CENTRO DE INVESTIGACIÓN EN QUÍMICA APLICADA

PROGRAMA DE POSGRADO EN AGROPLASTICULTURA

Espectrometría de seis cubiertas poliméricas así como del dosel del cultivo en *Euphorbia pulcherrima* (Willd, ex Klozsch), y su efecto en el desarrollo vegetal y calidad floral.

TESIS

Presentada por:

LUIS GERARDO CARDEÑA SOLANO

Para obtener el grado de:

MAESTRO EN CIENCIA EN AGROPLASTICULTURA

Saltillo, Coahuila, México. **Noviembre 2017.**

CONACYT
Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología

CENTRO DE INVESTIGACIÓN EN QUÍMICA APLICADA

"Año del Centenario de la Promulgación de la Constitución Política de los Estados Unidos Mexicanos"

Saltillo, Coahuila a 27 de noviembre de 2017

Coordinación de Posgrado

Presente

Por este conducto nos permitimos informar a esta coordinación que, el documento de tesis preparado por **LUIS GERARDO CARDEÑA SOLANO** titulado ***Espectrometría de seis cubiertas poliméricas así como del dosel del cultivo de Euphorbia pulcherrima (Wild, ex Klozsch), y su efecto en el desarrollo vegetal y calidad floral*** el cual fue presentado el día **24 de noviembre de 2017**, 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. Marco Antonio Castillo Campohermoso
Presidente

Dr. Oussama Mounzer
Secretario

M.C. Adolfo Baylon Palomino
Vocal

Vo. Bo. Del Asesor

Dr. Juan Munguía López

Institución ganadora del Premio Nacional de Tecnología e Innovación® 2016

Blvd. Enrique Reyna No. 140 Col. San José de los Cerritos, Saltillo, Coahuila, México, C.P. 25294
Conm. (844) 438-98-30 y 438-94-79 www.ciqa.mx

TESIS CON CARACTER ABIERTO

PROGRAMA: **MAESTRÍA EN CIENCIAS EN AGROPLASTICULTURA**

AUTOR: **LUIS GERARDO CARDEÑA SOLANO** **FIRMA**

TITULO: **Espectrometría de seis cubiertas poliméricas así como del dosel del cultivo de Euphorbia pulcherrima (Wild, ex Klozsch), y su efecto en el desarrollo vegetal y calidad floral.**

ASESOR: **Dr. Juan Munguía López** **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 noviembre de 2017

CENTRO DE INVESTIGACION EN QUIMICA APLICADA

Sello de la Institución

Dr. Oliverio Santiago Rodríguez Fernández
Director General del CIQA

CENTRO DE INVESTIGACIÓN EN QUÍMICA APLICADA

Programa de Maestría en Agroplasticultura

TESIS

Espectrometría de seis cubiertas poliméricas así como del dosel del cultivo en *Euphorbia pulcherrima* (Willd, ex Klozsch), y su efecto en el desarrollo vegetal y calidad floral.

Presentada por:

LUIS GERARDO CARDEÑA SOLANO

Para obtener el grado de:

MAESTRO EN CIENCIA EN AGROPLASTICULTURA

Asesorado por:

Dr. Juan Plutarco Munguía López

Saltillo, Coahuila, **Noviembre, 2017**

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

TESIS

Espectrometría de seis cubiertas poliméricas así como del dosel del cultivo de Euphorbia pulcherrima (Wild, ex Klozsch), y su efecto en el desarrollo vegetal y calidad floral

Presentada por:

LUIS GERARDO CARDEÑA SOLANO

Para obtener el grado de:

Maestro en Ciencias en Agroplasticultura

Asesorado por:

Dr. Juan Munguía López

SINODALES

Dr. Marco Antonio Castillo Campohermoso
Presidente

Dr. Oussama Mounzer
Secretario

M.C. Adolfo Baylon Palomino
Vocal

Saltillo, Coahuila **Noviembre, 2017**

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 noviembre de 2017

LUIS GERARDO CARDEÑA SOLANO

Nombre y Firma

AGRADECIMIENTOS.

Al Centro de Investigación en Química Aplicada (CIQA), por darme la oportunidad de continuar con mi formación académica y profesional.

Al Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACYT), por apoyarme económicamente mientras realizaba mis estudios de maestría.

Al Dr. Juan Plutarco Munguía López, por su apoyo y enseñanzas que me permitieron concluir mi trabajo de investigación, así como su colaboración en mi desarrollo profesional.

A mis sinodales, Dr. Marco Castillo Campohermoso, Dr. Oussama Hussein Mounzer y Adolfo Baylon Palomino, por sus observaciones y recomendaciones para la realización de este trabajo.

A los investigadores del Departamento de plásticos en la agricultura, por aportar sus experiencias a través de las clases que impartieron durante mi estancia en el CIQA y que sin duda pasaron a ser fundamentales en mi formación profesional.

A los técnicos, quienes me apoyaron en el trabajo de campo; Claudio, Beto, Francisco, Felipe y Federico.

A mis compañeros y amigos de la maestría; Alma, Aracely, Pénjamo, Brenda, Luis, Álvaro, Flor, Paquito, Santos, Alfredo, Edgar, Luz, Mónica, Kassandra, Graciela, Heriberto y Abel, quienes en el transcurso de dos años formaron parte de mi familia ya que siempre me apoyaron en cualquier momento y circunstancia.

A la Familia Vázquez Grajales por haberme sugerido venir a Saltillo Coahuila para hacer la maestría y por su apoyo incondicional.

DEDICATORIAS.

A Dios, por prestarme vida, salud, inteligencia y voluntad para cumplir con mis objetivos.

A mis padres, por haberme dado la vida y por haberme apoyado durante todo este tiempo en mi toma de decisiones hayan sido buenas o malas.

A mi ejemplo a seguir, Joaquín Cardeña Lagunés, por enseñarme a trabajar y por compartir conmigo tantos años de su vida.

A mi abuelita, Tomasa Lagunés Rolon, por quererme tanto y preocuparse por mi integridad en los años más difíciles de mi vida.

A mis seres queridos, quienes han estado en el transcurso de mi vida y me han apoyado en las buenas y en las malas. (Arely Itzel, Yoltzinth, Alexandra, Paco, Wero, Daira, Dani, Karen, Juan Carlo, Simpson, Gamma, Lalo, Mauricio y Nelson).

Índice

I. INTRODUCCIÓN. 2
II. REVISIÓN DE LITERATURA. 4
2.1. Historia y domesticación. 4
2.2. Importancia económica. 5
2.3. Clasificación y descripción botánica. 6
2.4. Requerimientos ambientales. 7
2.4.1 Factores ambientales que influyen en el desarrollo del cultivo de nochebuena. 7
2.4.2 Radiación. 8
2.4.3 Temperatura. 9
2.4.4 Humedad relativa. 9
2.5 El ambiente lumínico. 10
2.5.1 Concepto de radiación. 10
2.5.2 Radiación fotosintéticamente activa. 11
2.5.3 Respuesta a los diferentes ambientes lumínicos. 11
2.5.4 Agroplasticultura y manipulación del ambiente lumínico. 13
2.6 Espectrometría 15
2.6.1 Principios teóricos 15
2.6.2 Espectrometría en el dosel del cultivo. 16
III. OBJETIVOS. 17
3.1 Objetivo general 17
3.2 Objetivos Particulares. 17
IV. HIPÓTESIS Ho. 17
V. MATERIALES Y MÉTODOS. 18
5.1 Localidad Las Encinas, Ramos Arizpe, Coahuila, México. 18
5.1.1 Localización geográfica del sitio experimental. 18
5.1.2 Establecimiento del experimento. 19
5.1.3 Riego. 20
5.1.4 Fertilización. 21
5.1.5 Material vegetal. 22

5.1.6 Trasplante. 23
5.1.7 Control fitosanitario de la segunda etapa. 23
5.1.8 Diseño experimental y diferenciación de tratamientos. 24
5.1.9 Modelo estadístico. 25
5.1.10 Variables evaluadas. 25
5.1.10.1 Variables espectrométricas. 26
5.1.10.2 Variables fenometricas. 27
5.1.10.3 Variables fisiológicas. 27
5.1.10.4 Materia seca. 28
5.2 Localidad Las Enramadas, Municipio de Sabinas Hidalgo, Nuevo León, México. 29
5.2.1 Localización geográfica del sitio experimental. 29
5.2.2 Establecimiento del experimento. 30
5.2.3 Riego 31
5.2.4 Diseño experimental y diferenciación de tratamientos. 31
5.2.5 Modelo estadístico. 33
5.2.6 Variables evaluadas. 33
5.2.6.1 Variables espectrométricas. 33
5.2.6.2 Variables microclimáticas. 33
5.2.6.3 Variables fenometrícas. 34
5.2.6.4 Variables fisiológicas. 34
VI. RESULTADOS Y DISCUSIÓN. 35
6.1 Resultados obtenidos en la localidad de las Encinas. 35
6.1.1 Variables de espectrometría. 35
6.1.1.1 Transmitancia (Ʈ) de cubiertas en localidad las Encinas. 35
6.1.2 Variables fenometricas. 37
6.1.2.1 Altura de planta. 37
6.1.2.2 Diámetro de tallo. 40
6.1.2.3 Número de brotes. 42
6.1.2.4 Peso seco de hoja y tallo. 44
6.1.2.5 Índice de área foliar. 46
6.1.2.6 Área foliar. 48
6.1.2.7 Área de bráctea. 51

6.1.3 Variables fisiológicas. 53
6.1.3.1 Actividad fotosintética. 53
6.1.3.2 Contenido de clorofila. 56
6.2 Resultados obtenidos en la localidad Las Enramadas, municipio de Sabinas Hidalgo, Nuevo León, México. 59
6.2.1 Propiedades espectrales de las cubiertas Sabinas Hidalgo. 59
6.2.2 Variables microclimáticas. 61
6.2.2.1 Radiación fotosintéticamente activa (PAR). 61
6.2.2.2 Temperatura del ambiente. 63
6.2.3 Variables fenometrícas. 65
6.2.3.1 Altura de planta. 65
6.2.3.2 Área de brácteas. 68
6.2.4 Variables fisiológicas. 71
6.2.4.1 Fotosíntesis. 71
6.3 Propiedades espectrales del dosel del cultivo. 75
6.3.1 Reflectancia (ρ) absorbancia (α) y transmitancia (Ʈ) del dosel en tratamientos uno y cuatro. 75
6.3.2 Reflectancia (ρ) absorbancia (α) y transmitancia (Ʈ) del dosel en tratamientos dos y cinco. 77
6.3.3 Reflectancia (ρ) absorbancia (α) y transmitancia (Ʈ), de dosel en tratamientos tres y seis. 79
VII. CONCLUSIÓN. 82
VIII. REFERENCIA BIBLIOGRAFÍCA. 85

Índice de Figuras.

Figura 1. Representación del espectro electromagnético, así como de la radiación fotosintéticamente activa (PAR) que va de 400-700 nm. 10
Figura 2. Estructura celular de una hoja y su interacción en la reflexión y absorción de diferentes longitudes de onda. 16
Figura 3. Ubicación de experimento Invernadero de baja tecnología (B) y Malla sombra cristal (A), en campo agrícola experimental Las Encinas. 19
Figura 4. (A) Malla sombra cristal, (B) invernadero de baja tecnología en los cuales se estableció el cultivo en el campo agrícola experimental Las Encinas. 20
Figura 5. Variedades de nochebuena A) Prestige, B) Nutcracker y C) Sonora White. 22
Figura 6. Características agronómicas de tres variedades de nochebuena. 22
Figura 7. Distribución de seis tratamientos en un diseño experimental de parcelas divididas con arreglo de bloques al azar en campo agrícola experimental Las Encinas, donde T= tratamientos y B= bordos. 25
Figura 8. Interpretación de la determinación de reflexión y transmisión con espectrorradiómetro PS-100 en hojas de nochebuena. 26
Figura 9. Ubicación del sitio experimental en campo agrícola experimental Las Enramadas. 29
Figura 10. Túneles de Policarbonato color rojo (A), azul (B), Claro (C) y una cubierta de Polietileno de alta densidad (D), en los cuales se estableció el cultivo en campo agrícola experimental Las Enramadas. 31
Figura 11. Distribución de 12 tratamientos en un diseño experimental de parcelas divididas con arreglo de bloques al azar en campo agrícola experimental Las Enramadas. 32
Figura 12. Espectro de radiación solar incidente y transmitida bajo dos cubiertas (Malla sombra cristal y película de Polietileno de alta densidad), en un rango de 400 a 700 nm. 36
Figura 13. Evolución de la altura del cultivo de nochebuena por unidad experimental en cuatro fechas de muestreo en el campo agrícola experimental Las Encinas. M= Malla sombra tipo cristal, Pe=película de Polietileno de alta densidad, P= variedad Prestige, N= variedad Nutcracker, S= variedad Sonora White, medias (n=4) y ddt= días después del trasplante. 39
Figura 14. Comportamiento del diámetro del tallo del cultivo de nochebuena por unidad experimental en cuatro fechas de muestreo en el campo agrícola experimental Las Encinas. M= Malla sombra tipo cristal, Pe= película de Polietileno de alta densidad, P= Prestige, N= Nutcraker S=Sonora White, Medias (n=4) en la misma fecha de evaluación con letra diferente son estadísticamente diferentes Duncan ($P \leq 0.05$). ddt=días después del trasplante ɪ=error estándar. 41
Figura 15. Comportamiento de número de brotes en cultivo de nochebuena por unidad experimental en cuatro fechas de muestreo en el campo agrícola experimental Las Encinas. M= Malla sombra tipo cristal, Pe= película de Polietileno de alta densidad, P= Prestige, N= Nutcracker, S=Sonora White, Medias (n=4) en la misma fecha de evaluación

con letra diferente son estadísticamente diferentes Duncan (*P*≤ 0.05). ddt=días después del trasplante, ɪ=error estándar. 43
Figura 16. Evolución del índice de área foliar en cultivo de nochebuena por unidad experimental en cuatro fechas de muestreo en el campo agrícola experimental Las Encinas. M= Malla sombra tipo cristal, Pe= película de Polietileno de alta densidad, P= Prestige, N= Nutcracker, S=Sonora White, Medias (n=4). 47
Figura 17. Comportamiento del área foliar (cm²) del cultivo de nochebuena en película de Polietileno de alta densidad y Malla sombra tipo cristal durante las fechas del 12 de septiembre al 16 de diciembre del 2016 en el campo agrícola experimental Las Encinas. M= Malla sombra tipo cristal, Pe= película de Polietileno de alta densidad, Medias del factor A (n=4) en la misma fecha de evaluación con letra diferente son estadísticamente diferentes Duncan (*P*≤ 0.05). ddt=días después del trasplante. 48
Figura 18. Evolución del área de brácteas en cultivo de nochebuena por unidad experimental en cuatro fechas de muestreo en el campo agrícola experimental Las Encinas. M= Malla sombra tipo cristal, Pe=película de Polietileno de alta densidad, P= Prestige, N= Nutcracker, S=Sonora White, Medias (n=4). ddt=días después del trasplante. 52
Figura 19.Comportamiento de la tasa fotosintética del cultivo de nochebuena por unidad experimental (tratamiento) en tres fechas de muestreo en el campo agrícola experimental Las Encinas. M= Malla sombra tipo cristal, Pe=película de Polietileno de alta densidad, P= Prestige, N= Nutcracker, S=Sonora White, Medias (n=4) en la misma fecha de evaluación con letra diferente son estadísticamente diferentes Duncan (*P*≤ 0.05). ddt=días después del trasplante ɪ=error estándar. 55
Figura 20. Efecto del contenido de clorofila en cubiertas con cuatro evaluaciones en campo agrícola experimental Las Encinas. Medias para el factor A (n=4) en cada día de evaluación con letra diferente son estadísticamente diferentes Duncan (P≤ 0.05). ddt= días después del trasplante. 56
Figura 21. Radiación solar incidente y la transmitida bajo cuatro cubiertas (Policarbonato color rojo, azul, Claro y película de Polietileno de alta densidad) en un rango de 400 a 700 nm. 60
Figura 22. Comportamiento de la radiación fotosintéticamente activa al exterior y al interior de tres cubiertas de Policarbonato y una película de Polietileno el día 19 de noviembre del 2016 (205 ddt), en el campo agrícola experimental Las Enramadas. 61
Figura 23. Radiación fotosintéticamente activa al interior y exterior de 4 túneles con diversas cubiertas de color evaluadas durante la fecha 21 de septiembre al 23 de noviembre del 2016 en el campo agrícola experimental Las Enramadas. 63
Figura 24. Comportamiento de la temperatura promedio del día en el ciclo de evaluación al exterior e interior de cuatro túneles con 3 cubiertas de Policarbonato y una película de Polietileno de alta densidad en el campo agrícola experimental Las Enramadas. 64
Figura 25. Comportamiento en la altura del cultivo de nochebuena por unidad experimental en tres fechas de muestreo en el campo agrícola experimental Las Enramadas. Pc= policarbonato, Pe= película de polietileno de alta densidad P= Prestige, N= Nutcracker, S=Sonora White, color de cubiertas (rojo, azul y claro). Medias (n=3) en la

misma fecha de evaluación con letra diferente son estadísticamente diferentes Duncan (*P*≤ 0.05). ddt=días después del trasplante ɪ=error estándar..... 67
Figura 26. Desarrollo del área de brácteas al interior de cuatro bioespacios con diferentes cubiertas en tres fechas de muestreo en el campo agrícola experimental Las Enramadas. Pc= policarbonato, Pe= película de polietileno de alta densidad, color de cubiertas (rojo, azul y claro). Medias a partir del factor A (n=3) en la misma fecha de evaluación con letra diferente son estadísticamente diferentes Duncan (*P*≤ 0.05). ddt=días después del trasplante. 68
Figura 27. Comportamiento de la tasa fotosintética del cultivo de nochebuena por unidad experimental (tratamiento) en tres fechas de muestreo en el campo agrícola experimental Las Enramadas. Pc= policarbonato, Pe= película de polietileno de alta densidad P= Prestige, N= Nutcracker, S=Sonora White, color de cubiertas (rojo, azul y claro). Medias (n=3) en la misma fecha de evaluación con letra diferente son estadísticamente diferentes Duncan (*P*≤ 0.05). ddt=días después del trasplante ɪ=error estándar..... 73
Figura 28. Evolución de la tasa fotosintética en cultivo de nochebuena durante un día completo comparando los tres tratamientos con mejor desempeño en la evaluación del día 4 de octubre del 2016 en el campo agrícola experimental Las Enramadas. Pc= policarbonato, Pe= película de polietileno de alta densidad P= Prestige, N= Nutcracker, S=Sonora White, color de cubiertas (rojo, azul y claro). Medias (n=3). 74
Figura 29. Reflectancia, absorbancia y transmitancia en cultivo de nochebuena: en los tratamientos 1 (M+P) gráficos a la izquierda y 4 (Pe+P) gráficos a la derecha, en hojas verdes (arriba) y pigmentadas (abajo). Localidad las Encinas. M= Malla sombra tipo cristal, Pe= película de Polietileno de alta densidad, P= Prestige, N= Nutcracker, S=Sonora White. 76
Figura 30. Reflectancia, absorbancia y transmitancia en cultivo de nochebuena: en los tratamientos 2 (M+N) gráficos a la izquierda y 5 (Pe+N) gráficos a la derecha, en hojas verdes (arriba) y pigmentadas (abajo). Localidad las Encinas. M= Malla sombra tipo cristal, Pe= película de Polietileno de alta densidad, P= Prestige, N= Nutcracker, S=Sonora White. 78
Figura 31. Reflectancia, absorbancia y transmitancia en cultivo de nochebuena en los tratamientos 3 (M+S) gráficos a la izquierda y 6 (Pe+S) gráficos a la derecha, en hojas verdes (arriba) y pigmentadas (abajo). Localidad las Encinas. M= Malla sombra tipo cristal, Pe= película de Polietileno de alta densidad, P= Prestige, N= Nutcracker, S=Sonora White. 80

Índice de Cuadros.

