA
- Barea J, Pozo JM, Azcón R y Azcón-Aguilar C. 2005. Microbial cooperation in the rhizosphere. *Journal of Experimental Botany*. 56(417): 1761–1778
- Batisse C, Fils-Lycaon F y Buret M. 1994. Pectin changes in ripening cherry fruit. *Journal of Food Science* 59(2): 389-393
- Bellha HS. 1988. Tomato response to trickle irrigation and black polyethylene mulch. *Journal American Society Horticultural Science*. 113: 543-546
- Ben-Yehoshua S. 1987. Postharvest physiology of vegetables. J. Weichmann, Marcel Dekker, New York. Pp, 113-170
- Blancof F y Salas E. 1997. Micorrizas en la agricultura: contexto mundial e investigación realizada en costa Rica. *Agronomía Costarricense*. 21(1): 55-67
- Bonghi C, Rascio N, Ramina A, Casadoro G. 1992. Cellulase and polygalacturonase involvement in the abscission of leaf and fruit explants of peach. *Plant Molecular Biology*. 20: 839-848
- Bosland PW. 1996. Capsicum: Inovative uses of an ancient crop. *Progrees in new crops*. Ed. Arlington VA, ASHS Press. Pp. 479-487
- Brady CJ. 1976. The pectinesterase of the pulp of the banana fruit. *Austral. Journal Plant Physiology*. 3: 163
- Brownleader P, Jakcson P, Mobasheri A, Pantellides AT, Sumar S, Trevan M y Dey PM. 1999. Molecular aspects of cell wall modifications during fruit ripening. *Critical Reviews Food Science and Nutrition*. 39:149-164
- Brummell DA, Harpster MH. 2001. Cell wall metabolism in fruit softening and quality and its manipulation in transgenic plants. *Plant Molecular Biology*. 47: 311-340
- Burg SP y Burg EA. 1965. Gas exchange in fruits. *Physiology Plantarum*. 18: 870-884
- Caballero-Mellado J, Carcaño-Montiel MG y Mascarúa-Esparza MA. 1992. Field inoculation of wheat (*Triticum aestivum*) with *Azospirillum brasilense* under temperate climate. *Symbiosis*. 13: 243-253
- Çagatay Ö y Bayindirli L. 2002. Effects of combinational use of controlled atmosphere, cold storage and edible coating applications on shelf life and quality attributes of green peppers. *Euro Food Res Technology*. 214:320-326
- Cameron AC, Talasila PCH y Joles DW. 1995. Predicting film permeability needs for modified-atmosphere packaging of lightly processed fruits and vegetables. *HortScience* 30(1): 25-34
- Cantwell M, 2004. Bell pepper. Recommendations for maintaining postharvest quality. <http://rics.ucdavis.edu/postharvest2/Produce/ProduceFacts/Veg/pepper.shtml>

- Cantwell M, Crisosto C, Mitcham B, Kader A, Thompson J, Suslow T, Arpaia ML, Michael Reid. 2010. Fruit Ripening and Ethylene Management. Postharvest Technology Research and Information Center UC Davis Department of Plant Sciences. Pp. 130
- Cardoso IM, Kuyper TW. 2006. Mycorrhizas and tropical soil fertility. *Agric Ecosyst Environ.* 116: 72-84
- Carera J, Carol P, Edwin U, Julio S. 2007. Preparación y caracterización de películas de alcohol polivinílico conteniendo nanopartículas de TiO<sub>2</sub>. *Revista Iberoamericana de Polimeros.* 8(4): 323-332
- Carpita NC. 1987. The biochemistry of “growing” cell walls. En *Physiology of Cell Expansion During Plant Growth* (Ed. Cosgrove DJ y Knievel DP.) American Society Plant Physiology. Pp. 28-45
- Chen F, Liu H, Yang H, Lai S, Cheng X, Xin Y, Yang B, Hou H, Yao Y, Zhang S, Bu G, Deng Y. 2011. Quality attributes and cell wall properties of strawberries (*Fragaria annanassa* Duch.) under calcium chloride treatment. *Food Chemistry.* 126: 450-459
- Chiellini E, Corti A, Solaro R. 1999. Biodegradation of poly(vinyl alcohol) based blown film under different environmental conditions. *Polymer Degradation and Stability.* 64: 305-312
- Chitarra MIF y Chitarra AA. 1990. Pos-colheita de frutas e hortícolas. *Fisiologia e manuseio.* 293
- Conforti FD y Zinck JB. 2002. Hydrocolloid-Lipid Coating Affect on Weight Loss, Pectin Content, and Textural Quality of Green Bell Peppers. *Journal of Food Science.* 67:4
- Cortez MG. 2006. Síntesis caracterización y aplicación de nano-látex de poliacetato de vinilo para su uso en recubrimiento comestible. Tesis Maestría, 81. Centro de Investigación en Química Aplicada.
- Cortez-Mazatán GY, Valdez-Aguilar LA, Lira-Saldivar RH, Peralta-Rodríguez RD. 2011. Polyvinyl acetate as an edible coating for fruits effect on selected physiological and quality characteristics of tomato. *Revista Chapingo. Serie Horticultura.* 17(1): 15-22
- Davies FT, Olalde PV, Alvarado MJ, Escamilla HM, Ferrera-Cerrato R y Espinoza JI. 2000. Alleviating phosphorus stress old chile ancho pepper (*Capsicum annuum* L. “San Luis”) by Arbuscular mycorrhizal inoculation. *Journal of Horticultura Science and Biotechnology.* 75: 655-661
- De La Cruz Pérez V. 2007. Relación entre el color del acolchado plástico, la temperatura del suelo, fotosíntesis y crecimiento del cultivo de melón (*Cucumis melo* L.) Tesis Licenciatura. Ing. Agrónomo en irrigación. UAAAN.
- De Willegen P y Van Norwijk M. 1986. Root functions in agricultural systems. Institute for soil fertility, P.O. Box 30003, Haren (Gr), the Netherlands

- Decoteau DR, Kasperbauer MJ y Hunt PG. 1990. Bell pepper plant development over mulches of diverse colors. *HortScience* 25: 460-462
- Decoteau DR, Kasperbauer MJ, y Hunt PG. 1989. Mulch surface color affects yield of fresh-market tomatoes. *American Society Horticultural Science*. 114: 216-219
- Del Amor FM, Martinez AS, Fortea MI, Legua P y Delicado EN. 2008. The effect of plant-associative bacteria (*Azospirillum* and *Pantoea*) on the fruit quality of sweet pepper under limited nitrogen supply. *Scientia Horticulturae*. 117: 191-196
- DellaPenna D, Kates DS, Bennett AB. 1987. Polygalacturonase gene expression in Rutgers, RIN, NOR, and NR tomato fruit. *Plant Physiology*. 85: 502-507
- DeMerlis CC, Schoneker DR. 2003. Review of the oral toxicity of polyvinyl alcohol (PVA). *Food and Chemical Toxicology*. 41(3): 319-326
- Díaz-Pérez JC, Muy-Rangel MD, Mascorro AG. 2007. Fruit size and stage of ripeness affect postharvest water loss in bell pepper fruit (*Capsicum annuum* L.) *Journal Science Food Agriculture*. 87: 68-73
- Dileep KBS y Dubet HC. 1992. Seed bacterization with a fluorescent *Pseudomonas* for enhanced plant grow yield and disease control. *Soil Bil. Biochem*. 24: 539-542
- Douds D y Millner P. 1999. Biodiversity of arbuscular mycorrhizal fungi in agroecosystems. *Agriculture, ecosystems and environment*. 74: 77-93
- Epstein E y Bloom AJ. 2004. *Mineral nutrition of plants: Principles and perspectives*. 2nd ed, Sinauer Associates, Inc. Sunderland Massachusetts. Pp. 5
- Escobar D, Sala A, Silvera C, Harispe R, Márquez R. 2009. Películas biodegradables y comestibles desarrolladas en base aislado de proteínas de suero lácteo: estudio de dos métodos de elaboración y del uso de sorbato de potasio como conservador. *Revista del Laboratorio Tecnológico del Uruguay*. Inn Tec No. 4
- FAO (Organización de las Naciones Unidas Para la Agricultura y la Alimentación). 2009. Proyecto de desarrollo productivo. Cadena de valor frutícola. Análisis de mercado para Chile pimiento. [http://www.fao.org/index\\_ES.htm](http://www.fao.org/index_ES.htm).
- FAS (Foreign Agricultural Service). 2011. Global Agricultural Trade System. Exportación de pimiento. <http://www.fas.usda.gov/gats/default.aspx>
- Fischer RL y Bennett AB. 1991. Role of cell wall hydrolases in fruit ripening. *Annual Review of Plant Physiology*. *Plant Molecular Biology*. 42: 675-703
- Flores FB, Sanchez-Bel P, Estan MT, Martinez-Rodriguez MM, Moyano, Morales B, Campos JF, Garcia-Abellán Egea MI, Fernández-García N, Romo-jaro F, Bolarín M. 2010. The Effectiveness of grafting to improve tomato fruit quality. *Science Horticulturae*. 125: 211-217

- Freundik I, Gallo M, Vanderley J y Zamaroczy M. 1995. Azospirillum V and relate microorganisms genetic-physiology-Ecology. Ecological Sciences. 37(12): 577
- Fuchs M, Hadas A. 2011. Mulch resistance to wáter vapor transport. Agricultural Water Management. 98(6): 990-998
- Galietta, G.; Harte F.; Molinari D.; Capdevielle R.; Diano, W. 2005. Aumento de la vida útil postcosecha de tomate usando una película de proteína de suero de leche. Revista Iberoamericana de Tecnología Postcosecha. Vol. 6: 127-123.
- García E. 1988. Modificaciones al Sistema de Clasificación Climática de Köppen. Offset Larios, S.A. México, DF. Pp. 217
- Gennadios A y Weller CL. 1991. Edible films and coatings from soy milk and soy protein. Cereal Foods World. 36: 1004-1009
- Ghoname AA, Dawood MG, Riad GS y El-Tohamy WA. 2009. Effect of nitrogen forms and biostimulants foliar application on the growth, yield and chemical composition of hot pepper grown under sandy soil conditions. Research Journal of Agriculture and Biological Sciences. 5: 840-852
- Gillespie KM y Ainsworth AE. 2007. Estimation of total phenolic content and other oxidation substrates in plant tissues using Folin–Ciocalteu reagent. Nature Protocols 2(4):875-877
- Giovanetti, M y Sbrana C. 1998. Meeting a non-host: the behavior of AM fungi. Mycorrhiza. 8: 123-130
- Giovannoini JJ, DellaPenna D, Bennett AB y Fischer RL. 1989. Expression of a chimeric polygalacturonase gene in transgenic ripening inhibitor tomato fruit results in polyuronide degradation but not fruit softening. Plant Cell. 1: 53-63
- Gnayfeed MH, Daood HG, Biacs PA y Alcaraz CF. 2001. Content of bioactive compounds in pungent spice red pepper (*paprika*) as affected by ripening and genotype. Journal of the Science of Food and Agriculture. 81:1580-1585
- Gomez –Ladron GR, Pardo-Gonzalez JE. 1996. Evolution of color during the ripening of selected varieties of paprika pepper (*Capsicum annuum* L.) Jouenal Agriculture Food Chemistry. 44: 2049-2052
- Gómez-Lim MA. 1999. Physiology and molecular biology of fruit ripening. En Molecular Biotechnology for plant food production. Ed. Paredes López Octavio. Pp. 303-342
- González, G. 2000. Curso Internacional empaques de alimentos en atmósfera modificada. Facultad de Ciencias Agropecuarias. Departamento de Ingeniería Agrícola y de Alimentos. Medellín: Universidad Nacional de Colombia, Sede Medellín. Pp. 134
- González-Aguilar G y Tiznado M. 1993. Postharvest physiology of bell peppers stored in low density polyethylene bags. Lebensmittel-Wissenschaft and Technology. 26(5): 450-455