Cuadro 1. Principales estados productores de nochebuena en México con sus respectivos estadísticos correspondientes al año 2015. 6
Cuadro 2. Clasificación botánica del cultivo de nochebuena. 7
Cuadro 3. Solución nutritiva aplicada a cultivo de nochebuena ($mEq \cdot L^{-1}$) dividido en tres etapas fenológicas. 21
Cuadro 4. Equipo utilizado para la evaluación de variables en cultivo de noche buena. ... 28
Cuadro 5. Valores de Haze-meter, en cuatro cubiertas de Policarbonato. 30
Cuadro 6. Equipo utilizado para la evaluación de variables en cultivo de nochebuena en el campo agrícola experimental Las Enramadas. 34
Cuadro 7. Comparación de medias de la variable altura del cultivo (cm), en cuatro evaluaciones comparando cubiertas y variedades, durante los meses de septiembre a diciembre del 2016. 38
Cuadro 8. Comparación de medias para el variable diámetro de tallo (cm) en cuatro evaluaciones comparando cubiertas y variedades, durante los meses de septiembre a diciembre del 2016. 40
Cuadro 9. Comparación de medias en la variable número de brotes en cuatro evaluaciones comparando cubiertas y variedades, durante los meses de septiembre a diciembre del 2016. 42
Cuadro 10. Comparación de medias para las variables de peso seco de hojas (PSH) y tallos (PST) en cultivo de nochebuena por unidad experimental en cuatro fechas de muestreo campo agrícola experimenta Las Encinas. M= Malla sombra tipo cristal, Pe= película de Polietileno de alta densidad, P= Prestige, N= Nutcraker S=Sonora White. 45
Cuadro 11. Evolución del índice de área foliar ($m^2\ m^{-2}$) en cultivo de nochebuena por unidad experimental en cuatro fechas de muestreo en campo agrícola experimenta Las Encinas. M= Malla sombra tipo cristal, Pe= película de Polietileno de alta densidad, P= Prestige, N= Nutcraker S=Sonora White. ddt= días después del trasplante. 46
Cuadro 12. Comportamiento del área foliar (cm^2) en variedades y unidad experimental durante las fechas del 29 de septiembre al 12 de diciembre del 2016 en el campo agrícola experimental Las Encinas. M= Malla sombra tipo cristal, Pe= película de Polietileno de alta densidad. 50
Cuadro 13. Área de brácteas (cm^2) de cuatro evaluaciones comparando cubiertas y variedades, durante los meses de septiembre a diciembre del 2016 en el campo agrícola experimental Las Encinas. 51
Cuadro 14. Comparación de medias de lecturas realizadas entre las 12 y 15 hr para la variable fotosíntesis ($\mu mol\ CO_2\ m^{-2} sec^{-1}$.) en tres evaluaciones comparando cubiertas factor A) y variedades (factor B), durante los meses de septiembre a diciembre del 2016. 54
Cuadro 15. Comparación de medias del contenido de clorofila en cultivo de nochebuena por unidad experimental (tratamiento) en cuatro fechas de muestreo en el campo agrícola experimental Las Encinas. M= Malla sombra tipo cristal, Pe=película de Polietileno de alta densidad, P= Prestige, N= Nutcracker, S=Sonora White. 58

Cuadro 16. Media de altura de planta en tres evaluaciones comparando cubiertas y variedades, durante los meses de septiembre a noviembre del 2016. Pc= policarbonato, Pe= polietileno de alta densidad 66
Cuadro 17. Comparación de medias del desarrollo del área de brácteas (cm^2) en cultivo de nochebuena por variedad y unidad experimental en tres fechas de muestreo campo agrícola experimental Las Enramadas. Pc= policarbonato, Pe=película de polietileno de alta densidad P= Prestige, N= Nutcracker, S=Sonora White, color de cubiertas (rojo, azul y claro)..... 70
Cuadro 18. Comparación de medias de lecturas realizadas entre las 12 y las 15 hr para la variable fotosíntesis (µmol CO_2 $m^{-2}sec^{-1}$) en factor A (cubiertas) y B (variedades) en los meses de septiembre a noviembre del 2016. 72

RESUMEN.

En este trabajo de investigación se evaluó el efecto de las propiedades espectrales en seis cubiertas de diferentes bioespacios y las propiedades espectrales de tres variedades de cultivo de nochebuena y su relación en el desarrollo y calidad floral. El trabajo de campo se llevó a cabo en dos localidades, la primera en Las Encinas, municipio de Ramos Arizpe, Coahuila, México. Con coordenadas geográficas: latitud 25°39´15.51” Norte, longitud 101°6´56” Oeste a una elevación de 1196 msnm. La segunda localidad fue en Las Enramadas, municipio de Sabinas Hidalgo, Nuevo León, México, cuyas coordenadas geográficas: latitud 26°30´3" Norte, longitud 100°8´36" Oeste a una elevación de 290 msnm. Se utilizó un diseño de bloques al azar en un diseño de parcelas divididas con prueba de comparación de medias por el método Duncan. La espectrometría de las cubiertas mostraron diversas calidades de radiación PAR lo cual estuvo en función del material y color de cada cubierta, en la localidad uno se observó que el Polietileno de alta densidad y la Malla sombra cristal transmitieron de 525 a 650 nm (nanómetros) pero en distinta magnitud influyendo así en las variables fenometrícas y de calidad donde la película de Polietileno fue mejor en las variables de fotosíntesis, clorofila y área foliar, en cuanto a la localidad número dos la cubierta de Policarbonato color rojo presentó una transmitancia a los 600 a 735 nm, y azul de 490 a 585 nm, ambas mostraron un efecto importante en el desarrollo y calidad del cultivo de nochebuena para las variables altura y área de brácteas en comparación del Policarbonato Claro y Polietileno de alta densidad los cuales mostraron una transmitancia entre 500 a 650 nm. En general las propiedades espectrales de la película de Polietileno de alta densidad y de la Malla sombra cristal tuvieron un efecto en el desarrollo y calidad del cultivo en la localidad de Las Encinas, municipio de Ramos Arizpe, Coahuila, México, mientras que, en la localidad de Las Enramadas, municipio de Sabinas Hidalgo, Nuevo León México. Los valores más altos fueron obtenidos por las cubiertas de Policarbonato rojo y azul, sin embargo, carecían de calidad floral al mostrar un crecimiento elongado.

Palabras clave: espectrometría, cubiertas, bioespacios, radiación fotosintéticamente activa, nanómetros y nochebuena.

I. INTRODUCCIÓN.

La radiación es uno de los factores ambientales más importantes para las plantas, ya que provee la fuente de energía para la vida vegetal; Se define como el transporte o la propagación de energía que deriva del sol en forma de partículas u ondas, dicha energía puede ser aprovechada por las plantas en procesos biológicos como lo es la fotosíntesis (Taiz y Zeiger, 2010; González y Rabin, 2011). A través del tiempo las plantas han adoptado la capacidad de detectar múltiples parámetros de señales luminosas ambientales, en las que se incluyen la cantidad de luz (irradiación), la calidad (longitud de onda) y la dirección del estímulo lumínico, así como también la duración (fotoperiodo); las señales luminosas son percibidas a través de fotorreceptores (pigmentos no fotosintéticos) que incluyen a los fitocromos, criptocromos y fototropinas, que desempeñan un papel central en el control de la fisiología y el desarrollo de diversos cultivos (Ballaré y Casal, 2000; Jiao *et al.*, 2007).

Todas las especies de plantas responden de manera diferente a la calidad de la radiación (longitud de onda) y a la cantidad de ella (densidad de flujo fotónico-DFF o irradiación), así como a las combinaciones de ambas (Lazo y Ascencio, 2010). Dado a eso, estudios sobre cubiertas fotoselectivas y su efecto en la morfología se han estado desarrollando en plantas ornamentales, por ejemplo, investigaciones realizadas por Khattak y Pearson (2006) donde estudiaron los efectos en el crecimiento y desarrollo del crisantemo, evaluando diversas cubiertas fotoselectivas, cada una con diferentes transmisiones en la longitud de onda del azul (425-500 nm), encontrando diferencias significativas para la variable altura y longitud de entrenudos, en la que cubiertas con alta transmisión en la región del azul produjeron plantas más compactas en comparación con una cubierta de Polietileno de alta densidad (control), por lo tanto los autores sugieren que la actividad del fitocromo así como la del criptocromo tuvieron una fuerte absorción de la radiación por la clorofila en la longitud de onda perteneciente al azul teniendo un efecto importante en la morfología del cultivo.

En otros cultivos ornamentales, como la planta de nochebuena *Euphorbia Pulcherrima* (Willd. ex Klozsch) se han realizado diferentes estudios como los de: Clifford (2004), quien usando cubiertas fotoselectivas controlo el crecimiento del cultivo, manipulando la calidad de la radiación y su duración; así también Mata y Botto (2009), estudiaron la calidad de la radiación como alternativas para el control del crecimiento en la producción de plantas de nochebuena en maceta, encontrando que el ambiente lumínico constituye una herramienta efectiva para controlar la arquitectura de plantas ornamentales.

Por lo tanto, para controlar el crecimiento y elongación de *Euphorbia Pulcherrima* (Willd. ex Klozsch) existen diferentes alternativas, como lo es: la manipulación de la temperatura y la luz por medio de cubiertas que modifican la irradiación espectral (Clifford *et al.*, 2004). No obstante, para el cultivo de nochebuena hay poca información a nivel nacional sobre el efecto que produce el uso de técnicas de agroplasticultura, como son las cubiertas de túneles, mallas sombra e invernaderos y su influencia espectral (transmisión, absorción y reflexión) del dosel vegetal y cubiertas poliméricas en el desarrollo vegetativo y calidad floral.

II. REVISIÓN DE LITERATURA.

2.1. Historia y domesticación.

Euphorbia Pulcherrima (Willd. ex Klozsch) crece en forma silvestre a lo largo del Pacífico tropical y en bosques secos del noroeste de México hasta el sur de Guatemala, en un rango de 2000 kilómetros, considerando su centro de origen probablemente de los estados de Guerrero y Morelos (Trejo *et al.*, 2012).

La nochebuena era cultivada desde la época prehispánica en lo que actualmente es la Ciudad de México, teniendo una larga tradición hortícola que se remonta a los tiempos del imperio Azteca. A esta planta se le llamaba cuetlaxochitl, que en náhuatl significa «flor que se marchita» (Trejo *et al.*, 2012). La nochebuena era cultivada en los jardines de Nezahualcóyotl y Moctezuma. Fue incorporada por los frailes franciscanos de Taxco a la celebración del nacimiento de Jesús, debido a que su época de floración coincide con dicha festividad. Se sabe que alrededor del año 1825 un embajador de los Estados Unidos en México que llevo por nombre Robert Poinsett encontró la planta de nochebuena en una localidad de Taxco Guerrero, como parte de una ornamentación en una iglesia que festejaba la natividad de Jesús, quedo tan fascinado que posteriormente entre los años 1828 y 1829 envió muestras de esta planta a los Estados Unidos a la ciudad de Filadelfia para su posterior domesticación. Posteriormente esquejes de tan peculiar planta llegaron a manos de un distinguido botánico alemán de nombre Karl Willdenow, quien en el año de 1834 clasificó la taxonomía de la planta y la llamó *Euphorbia Pulcherrima* (Ecke *et al*., 2004).

Una vez que se conoció el potencial productivo de la flor de nochebuena en los Estados Unidos fue rápidamente propagada y distribuida por los viveristas durante la última parte del siglo XIX. Cabe mencionar que las primeras plantas de nochebuena que se produjeron a principios del siglo XX eran frágiles, sus hojas se caían al igual que las brácteas ya que su vida de anaquel era de tan solo una semana, teniendo muchas quejas por parte de los consumidores, sin embargo

cuando se acercaba el próximo ciclo de producción (en navidad) volvía a aparecer la misma demanda e incluso incrementaba y las decepciones del año anterior se olvidaban (Taylor *et al.*, 2011).

No obstante, para el siglo XX los grandes avances en la fisiología florística se produjeron con el descubrimiento del fotoperiodo en las plantas por Garner y Allard en 1920, y es así como se desarrollaron técnicas de control del fotoperiodo colocando paños negros para acortar las horas luz y obtener plantas pigmentadas en fechas específicas. A mediados de los 50´s se comenzaron a desarrollar programas de mejoramiento genético por parte de universidades y de la iniciativa privada, dichos esfuerzos considerables en los programas se centraron en mejorar las características ornamentales como el color y tamaño de brácteas, así como la vida de anaquel incluyendo el retraso de la senescencia foliar y la abscisión (Taylor *et al.*, 2011).

2.2. Importancia económica.

La producción de plantas ornamentales en México ha cobrado importancia en los últimos años; cuenta con una superficie de 14,400 hectáreas (Ha) (Chalate *et al*., 2008), de las cuales al cultivo de nochebuena "*Euphorbia pulcherrima* (Willd. ex Klozsch)" le corresponden 246.49 Ha en su gran mayoría bajo cubierta plástica, dicha actividad genera 3,200 empleos directos y alrededor de 9,600 indirectos, principalmente en 4 entidades del centro del país (Morelos con el 34 % de la producción, Puebla 11.3 %, Michoacán 21.5 % y el Distrito Federal con 19.6 %), con una comercialización de 16´713,971 plantas en maceta, con un valor en el mercado de 477,955.80 millones de pesos (SIAP,2015).

El cultivo de nochebuena sembrado en maceta se ha convertido en los últimos años en un negocio redituable para los productores, así pues, se calcula que a nivel nacional se cultivan más de 100 variedades distintas de la misma especie; los proveedores son compañías que se especializan en la obtención de diversas variedades propias para cultivarse en macetas (Cabrera *et al*., 2006). Las variedades preferidas por el consumidor son las de brácteas color rojo; abarcan

aproximadamente el 90 % del mercado tanto nacional como mundial y la porción restante son variedades con brácteas de color blanco, rosa y variegado (Canul *et al.*, 2012).

Cuadro 1. Principales estados productores de nochebuena en México con sus respectivos estadísticos correspondientes al año 2015.

Estados	Superficie		Producción	PMR	Valor Producción
	Sembrada	Cosechada			
	(Ha)	(Ha)	(maceta)	($/maceta)	(Miles de Pesos)
Ciudad de México/ DF	26.35	26.35	3,155,665.00	41.07	129,601.80
Jalisco	15.30	15.30	1,377,800.00	14.99	20,653.46
Michoacán	54.00	54.00	4,082,400.00	18.00	73,483.20
Morelos	94.90	94.90	5,774,446.50	31.41	181,379.44
México	14.10	14.10	883,870.30	39.04	34,503.67
Oaxaca	0.42	0.42	16,800.00	38.44	645.79
Puebla	41.42	41.42	1,422,990.00	26.49	37,688.44
Total	**246.49**	**246.49**	**16,713,971.800**	**28.60**	**477,955.80**

Fuente: Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera (SIAP, 2015).

2.3. Clasificación y descripción botánica.

El género *Euphorbia* cuenta con 1000 a 1600 especies que están plenamente reconocidas por sus atributos morfológicos y es uno de los más grandes dentro de la familia Euphorbiaceae; morfológicamente es el de mayor diversidad entre las plantas con flores; el nombre botánico *Euphorbia* se derivó de “Euphorbius”, físico griego quien uso el látex para la producción de medicamentos (Narbona *et al.*, 2006).

E. pulcherrima es un arbusto de hasta 4 metros (m) de altura, generalmente con pocas ramas laterales glabras; hojas inferiores alternas, las superiores opuestas o verticiladas, ovadas, elípticas o panduriforme de 2-20 centímetros (cm) de largo y 3-12 cm de ancho, ápice agudo a acuminado, base aguda a cuneada, enteras o lobadas, membranáceas, glabras en la haz, finalmente velutinas a

glabrescentes en el envés; peciolos de hasta 7 cm de largo; flores en forma de ciatios, campanuladas con pubescencia por dentro, lóbulos anchos y cortos, laciniado (incisiones paralelas que forman segmentos angostos), con una glándula y sin apéndices; capsula ovoide-oblonga, de 10-15 milímetros (mm) de largo, sin pelos (CONABIO, 2010).

Cuadro 2. Clasificación botánica del cultivo de nochebuena.

Clasificación científica	
Reino:	**Plantae**
División:	**Magnoliophyta**
Clase:	**Magnoliopsida**
Orden:	**Malpighiales**
Familia:	**Euohorbiaceae**
Género:	***Euphorbia***
Especie:	***Pulcherrima***

2.4. Requerimientos ambientales.

2.4.1 Factores ambientales que influyen en el desarrollo del cultivo de nochebuena.

La flexibilidad adaptativa se forma a través de una compleja integración de múltiples estímulos ambientales del cultivo de nochebuena, de los cuales, la radiación, fotoperiodo, temperatura, humedad relativa y el déficit de presión de vapor (DPV) son posiblemente los más importantes (Franklin, 2009). Las señales lumínicas proporcionan a las plantas información espacial, temporal y estacional, a través del tiempo las plantas han adoptado la capacidad de detectar múltiples parámetros de señales luminosas, en las que se incluyen; la cantidad de luz (intensidad), la calidad (longitud de onda) y la dirección del estímulo lumínico, así como también la duración (fotoperiodo; Ballaré y Casal, 2000). Además, la luz proporciona señales de arrastre al ciclo circadiano, asegurando la coordinación del crecimiento con ciclos de luz/oscuridad y en última instancia mejorando la aptitud de las plantas (Dodd *et al.*, 2005).

Las plantas pueden mostrar cambios morfológicos a pequeñas variaciones de temperatura, algunas de esas respuestas son rápidas, ya que implican la acumulación de datos sobre la temperatura durante varios días o semanas, además, dependen de la percepción de altas y bajas temperaturas, tanto para su supervivencia como para la regulación de los eventos clave en su desarrollo (Penfield, 2008). La temperatura es un factor ambiental que tiene una influencia considerable en la germinación, transpiración, respiración, fotosíntesis, absorción de agua, nutrientes y su desarrollo, el cual se explota comercialmente alternando las temperaturas diurnas y nocturnas para regularizar el hábito de crecimiento y tiempo de floración para muchas plantas ornamentales de invernadero (Heggie y Halliday, 2005).

Una forma de expresar la fuerza motriz de perdida de agua de una hoja es mediante el DPV, su valor es influenciado por la temperatura y la humedad relativa; el DPV indica que la principal fuerza impulsora de la evapotranspiración es la diferencia entre la presión de vapor de agua en la hoja y la presión de vapor de agua en el aire; la presión de vapor de agua representa un potencial para que el vapor se difunda y se calcula matemáticamente a partir de la obtención de datos de temperatura y humedad relativa ambiental (Faust, 2017). A menudo se mide en Kilopascales (KPa); un DPV mayor a 1 KPa nos indica que el aire todavía puede retener una cantidad considerable de agua, por lo tanto, hay un gradiente bastante amplio entre plantas (casi saturadas con agua) y el aire, permitiendo que las plantas transpiren mientras que un DPV de 2 KPa indica el límite superior del rango de déficit aceptable para cultivos producidos en invernadero (Jensen y Marlow, 2010).

2.4.2 Radiación.

La radiación es un factor importante que se manifiesta en el desarrollo de las plantas de nochebuena (intensidad, calidad y duración), la intensidad desempeña un papel muy importante en el color de las hojas, flor y el crecimiento del tallo, así como la pigmentación y retención del follaje (Ecke *et al*., 2004). La calidad de la radiación afecta la longitud de entrenudos y la síntesis de antocianinas (Pérez y Martínez-Laborde, 1994). La intensidad de radiación requerida como máximo para

zonas templadas a frías es de 1,106.63 µmol de fotones m^{-2} sec^{-1} y para zonas calientes 905.43 µmol de fotones m^{-2} sec^{-1} (Hartley, 1992).

En cuanto al fotoperiodo la nochebuena reacciona ante la duración de la radiación solar con dos tipos de crecimiento, el vegetativo (crecimiento de follaje) y el generativo (floración); la floración comienza si hay por lo menos 12.5 h continuas de oscuridad (Hartley, 1992).

2.4.3 Temperatura.

La temperatura requerida por la planta de nochebuena durante el periodo vegetativo va desde los 18 °C hasta los 30 °C, lo que significa que existen 12 °C de cambio de temperatura (o de oscilación térmica) que no limitan el crecimiento vegetativo, o sea, son 12 °C de rango de temperaturas que tolera del cultivo (Hartley, 1992).