- González-Aguilar GA, Cruz R, Baez R. 1999. Storage quality of bell peppers pretrated with hot wáter and polyethylene packaging. *Journal of Foof Quality*. 22: 287-299
- Gruda N. 2005. Impact of environmental factors on product quality of greenhouse vegetables for fresh consumption. *Critical Reviews Plant Science*. 24: 227-247
- Guadarrama A. 2001. Fisiología postcosecha de frutos. Ediciones Universidad Central de Venezuela, Maracay. Pp.139
- Guillén De La Cruz JH. 2013. Parámetros Fisiológicos y Vida de Anaquel en Tomates Cubiertos con Película Plástica. Tesis Maestría. Centro de Investigación en Química Aplicada
- Hadfield KA, Rose JKC, Yaver DS, Berka RM, Bennett AB. 1998. Polygalacturonase gene expression in ripe melon fruit supports a role for plygalacturonase in ripening-associated pectin disassembly. *Plant Physiology*. 117: 363-373
- Hagenmaier RD, Grohman K. 1999. Polyvinyl acetate as a high-gloss edible coating. *Journal Food Science*. 64: 723-728
- Hallmann E, Rembialkowska E. 2012. Characterization of antioxidant compouns in sweet bell pepper (*Capsicum annuum* L.) under organic and conventional growing system. *Journal Science Food Agriculture*. 92: 2409-2415
- Hardenburg RE. 1967. Wax and related coatings for horticulture products. *Agricultural Research Service Bulletin, USDA, Washington, DC*. 51-15
- Harro JB, Roux C, Lopez-Raez JA y Bécard G. 2007. Rhizosphere communication of plants, parasitic plants and AM fungi. *Trends in Plant Science*. 12(5): 224-230
- Hernández-Muñoz P, Almenar E, Ocio MJ y Gavara R. 2006. Effect of calcium dips and chitosan coatings on postharvest life of strawberries (*Fragaria ananassa*). *Postharvest Biology and Technology*. 39: 247-253
- Hoagland DR y Arnon DI. 1950. The water-culture method for growing plants without soil. *California Agricultural Experiment Station Circular*. 347: 1-32.
- Hultin HO y Levine AS. 1965. Pectinmethylesterase in the ripening banana. *Journal Food Sciety* 30: 917-918
- Ibarra JL, Lira SRH, Valdez ALA, Lozano del Río J. 2011. Colored plastic mulches affect soil temperature and tuber production of potato. *Acta Agriculturae Scandinavica. Soil and Plant Science*. 78: 345-350
- Ibarra-Jiménez L, Zermeño-González A, Munguía-López J, Quezada-Martin M y De La Rosa-Ibarra. 2008. Photosynthesis, soil temperature and yield of cucumber as affected by colored plastic mulch. *Soil and Plant Science*. 58: 372-378
- Itzigsohn R, Burdman S, y Okon Y. 2000. Plant growth promoting in natural pastures by inoculation with *Azospirillum brasilense* under suboptimal conditions. *Arid Soil research and Rehabilitation*. 13: 151-158
- Jackman RL y Stanley WD. 1995. Perspectives in the textural evaluation of plant foods. *Trends in Food Science and Technology*. 6: 187-194



- Jiménez A, Romojaro F, Gómez JM, Llanos MR y Sevilla F. 2003. Antioxidant Systems and Their Relationship with the Response of Pepper Fruits to Storage at 20 °C. *Journal of Agricultural Food Chemistry*. 51: 6293-6299
- Jiménez DR, Virgen CG, Tabares SF, Olalde PV. 2001. Bacterias promotoras del crecimiento de plantas. *Agro-biotecnología. Avance y perspectiva*. 20: 395-400
- Jimenez-Torres E. 2001. Desarrollo y Caracterización de Sintemas de Alta Barrera Basados en un Copolímero de Etileno y Alcohol vinílico para su Aplicación en Estructuras Multicapa Termoconformadas en la Industria del Envasado. Tesis Doctoral. Universidad Jaume I. Castellon, España.
- Jones JR, Wolf B, Mills HA. 1991. *Plant Analysis Handbook*. Micro-Macro Publishing, Inc. USA. Pp, 213
- Kader AA. 1987. Respiration and gas exchange of vegetables. Pp, 25-43. En: *PostHarvest Physiology of Vegetables*. J. Weichmann, Ed. Marcel Dekker, New York.
- Kapulnik Y, Feldman M, Okon Y y Henis Y. 1985. Contribution of nitrogen fixed by Azospirillum to the N nutrition of spring wheat in Israel. *Soil Biology and Biochemistry*. 17: 509-515
- Kasperbauer MJ. 2000. Strawberry yield over red versus black plastic mulch. *Crop Science*. 40: 171-174
- Kester JJ, Fennema OR. 1986. An edible film of lipids and cellulose ethers: barrier properties to moisture vapor transmission and structural evaluation. *Journal Food Science*. 54(6): 1383-1389
- Krarp C. 2001. Daño por Enfriamiento: Una limitante para las exportaciones de hortalizas de estación cálida. *Agronomía Forestal*. Universidad de California. 11:12-16
- Kubota C, Thomson CA. 2006. Controlled environments for production of valueadded food crops with high phytochemical concentrations: Lycopene in tomato as an example. *Hortscience*. 54: 441-448
- Labuza TP y Contreras-Medellin R. 1981. Prediction of moisture protection requirements for foods. *Cereal foods World*. 26: 335
- Lerdthanakul S, Krochta JM. 1996. Edible coating effects on postharvest quality of green bell peppers. *J Food Science*. 61(1):176-179
- Levanony H y Bashan Y. 1991. Active attachment of Azospirillum brasilense to root surface of non-cereal plants and to sand particles. *Plant Soil*. 137: 91-97
- Lino-Brito A, Daza NJ A, Alvarez BD, Rocafull YR, Alfonso GC, García MO y Fey L. 2008. Cultivo asociado de tomate (*Lycopersicon esculentum* Mill) y quimbombó (*abelmochus esculentum* (l) moench) en condiciones de huerto intensivo: respuesta a la biofertilización múltiples. *Resvista de cuba*.
- Lira-Saldívar RH, Hernández-Pérez A, Valdez-Aguilar LA, Ibarra-Jiménez L y Cárdenas-Flores A. 2011. Uso de los biofertilizantes para la producción orgánica de tomate cherry en condiciones de casa sombra. *Agricultura Sostenible*. 7: 106-117

- Lucas Santoyo LG. 2011. Fertilización forfatada en chile guajillo (*Capsicum annuum* L.) y su interacción con hongos micorrízicos arbusculares. Tesis de Maestría. Colegio de Posgraduados. Montecillo Texcoco, Estado de México.
- Lyon BG, Senter SD, y Payne JA. 1992. Quality characteristics of oriental persimmons (*Diospyrus kaki* L.) cv. Fuyu grow in the southeastern United States. *Journal of Food Science*. 57:693-695
- Madhaiyan M, Poonguzhali S, Bo-Goo Kang, Yun-Jeong Lee, Jong-Bae Chung y Tong-Min Sa. 2010. Effect of co-inoculation of methylo-trophic *Methylobacterium oryzae* with *Azospirillum brasilense* and *Burkholderia pyrrocinia* on the growth and nutrient uptake of tomato, red pepper and rice. *Plant Soil*. 328:71-82
- Maggio A, De Pascale S, Ruggiero C, Barbieri G. 2003. Physiological responses of pepper salinity and drought. *Journal American Society Horticulture Science*. 128: 48-54
- Mahmood G, Sherafati M y Ali Payvast G. 2011. Variation in phenolic compounds, ascorbic acid and antioxidant activity of five coloured bell pepper (*Capsicum annuum* L) fruits at two different harvest times. *Journal of Functional Foods*. 3:44-49
- Marín A, Ferreres F, Tomás-Barberán FA y Gil MI. 2004. Characterization and quantitation of antioxidant constituents of sweet pepper (*Capsicum annuum* L.). *J. Agriculture and Food Chemistry*. 52: 3861–3869
- Markus F, Daood HG, Kapitany J, y Biacs PA. 1999. Change in the carotenoid and antioxidant content of spice red pepper (paprika) as a function of ripening and some technological factors. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*. 47:100-107
- Martens, M. and Baardseth, P. 1987. Sensory quality. Pages 427-454. In: *Post Harvest Physiology of Vegetables*. J. Weichmann (Ed.), Marcel Dekker, New York.
- Martinez R, Dubut B, Casanova I y Ortega M. 1997. Acción estimuladora de *Azobacter chroococum* sobre el cultivo del tomate en suelo ferralítico rojo. Efecto sobre los semilleros. *Agrotecnia de Cuba*. 24(11): 59-65
- Martinez R, Dubut B. 1996. Los biofertilizantes como pilares básicos de la agricultura sostenible. En: INIFAT. Curso taller “Gestión medio ambiental de desarrollo rural. Cuba INIFAT. 63-81
- Mchugh TH, Krochta JM. 1994. Milk-protein-based edible films and coatings. *Food Technology*. 48(1): 97-103
- Meakin PJ y Roberts JA. 1991. Anatomical and biochemical changes associated with the induction of oilseed rape (*Brassica napus*) pod dehiscence by *Dasineura brassicae* (Winn). *Anatomy Botany*. 67:193-197
- Mena-Violante HG, Cruz-Hernández A, Paredes-López O, Gpmez-Lim MA, Olalde-Portugal V. 2009. Cambios relacionados con textura de frutos y mejoramiento

de la vida de anaquel por la inoculación de raíces de tomate con *Bacillus subtilis* BEB-13bs. *Agrociencia* 43: 559-567

- Mena-Violante HG, Ocampo JO, Dendooven L, Martinez SG, Gonzalez CJ, Davies FT, Olalde PV. 2006. Arbuscular mycorrhizal fungi enhance fruit growth and quality of chile ancho (*Capsicum annuum* L. cv San Luis) plants exposed to drought. *Mycorrhiza*. 16: 261-267
- Mena-Violante HG, Olalde-Portugal V. 2007. Alteration of tomato fruit quality by root inoculation with plant growth-promoting rhizobacteria (PGPR): *Bacillus subtilis* BEB-13bs. *Scientia Horticulturae*. 113: 103-106
- Merck KGaA Darmstadt Alemania. Ficha de Datos de Seguridad de acuerdo al reglamento (CE) No. 1907/2006. Fecha de revisión 07/11/2010
- Micheli F. 2001. Pectinmethylesterases: cell wall enzymes with important roles in plant physiology. *Trends in Plant Science*. 6(9):414-419
- Milla A. 1996. Capsicum de capsia, cápsula: el pimiento. En *Pimientos*. Compendios de Horticultura, Ediciones de Horticultura, S. L. Ed. /Reus. España.21-31
- Molinari AF, Castro LR, Antoniali S, Pornchaloempong P, Fox AJ, Sargent SA, Lamb EM. 1999. The potential for bell pepper harvest prior to full color development. En: *Florida state horticultural society*. 143-146
- Montero L, Duarte C, Cun R, Cabrera JA y González PJ. 2010. efectividad de biofertilizantes micorrízicos en el rendimiento del pimiento (*Capsicum annuum* L. var. Verano 1) cultivado en diferentes condiciones de humedad del sustrato. *Cultivos Tropicales*. 31(3): 11-14
- Moreno V, Moreno VA, Ribas FE, Cabello MJ. 2004. Extracto de Artículo de la Revista *Agricultura*. 476-480
- Murthy MG y Ladha JK. 1988. Influence of *Azospirillum* inoculation on the mineral uptake and growth of rice under hydroponic conditions. *Plant Soil* 108: 281-285
- Navarro JM, Garrido C, Carvajal M, Martínez V. 2006. Changes in the contents of antioxidant compounds in pepper fruits at different ripening stages, as affected by salinity. *Food Chemistry*. 96: 66-73
- Nayak DN, Ladha JK y Watanabe I. 1986. The fate of marker *Azospirillum lipoferum* inoculated into rice and its effect on growth, yield and N<sub>2</sub> fixation of plants studied by acetylene reduction, 15N<sub>2</sub> feeding and 15N dilution techniques. *Biology and Fertility of Soils* 2: 7-14
- NMX-F-347-S-1980. Normas Mexicanas. Frutas y Derivados. Determinación de Pectina
- Nuez F, Gil-Ortega R y Costa J. 2003. *El cultivo de pimientos, chiles y ajies*. Mundiprensa, Madrid.
- Nuez VF, Ortega RG y García JC. 1996. *El cultivo de pimientos, chiles y ajíes*. Mundi-Prensa, Madrid. Pp: 607