2.4.4 Humedad relativa.

La humedad relativa (HR), es un factor que, a diferencia del resto de los requerimientos ambientales, no tiene un impacto directo en el crecimiento de la nochebuena, sin embargo en condiciones de alta HR se reduce la evapotranspiración, por lo que el sustrato retendrá más humedad; quizá el punto más crítico en cuanto a la HR implique la presencia de patógenos, ya que este cultivo es susceptible al ataque de hongos bajo condiciones de alta HR, como es el caso de ataque por *Botrytis*, *Mildiu*, etc. (Ecke, 2004). Por su parte Cabrera *et al.* (2006), refieren que esta variable no es problema en la fase vegetativa, pero deberá estar por debajo del 60 % en la fase productiva.

2.5 El ambiente lumínico.

2.5.1 Concepto de radiación.

La radiación es la energía emitida por el sol en forma de ondas electromagnéticas y cada tipo de radiación se propaga en intervalos de diferentes longitudes de onda c= λ*v donde λ= es la distancia que existe entre las crestas de dos ondas sucesivas expresada en nanómetros (nm) y con una determinada frecuencia. v= número de vibraciones por unidad de tiempo. c= determinada velocidad de las ondas. Se conoce que el espectro electromagnético se compone de varias regiones dependiendo el área del conocimiento serán las λ, en nuestro caso para el interés agronómico se encuentra en la región de la radiación fotosintéticamente activa (PAR), en una banda (400-700 nm), la luz ultravioleta (UV) se divide en tres bandas llamadas 1). UV-C (200-280 nm), 2). UV-B (280-320 nm) y 3). UV-A (320-390 nm); la radiación solar visible (380-760 nm), la radiación solar infrarroja (IR) (760-2500 nm) y la radiación solar total de 300 a 2500 nm (Pérez *et al.*, 2006).

La radiación solar se puede describir como una lluvia de fotones de diferentes frecuencias, nuestros ojos son sensibles solo a un pequeño rango de frecuencias; la región visible del espectro electromagnético de 400 a 700 nm se ve representada en la Figura 1.

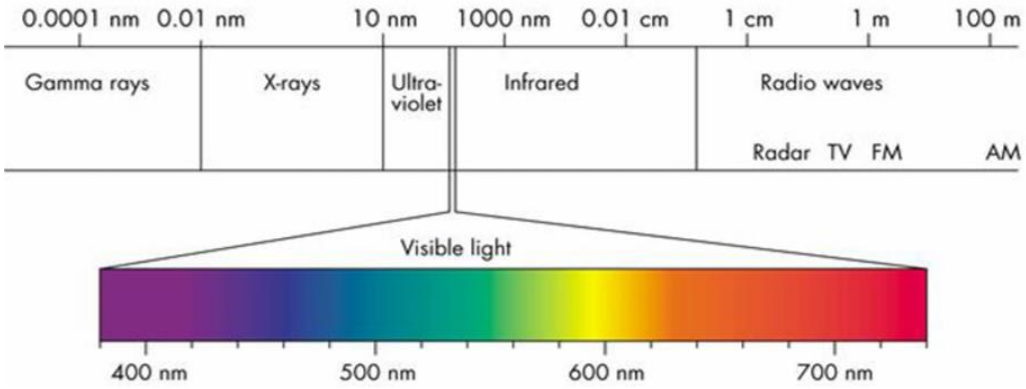

Figura 1. Representación del espectro electromagnético, así como de la radiación fotosintéticamente activa (PAR) que va de 400-700 nm.

La radiación de frecuencias más altas (longitudes de onda más cortas) está en la región ultravioleta del espectro (200 a 400 nm) y la radiación de frecuencias más bajas (longitudes de onda más largas) se encuentra en la región del infrarrojo (700 a 800 nm).

2.5.2 Radiación fotosintéticamente activa.

La radiación fotosintéticamente activa (PAR) es la radiación útil para llevar acabo la fotosíntesis en las plantas y esta comprende aproximadamente entre 400 y 700 nm; la cantidad de la PAR dentro de los invernaderos es uno de los parámetros más importantes relacionado a los sistemas de protección de los cultivos, así pues estas condiciones externas de radiación, junto al efecto de sombreado y las propiedades de transmitancia de la cubierta, son los principales factores que determinan el nivel de PAR en el interior del invernadero (Castilla, 2013).

Altos valores de transmisión de PAR son importantes para la fotosíntesis, hasta umbrales de saturación a partir de los cuales, nuevos incrementos en la radiación no se traducen en aumentos de la tasa fotosintética de las plantas (Iglesias y Muñoz, 2007).

2.5.3 Respuesta a los diferentes ambientes lumínicos.

Las características del ambiente lumínico pueden ser consideradas desde tres puntos de vista, que reflejan también diferentes enfoques de estudio: fotomorfogénesis, actividad fotosintética y balance energético.

a. Fotomorfogénesis. Las plantas tienen la capacidad de percibir cambios sutiles en la composición de la radiación, duración y la dirección del ambiente en el que crece e iniciar cambios morfológicos y fisiológicos necesarios para sobrevivir a condiciones ambientales existentes; Esta capacidad de la radiación para controlar la morfología de las plantas es conocida como fotomorfogénesis y las regiones del espectro de luz azul (400-510 nm; fuerte absorción de luz por la clorofila, con alto efecto morfogenético), verde (510-610 nm; débil absorción de la luz por la clorofila,

sin efectos morfogenéticos), rojo (610-720 nm; fuerte absorción de luz por la clorofila, grandes efectos morfogenéticos y ontogenéticos) y rojo lejano (700-800 nm), juegan un rol importante en la morfología de los cultivos (Grossi Gallegos, 2005). También la radiación es capturada principalmente por tres fotorreceptores; los fitocromos, criptocromos y fototropinas, las cuales desencadenan cambios en el crecimiento y desarrollo de las plantas. Estos eventos de señalización regulados por la radiación son necesarios para el desarrollo normal de la planta y aseguran que los cambios adaptativos ocurren en respuesta al cambio ambiental (Rajapakse y Shahak, 2007). La respuesta a las condiciones de la radiación, pueden controlar la longitud del entrenudo, tamaño, número de hoja, orientación y densidad de cloroplasto, así como determinar el momento óptimo para la floración y otros procesos fisiológicos (Pérez *et al.*, 2006).

b. Actividad fotosintética. Es un proceso fisiológico complejo en el que pueden distinguirse dos fases bien diferenciadas: 1). Absorción y conversión de la energía y 2). Toma y asimilación de los elementos constitutivos de la materia orgánica (C, H, O, N, P y S); la energía luminosa es absorbida por biomoléculas fotosensibles y transformada en una forma de energía bioquímica estable; los elementos constitutivos se toman de fuentes minerales inorgánicas (H_2O, CO_2, NO_3) y se incorporan a biomoléculas orgánicas metabolizables, ambas fases: la toma de energía y la toma de elementos, están perfectamente coordinadas e interrelacionadas (Rivas, 2013). La primera fase depende de la luz (reacciones luminosas) ya que requiere la energía directa de la luz que genera los transportadores que son utilizados en la segunda fase. La fase independiente de la luz (reacciones de oscuridad) se realiza cuando los productos de las reacciones de luz son utilizados para formar enlaces covalentes carbono-carbono (C-C) de los carbohidratos y son llevadas a cabo en los tilacoides. Las reacciones oscuras se efectúan en el estroma, con la condición de que la fuente de energía Adenosina Trifosfato (ATP) y el poder reductor de Nicotinamida Adenina Dinucleótido Fosfato (NADPH) formados en la luz se encuentren presentes. Tanto estromas como tilacoides están presentes en los cloroplastos, de los cuales, los tilacoides contienen pigmentos fotosintéticos conocidos como fotosistemas I y II, que actúan en serie

para llevar a cabo las reacciones iniciales de almacenamiento de energía de la fotosíntesis. El fotosistema I absorbe preferentemente la luz del rojo de 700 nm, mientras que el fotosistema II tiene un centro de reacción que absorbe a una longitud de onda de 680 nm, cada uno de estos fotosistemas se encuentra asociado a polipéptidos en la membrana tilacoidal y absorben energía luminosa de manera independiente (Taiz y Zeiger, 2010).

C. Balance energético. El balance energético de una planta se expresa como una función que relaciona la cantidad total de energía radiante absorbida, desde longitudes de onda cortas como la UV hasta muy largas como la radiación térmica, y la manera en que esa planta mantiene un estatus energético estacionario a través de procesos como transpiración, convección, reirradiación, etc. (Benavides *et al*., 1993).

2.5.4 Agroplasticultura y manipulación del ambiente lumínico.

Los invernaderos, túneles y casa sombran son estructuras usadas para el cultivo y/o protección de plantas, los cuales optimizan la trasmisión de radiación solar bajo condiciones controladas para mejorar el entorno del cultivo. Los bioespacios a través de la cubierta plástica filtran la radiación solar y sus dimensiones posibilitan el trabajo de las personas en su interior (Castilla, 2013). El concepto de cultivos bajo cubierta representa el paso de producción extensiva a una producción intensiva. Para ello, las plantas deben reunir condiciones óptimas para su desarrollo. Los controles de temperatura, humedad relativa, corrientes de aire y composición atmosférica son esenciales, además, el control del riego y de los fertilizantes en conjunto con el mantenimiento del nivel de oxigeno cerca de las raíces y la sanidad del cultivo buscan asegurar un producto de calidad (Serrano, 2005).

El empleo de diferentes polímeros para formular películas para invernaderos en la agroplasticultura es una tecnología que ha permitido convertir tierras aparentemente improductivas en explotaciones agrícolas productivas y, en algunos casos, incrementar la calidad de frutas y hortalizas (Samaniego *et al.*, 2002).

Su bajo costo, en particular, ha permitido el desplazamiento de materiales tradicionales en algunas aplicaciones, y la generación de nuevos usos que anteriormente no existían como lo son túneles, cubiertas directas, acolchados, Mallas y riego por goteo entre otros. Los materiales plásticos más utilizados como películas agrícolas son el Polietileno de alta densidad (LDPE con una densidad menor a 0.93 kg m^{-3}), el copolímero de etileno y acetato de vinilo (EVA) y el cloruro de polivinilo (PVC), además materiales rígidos como lo es el Policarbonato (PC) (Castilla, 2013).

Según el material que se use en la cubierta de un invernadero, túnel o casa sombra la calidad y cantidad de radiación que llega al dosel del cultivo va a ser diferente, afectándose la radiación solar disponible para sus procesos fisiológicos tales como fotosíntesis, transpiración, fotomorfogénesis, etc. Es de vital importancia la transmisibilidad de la radiación global que llega al interior de mencionadas estructuras, la misma que está en función de las condiciones climáticas, la posición del sol, la geometría de la estructura, su orientación, el material de cubierta y el equipamiento disponible al interior (Hanan, 1997).

La fotomorfogénesis de los cultivos puede ser manipulada a través de la modificación del ambiente lumínico (Ballaré y Casal, 2000). La calidad de la luz puede modificarse usando distintos tipos de luz suplementaria, o bien utilizando coberturas o Mallas de sombreo fotoselectivas que como consecuencia tendrá una respuesta en la morfología de los cultivos (Cerny *et al*., 2003) Sin embargo dichas respuestas estarán en función de diversos factores como lo es la variedad, la época del año en que se maneje el cultivo, labores culturales entre otros.

En diferentes cultivos ornamentales se han realizado experimentos con diversas cubiertas plásticas (Rajapakse *et al.*, 1993) evaluaron la respuesta del cultivo de crisantemo a la radiación y así determinaron la participación del fitocromo en la regulación de la morfología de la planta bajo cubiertas espectrales, otro trabajo similar fue el de Khattak *et al.*, (2006) donde estudiaron los efectos en el crecimiento y desarrollo del crisantemo evaluando diversas cubiertas fotoselectivas, cada una con diferentes transmisiones en la longitud de onda del azul (425-500 nm), encontrando diferencias significativas para la variable altura y longitud de

entrenudos, en la que cubiertas con alta transmisión en la región del azul produjeron plantas más compactas en comparación con una cubierta de Polietileno de alta densidad (control). También (Mortensen, 1990) reporto los efectos de la temperatura y la calidad de luz en el crecimiento y la floración de *Begonia* x *hiemales* y *Campánula isophylla* al evaluar tres calidades diferentes de radiación (azul, amarillo, rojo=rojo lejano) en la cual la transmisión en la longitud de onda del azul (400-500 nm) redujo la altura de brotes así como el diámetro, en cuanto a la longitud de onda del amarillo (560-585 nm), y a una temperatura de 18 ºC se obtuvo el mayor número de flores; Por otra parte Clifford *et al.*, (2004) reportan la manipulación de la calidad espectral al evaluar una cubierta fotoselectiva, con la propiedad de reducir la transmisión de la luz roja lejana (700-800 nm) en el cual los resultados mostraron que las plantas de nochebuena cultivadas por un periodo de 10-12 semanas bajo está cubierta fueron 20 % más compactas que las plantas que se desarrollaron bajo una cubierta de densidad neutra (testigo), concluyendo que la manipulación de la calidad espectral tiene potencial para el control de crecimiento de *E. pulcherrima*.

2.6 Espectrometría

2.6.1 Principios teóricos

El principio fundamental de la espectrometría es que la radiación sufre modificaciones observables y medibles al interactuar con las sustancias, lo cual depende de la composición química del objeto y/o de sus atributos físicos y estructurales (Nicolai *et al.*, 2007). Respecto a la composición química (Roggo *et al.,* 2007) afirman que la luz incidente en los objetos causa vibración en las moléculas, la cual absorbe un tipo de energía (o longitud de onda) y refleja otras, mostrando así un espectro que permite valorar la cantidad de una y otras moléculas presentes en los objetos, generalmente las que muestran enlaces muy fuertes entre átomos relativamente livianos como: C-H, O-H, N-H y S-H.

2.6.2 Espectrometría en el dosel del cultivo.

En la región del visible (400-700 nm), la respuesta espectral de la vegetación está caracterizada por el papel fundamental que desempeñan los pigmentos de la hoja en la absorción de la energía, mientras que las propiedades de la superficie de la hoja son, en parte, responsables de la reflectancia en dicha superficie, la absorción está gobernada principalmente por la estructura interna, lo cual es su composición, concentración y distribución de los pigmentos (clorofilas, carotenos, luteína, antocianinas entre otros). De ellos, el más importante es la clorofila, que es la responsable de dos bandas de absorción, una en el azul (400-510 nm) y otra en el rojo (610-720 nm). En esta región del espectro se produce la fotosíntesis, proceso que implica la absorción de energía lumínica (Alonso-Jimenez *et al.*, 1999). Del flujo de radiación de una composición espectral especifica recibida en el dosel de un cultivo, una parte del mismo pasa a través de los orificios entre las hojas y otra parte incide directamente sobre ellas; de esta última, una proporción será reflejada y otra transmitida (Figura 2). También hay un flujo hacia arriba, proveniente de la radiación reflejada por las hojas y la reflexión de la superficie del suelo, el cual, igualmente se debe tener en cuenta para conocer la energía total asequible en cada capa de follaje, esta incluye la radiación de onda corta y el intercambio de radiación de onda larga (Yepes y Martínez, 2005).

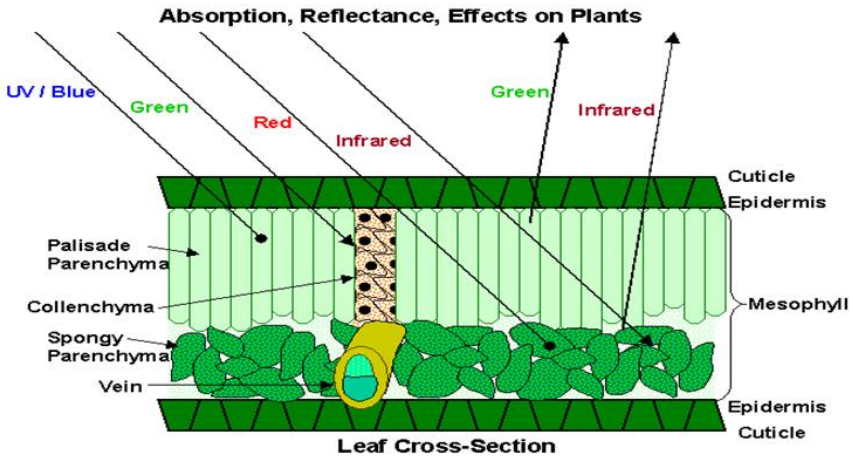

Figura 2. Estructura celular de una hoja y su interacción en la reflexión y absorción de diferentes longitudes de onda.

III. OBJETIVOS.

3.1 Objetivo general.

El objetivo del estudio fue evaluar el efecto de las propiedades espectrales de las cubiertas plásticas en dos localidades sobre el crecimiento, desarrollo y calidad floral de tres variedades en *Euphorbia pulcherrima* (Willd. ex Klozsch).

3.2 Objetivos Particulares.

Determinar la mejor cubierta por efecto de la transmitancia para obtener el mejor porte de tres variedades de *Euphorbia pulcherrima* (Willd. ex Klozsch).

Determinar la mejor cubierta en la localidad de Las Encinas, Coahuila, para la obtención de la mejor calidad floral de la nochebuena.

Determinar la mejor cubierta en la localidad de Las Enramadas, Nuevo León, para la obtención de la mejor calidad floral de la nochebuena.

Determinar las propiedades espectrales en hojas verdes y pigmentadas de tres variedades de nochebuena con la finalidad de establecer la mejor calidad.

IV. HIPÓTESIS Ho.

El desarrollo y calidad de las tres variedades de *Euphorbia pulcherrima* (Willd. ex Klozsch) será igual debido al efecto de las propiedades espectrales de las cubiertas plásticas en las dos localidades de investigación.

V. MATERIALES Y MÉTODOS.

5.1 Localidad Las Encinas, Ramos Arizpe, Coahuila, México.

Se seleccionaron dos localidades con características ambientales distintas en temperatura, humedad y altitud. Las localidades donde se realizó la evaluación fueron: el campo agrícola experimental “Las Encinas” del Centro de Investigación en Química Aplicada, ubicado en la localidad de Las Encinas, municipio de Ramos Arizpe, Coahuila, México (localidad uno), y en el campo agrícola experimental Las Enramadas, municipio de Sabinas Hidalgo, Nuevo León, México (localidad dos). La primera localidad se ubica a los 25°39´15.51” latitud Norte, 101°6´56” longitud Oeste a una elevación de 1196 msnm, cuyo clima es semiárido seco (BSwK). La segunda localidad se ubica a 26°30´ 3" latitud Norte, 100° 8´36" longitud Oeste a una elevación de 290 msnm, con clima semiárido húmedo (BSh). Para ambas localidades se determinó la transmisión de tres tipos de cubiertas (flexibles, mallas y rígidas) utilizadas para la producción de cultivos ornamentales y se evaluó el efecto sobre el desarrollo fisiológico en tres variedades de nochebuena.

5.1.1 Localización geográfica del sitio experimental.

El experimento se estableció en las instalaciones del campo agrícola experimental Centro de Investigación en Química Aplicada, ubicado en Las Encinas Ramos Arizpe, Coahuila, México (localidad uno). Cuyas coordenadas geográficas son: 25°39´15.51” latitud Norte, 101°6´56” longitud Oeste a una elevación de 1196 msnm. El clima de la región de acuerdo a la clasificación de köeppen modificado por García (2004) está clasificado como semiárido: BSwK, donde B es seco, S es semiárido estepario, w son lluvias en verano o irregulares durante el año pero con precipitación en cm igual o menor al doble del promedio de la temperatura anual más 14 °C, K es el promedio de la temperatura anual inferior a 18 °C.

Figura 3. Ubicación de experimento Invernadero de baja tecnología (B) y Malla sombra cristal (A), en campo agrícola experimental Las Encinas.

De acuerdo a los datos obtenidos de la estación meteorológica “Los abuelos” la más próxima al sitio experimental perteneciente al municipio de Ramos Arizpe para el 2016 presentó una temperatura promedio anual de 27 °C una humedad relativa promedio anual de 49 % con precipitación pluvial anual de 119.9 mm. Los meses en los que se estableció el experimento, contaron con valores de radiación global promedio de 462.76 W/m² para el mes de septiembre, 486.56 W/m² en octubre, 386.69 W/m² en noviembre y 411.11 W/m² en diciembre. (INIFAP, 2016).

5.1.2 Establecimiento del experimento.

El trabajo se desarrolló en dos etapas, la primera (trasplante) se realizó en un invernadero semicircular de 13 m de longitud x 7 m de ancho, con una altura de 7.5 m, en la cumbrera conto con una película desplegable de Polietileno de alta densidad con apertura y cierre manual que a su vez tuvo por revestimiento una Malla anti insectos color blanco, cortinas laterales con apertura manual protegida de una Malla anti insectos color blanco y una caseta de entrada con doble puerta de seguridad. La segunda etapa (productiva), bajo dos condiciones de cubierta (factor A del estudio): una Malla sombra cristal de 12.10 m de ancho x 23.82 m de longitud,

con una altura de 4.5 m, en la cumbrera conto con una Malla tipo cristal con mesh de 16 x 26 hilos/cm² y perimetralmente cubierta por otra Malla color negro, así como una caseta de entrada con doble puerta de seguridad. La segunda condición fue un invernadero de baja tecnología con una película de Polietileno de alta densidad, con estructura clásica de 9 m de altura con las siguientes dimensiones: 24.10 m de longitud x 12.2 m de ancho, conto con ventana cenital en la parte media protegida por una Malla anti insectos color blanco, cortinas perimetrales con apertura y cierre manual, Malla perimetral color blanco y pabellón de entrada con doble puerta de seguridad. En los dos bioespacios se colocó al interior en la cumbrera y longitudinalmente una malla aluminet con 20% de sombreo para reducir la radiación incidente al interior. En ambos niveles del factor A se establecieron los niveles del factor B (variedades).

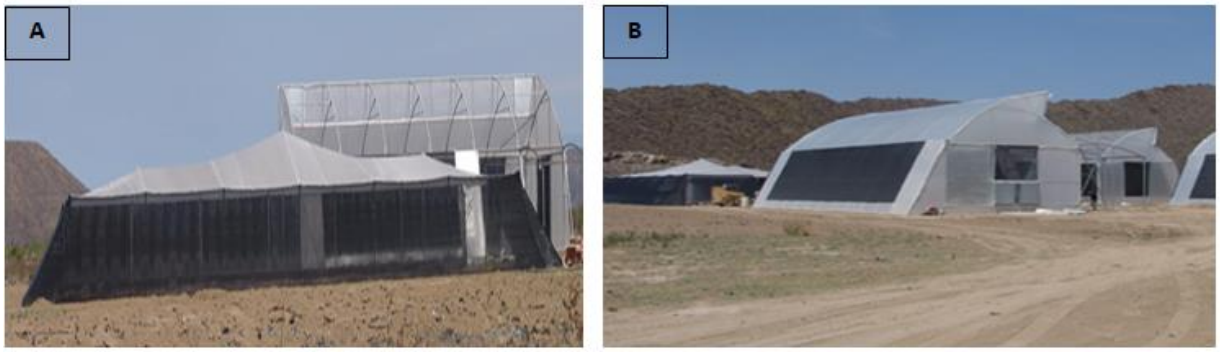

Figura 4. (A) Malla sombra cristal, (B) invernadero de baja tecnología en los cuales se estableció el cultivo en el campo agrícola experimental Las Encinas.

5.1.3 Riego.

Los requerimientos hídricos y nutrimentales fueron suministrados en dos etapas. En la Primera etapa (29 de abril al 11 de septiembre del 2016) se aplicó el riego cada tercer día de forma manual proporcionando un volumen total de 250 mL por planta, el criterio utilizado para proporcionar los requerimientos hídricos fue basado en las recomendaciones de Cabrera *et al,* (2006) y Hernández *et al*, (2014), quienes sugieren que los requerimientos de riego para el cultivo de nochebuena en macetas y bajo cubierta será de 250- 300 ml (1.8 mm) como máximo cada tercer día. En la segunda etapa (12 de septiembre al 16 de diciembre del 2016) los

requerimientos hídricos y nutrimentales fueron suministrados con un sistema de riego por goteo conformado por: línea principal, línea distribuidora, línea regante con emisores de 4 lph., cada emisor contó con distribuidores de 4 salidas, cada salida conectaba a una piqueta mediante tubings y se colocó una piqueta en cada maceta a una separación de 0.45 m de distancia entre plantas y 0.45 m entre hileras, el sistema de riego se complementó con un dosificador de riego Fertikit (Modelo NMC-PRO L, NETAFIM. Israel) para la etapa de desarrollo vegetativo y floración se dieron tiempos de riego de 30 minutos (500 mL por maceta) dividido en tres tiempos de riego durante el día (8 a.m., 11 a.m. y 3 p.m.), también una vez por semana se dieron riegos pesados sin fertilizantes para lavar sales contenidas en el sustrato de acuerdo a las recomendaciones de Cabrera *et al.*, (2006).

5.1.4 Fertilización.

Para la fertilización del cultivo de nochebuena se elaboró una solución nutritiva universal de Hoagland y Arnon (1950) tomando en cuenta la calidad del agua del sitio experimental (Cuadro 3). La solución nutritiva se preparó en 2 depósitos de 1,100 L concentrada diez veces, en el primer deposito se preparó nitrato de potasio, fosfato monoamónico y microelementos (Fe, Mn, B, Zinc, Cu, Mo) y en el segundo deposito se colocó ácido fosfórico y ácido nítrico. De acuerdo a la recomendación de Cox (2001) se ajustó pH a 6.5 y se midió conductividad eléctrica procurando que no aumentara de 2.5 dSm^{-1}; con la finalidad de evitar acumulación de solidos salinos en el sustrato se realizaron lavados con agua una vez por semana para evitar problemas por intoxicación en el cultivo.

Cuadro 3. Solución nutritiva aplicada a cultivo de nochebuena ($mEq \cdot L^{-1}$) dividido en tres etapas fenológicas.

Fuente	Etapa 1 Vegetativo	Etapa 2 Inductivo	Etapa 3 Floración
NO_3^-	11	11	11
$H_2PO_4^-$	1.6	1.6	1.6
K^+	4	4	5.4
Ca^{++}	12	12	12
Mg^{++}	3	3	3

5.1.5 Material vegetal.

El factor B fueron esquejes de *Euphorbia Pulcherrima* (Willd. ex Klozsch) de las variedades Prestige, Nutcracker y Sonora White Glitter (Figura 5), provistas por un productor comercial de Cuautla Morelos, de acuerdo a sus características agronómicas los tres cultivares presentan tiempo de respuesta a la inducción floral tardía a partir de su trasplante con una altura final que va de 40-50 cm para cada una de las variedades en rojo, blanco y variegado respectivamente (Figura 6).

Figura 5. Variedades de nochebuena A) Prestige, B) Nutcracker y C) Sonora White.

Variedad	Color de bráctea	Inducción floral	Días a cosecha	Días de inducción floral a cosecha	Días de desarrollo vegetativo	Brotes	Altura en cm
Prestige	Rojo	Tardía	123	47	76	4.6	48.7
Nutcracker	Blanco	Tardía	123	47	76	4.5	41.6
Sonora White	Jaspeado	Tardía	123	47	76	3.4	52.3

Fuente: Sistema Produce Sinaloa (Siproduce, 2013).

Figura 6. Características agronómicas de tres variedades de nochebuena.

5.1.6 Trasplante.

Durante la primera etapa denominada “establecimiento” del cultivo el cual consistió en el trasplante y cuidado de las variedades Prestige, Nutcracker y Sonora White, en la fecha 29 de abril del 2016 realizado en las instalaciones del Centro de Investigación en Química Aplicada (CIQA) en un invernadero semicircular de baja tecnología y finalizó el 12 de septiembre del 2016 (162 días después del trasplante) cuando las variedades fueron trasladadas a los dos sitios experimentales donde fueron evaluadas; el trasplante se realizó en macetas de 7” cuando la plántula contaba con 4-6 hojas verdaderas y una altura de 10 cm, la mezcla de sustratos estuvo conformada por: tierra de bosque (35 %), Perlita (35 %) y Peat moss (30 %), previamente esterilizado con un fungicida a base de TCMTB (Tiocianometiltio benzotiazol) a razón de un mililitro por cada litro de agua (mL/L) y cubierto con un plástico por 72 horas. Durante la primera etapa la plántula recibió 2 podas en los tallos principales (pinch) en las fechas 15 de junio y 2 de agosto para promover el desarrollo de brotes laterales.

5.1.6.1 Etapa productiva

La segunda etapa inicio el día 12 de septiembre del 2016 en la que se trasladó la planta de nochebuena a la localidad uno (Rancho Las Encinas) para ser evaluadas durante los meses de septiembre a diciembre en las condiciones del factor A (Malla sombra cristal y película de polietileno de alta densidad).

5.1.7 Control fitosanitario de la segunda etapa.

El monitoreo y control de plagas y enfermedades se realizó en todo el ciclo del cultivo. Para los ambientes de Malla sombra cristal e invernadero se identificaron las siguientes plagas: mosca blanca (*Bemisia tabaci*), acaro rojo (*Tetranychus urticae*) y trips (*Frankliniella* sp.*),* respecto a enfermedades, se detectó una baja incidencia de botrytis (*Botrytis* sp.) principalmente en la Malla sombra cristal.

La prevención y control de estas plagas y enfermedades se realizó cada 8 días con los siguientes ingredientes activos, utilizando las dosis más bajas para evitar problemas por intoxicación: Imidacloprit, Metomilo, Tiametoxan+Clorotalonil, Flonicamid, Bifentrina, Jabon, Metalaxil, Sulfato de cobre, Tiabendazol, Captan, Oxitetraciclina, Myclobutanil, Azoxistrobin e Iprodione.

5.1.8 Diseño experimental y diferenciación de tratamientos.

Los tratamientos resultantes de la interacción de los niveles de los factores de estudio, siendo el factor A) cubiertas de bioespacios donde: a_1) Malla sombra cristal y a_2) invernadero y el factor B) variedades de nochebuena donde: b_1) Prestige, b_2) Nutcracker y b_3) Sonora White Glitter, resultando un total de seis tratamientos, los cuales se distribuyeron en cuatro repeticiones dando un total de 24 unidades experimentales. Cada unidad estaba conformada por 12 plantas y ocho de parcela útil, teniendo un marco de plantación de 0.45 m entre hileras y 0.45 m entre plantas, resultando una densidad de población de 4.9 macetas/m². Los tratamientos se manejaron con los siguientes acrónimos: T1 (M+P) Malla sombra cristal + variedad Prestige, T2 (M+N) Malla sombra cristal + variedad Nutcracker, T3 (M+S) Malla sombra cristal + variedad Sonora White, T4 (Pe+P) Polietileno de alta densidad + variedad Prestige, T5 (Pe+N) Polietileno de alta densidad + variedad Nutcracker y T6 (Pe+S) Polietileno de alta densidad + variedad Sonora White.

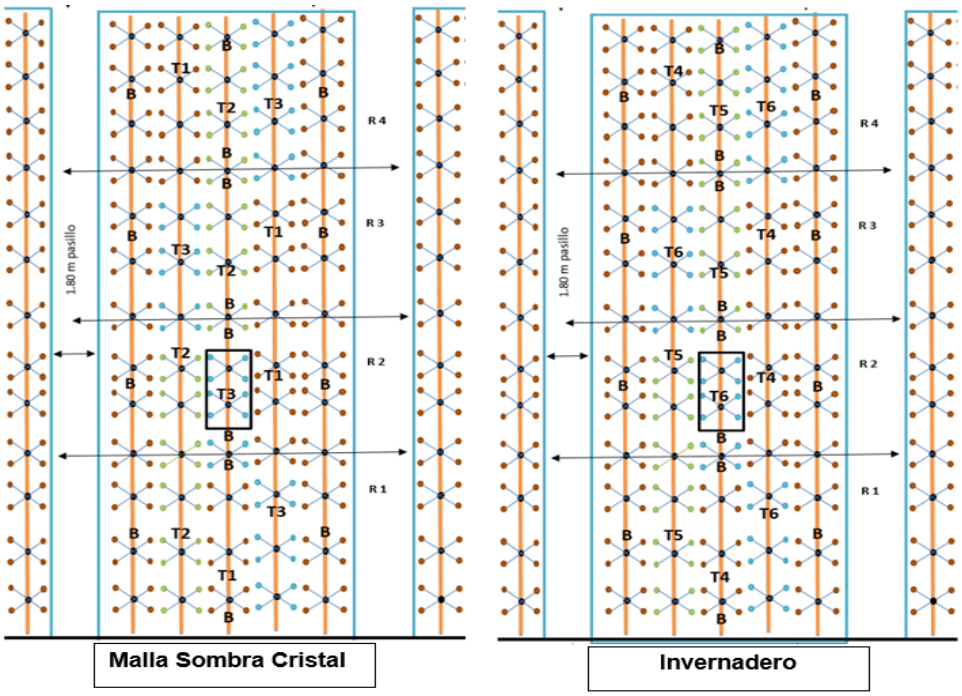

Figura 7. Distribución de seis tratamientos en un diseño experimental de parcelas divididas con arreglo de bloques al azar en campo agrícola experimental Las Encinas, donde T= tratamientos y B= bordos.

5.1.9 Modelo estadístico.

El diseño estadístico que se aplicó fue parcelas divididas con arreglo de bloques al azar. Todos los resultados de las distintas evaluaciones de la fenometría del cultivo se analizaron mediante un análisis de varianza con el programa estadístico InfoStat (Statistical Software), con una prueba de medias usando Duncan ($P \leq 0.05$) para separación de medias.

5.1.10 Variables evaluadas.

A continuación, se describen las variables evaluadas (espectrométricas, fenometricas y fisiológicas) de la localidad uno, así como un cuadro (Cuadro 4) donde se muestra el equipo, la variable que se evalúo, modelo y unidades.

5.1.10.1 Variables espectrométricas.

La transmisividad de la película de Polietileno y Malla sombra cristal a la radiación solar (400 a 700 nm) se determinó en un día con cielo completamente despejado a la hora de mayor incidencia de radiación solar (12:00 a 15:00 h) con el espectrorradiómetro (PS-100, Apogee Inst, Utah, USA).

Para determinar la transmitancia (Ʈ), reflectancia (ρ) y absorbancia (α) de las hojas a la radiación fotosintéticamente activa se recolectaron hojas en color verde y pigmentadas de cada una de las variedades Prestige, Nutcracker y Sonora White. Posteriormente fueron analizadas en laboratorio. Todas las mediciones se realizaron con un espectrorradiómetro (PS-100, Apogee Inst, Utah, USA). El PS-100 tiene un rango espectral nominal de 350 a 1000 nm con un intervalo de 2 nm por lo que en cada medición el equipo recogió 150 datos que cubrieron el rango espectral de nuestro interés (400-700 nm).

Una vez llevadas las plantas al laboratorio se determinó reflectancia y transmitancia (Figura 8) con un cable de fibra óptica colocado a una altura de 5 cm sobre la hoja, dicha hoja mantuvo la fibra en un ángulo de 30° de campo visual. La iluminación de la hoja se proporcionó a un lado de la fibra óptica con un foco incandescente de 100 watts. Finalmente se realizaron tres mediciones repetidas en cada variedad y se promediaron los resultados.

Figura 8. Interpretación de la determinación de reflexión y transmisión con espectrorradiómetro PS-100 en hojas de nochebuena.

5.1.10.2 Variables fenometricas.

Se evaluó altura de la planta con un flexómetro tomando el dato desde la base del suelo hasta la hoja más joven ubicada en el tercer tercio de la planta, el diámetro de tallo se evaluó con un vernier tomando como referencia el primer nudo de la planta y el número de tallos secundarios fue evaluado por conteo. Para cuantificar el área foliar se utilizó un medidor de área foliar (LI-3100, LI-COR, Inc. Lincoln Nebraska, USA) en el que se llevaron a cabo cuatro análisis destructivos. La altura, diámetro de tallo, número de tallos secundarios y área foliar fueron evaluadas a los 154, 175, 209 y 228 días después del trasplante (ddt). La evaluación del índice de área foliar se realizó por medio de un sensor óptico (LAI-2200C. LI-COR, Inc. Lincoln Nebraska, USA) en dos horarios distintos; El primero a las (7:00 a.m.) y el segundo a las (18:00 p.m.). la medición en campo consistió en tomar una lectura con el equipo sobre la copa del cultivo, posteriormente se tomaron 2 mediciones más en la base del tallo abarcando un ángulo de 180° tanto en la parte norte como en la parte sur, por lo que se adaptó una lenticela en el sensor óptico con un ángulo de percepción de 180 °.

5.1.10.3 Variables fisiológicas.

Se determinó la tasa fotosintética de los tratamientos durante todo el día solar que abarco los siguientes horarios: 7 a.m., 9 a.m., 11 a.m., 1 p.m., 3 p.m., 5 p.m. y 7 p.m., se realizaron 3 muestreos a los 154, 192 y 233 ddt con un sistema portable de fotosíntesis (LI-6400 XT, LI-COR, Inc. Lincoln Nebraska, USA). Las mediciones se tomaron en hojas bien desarrolladas y libres de enfermedades ubicadas en el tercer tercio de la planta con días despejados, así como hojas con mayor captación de radiación (hojas soleadas).

Para la evaluación en el contenido de clorofila de los tratamientos se utilizó un Espectrómetro (Spad-502 plus, Konica Minolta Technologies, Inc.), con el que se realizaron 4 evaluaciones a los 154, 175, 209 y 228 ddt, en dos horarios distintos a las 11 y 13 horas con el objetivo de promediar ambas mediciones y tener una

lectura más confiable. Las mediciones se tomaron en hojas bien desarrolladas ubicadas en el tercer tercio de la planta.

5.1.10.4 Materia seca.

Para determinar el peso seco de hojas y tallos, se realizaron análisis destructivos a los 154, 175, 209 y 228 ddt, posteriormente las muestras fueron colocadas en una estufa de secado a una temperatura de 70 °C durante 72 horas y posteriormente fueron pesadas en una balanza analítica.

Cuadro 4. Equipo utilizado para la evaluación de variables en cultivo de noche buena.

LOCALIDAD	VARIABLE	EQUIPO	UNIDADES	MODELO
LAS ENCINAS	Reflectancia, Transmitancia y Absorbancia	Espectrorradiómetro	Conteo y µmol de fotones m^{-2} sec^{-1}	PS-100
	Fotosíntesis	Sistema portable de fotosíntesis	µmol CO_2 m^{-2} sec^{-1}	LI-6400XT
	Índice de área foliar	Analizador del dosel de la planta	Adimensional	LAI-2200
	Área foliar	Integrador de área foliar	cm^2	LI-3100
	Clorofila	Medidor de clorofila	Unidades Spad	Spad-502 plus

5.2 Localidad Las Enramadas, Municipio de Sabinas Hidalgo, Nuevo León, México.

5.2.1 Localización geográfica del sitio experimental.

El experimento se estableció en el campo agrícola experimental Las Enramadas, municipio de Sabinas Hidalgo, Nuevo León, México (Localidad dos), cuyas coordenadas geográficas son: 26°30´ 3" latitud Norte, 100° 8´36" longitud Oeste a una elevación de 290 msnm. El clima de la región de acuerdo a la clasificación de köeppen modificado por García (2004), está clasificado como semiárido: BSh, donde B es seco, S es semiárido estepario, H es húmedo.

De acuerdo a los datos obtenidos de la estación meteorológica “Sabinas Hidalgo” ubicada en el municipio de Sabinas Hidalgo, presenta una temperatura promedio anual de 28 °C, una humedad relativa promedio anual de 66.8 % con precipitación pluvial anual de 178.9 mm. Los meses en los que se estableció el experimento contaron con valores de radiación global promedio de 411.10 W/m² para el mes de septiembre, 393.63 W/m² en octubre, 293.16 W/m² en noviembre y 230.80 W/m² en diciembre (INIFAP, 2016).

Figura 9. Ubicación del sitio experimental en campo agrícola experimental Las Enramadas.