- Nyanjage MO, Nyalala SPO, Illa AO, Mugo BW, Limbe AE, Vulimu EM. 2005. Extending post-harvest life of sweet pepper (*Capsicum annuum* L. 'California Wonder') with modified atmosphere packaging and storage temperature. *Agricultural Tropical Subtropical*. 38: 28-34
- O'Hara GW, Davey MR, y Lucas JA. 1981. Effect of inoculation of *Zea mays* with *Azospirillum brasilense* strains under temperate conditions. *Canadian Journal of Microbiology*. 27: 871-877
- Okon Y y Labandera-González CA. 1994. Agronomic applications of Azospirillum: an evaluation of 20 years worldwide field inoculation. *Soil Biology and Biochemistry*. 26: 1591-1601
- Ospina Meneses SM, Cartagena Valenzuela JR. 2008. La atmósfera modificada: una alternativa para la conservación de los alimentos. *Revista Lasallista de Investigación*. 5: 2
- Ozden A, y Bayindirli B. 2002. Effects of combinational use of controlled atmosphere, cold storage and edible coating applications on shelf life and quality attributes of green peppers. *European Food Research Technology*. 214: 320-326
- Padilla E, Esqueda M, Sánchez A, Troncoso-Rojas R y Sánchez A. 2006. Efecto de biofertilizantes en cultivo de melón con acolchado plástico. *Revista Fitotecnia Mexicana*. 29: 321-329
- Paszkowski U. 2006. Mutualism and parasitism: the yin and yang of plant symbioses. *Curr. Opin. Plant Biology* 9: 364-370
- Pathak N y Sanwal GG. 1998. Multiple forms of polygalacturonase from banana fruits. *Phytochem*. 48: 249-255
- Pérez-López AJ, del Amor FM, Serrano-Martínez A, Fortea MA y Núñez-Delicado E. 2007. Influence of agricultural practices on the quality of sweet pepper fruits as affected by the maturity stage. *Journal of the Science of Food and Agriculture*. 87:2075-2080
- Peterson L, Massicote H y Melville L. 2004. *Mycorrhizas: anatomy and cell biology*. Ottawa: NRC Research press. 173
- Phan CT, Pantastico ERB, Ogata K y Chachin K. 1975. Respiration and respiratory climateric. Pp. 86-102. En: *Post Harvest Handling and Utilization of Tropical and Subtropical Fruits and Vegetables*. (3rd ed.) ERB. Pantastico (Ed.), Avi Publishing Company, Connecticut.
- Pressey R y Reger BJ. 1989. Polygalacturonase in pollen from corn and other grasses. *Plant Science*. 59: 57-62
- Pressey R. 1991. Polygalacturonase in tree pollens. *Phytochemistry*. 30: 1753-1755
- Prieto M, Peñalosa J, Sarro MJ, Zornoza P y Gárate A. 2003. Growth and nutrient uptake in sweet pepper (*Capsicum annuum* L.) as affected by the growing season. Pp 362-365

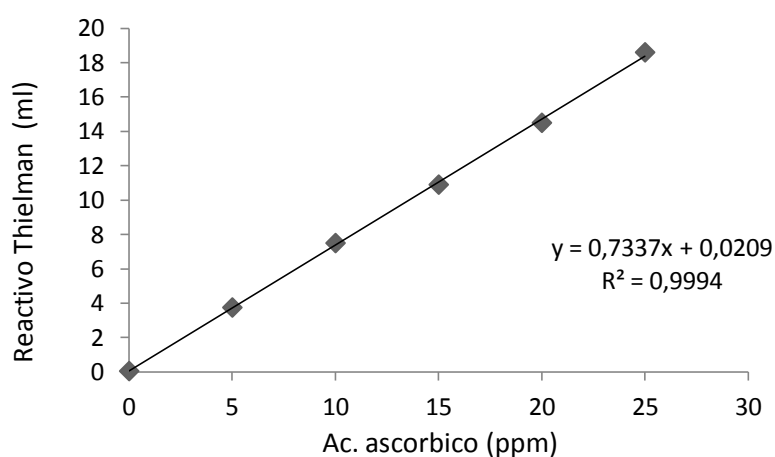
- Priya Sethu KM, Prabha TN y Tharanatha RN. 1995. Post-harvest biochemical changes associated with the softening phenomenon in capsicum annum fruits. *Phytochemistry*. 42(4): 961-966
- Quezada-Martín MR, Munguía-López J, Ibarra-Jiménez L, Arellano García MA, Valdez-Aguilar L A, Cedeño-Ruvalcaba B. 2011. Fisiología y Producción de Pimiento Morrón Cultivado con Diferentes Color de Acolchado. *Terra Latinoamericana*. 29(4): 421-430
- Raffo A, Baiamonte I, Nardo N y Paoletti F. 2007. Internal quality and antioxidants content of cold-stored red sweet peppers as affected by polyethylene bag packaging and hot water treatment. *Euro Food Res Technology*. 225:395-405
- Rattanapanone N, Speirs J y Grierson D. 1978. Evidence for changes in messenger RNA content related to tomato fruit ripening. *Acta*. 521: 619-633
- Requena N, Serrano E, Ocon A, y Breuninger M. 2007. Plant signals and fungal perception during arbuscular mycorrhiza establishment. *Phytochemistry*. 68(1): 33-40
- Rodríguez AEA, Bolaños BM, Menjivar FJC. 2010. Efecto de la fertilización en la nutrición y rendimiento de ají (*Capsicum spp.*) en el Valle del Cauca, Colombia. *Acta Agronómica*. 59 (1):55-64
- Rose JKC y Bennett AB. 1999. Cooperative disassembly of the Cellulose-Xiloglucan network of plant cell wall: parallels between cell expansion and fruit ripening. *Trends in Plant Science*. 4: 176-183
- Salas Galván Ma.E. 2000. Crecimiento, intercambio de gases y carbohidratos en plantas de tomate con micorriza y diferentes niveles de fósforo. Tesis doctorado, CINVESTAV
- Salunkhe DK, Bolin HR y Reddy NR. 1991. Storage methods. Pp. 243-294. En: *Storage, Processing and Nutritional Quality of Fruits and Vegetables*. Vol I. (2nd ed.) CRC Press, Florida.
- Sánchez-Echaniz J, Benito-Fernández J, Mintegui-Raso S. 2001. Methemoglobinemia and Consumption of Vegetables in Infants. *Pediatrics*. 107: 1024-1028
- Sañudo J, Siller J, Osuna T, Muy Rangel D, López G, Labavitch J. 2008. Control en la maduración en frutos de papaya (*Carica papaya L.*) con 1 metilciclopropeno y ácido 2-cloroetil fosfónico. *Revista Fitotecnia Mexicana*. 31(2): 141-147
- Serrano AM. 2009. Efecto de diferentes factores: fertilización, salinidad y procesado, sobre parámetros objetivos de calidad en pimiento. Tesis Doctoral. Universidad Católica San Antonio. Murcia, España.
- Serrano CZ. 1974. Cultivos hortícolas enarenados. Manuales Técnicos. Serie A. No. 46. Extensión Agraria. Madrid, España.
- Serrano CZ. 1996. Veinte cultivos de hortalizas en invernadero. Manuales técnicos de Sevilla, España. Pp. 433-487