5.2.2 Establecimiento del experimento.

Como se mencionó anteriormente, el trabajo experimental se desarrolló en dos etapas, la primera descrita como (establecimiento) que fue la misma para ambas localidades; a continuación, se describirá la segunda etapa para la localidad Las Enramadas, municipio de Sabinas Hidalgo, Nuevo León, México. El día 21 de septiembre del 2016 se trasladó la planta de nochebuena a la localidad dos, la duración de esta etapa fue del 21 de septiembre al 23 de noviembre del 2016. Para la realización del trabajo experimental se utilizaron cuatro túneles de forma semicircular (factor A del estudio) con las siguientes dimensiones: 2.5 m de alto, 4 m de ancho y 12 m de longitud con una separación de 6 m entre túneles. Su orientación fue Norte-Sur con la puerta de entrada ubicada del lado Sur. Se utilizaron cubiertas de Policarbonato de color rojo, azul y Claro con un espesor de 6 mm, y el cuarto túnel fue cubierto por una película de Polietileno de alta densidad. En los cuatro bioespacios se colocó al interior en la cumbrera y longitudinalmente una malla aluminet con 20% de sombreo para reducir la radiación incidente al interior. Se realizó la evaluación de las propiedades iniciales de cada cubierta de los cuales se analizó la claridad, transmisión y turbidez obtenidas mediante la prueba de Haze con el equipo (CCQ-Haze-Gard Plus, Gardner) (Cuadro 5).

Cuadro 5. Valores de Haze-meter, en cuatro cubiertas de Policarbonato.

Cubiertas	Transmitancia	Turbidez	Claridad
Pc rojo	19 %	44 %	79.31 %
Pc azul	51.40 %	40 %	78 %
Pc Claro	76.50 %	50.30 %	75.50 %
Polietileno	68.85 %	54 %	67.95 %

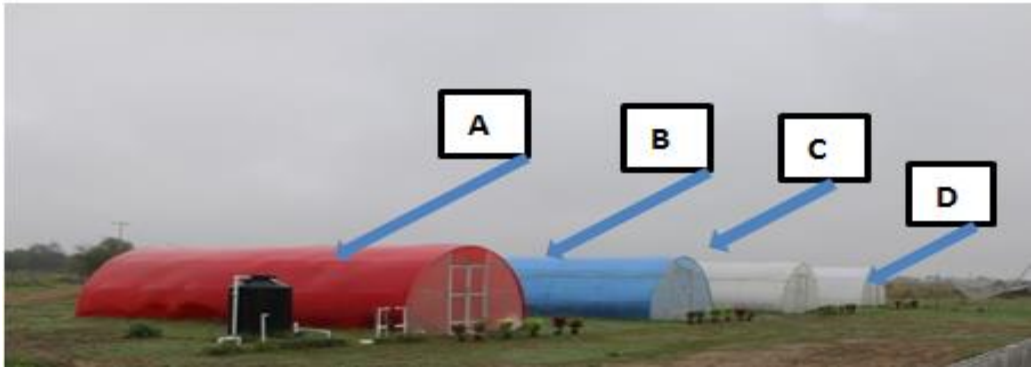

Figura 10. Túneles de Policarbonato color rojo (A), azul (B), Claro (C) y una cubierta de Polietileno de alta densidad (D), en los cuales se estableció el cultivo en campo agrícola experimental Las Enramadas.

5.2.3 Riego

Para la segunda etapa (12 de septiembre al 23 de noviembre del 2016), los requerimientos hídricos y nutrimentales fueron suministrados con un sistema de riego por goteo, conformado por línea principal, línea distribuidora, línea regante con emisores de 4 lph, cada emisor contó con distribuidores de 4 salidas, cada salida conectaba a una piqueta mediante tubings y se colocó una piqueta en cada maceta a una separación de 0.45 m de distancia entre plantas y 0.45 m entre hileras. De acuerdo a las recomendaciones de Hernández *et al*, (2014) el suministró de riego se dio cada tercer día por un lapso de 30 minutos, así como también una vez por semana se dieron riegos pesados sin fertilizantes para lavar sales contenidas en el sustrato de acuerdo a las recomendaciones de Cabrera *et al*, (2006). En cuanto a la fertilización y el manejo integrado de plagas y enfermedades se siguió el mismo proceso que en la localidad uno.

5.2.4 Diseño experimental y diferenciación de tratamientos.

Los tratamientos resultantes de la interacción de dos niveles de los factores de estudio, siendo el factor A las cubiertas de los túneles con cuatro niveles, a_1) Policarbonato rojo, a_2) Policarbonato azul, a_3) Policarbonato Claro y a_4) película de Polietileno de alta densidad y el factor B las variedades de nochebuena donde: b_1)

Prestige, b_2) Nutcracker y b_3) Sonora White Glitter. Resultando un total de 12 tratamientos con tres repeticiones dando un total de 36 unidades experimentales. Cada unidad estuvo conformada por 4 plantas de los cuales 2 formaron la parcela útil, teniendo un marco de plantación de 0.45 m entre hileras y 0.45 m entre plantas, con una densidad de 4.9 macetas/m². Los tratamientos se manejaron con los siguientes acrónimos: T1 (Pc Rojo+P) Policarbonato color rojo + variedad Prestige, T2 (Pc Rojo+N) Policarbonato color rojo + variedad Nutcracker, T3 (Pc Rojo+S) Policarbonato color rojo + variedad Sonora White, T4 (Pc Azul+P) Policarbonato color azul + variedad Prestige, T5 (Pc Azul+N) Policarbonato color azul + variedad Nutcracker, T6 (Pc Azul+S) Policarbonato color azul + variedad Sonora White, T7 (Pc Claro+P) Policarbonato Claro + variedad Prestige, T8 (Pc Claro+N) Policarbonato Claro+ variedad Nutcracker, T9 (Pc Claro+S) Policarbonato Claro + variedad Sonora White, T10 (Pe +P) Polietileno de alta densidad + variedad Prestige, T11 (Pe+N) Polietileno de alta densidad + variedad Nutcracker y T12 (Pe+S) Polietileno de alta densidad + variedad Sonora White.

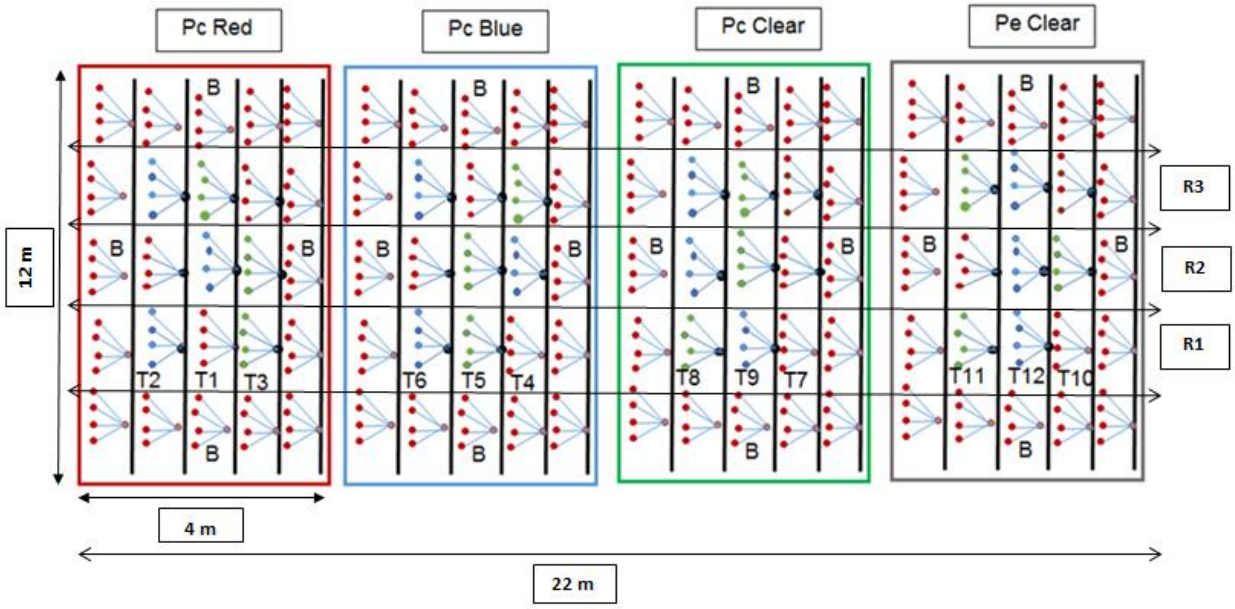

Figura 11. Distribución de 12 tratamientos en un diseño experimental de parcelas divididas con arreglo de bloques al azar en campo agrícola experimental Las Enramadas.

5.2.5 Modelo estadístico.

El diseño estadístico que se aplicó fue parcelas divididas con arreglo de bloques al azar. Todos los resultados de las distintas evaluaciones de la fenometría del cultivo se analizaron mediante un análisis de varianza con el programa estadístico InfoStat (Statistical Software), con una prueba de medias usando Duncan ($P \leq 0.05$) para separación de medias.

5.2.6 Variables evaluadas.

A continuación, se describen las variables evaluadas (espectrométricas, microclimáticas, fenometrícas y fisiológicas) de la localidad dos, así como un cuadro (Cuadro 6) donde se muestra el equipo, la variable que se evalúo, modelo y unidades.

5.2.6.1 Variables espectrométricas.

La transmisividad (Ʈ) de las láminas de Policarbonato y la película de Polietileno a la radiación solar la cual tomó en cuenta las longitudes de onda de 400 a 700 nm (radiación PAR) se determinó en un día con cielo completamente despejado a la hora de mayor incidencia de radiación solar (12:00 a 15:00 h) con el espectrorradiómetro (PS-100, Apogee Inst, Logan Utah, USA).

5.2.6.2 Variables microclimáticas.

Para cada uno de los túneles se fijó al centro un poste sobre la superficie y se instalaron sensores para medir radiación fotosintéticamente activa Quantum sensor (SQ-225, Apogee instruments, Logan, Utah, USA). De igual forma se midió la temperatura para cada uno de los túneles con un sensor Vaisala (HP45C, Vaisala Inc., Woburn, MA, USA). Al exterior de los túneles se realizaron las mismas mediciones y se incluyó una veleta y un anemómetro de copa Wind sentry (031015, CampbellScientific, Logan, Utah, USA). Para registrar velocidad y dirección del viento respectivamente. Dichas mediciones se llevaron a cabo a una frecuencia de 2 segundos y se generaron promedios continuos de 30 min a través del ciclo de crecimiento del cultivo (21 de septiembre al 23 de noviembre del 2016).

5.2.6.3 Variables fenometrícas.

Se evaluó altura de planta con un flexómetro tomando el dato desde la base del suelo hasta la hoja más joven ubicada en el tercer tercio de la planta, el diámetro polar y ecuatorial se midió con una regla tomando como punto de referencia la expansión de los foliolos en ambos puntos (polar y el ecuatorial), posteriormente con los datos obtenidos se calculó el área de brácteas, las evaluaciones de estas variables fueron tomadas a los 159,179 y 205 días después del trasplante (ddt).

5.2.6.4 Variables fisiológicas.

Se determinó la tasa fotosintética de los tratamientos durante todo el día solar que abarco los siguientes horarios: 7 a.m., 9 a.m., 11 a.m., 1 p.m., 3 p.m., 5 p.m. y 7 p.m., se realizaron 3 muestreos a los 159, 179 y 205 ddt con un sistema portable de fotosíntesis (LI-6400 XT, LI-COR, Inc. Lincoln Nebraska, USA). Las mediciones se tomaron en hojas bien desarrolladas y libres de enfermedades ubicadas en el tercer tercio de la planta con días despejados, así como hojas con mayor captación de radiación (hojas soleadas).

Cuadro 6. Equipo utilizado para la evaluación de variables en cultivo de nochebuena en el campo agrícola experimental Las Enramadas.

LOCALIDAD	VARIABLE	EQUIPO	UNIDADES	MODELO
SABINAS HIDALGO, NL.	Transmitancia	Espectrorradiómetro	Conteos	PS-100
	Fotosíntesis	Sistema portable de fotosíntesis	(µmol CO_2 m^{-2} sec^{-1})	LI-6400XT
	Radiación (PAR)	Quantum sensor	(µmol m^{-2} sec^{-1})	SQ-225
	Temperatura	Vaisala Inc.	°C	HP45C

VI. RESULTADOS Y DISCUSIÓN.

6.1 Resultados obtenidos en la localidad de las Encinas.

A continuación, se presentan los resultados obtenidos en la evaluación del cultivo de nochebuena, dichas variables evaluadas fueron: a) transmitancia de 2 cubiertas, así como transmitancia, reflectancia y absorbancia del dosel del cultivo), b) fenometrícas (altura de planta, diámetro de tallo, número de tallos, índice de área foliar, área foliar, área de bráctea, peso seco de hoja y peso seco de tallo y c) fisiológicas (fotosíntesis y contenido de clorofila).

6.1.1 Variables de espectrometría.

A continuación, se presentan los resultados del análisis de espectrometría de las cubiertas utilizadas del factor A, a_1) Malla sombra cristal y a_2) Película de polietileno de alta densidad obtenidas en la localidad de las Encinas.

6.1.1.1 Transmitancia (Ʈ) de cubiertas en localidad las Encinas.

Se muestra la (Ʈ), de las cubiertas Malla sombra cristal y película de Polietileno de alta densidad (invernadero) para la longitud de onda perteneciente a la radiación fotosintéticamente activa (400-700 nm). En la (Figura 12) se observa que la Malla sombra cristal (M) y película de Polietileno de alta densidad (Pe) obtuvieron mismos valores de (Ʈ), en el que en los 400 a 500 nm (azul) existe una baja transmisión, sin embargo, a los 525 nm (verde), y hasta los 650 nm (rojo) presentaron la mayor magnitud en (Ʈ), posteriormente hay un descenso a los 660-700 nm (rojo). Para toda la longitud de onda dentro de la PAR, y tomando el promedio de la radiación solar incidente 45064.47 conteos en 15 milisegundos (100 %), el (Pe) fue ligeramente mayor en cuanto a la (Ʈ) con 49.37 % y (M) con 36.55 %.

Un cultivo puede ser afectado por las diferentes intensidades de la radiación, así como en las diferentes longitudes de onda que recibe, donde las principales

regiones del espectro se encuentran en el azul (400-500 nm con fuerte absorción de la radiación por la clorofila y alto efecto morfogénico), verde (510-610 nm con débil absorción de la luz por la clorofila, sin efectos morfogénicos), rojo y rojo lejano (700-800 nm con un alto efecto morfogénico). También los fotorreceptores (fitocromos, criptocromos y fototropinas), desencadenan cambios en el crecimiento y desarrollo de las plantas (fotomorfogénesis) (Grossi-Gallegos, 2005; Rajapakse y Shahak, 2007). Como se puede observar (Figura 12), ambas cubiertas mostraron valores de transmisión en las longitudes de onda pertenecientes a los colores verde, amarillo y rojo, sin embargo, no se observó un aumento para la transmisión en la longitud de onda del azul donde los efectos morfogénicos son importantes en las plantas, por lo que se esperaría que una cubierta diseñada para producir cultivos tenga esta propiedad de transmisión en esta región (400-500 nm).

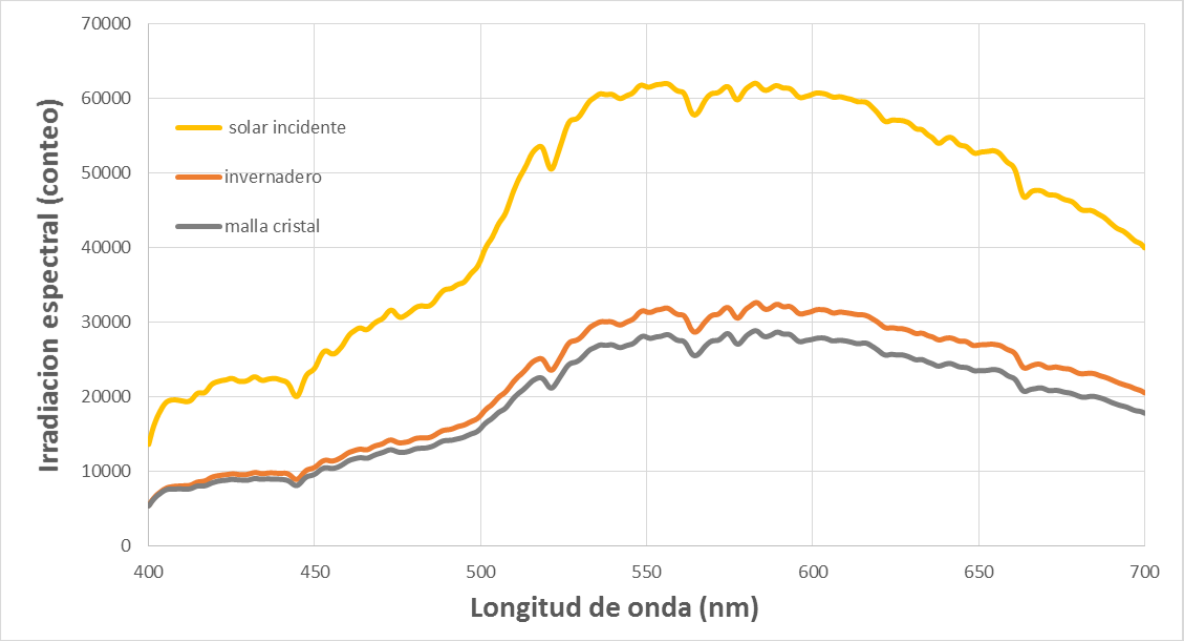

Figura 12. Espectro de radiación solar incidente y transmitida bajo dos cubiertas (Malla sombra cristal y película de Polietileno de alta densidad), en un rango de 400 a 700 nm.

6.1.2 Variables fenometricas.

6.1.2.1 Altura de planta.

Los resultados obtenidos mostraron diferencias estadísticamente significativas en tres de las cuatro evaluaciones realizadas para el factor A (cubiertas). A los 175 ddt (M) seguía superando al (Pe) en un 9 %, sin embargo, a los 209 ddt el (Pe) mostró un incremento con respecto a (M) en un 9.7 %. Finalmente, a los 228 ddt (12 de diciembre del 2016), el (Pe) y (M) mostraron una respuesta similar para esta variable (52.54 cm y 49.54 cm) respectivamente, al no presentar diferencia estadística significativa (Cuadro 7). Teniendo en cuenta estos resultados se concluye que tanto la película de Polietileno de alta densidad como la Malla sombra cristal demuestran tener un importante efecto para esta variable, sin embargo, a los 228 ddt el comportamiento fue similar en ambas cubiertas esto puede atribuirse a que las propiedades espectrales no presentaron una diferencia mayor al 12 % en la transmisión, además de presentar los mismos picos de longitud de onda. Por lo que se infiere que para el óptimo desarrollo del cultivo lo que le favorece es la calidad espectral más no la cantidad. Samaniego *et al*, (2002) menciona que la radiación solar actúa como un factor determinante para el crecimiento y desarrollo de las plantas, ya que variaciones en la tasa de fluencia y distribución espectral dan lugar a cambios bioquímicos en los sistemas de captura de radiación.

Para el factor B (variedades) la altura de plantas presentó diferencias estadísticamente significativas en la cual se puede observar que Nutcracker (N) mantuvo la mayor altura desde la primera evaluación y en comparación con las demás variedades, las cuales al llegar a los 208 ddt (última evaluación), fueron inferiores en 9 % para Prestige (P) y 12 % en Sonora White (S). Al respecto Pérez-López *et al*., (2005) mencionan que en cultivo de nochebuena es importante mantener una relación 2.5 a 3 veces mayor que el tamaño de la planta. Así que considerando esta relación planta/maceta, las variedades de nochebuena desarrolladas en la localidad de Las Encinas, superaron esta relación en los siguientes porcentajes: N (32 %), P (20 %) y S (16 %) respectivamente.

Cuadro 7. Comparación de medias de la variable altura del cultivo (cm), en cuatro evaluaciones comparando cubiertas y variedades, durante los meses de septiembre a diciembre del 2016.

	Muestreos			
Cubiertas	154 ddt	175 ddt	209 ddt	228 ddt
Malla sombra cristal	24.89 a	32.38 a	46.58 b	49.54 a
Polietileno	23.42 b	29.22 b	51.58 a	52.54 a
Variedades				
Prestige	24.20 ab	29.74 b	47.63 a	50.75 ab
Nutcracker	25.38 a	36.65 a	51.25 a	55.5 a
Sonora White	22.89 b	26.00 c	46.38 a	48.88 b

Comparación de medias a partir de dos factores (n=4) en la misma columna con letra diferente son estadísticamente diferentes Duncan ($P \leq 0.05$). ddt=días después del trasplante.

En todos los tratamientos evaluados, se observó un crecimiento del tipo sigmoidal (Figura 13) a partir de los 154 ddt hasta los 228 ddt. lo cual concuerda con Fisher *et al.*, (1996), quienes indicaron que las nochebuenas que llevan podas tienden a generar un crecimiento de tipo sigmoidal o en forma de “s”, en el que explican que en la primera fase de su desarrollo se torna lenta, debido a que en este periodo las células permanecen meristemáticas y continúan dividiéndose a intervalos aproximadamente iguales. La segunda fase es aproximadamente lineal, que es cuando el cultivar se alarga y crece rápidamente. En la tercera fase es donde comienza el desarrollo de flores, las plantas crecen lentamente ya que la velocidad de alargamiento disminuye hasta que la altura alcanza su máximo asintótico. Es relevante señalar que fue posible observar diferencias estadísticamente significativas en las cuatro evaluaciones realizadas, del cual a los 175 ddt el tratamiento (M+N) presentó la mayor altura con un valor de 36.65 cm, seguido de (Pe+N) con 32.80 cm y (Pe+P) con 31.73 cm. A los 209 ddt se repite la tendencia en cuanto al mayor valor de altura por parte del tratamiento (Pe+N) con 54.00 cm, seguido de (Pe+S) con 51.00 cm de altura, en cuanto al tratamiento (M+P) y (M+N) presentaron valores de altura iguales (48.50 cm). Finalmente, a los 228 ddt, de nuevo (Pe+N) obtuvo el valor más alto con 57.63 cm, seguido de (M+N) con 53.38 cm, y (M+P) con 52.5 cm. En cuanto a los valores más bajos se

encontraron (M+S) con 42.75 cm, (Pe+P) con 49 cm y (Pe+S) con 51 cm respectivamente. De los resultados obtenidos se puede inferir que las condiciones generadas por el factor A influyeron para esta variable principalmente en la variedad Nutcracker la cual mostró tener mayor altura en los dos ambientes donde fue evaluada. Es importante mencionar que las variedades cultivadas en la malla sombra cristal mostraron una tendencia de crecimiento similar a los resultados obtenidos en la película de polietileno de alta densidad dado que el nivel de transmisión de la radiación fotosintética para las dos cubiertas fue similar con tan solo una diferencia de 12.82 % menor en la malla sombra cristal, además de coincidir en los mismos valores de transmisión en las longitudes de onda que abarcaron desde los 500 a los 650 nm.

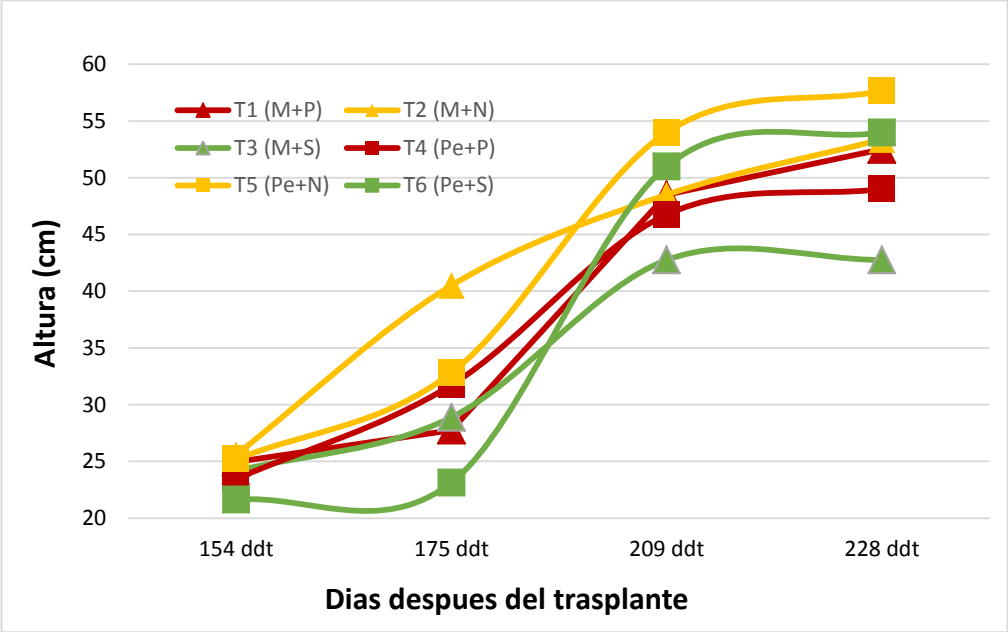

Figura 13. Evolución de la altura del cultivo de nochebuena por unidad experimental en cuatro fechas de muestreo en el campo agrícola experimental Las Encinas. M= Malla sombra tipo cristal, Pe=película de Polietileno de alta densidad, P= variedad Prestige, N= variedad Nutcracker, S= variedad Sonora White, medias (n=4) y ddt= días después del trasplante.

6.1.2.2 Diámetro de tallo.

El tallo es un órgano de sostén, translocación de agua, nutrimentos y asimilados además de arquitectura y almacén las cuales son funciones de gran importancia en la productividad de los cultivos (Adams y Ho, 1993).

El efecto del ambiente lumínico (factor A) sobre el diámetro del tallo fue similar entre ambas cubiertas al no haber diferencias estadísticamente significativas para ninguna de las 4 evaluaciones (Cuadro 8), en cuanto al factor B (variedades) se observan diferencias significativas para las cuatro evaluaciones realizadas. A los 228 ddt la variedad (P) mostró el mayor valor con 1.35 cm, seguido de la variedad (S) con 1.13 cm, y finalmente (N) con 1.08 cm. El tallo y sus diferentes tejidos se pueden ver afectados por factores ambientales como radiación, temperatura, transpiración y de manejo agronómico, las temperaturas (35°C) propician el crecimiento de tallos delgados (Cabrera *et al*, 2006), de igual forma se pueden ver afectados por la intensidad de la radiación, luminosidad baja dan lugar a tallos delgados y débiles.

Cuadro 8. Comparación de medias para el variable diámetro de tallo (cm) en cuatro evaluaciones comparando cubiertas y variedades, durante los meses de septiembre a diciembre del 2016.

	Muestreo			
Cubiertas	154 ddt	175 ddt	209 ddt	228 ddt
Malla sombra cristal	0.52 a	0.94 a	1.15 a	1.20 a
Polietileno	0.54 a	0.93 a	1.17 a	1.17 a
Variedades				
Prestige	0.59 a	1.08 a	1.26 a	1.35 a
Nutcracker	0.45 b	0.80 b	1.05 b	1.08 b
Sonora White	0.55 a	0.92 b	1.16 ab	1.13 b

Comparación de medias a partir de dos factores (n=4) en la misma columna con letra diferente son estadísticamente diferentes Duncan ($P \leq 0.05$). ddt=días después del trasplante.

En cuanto a tratamientos a excepción de la evaluación a los 209 ddt, hubo diferencias estadísticamente significativas de acuerdo a la prueba de medias. El tratamiento que contó con un mayor diámetro al final de la evaluación (228 ddt) fue (M+P) con 1.38 cm seguido por (Pe+N) con 1.33 cm, como se puede observar en la Figura 14. Finalmente, el tratamiento (M+S) obtuvo un diámetro de 1.15 cm, siendo estos, los que presentaron valores superiores en comparación con (M+N) con valor de 1.08 cm, (Pe+N) 1.08 cm y (Pe+S) con 1.1 cm.

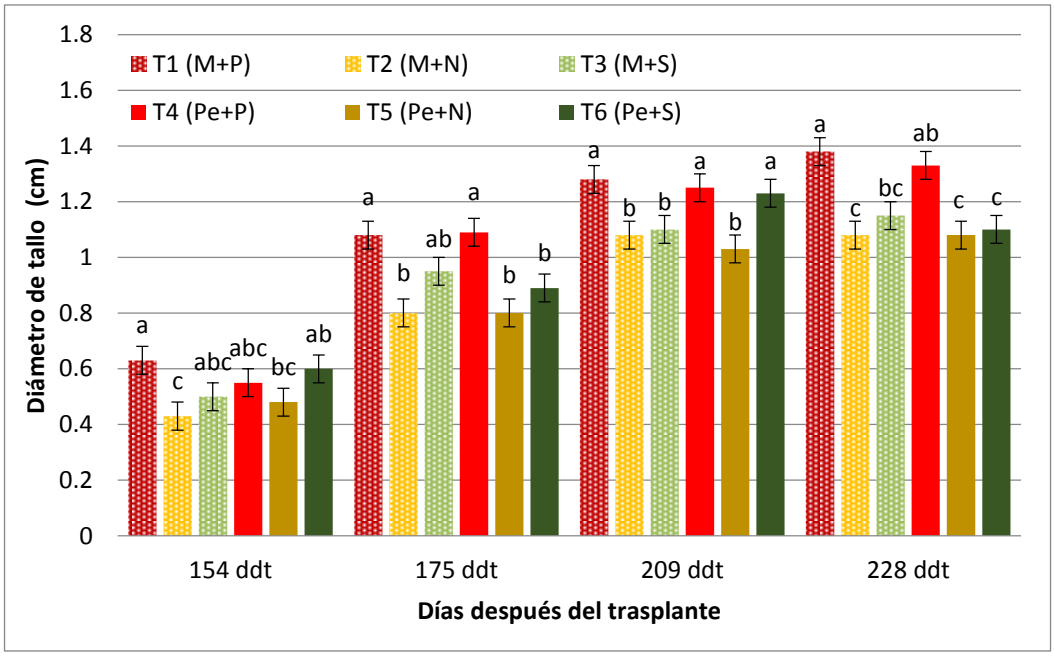

Figura 14. Comportamiento del diámetro del tallo del cultivo de nochebuena por unidad experimental en cuatro fechas de muestreo en el campo agrícola experimental Las Encinas. M= Malla sombra tipo cristal, Pe= película de Polietileno de alta densidad, P= Prestige, N= Nutcraker S=Sonora White, Medias (n=4) en la misma fecha de evaluación con letra diferente son estadísticamente diferentes Duncan ($P \leq 0.05$). ddt=días después del trasplante ɪ=error estándar.

6.1.2.3 Número de brotes.

En factor A no se encontraron diferencias estadísticamente significativas lo cual nos indica que tanto (M) como él (Pe), no afectaron esta variable al transmitir la radiación PAR en los mismos valores de longitud de onda (Cuadro 9). Los resultados obtenidos concuerdan con Mata y Botto (2009) al no encontrar variaciones significativas al comparar películas de Polietileno Claro y Polietileno fotoselectivo con mayor transmisión en el rojo y rojo lejano al igual que mostró menor transmisión al resto de las longitudes de onda (25-30 %). Los resultados obtenidos nos indican que la inducción de brotes no está relacionada con una alta transmisión ya que tanto en la película de polietileno de alta densidad (mayor magnitud en transmisión) como en la malla sombra tipo cristal con una (menor magnitud en transmisión) mostraron un comportamiento similar para esta variable.

No obstante, para el factor B se encontraron diferencias estadísticamente significativas en las cuatro fechas de evaluación, en las cuales (N) siempre mantuvo el mayor número de brotes hasta los 228 ddt, donde fue superior al resto de variedades en un 46 % comparado con (P) y 56 % mayor en comparación de (S).

Cuadro 9. Comparación de medias en la variable número de brotes en cuatro evaluaciones comparando cubiertas y variedades, durante los meses de septiembre a diciembre del 2016.

	Muestreo			
Cubiertas	154 ddt	175 ddt	209 ddt	228 ddt
Malla sombra cristal	8.75 a	8.33 a	8.67 a	17.58 a
Polietileno	6.17 b	7.25 a	9.33 a	14.33 a
Variedades				
Prestige	5.88 b	7.88 b	8.50 b	13.00 b
Nutcracker	10.38 a	10.88 a	11.88 a	24.25 a
Sonora White	6.13 b	5.63 c	6.63 c	10.63 b

Medias a partir de dos factores (n=4) en la misma columna con letra diferente son estadísticamente diferentes Duncan ($P \leq 0.05$). ddt=días después del trasplante.

El número de brotes laterales vario significativamente entre los distintos tratamientos (Figura 15) y superó las especificaciones del mercado. Por ejemplo, a

los 228 ddt observamos que el mayor número de brotes lo obtuvo el tratamiento (M+N) con un total de 23 brotes desarrollados es decir un 228 % mayor a lo sugerido por Faust y Heins (1996) quienes menciona que para esta especie se requiere al menos 7 brotes laterales en plantas que fueron pinzadas, seguido (P+N) con 25.50 (257 %) superior a lo recomendado. No obstante, el menor valor fue por parte del tratamiento (Pe+S) con 6.50 brotes, sin embargo, este dato, aunque fue el más bajo mantiene los valores sugeridos por los autores. Por otra parte y en contraste con los resultados obtenidos Clifford *et al.*, (2004), describe un incremento en el número de brotes laterales en el cultivo de nochebuena, principalmente en la variedad "Freedom" al ser sometidas a elevadas relaciones de rojo/rojo lejano (R/RL), resultados similares fueron descritos por Runkle y Heins (2001) para diversas especies ornamentales.

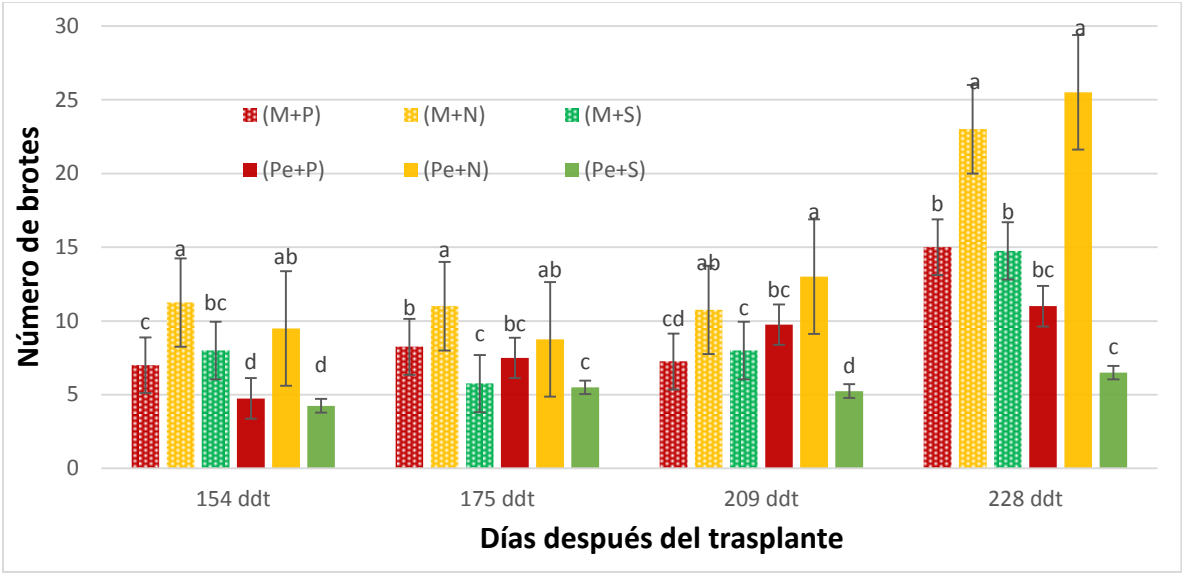

Figura 15. Comportamiento de número de brotes en cultivo de nochebuena por unidad experimental en cuatro fechas de muestreo en el campo agrícola experimental Las Encinas. M= Malla sombra tipo cristal, Pe= película de Polietileno de alta densidad, P= Prestige, N= Nutcracker, S=Sonora White, Medias (n=4) en la misma fecha de evaluación con letra diferente son estadísticamente diferentes Duncan ($P \leq 0.05$). ddt=días después del trasplante, ɪ=error estándar.

6.1.2.4 Peso seco de hoja y tallo.

La acumulación de materia seca es comúnmente usada como parámetro para caracterizar el crecimiento, por tal motivo, un estudio del patrón de distribución de materia seca entre los órganos de la planta son importantes para la evaluación de la tasa de crecimiento, productividad y rendimiento de los cultivos (Ñústez *et al.*, 2009).

En tratamientos para la variable peso seco de hoja (Cuadro 10) se observan diferencias estadísticamente significativas en las cuatro evaluaciones en el cual obtuvo el mayor peso en gramos por planta: (M+P) con 14.14 gr, (M+N) con 16.21 gr y (Pe+P) con 18.90 gr, en cuanto al peso seco de tallos podemos ver que hubo diferencias estadísticamente significativas en las cuatro evaluaciones realizadas donde (Pe+N) con 24.81 gr por planta seguido de (Pe+P) con 24.08 gr por planta y (M+N) con 22.43 gr por planta son los tratamientos con un mayor peso por lo que podemos inferir que el ambiente lumínico de la película de polietileno de alta densidad influyo para esta variable en los tratamientos 4 y 5. Por otra parte en estudios previos han reportado que tanto la cantidad como la calidad de radiación influyen en el peso seco de las plantas y está en función de la especie. Por ejemplo Clifford *et al.*, (2004) al trabajar con filmes plásticos fotoselectivos con capacidad de reducir la transmisión del R/RL (rojo/rojo lejano) no observaron diferencias significativas en el peso seco de cultivares de poinsettia. Sin embargo, Cerny *et al.*, (2003) al trabajar con otros cultivos ornamentales como zinnia, cosmos, crisantemo y petunia encontró diferencias significativas para este parámetro, ya que al evaluar cubiertas fotoselectivas con una alta relación R/RL encontró una reducción para esta variable.

Cuadro 10. Comparación de medias para las variables de peso seco de hojas (PSH) y tallos (PST) en cultivo de nochebuena por unidad experimental en cuatro fechas de muestreo campo agrícola experimenta Las Encinas. M= Malla sombra tipo cristal, Pe= película de Polietileno de alta densidad, P= Prestige, N= Nutcraker S=Sonora White.

Variables de biomasa					
tratamiento	**variable**	**154 ddt**	**175 ddt**	**209 ddt**	**228 ddt**
(M+P)		4.78 a	9.62 a	11.58 b	14.14 bc
(M+N)		4.24 ab	9.33 ab	10.96 bc	16.21 ab
(M+S)	**PSH (gr)**	4.45 ab	7.93 ab	8.80 c	11.91 c
(Pe+P)		4.87 a	9.28 ab	15.34 a	18.96 a
(Pe+N)		3.53 b	7.02 b	13.96 a	13.76 bc
(Pe+S)		3.56 b	6.92 b	9.95 bc	12.69 c
(M+P)		3.10 bc	7.99 ab	21.79 a	22.15 a
(M+N)		4.23 a	8.83 a	21.74 a	22.43 a
(M+S)	**PST (gr)**	3.02 bc	4.97 c	11.61 b	11.91 b
(Pe+P)		3.69 ab	6.67 bc	18.39 a	24.08 a
(Pe+N)		3.37 bc	7.71 ab	19.92 a	24.81 a
(Pe+S)		2.84 c	7.82 ab	10.93 b	19.16 a

Medias (n=4) en la misma columna con letra diferente son estadísticamente diferentes Duncan ($P \leq 0.05$). ddt=días después del trasplante.

6.1.2.5 Índice de área foliar.

El paso de la radiación a través de un dosel es influenciado por la estructura del mismo, midiendo la penetración de la radiación y aplicando un modelo que describe la atenuación de la radiación a medida que pasa a través del dosel, dicho resultado nos indica la relación entre el área foliar total y el área de suelo cubierta por la vegetación, o Índice de área foliar (I.A.F). Este índice describe las dimensiones del sistema transpirativo de una comunidad vegetal o planta, siendo por lo tanto el principal factor a determinar en la productividad de un cultivo (Ruiz-Espinoza *et al,* 2007).

En el presente trabajo podemos apreciar la evolución del I.A.F (Figura 16), en el que las principales diferencias numéricas corresponden a los tratamientos: (M+N) con 2.3, (Pe+P) 2.42 y (Pe+N) 2.46 quienes mostraron ser los que mayor I.A.F acumularon en el transcurso del tiempo. Strachan (2005) menciona que el índice de área foliar permite comprender el intercambio de energía entre la superficie de la tierra y la baja atmósfera, debido a que es un indicador de captación de radiación del cultivo.

Cuadro 11. Evolución del índice de área foliar (m^2 m^{-2}) en cultivo de nochebuena por unidad experimental en cuatro fechas de muestreo en campo agrícola experimenta Las Encinas. M= Malla sombra tipo cristal, Pe= película de Polietileno de alta densidad, P= Prestige, N= Nutcraker S=Sonora White. ddt= días después del trasplante.