- SIACON (Sistema de Información Agroalimentaria de Consulta) 2007. [http://www.siap.gob.mx/index.php?option=com\\_content&view=article&id=286&Itemid=428](http://www.siap.gob.mx/index.php?option=com_content&view=article&id=286&Itemid=428).
- SIACON (Sistema de Información Agroalimentaria de Consulta) 2010. [http://www.siap.gob.mx/index.php?option=com\\_content&view=article&id=181&Itemid=426](http://www.siap.gob.mx/index.php?option=com_content&view=article&id=181&Itemid=426).
- SIAP (Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera) 2012. Producción Agrícola, modalidad riego + temporal. [http://www.siap.gob.mx/index.php?option=com\\_wrapper&view=wrapper&Itemid=350](http://www.siap.gob.mx/index.php?option=com_wrapper&view=wrapper&Itemid=350). Consultado el 17 de septiembre de 2013.
- Singh RP. 1994. "Scientific principles of shelf life evaluation". Shelf life evaluation of foods. Chapman and Hall. Pp 3-24
- Sirichaiwetchaku S, Sirithorn P y Manakasem Y. 2011. Arbuscular mycorrhizal fungi on growth, fruit yield, and quality of cherry tomato under glasshouse conditions. *Journal of Science and Technology*. 18: 4
- Smith RL, Schank SC, Milam JR y Baltensperger AA. 1984. Responses of Sorghum and Pennisetum species to the N<sub>2</sub>-fixing bacterium *Azospirillum brasilense*. *Appl. Environ. Microbiology*. 47: 1331-1336
- SMN (Servicio Meteorológico Nacional) [www.smn.cna.gob.mx/](http://www.smn.cna.gob.mx/)
- Spiridon I, Popescu IC, Bodârlau R, Vasile C. 2008. Enzymatic degradation of some nanocomposites of poly(vinyl alcohol) with starch. *Polymer Degradation and Stability*. 93: 1884-1890
- Szafirowska A, Elkener K. 2009. The comparison of yielding and nutritive value of organic and conventional pepper fruits. *Vegetables Crops Res. Bull.* 71: 111-121
- Tarrand JJ, Krieg NR and Döbereiner J. 1978. A taxonomic study of the Spirillum lipoferum group, with descriptions of a new genus, *Azospirillum* gen. nov. and two species, *Azospirillum lipoferum* (Beijerinck) comb. nov. and *Azospirillum brasilense* sp. nov. *Canadian Journal of Microbiology*. 24: 967-980
- Trejo V, Aragón N, y Miranda P. 2001. Estimación de la permeabilidad al vapor de agua en películas a base de quitosán. *Revista de la Sociedad Química de México*. 45(1):1-5
- Tucker GA y Grierson D. 1982. Synthesis of polygalacturonase during tomato fruit ripening. *Planta* 155:64-67
- Undurraga ML, Olaeta CA y Cancino C. 2011. Etylen, enzymatic and respiratory pattern evolution in loquat (*Eriobotrya japonica* (Thunb.) Lindl.) Cv. Golden nugget in the last our sequential stages of maturation.
- Van Buren JP. 1979. The chemistry of texture in fruits and vegetables. *Journal of Texture Studies*. 10:1-23

- Van Der Heijden MG, Klironomos JN, Ursic M, Moutoglis P, Streitwolf-Engel R, Boller T, Wiemken A y Sanders IR. 1998. Mycorrhizal fungal diversity determines plants biodiversity, ecosystem variability and productivity. *Nature*. 396: 69-72
- Vanalcocha A y Requena J. 1999. Procesos de conservación de los alimentos. España: Mundiprensa. Pp. 76-83
- Vance CP. 2002. Root-bacteria interactions. Symbiotic Nitrogen fixation. En *Plant roots; The hidden half*, 3rd edition. Eds. Y Waisel, A Eschel and U Kafkafi. New York, Marcel Dekker. Pp. 839-868
- Varner JE y Lin LS. 1989. Plant cell wall architecture. *Cell* 56: 231-239
- Vessey JK, Pawlowski K y Bergman B. 2004. Root-based N<sub>2</sub>-fixing symbioses: Legumes, actinorhizal plants, *Parasponia sp* and cycads. *Plant and Soil*. 205-230
- Vierheilig H. 2004. Regulatory mechanisms during the plant-arbuscular mycorrhizal fungus interaction. *Canadian Journal of Botany*. 82: 1166-1176
- Wakabayashi K. 2000. Changes in cell wall polysaccharides during fruit ripening. *Journal Plant Research*. 113: 231-237
- Walker RR, Hawker JS, Torokfalvy E. 1980. Effect of NaCl on growth, ion composition and ascorbic acid concentrations of capsicum fruit. *Science Hoerticulture*. 12: 211-220
- Whitaker JR. 1996. Enzymes. Pp. 431-530. En *Food Chemistry*. (3rd ed.) OR Fennema (Ed.), Marcel Dekker, New York.
- Wien HC. 1997. The physiology of vegetable crops. CAB International Publishing. Wallingford, England. Pp, 37-67
- Zribi W, Faci JM y Aragüés R. 2011. Efectos del acolchado sobre la humedad, temperatura, estructura y salinidad de suelos agrícolas. *Información Técnica Económica Agraria*. 107(2): 148-162

## VIII. ANEXOS

**Anexo I.** Curva de calibración del reactivo Thielman respecto al ácido ascórbico, para la cuantificación de vitamina C en frutos de pimiento cv. Orión almacenados a temperatura ambiente.

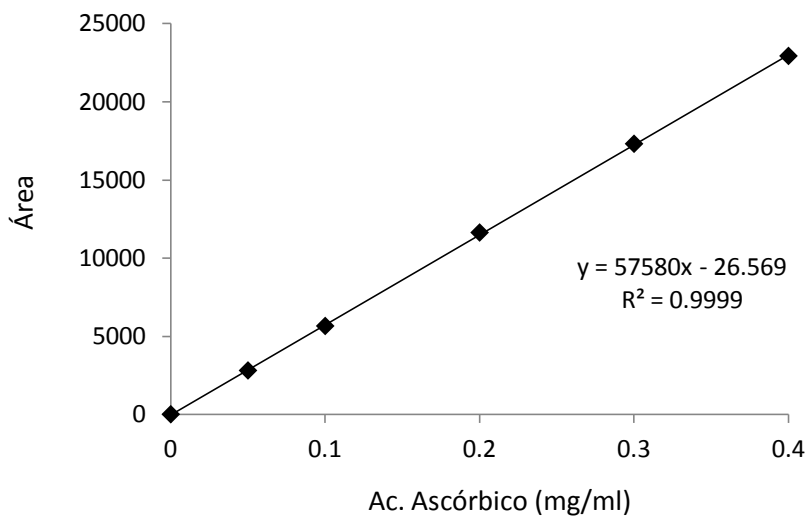


**Anexo II.** Reactivos y sus cantidades para elaborar la solución extractora para la determinación del ácido ascórbico por HPLC.

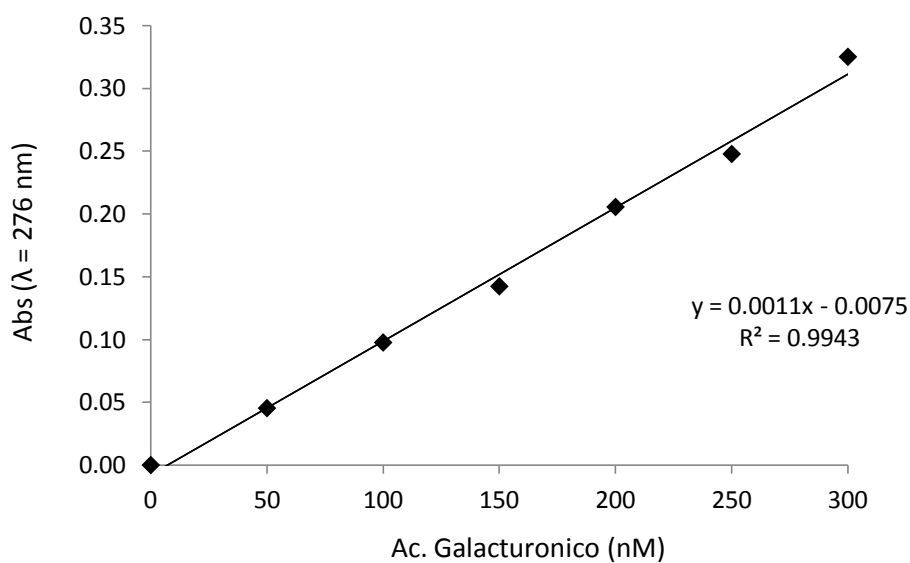
Solución extractora: contiene ácido tricloroacético al 2 %, ácido oxálico al 1 % y sulfato sódico anhidro al 1 %. Se disolvió en agua destilada 10g de ácido tricloroacético, 7,09g de ácido oxálico y 5g de sulfato sódico anhidro completando a 500 mL con agua.



**Anexo III.** Curva de calibración para la cuantificación de ácido ascórbico por HPLC, para determinar de vitamina C en frutos de pimiento cv. Aristotle almacenados a temperatura controlada (5 °C).



**Anexo IV.** Curva de calibración de ácido galacturónico de 50 a 300 nM, para la cuantificación de la actividad de la poligalacturonasa.



**Anexo V.** Efecto de la interacción Fertilización x Acolchado x Variedad sobre la fuerza de penetración, pH y SST en frutos de pimiento cv. Orión y Zhotero cultivados a campo abierto.

<b>Tratamiento</b>	<b>Fuerza de penetración (Kg)</b>	<b>pH</b>	<b>SST</b>
<i>Fertilizacion-Acolchado-Variedad</i>			
100 %-N-O	3.6 a	4.4 b	6.4 d
100 %-N-Z	4.0 a	6.7 c	2.8 a
100 %-B/N-O	3.6 a	4.0 ab	6.3 d
100 %-B/N-Z	4.4 a	6.9 c	3.2 ab
100 %-D-O	4.4 a	3.5 a	6.5 d
100 %-D-Z	3.9 a	6.1 c	4.4 bc
50 %-N-O	3.2 a	3.7 ab	6.3 d
50 %-N-Z	3.6 a	6.2 c	4.1 abc
50 %-B/N-O	4.0 a	4.0 ab	6.3 d
50 %-B/N-Z	3.2 a	6.5 c	4.8 c
50 %-D-O	4.0 a	4.3 ab	6.4 d
50 %-D-Z	3.8 a	6.2 c	4.2 abc

Fertilización: 100 %= convencional NP, 50 %= 50 % del NP convencional + biofertilizantes. Acolchado plástico: N=negro, BN=blanco/negro, D=desnudo. Variedad: O= Orión, Z= Zhotero. Promedios (n=4) dentro de la fila con la misma letra son estadísticamente iguales según la prueba de Tukey ( $P \leq 0.05$ ).

**Anexo VI.** Efecto de la fertilización, uso de acolchado plástico y la variedad sobre el color en escala CIE Lab\* en frutos de pimiento cv. Orión y Zhotero cultivados a campo abierto.

<b>Tratamiento</b>	<b>Color</b>			
	<b>L</b>	<b>a</b>	<b>b</b>	<b>C</b>
<i>Fertilización</i>				
100 %	37.3 a	-10.9 a	12.8 a	17.0 a
50 %	36.9 a	-10.9 a	12.5 a	16.6 a
<i>Acolchado</i>				
N	36.4 a	-10.3 a	11.9 a	16.1 a
B/N	37.8 b	-11.3 a	13.5 a	17.6 a
D	37.2 ab	-11.0 a	12.5 a	16.7 a
<i>Variedad</i>				
O	38.2 b	-12.1 a	14.9 b	19.2 b
Z	36.0 a	-9.6 a	10.4 a	14.4 a

Fertilización: 100 %= convencional NP, 50 %= 50 % del NP convencional + biofertilizantes. Acolchado plástico: N=negro, BN=blanco/negro, D=desnudo. Variedad: O= Orión, Z= Zhotero. Promedios (n=4) dentro de la fila con la misma letra son estadísticamente iguales según la prueba de Tukey ( $P \leq 0.05$ ).

**Anexo VII.** Efecto de las interacciones Fertilización × Acolchado, Fertilización × Recubrimiento, Acolchado × Recubrimiento sobre los SST en frutos de pimiento cv. Orión almacenadas a temperatura ambiente.