Tratamiento	154 ddt	175 ddt	209 ddt	228 ddt
(M+P)	0.83	1.35	1.72	1.8
(M+N)	0.77	1.73	1.87	2.3
(M+S)	0.65	1.09	1.13	1.38
(Pe+P)	0.73	1.35	2	2.42
(Pe+N)	0.61	1.33	1.98	2.46
(Pe+S)	0.5	0.98	1.25	1.43

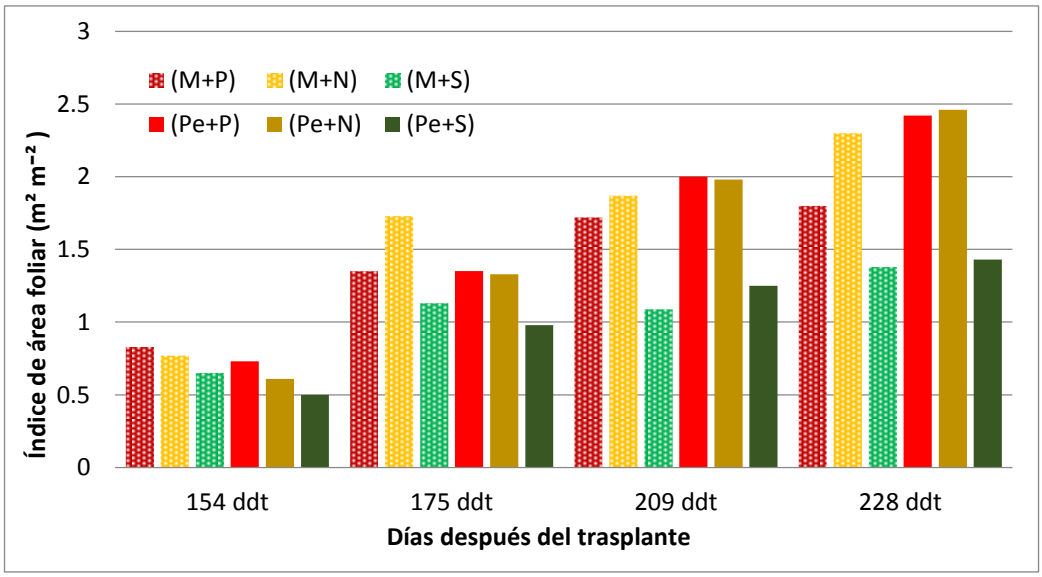

Figura 16. Evolución del índice de área foliar en cultivo de nochebuena por unidad experimental en cuatro fechas de muestreo en el campo agrícola experimental Las Encinas. M= Malla sombra tipo cristal, Pe= película de Polietileno de alta densidad, P= Prestige, N= Nutcracker, S=Sonora White, Medias (n=4).

6.1.2.6 Área foliar.

Para la variable área foliar por planta en el factor A (Figura 17), hubo diferencias estadísticamente significativas en tres de las cuatro evaluaciones en el que a los 154 ddt (M) fue superior a (Pe) en un 18 %, posteriormente a los 175 ddt podemos observar que el comportamiento del área foliar fue similar al no haber diferencias estadísticas significativas, sin embargo, a los 209 ddt (Pe) superó a (M) en un 10 %, para la última evaluación a los 228 ddt se apreció una gran diferencia en el desarrollo de esta variable en donde, una vez más el (Pe) influyó en un mayor desarrollo de área foliar (4031.05 cm²) comparada con (M) quien obtuvo un área foliar de 3410.63 cm² es decir un 16 % inferior a (Pe).

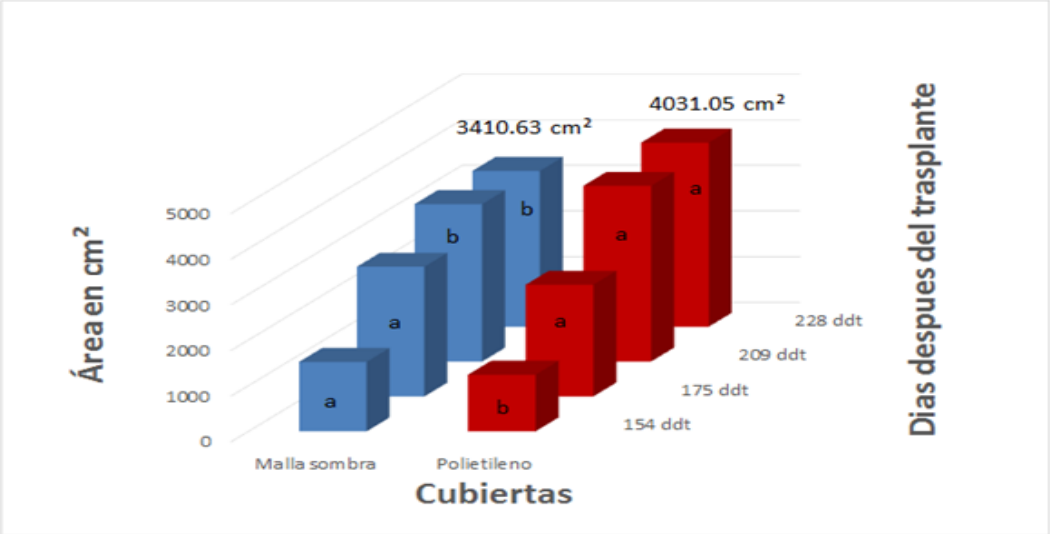

Figura 17. Comportamiento del área foliar (cm²) del cultivo de nochebuena en película de Polietileno de alta densidad y Malla sombra tipo cristal durante las fechas del 12 de septiembre al 16 de diciembre del 2016 en el campo agrícola experimental Las Encinas. M= Malla sombra tipo cristal, Pe= película de Polietileno de alta densidad, Medias del factor A (n=4) en la misma fecha de evaluación con letra diferente son estadísticamente diferentes Duncan ($P \leq 0.05$). ddt=días después del trasplante.

Para el factor B (Cuadro 12) se observan diferencias estadísticamente significativas en las cuatro evaluaciones, donde podemos observar que a los 154

ddt, la variedad (P) mostró el mejor desempeño con 1575.15 cm² seguido de (N) con 1402.23 cm² y finalmente (S) con 1166.00 cm². Posteriormente, a los 175 ddt, la variedad (N) superó al resto con 3099.03 cm² seguido de (P) con 2688.84 cm² y (S) con 2143.98 cm², en las siguientes evaluaciones (N) continúo incrementando el área foliar en comparación del resto de las variedades siendo a los 228 ddt un 13 % superior a (P) y 42 % superior a (S). Comparando los datos obtenidos en esta investigación con los datos obtenidos por García *et al*., (2013) quienes evaluaron el efecto de las cubiertas a factores ambientales en dos localidades distintas para el cultivo de nochebuena en maceta de 6", en el cual para la variable área foliar registraron datos por debajo de los obtenidos en esta investigación en un 53 % para (P) y 51 % para (S). Para esta evaluación se esperaba que este porcentaje fuera mayor para (N) sin embargo no fue evaluada, dado que en esta investigación siempre presentó mayor altura y área foliar, lo que indica que las condiciones de cubierta fueron favorables para las variedades evaluadas.

Para los tratamientos de acuerdo al análisis de varianza hubo diferencias estadísticamente significativas para cada una de las cuatro fechas en que fue evaluada esta variable mostrando la evolución de cada uno de ellos (Cuadro 12), en el cual a partir de los 209 ddt los mejores resultados fueron obtenidos por los tratamientos (Pe+N) con 4977.98 cm², (M+N) con 4664.21 cm² y (Pe+P) con 4041.00 cm², continuando a los 228 ddt se obtuvieron los valores más altos en los mismos tratamientos siendo: (Pe+N) el de mayor área foliar con 5004.59 cm², seguido de (Pe+P) con 4903.12 cm², y (M+N) con 4781.57 cm², respectivamente, en cuanto a los demás tratamientos el que presentó menor valor de área foliar fue (M+S), obteniendo un 44 % menos de área foliar en comparación con (Pe+N). García (2008) indica que la evaluación de esta variable es de importancia, ya que representa la parte que sostiene el desarrollo de la planta para la asimilación de fotosintatos por medio de la fotosíntesis (área foliar) además de ser el atractivo para el consumidor por sus colores vistosos y su tamaño de brácteas.

Cuadro 12. Comportamiento del área foliar (cm²) en variedades y unidad experimental durante las fechas del 29 de septiembre al 12 de diciembre del 2016 en el campo agrícola experimental Las Encinas. M= Malla sombra tipo cristal, Pe= película de Polietileno de alta densidad.

	Muestreo			
Variedades	154 ddt	175 ddt	209 ddt	228 ddt
Prestige	1575.15 a	2688.84 ab	3757.26 b	4277.33 a
Nutcracker	1402.23 ab	3099.03 a	4821.09 a	4893.08 a
Sonora White	1166.00 b	2143.89 b	2368.60 c	2843.68 b
Tratamientos				
(M+P)	1680.87 a	2724.35 ab	3473.52 b	3651.55 bc
(M+N)	1567.67 ab	3503.24 a	4664.21 a	4781.57 b
(M+S)	1316.15 bc	2293.59 b	2207.39 c	2798.76 c
(Pe+P)	1469.42 ab	2724.35 ab	4041.00 b	4903.12 a
(Pe+N)	1236.79 bc	2694.83 ab	4977.98 a	5004.59 a
(Pe+S)	1015.84 c	1994.20 b	2529.81 c	2903.57 c

Medias a partir de factores e interacciones (n=4) en la misma columna con letra diferente son estadísticamente diferentes Duncan ($P \leq 0.05$). ddt=días después del trasplante.

6.1.2.7 Área de bráctea.

En el factor A no hubo diferencias estadísticamente significativas.

Para el factor B hubo diferencias estadísticamente significativas en las cuatro evaluaciones (Cuadro 13). Conforme transcurrían los días después del trasplante aumento el área de la canopia, posteriormente hubo un incremento en el área de bráctea siendo (N) quien a los 228 ddt mostró el mayor valor (1921.06.01 cm²) seguido de (P) (1861.12 cm²) y finalmente (S) (1303.65 cm²). De acuerdo a los resultados obtenidos por García *et al.,* (2013), al evaluar el desarrollo de diversas variedades de nochebuena obtuvieron valores superiores en un 12 % para la variedad (P) y 22 % para (S) comparados con los obtenidos en este trabajo, así también determinaron que el área de brácteas fue superior a el área foliar, caso contrario a los resultados obtenidos en esta investigación.

Cuadro 13. Área de brácteas (cm²) de cuatro evaluaciones comparando cubiertas y variedades, durante los meses de septiembre a diciembre del 2016 en el campo agrícola experimental Las Encinas.

	Muestreo			
Cubiertas	154 ddt	175 ddt	209 ddt	228 ddt
Malla sombra	837.61 a	944.41 a	1531.38 a	1701.17 a
Polietileno	831.65 a	942.08 a	1475.31 a	1689.38 a
Variedades				
Prestige	890.18 a	999.18 a	1505.39 b	1861.12 b
Nutcracker	835.12 b	970.6 b	1804.18 a	1921.06 a
Sonora White	778.61 c	859.95 c	1200.47 c	1303.65 c

Medias a partir de dos factores (n=4) en la misma columna con letra diferente son estadísticamente diferentes Duncan ($P \leq 0.05$). ddt=días después del trasplante.

En tratamientos, los resultados muestran diferentes ritmos de desarrollo en la diferenciación del área brácteal (Figura 18), entre las distintas fechas en que fueron evaluados, así tenemos que hubo diferencias estadísticamente significativas para cada tratamiento en cada una de las evaluaciones, lo cual sugiere que la interacción entre el factor A y B tuvieron un efecto importante para esta variable, observando que en la última evaluación (228 ddt), el mayor valor para esta variable correspondió a los tratamientos; (M+N) con 1957.21 cm², (Pe+P) con 1913.5 cm² y (Pe+N) con 1884.92 cm². En un estudio realizado con diversas intensidades de

radiación se pudo observar un comportamiento similar para esta variable en el que el mejor resultado se obtuvo con una transmisión del 52 % de la radiación, lo cual sugiere que para el cultivo de nochebuena, un sombreo entre 48 y 58 % tendrá un efecto considerable en la morfología y fisiología de este cultivo, cuyas características son deseables para su venta (Jiménez *et al.*, 2015).

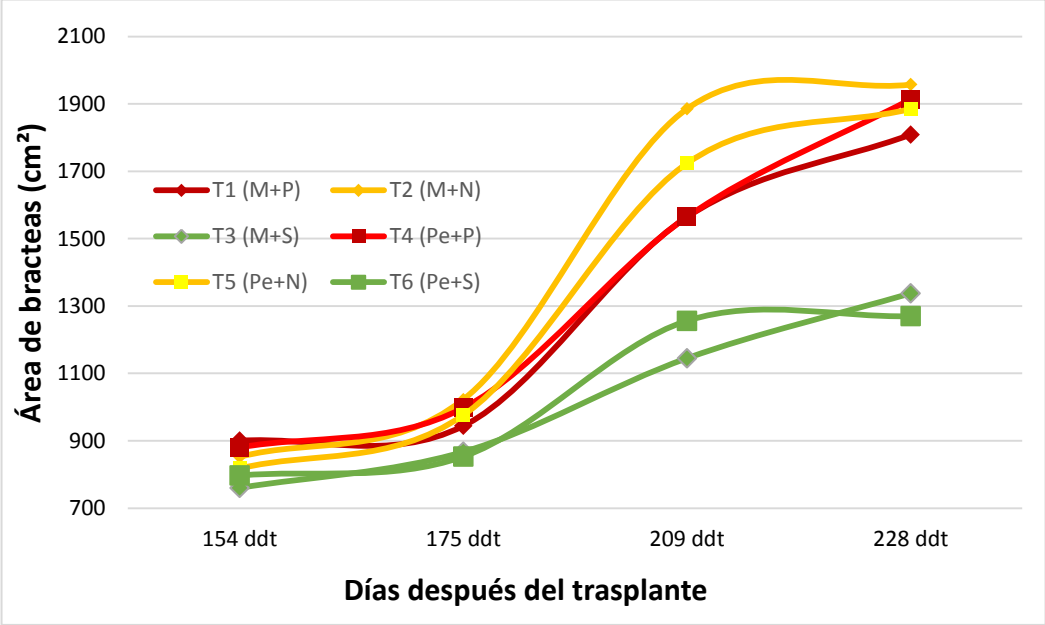

Figura 18. Evolución del área de brácteas en cultivo de nochebuena por unidad experimental en cuatro fechas de muestreo en el campo agrícola experimental Las Encinas. M= Malla sombra tipo cristal, Pe=película de Polietileno de alta densidad, P= Prestige, N= Nutcracker, S=Sonora White, Medias (n=4). ddt=días después del trasplante.

6.1.3 Variables fisiológicas.

6.1.3.1 Actividad fotosintética.

Para esta variable el factor A (Cuadro 14), hubo diferencias estadísticamente significativas para cada una de las tres evaluaciones, por mencionar alguno, a los 154 ddt (Pe) mostró una mayor tasa fotosintética con un valor de 7.06 μmol CO_2 $m^{-2}sec^{-1}$ en comparación con (M) la cual obtuvo 5.96 μmol CO_2 $m^{-2}sec^{-1}$. Sin embargo, a los 192 ddt, (M) mostró un valor de fotosíntesis mayor que en (Pe) con valores de 6.78 y 5.63 μmol CO_2 $m^{-2}sec^{-1}$ respectivamente, para el día 233 ddt los valores de fotosíntesis descendieron en los dos ambientes por lo que se infiere que la radiación incidente para la última evaluación (12 de diciembre del 2016) fue inferior a las registradas en evaluaciones previas (387 μmol de fotones $m^{-2}sec^{-1}$ en malla sombra cristal y 411 μmol de fotones $m^{-2}sec^{-1}$ en película de polietileno) lo cual dio como resultado una tasa fotosintética más baja, por otra parte Escalante *et al.,* (2008) mencionan que la cantidad de carbono fijado en la fotosíntesis es controlada principalmente por la radiación incidente y la temperatura, además de ser limitada por la disponibilidad de agua y nutrientes. En otra evaluación Zhao y Oosterhuis (1998) observaron en algodón que al reducirse la intensidad lumínica en un 63 %, la fijación de CO_2 también se redujo en un 50 % en comparación a plantas expuestas a plena luz. Por su parte Jiménez *et al*., (2015) encontraron que la óptima asimilación de CO_2 para el cultivo de nochebuena se da a los 564 μmol de fotones $m^{-2}sec^{-1}$.

Para el factor B, hubo diferencias estadísticamente significativas en cada una de las tres evaluaciones, en el que (S) presentó valores máximos de fotosíntesis con: 7.16 μmol CO_2 m^{-2} sec^{-1} en comparación con (P) 6.27 μmol CO_2 $m^{-2}sec^{-1}$ y (N) con 6.10 μmol CO_2 m^{-2} sec^{-1} a los 154 ddt. Sin embargo, a los 192 ddt la variedad (N) presentó las mayores tasas de absorción 6.83 μmol CO_2 $m^{-2}sec^{-1}$ seguido de (P) con 6.14 μmol CO_2 $m^{-2}sec^{-1}$ y Sonora White con 5.64 μmol CO_2 $m^{-2}sec^{-1}$. Cabe destacar que para la última evaluación (233 ddt) hubo un decremento de 51 % en

comparación con las evaluaciones anteriores para las tres variedades, siendo (N) la que obtuvo el mayor valor de tasa fotosintética con 3.96 µmol CO_2 $m^{-2}sec^{-1}$.

Cuadro 14. Comparación de medias de lecturas realizadas entre las 12 y 15 hr para la variable fotosíntesis (µmol CO_2 $m^{-2}sec^{-1}$.) en tres evaluaciones comparando cubiertas factor A) y variedades (factor B), durante los meses de septiembre a diciembre del 2016.

	Muestreo		
Cubiertas	154 ddt	192 ddt	233 ddt
Malla sombra cristal	5.96 b	6.78 a	2.7 b
Polietileno	7.06 a	5.63 b	3.35 a
Variedades			
Prestige	6.27 b	6.14 ab	2.90 b
Nutcracker	6.10 b	6.83 a	3.96a
Sonora White	7.16 a	5.64 b	2.21 c

Medias a partir de dos factores (n=4) en la misma columna con letra diferente son estadísticamente diferentes Duncan ($P \leq 0.05$). ddt=días después del trasplante.

Para los seis tratamientos (Figura 19), se observó que hubo diferencias estadísticamente significativas en las tres fechas en que se llevó a cabo dicha evaluación comenzando por los tratamientos (M+P), (Pe+P) y (Pe+S) quienes a los 154 ddt obtuvieron los valores máximos de fotosíntesis con: 6.93, 6.92 y 7.40 µmol CO_2 $m^{-2}sec^{-1}$, posteriormente para el día 192 ddt no hubo diferencias significativas a excepción del tratamiento (Pe+S), el cual presentó el valor más bajo con 4.20 µmol CO_2 $m^{-2}sec^{-1}$ en comparación del resto de los tratamientos. Finalmente, el día 233 ddt se observó un decremento en los valores de fotosíntesis para los seis tratamientos, no obstante, hubo diferencias significativas y los valores más altos de fotosíntesis correspondieron a los tratamientos (M+N) con 4.18 µmol CO_2 $m^{-2}sec^{-1}$ seguido del (Pe+N) con 3.75 µmol CO_2 $m^{-2}sec^{-1}$. En cuanto a (M+P) y (M+S) obtuvieron los valores más bajos perdiendo eficiencia fotosintética en un 32 % y 74 % respectivamente, en comparación del tratamiento más alto (M+N). En contraste con los resultados obtenidos en esta investigación Domurath *et al.*, (2012) al evaluar diferentes densidades de flujo de fotones bajo lámparas de alta presión de sodio (Hps) encontró que las tasas fotosintéticas varían de acuerdo a la intensidad

lumínica que reciben las hojas de poinsettia, presentando valores de 8 µmol CO_2 $m^{-2}sec^{-1}$ como máximo a una densidad de flujo de fotones de 600 µmol $m^{-2}sec^{-1}$.