Tratamiento	SST			
	Día 1	Día 4	Día 8	Día 12
<i>Fertilización-Acolchado</i>				
100 %-N	6.4 a	4.6 a	4.8 a	5.1 a
100 %-B/N	6.3 a	4.5 a	5.1 a	5.3 a
100 % D	6.5 a	5.0 a	5.0 a	5.9 a
50 %-N	6.3 a	4.6 a	4.8 a	5.0 a
50 %-B/N	6.3 a	5.1 a	4.9 a	5.7 a
50 %-D	6.4 a	4.5 a	4.9 a	5.2 a
<i>Fertilización-Recubrimiento</i>				
100 %-SR	6.4 a	4.8 a	5.0 a	5.4 a
100 %-CR	6.4 a	4.7 a	5.0 a	5.5 a
50 %-SR	6.4 a	4.7 a	4.8 a	5.3 a
50 %-CR	6.4 a	4.8 a	4.9 a	5.3 a
<i>Acolchado-Recubrimiento</i>				
N-SR	6.4 a	4.7 a	4.7 a	5.0 a
N-CR	6.4 a	4.6 a	4.9 a	5.1 a
B/N-SR	6.4 a	4.7 a	4.9 a	5.5 a
B/N-CR	6.3 a	4.9 a	5.1 a	5.6 a
D-SR	6.5 a	4.8 a	5.1 a	5.5 a
D-CR	6.5 a	4.8 a	4.7 a	5.5 a

Fertilización: 100 %= convencional NP, 50 %= 50 % del NP convencional + biofertilizantes. Acolchado plástico: N=negro, BN=blanco/negro, D=desnudo. Recubrimiento: CR= frutos con recubrimiento, SR= frutos sin recubrimiento. Promedios (n=4) dentro de la fila con la misma letra son estadísticamente iguales según la prueba de Tukey ( $P \leq 0.05$ ).

**Anexo VIII.** Efecto de la interacción Variedad x Fertilización x Acolchado sobre los SST de frutos de pimiento cv. Orión almacenados a temperatura ambiente.

Tratamiento	SST			
	Día 1	Día 4	Día 8	Día 12
<i>Fertilización-Acolchado-Recubrimiento</i>				
100 %-N-SR	6.4 a	4.8 a	4.6 a	5.0 a
100 %-N-CR	6.4 a	4.5 a	5.1 a	5.3 a
100 %-B/N-SR	6.3 a	4.3 a	5.0 a	5.1 a
100 %-B/N-CR	6.3 a	4.7 a	5.2 a	5.5 a
100 %-D-SR	6.5 a	5.1 a	5.4 a	5.9 a
100 %-D-CR	6.5 a	5.0 a	4.6 a	5.8 a
50 %-N-SR	6.3 a	4.6 a	4.9 a	5.1 a
50 %-N-CR	6.3 a	4.7 a	4.8 a	4.9 a
50 %-B/N-SR	6.3 a	5.2 a	4.8 a	5.8 a
50 %-B/N-CR	6.3 a	5.2 a	5.0 a	5.6 a
50 %-D-SR	6.4 a	4.7 a	5.0 a	5.2 a
50 %-D-CR	6.4 a	4.6 a	4.8 a	5.3 a

Fertilización: 100 %= convencional NP, 50 %= 50 % del NP convencional + biofertilizantes. Acolchado plástico: N=negro, BN=blanco/negro, D=desnudo. Recubrimiento: CR= frutos con recubrimiento, SR= frutos sin recubrimiento. Promedios (n=4) dentro de la fila con la misma letra son estadísticamente iguales según la prueba de Tukey ( $P \leq 0.05$ ).

**Anexo IX.** Efecto de la interacción Fertilización x Recubrimiento sobre el color en frutos de pimiento cv. Orión a uno y seis días después de cosecha.

Tratamiento	L	Día 1		
		a*	b*	C*
<i>Fertilización-Recubrimiento</i>				
100 %-SR	39.2 a	- 13.4 a	17.6 a	22.1 a
100 %-CR	39.2 a	- 14.1 a	19.1 a	23.8 a
50 %-SR	39.5 a	- 13.4 a	17.3 a	21.9 a
50 %-CR	39.4 a	- 14.0 a	19.9 a	24.5 a
<b>Día 6</b>				
100 %-SR	38.1 a	- 11.5 a	15.2 a	19.5 a
100 %-CR	38.6 a	- 12.1 a	15.8 a	19.9 a
50 %-SR	38.1 a	- 12.4 a	15.9 a	20.2 a
50 %-CR	38.7 a	- 11.8 a	15.8 a	19.8 a

Fertilización: 100 %= convencional NP, 50 %= 50 % del NP convencional + biofertilizantes. Recubrimiento: CR= frutos con recubrimiento, SR= frutos sin recubrimiento. Promedios (n=4) dentro de la fila con la misma letra son estadísticamente iguales según la prueba de Tukey ( $P \leq 0.05$ ).

**Anexo X.** Efecto de las interacciones Fertilización × Recubrimiento, Acolchado × Recubrimiento sobre la fuerza de penetración en frutos de pimiento cv. Orión almacenadas a temperatura ambiente.

Tratamiento	Fuerza de penetración (kg)			
	Día 1	Día 4	Día 8	Día 12
<i>Fertilización-Recubrimiento</i>				
100 %-SR	3.4 a	2.8 a	2.4 a	2.1 a
100 %-CR	3.3 a	2.8 a	2.6 a	2.2 a
50 %-SR	3.6 a	2.9 a	2.4 a	2.2 a
50 %-CR	3.7 a	2.7 a	2.5 a	2.3 a
<i>Acolchado-Recubrimiento</i>				
N-SR	3.5 a	2.8 a	2.3 a	2.0 a
N-CR	3.8 a	2.7 a	2.4 a	2.2 a
B/N-SR	3.8 a	2.7 a	2.4 a	2.2 a
B/N-CR	3.7 a	2.7 a	2.6 a	2.2 a
D-SR	3.2 a	3.1 a	2.4 a	2.3 a
D-CR	3.0 a	3.0 a	2.5 a	2.3 a

Fertilización: 100 %= convencional NP, 50 %= 50 % del NP convencional + biofertilizantes. Acolchado plástico: N=negro, BN=blanco/negro, D=desnudo. Recubrimiento: CR= frutos con recubrimiento, SR= frutos sin recubrimiento. Promedios (n=4) dentro de la fila con la misma letra son estadísticamente iguales según la prueba de Tukey ( $P \leq 0.05$ ).