Con respecto al descenso de la tasa fotosintética en la última evaluación Pomar y Barceló (2006) en su investigación atribuyeron este declive a que el cambio de color de las hojas es conferido por las antocianinas que son poderosos antioxidantes que preceden a la ruptura de las clorofilas que protegen a las plantas de cara al invierno y a senescencia, además concluyen que la pigmentación en hojas suele observarse conjuntamente con la aparición de bajas temperaturas en otoño y una baja a moderada irradiación solar.

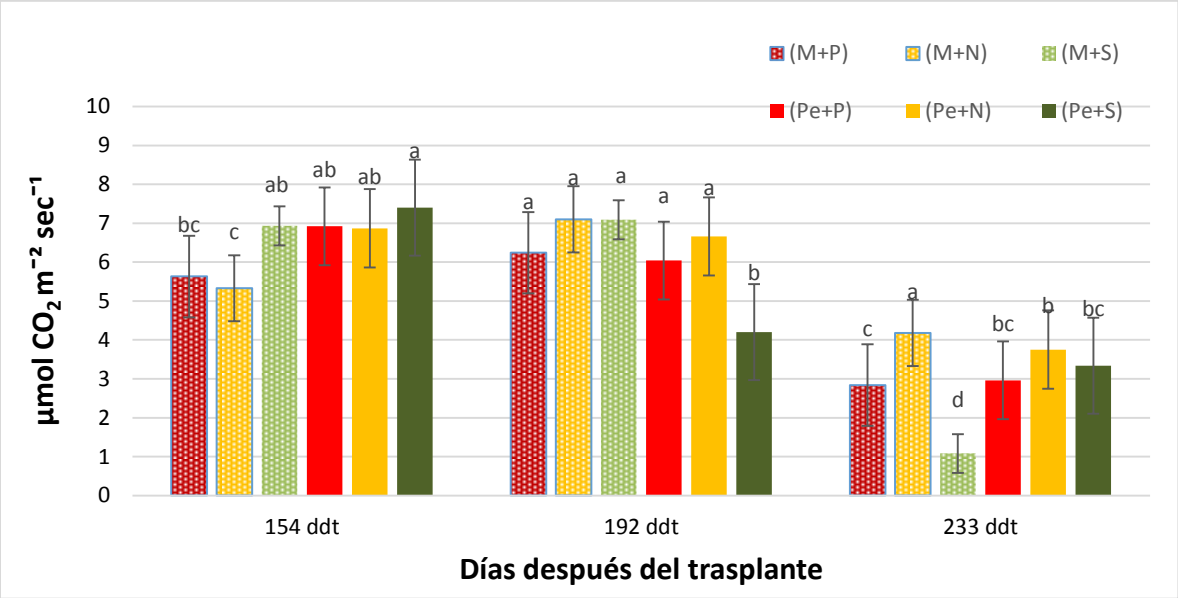

Figura 19.Comportamiento de la tasa fotosintética del cultivo de nochebuena por unidad experimental (tratamiento) en tres fechas de muestreo en el campo agrícola experimental Las Encinas. M= Malla sombra tipo cristal, Pe=película de Polietileno de alta densidad, P= Prestige, N= Nutcracker, S=Sonora White, Medias (n=4) en la misma fecha de evaluación con letra diferente son estadísticamente diferentes Duncan (*P*≤ 0.05). ddt=días después del trasplante ɪ=error estándar.

.

6.1.3.2 Contenido de clorofila.

Las clorofilas a y b son grupos de pigmentos que absorben la energía solar para alimentar procesos fotosintéticos. El contenido de clorofila se correlaciona con la eficiencia fotosintética y la tasa de producción de nuevas proteínas (Basyouni, 2014). El medidor SPAD, es un sensor que se utiliza comúnmente para estimar la cantidad de clorofila presente en la hoja, a través de la emisión de haces de luz (LEDS) a dos regiones de longitud de onda, rojo a 650 nm e infrarrojo a 940 nm. La diferencia medida en absorbancia es un valor que oscila entre 0 y 99, que es proporcional a la concentración de clorofila en la hoja (Uddling *et al.,* 2007).

Para el factor A, de acuerdo al análisis de varianza solo hubo significancia a los 175 ddt, en el cual (Pe) mostró tener mayor contenido de clorofila 43.77 SPAD, comparado con (M) la cual tuvo 40.90 SPAD. En las siguientes evaluaciones se observó una continua disminución en contenido de clorofila para ambos materiales y estadísticamente fueron iguales (Figura 20).

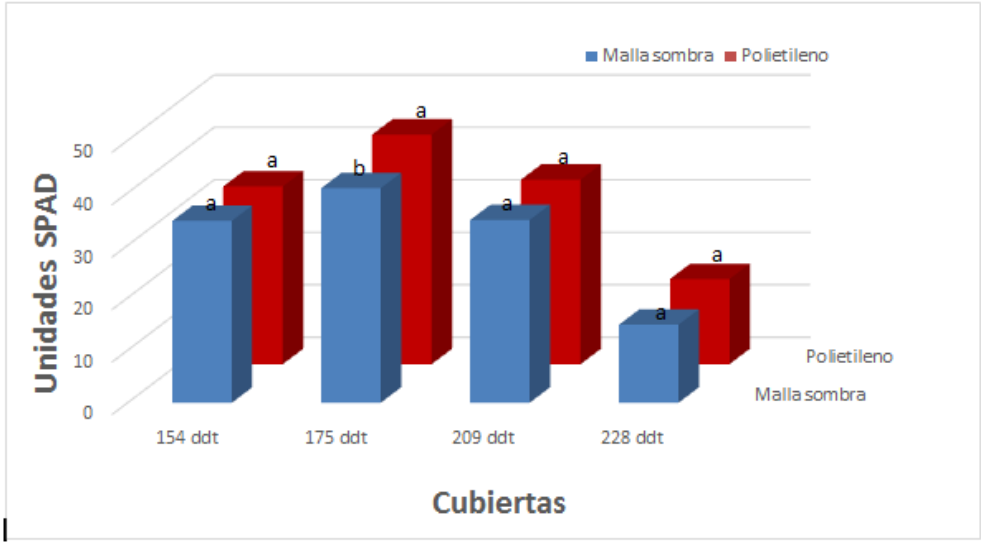

Figura 20. Efecto del contenido de clorofila en cubiertas con cuatro evaluaciones en campo agrícola experimental Las Encinas. Medias para el factor A (n=4) en cada día de evaluación con letra diferente son estadísticamente diferentes Duncan (P≤ 0.05). ddt= días después del trasplante.

En caso del factor B (variedades), el análisis de varianza mostró diferencias estadísticamente significativas en las cuatro evaluaciones, en el cual a los 154 ddt, (P) y (N) obtuvieron valores similares en el contenido de clorofila (38.68 y 36.17) mientras que (S) mostró el valor más bajo 27.98 SPAD. En evaluaciones posteriores a los 175 y 209 ddt, continúo habiendo diferencias significativas siendo la variedad (P) con 38.01 SPAD el valor más alto, seguido de (S) con 37.69, sin embargo, (N) obtuvo 29.31 SPAD, al ser la variedad con menor contenido de clorofila. Por su parte Uddling (2007), al evaluar el contenido de clorofila para el mismo cultivo, encontró que el valor más alto en otoño para la variedad Prestige Rojo fue de 52.94 unidades SPAD, y para la variedad freedom Rojo de 52.64. En comparación con los resultados obtenidos en esta investigación en la misma temporada se obtuvo un decremento del 17 % en el contenido de clorofila para la variedad (P).

Los resultados obtenidos del análisis de varianza para los tratamientos mostraron diferencias estadísticamente significativas en todas las evaluaciones (Cuadro 15). A los 175 ddt se observó claramente el valor más alto en el contenido de clorofila, para los tratamientos (M+P) con 44.45 SPAD, (Pe+P) con 44.44 SPAD y (Pe+S) con 47.69 SPAD comparado con (M+N), (Pe+P) y (Pe+N) quienes obtuvieron valores más bajos, sin embargo conforme transcurrían los días se distinguió un descenso para la totalidad de los tratamientos, revelando que a los 228 ddt los mismos tratamientos (T1, T3 y T6) habían disminuido en un 65 %, 60 % y 62 % el contenido de clorofila comparado con el día en que se obtuvieron los mayores valores (175 ddt). De acuerdo a los resultados obtenidos en esta investigación, concuerdan con los resultados obtenidos por Basyouni, (2014), quien durante las últimas evaluaciones realizadas encontró que el contenido de clorofila disminuyó a medida que las plantas envejecían, además que en la última evaluación se superponían brácteas de la planta en transición o completamente pigmentadas, lo cual interfirió con las mediciones.

.

Cuadro 15. Comparación de medias del contenido de clorofila en cultivo de nochebuena por unidad experimental (tratamiento) en cuatro fechas de muestreo en el campo agrícola experimental Las Encinas. M= Malla sombra tipo cristal, Pe=película de Polietileno de alta densidad, P= Prestige, N= Nutcracker, S=Sonora White.

Contenido de clorofila (unidades SPAD)				
TRATAMIENTO	154 ddt	175 ddt	209 ddt	228 ddt
(M+P)	39.13 a	44.45 a	37.71 a	15.29 ab
(M+N)	28.28 b	33.81 d	30.16 b	11.63 b
(M+S)	36.60 a	44.45 ab	36.61 a	17.74 a
(Pe+P)	38.23 a	43.74 b	38.31 a	18.19 a
(Pe+N)	27.68 b	39.89 c	28.45 b	12.46 b
(Pe+S)	35.73 a	47.69 a	38.76 a	18.04 a
			transición	pigmentado

Medias (n=4) en la misma fecha de evaluación con letra diferente son estadísticamente diferentes Duncan ($P \leq 0.05$). ddt=días después del trasplante.

6.2 Resultados obtenidos en la localidad Las Enramadas, municipio de Sabinas Hidalgo, Nuevo León, México.

A continuación, se presentan los resultados de la investigación en la localidad Las Enramadas, municipio de Sabinas Hidalgo, Nuevo León, México, comprendidas en la segunda etapa los meses de septiembre a noviembre del 2016. Dichas variables evaluadas fueron: a) espectrometría de cubiertas, b) microclimáticas, temperatura y radiación fotosintéticamente activa tanto al interior como al exterior de las cubiertas, c) variables fenometrícas: Altura de planta, Área de brácteas y d) variable fisiológica; tasa fotosintética.

6.2.1 Propiedades espectrales de las cubiertas Sabinas Hidalgo.

Se muestra la transmitancia (Ʈ) de las cubiertas de Policarbonato y película de Polietileno de alta densidad (Figura 21) para la radiación fotosintéticamente activa (400-700 nm). En la cubierta de Policarbonato Claro (Pc Claro), se observa que la (Ʈ) fue superior y uniforme en el rango de 500 a 654 nm. La película de Polietileno de alta densidad (Pe) mostró un comportamiento similar a (Pc Claro), en cuanto a la (Ʈ) de radiación PAR, pero en una magnitud menor. El Policarbonato color azul (Pc Azul) mostró la mayor (Ʈ) entre los 490-585 nm, después de 590 nm bajo y se mantuvo hasta los 700 nm. El Policarbonato de color rojo (Pc Rojo) mostró una nula (Ʈ) desde los 400 nm hasta los 570 nm, mientras que hubo una elevada transmitancia entre los 600 a 735 nm. Kittas y Baille (1998) mencionan que el espectro de la radiación solar externa puede ser modificado por las propiedades ópticas de las cubiertas, dicho cambio en la radiación transmitida al interior de un bioespacio inducirá efectos morfogenéticos, como son las modificaciones en la arquitectura y forma de las plantas.

En el rango de la radiación fotosintéticamente activa (PAR), y tomando el promedio de conteo de la radiación solar incidente de 41321.15 en 15 milisegundos (100 %), (Pc Rojo) tuvo la menor (Ʈ) con 13 %, seguido de (Pc Azul) con 23 %, (Pe Claro) 30 % y el de mayor (Ʈ) fue el Pc Claro con 40 % de la transmisión. Costa *et al*., (2010), mencionan que las plantas reaccionan a los cambios que ocurren en el

espectro de la radiación electromagnética a la cual son expuestas causando alteraciones en la morfología y sus funciones fisiológicas que resultan en la adaptación a diferentes condiciones ambientales.

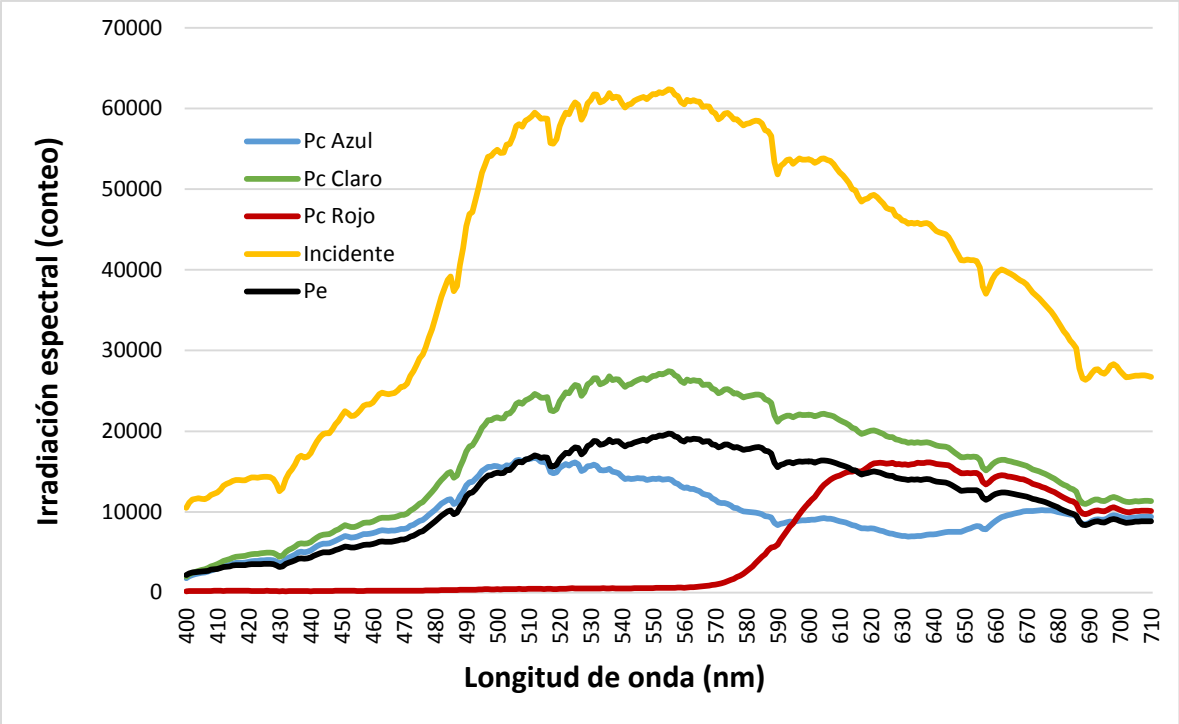

Figura 21. Radiación solar incidente y la transmitida bajo cuatro cubiertas (Policarbonato color rojo, azul, Claro y película de Polietileno de alta densidad) en un rango de 400 a 700 nm.

6.2.2 Variables microclimáticas.

6.2.2.1 Radiación fotosintéticamente activa (PAR).

Tomando en cuenta que el mayor valor de radiación fotosintéticamente activa fue alrededor de las 12:00 horas, tenemos que al exterior se registró un valor de 1398.25 µmol de fotones m^{-2} sec^{-1} (100 %), el Pc Claro solo se transmitió un 39 %, Pe 29 %, Pc Azul 18 % y Pc Rojo tan solo un 12 % (Figura 21). Estudios sobre las propiedades de transmitancia de las cubiertas revelan que el color influye en la distribución espectral de la radiación que pasa a través de ella, absorbiendo y reflejando los colores complementarios, a su vez la posición del sol y las condiciones climatológicas afectan la composición de la radiación influyendo directamente en la calidad de la producción agrícola (Castellano *et al*., 2008; Gámez *et al.,* 2016).

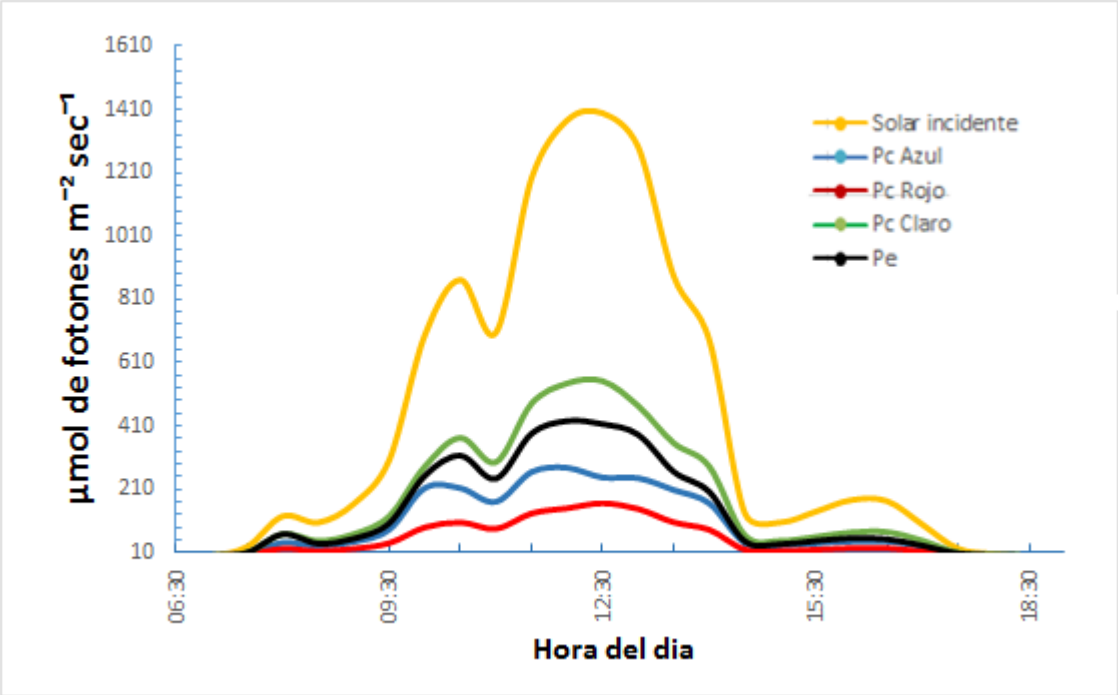

Figura 22. Comportamiento de la radiación fotosintéticamente activa al exterior y al interior de tres cubiertas de Policarbonato y una película de Polietileno el día 19 de noviembre del 2016 (205 ddt), en el campo agrícola experimental Las Enramadas.

Se registró la radiación PAR tanto al exterior como al interior de los túneles, la información se obtuvo de sensores tipo quantum y posteriormente fueron graficados a partir de los 145 ddt (19 de septiembre del 2016) hasta los 215 ddt (23 de noviembre del 2016). En la (Figura 23) se puede apreciar como a los 145 ddt y hasta los 171 ddt hubo una alta incidencia de la radiación PAR (876.46 µmol de fotones $m^{-2}sec^{-1}$) en promedio, sin embargo, a partir de los 181 ddt y hasta el final de la evaluación (215 ddt) se observó una caída para esta variable en un 36 % (553.09 µmol de fotones $m^{-2}sec^{-1}$). Comparando transmitancia obtenida con la reportada por Hartley (1992) quien menciona que la intensidad de radiación requerida como máximo para zonas calientes es de 905.43 µmol de fotones m^{-2} s^{-1} de radiación incidente (sin filtro) por lo tanto, en esta investigación los resultados para esta variable difieren con los de esta investigación a partir de los 180 días después del trasplante al registrar valores de radiación PAR incidente menores a los mencionados por el autor, sin embargo, esta cantidad de radiación fue suficiente para el óptimo desarrollo del cultivo en la etapa de floración. Este comportamiento está relacionado a la época del año en que fueron tomados los datos correspondientes a la temporada (otoño-invierno). Por su parte Bermúdez *et al.,* (2001) menciona que la incidencia de la radiación es menor especialmente en la temporada otoño-invierno, por lo tanto, la radiación será un recurso limitante para la producción de algunos cultivos mas no en nochebuena.

El mismo comportamiento se observó al interior de los túneles (Figura 23) de colores en el que podemos ver que Pc Claro, de la radiación PAR incidente transmitió un 43 %, mientras que Pe 33 %, seguido de Pc Azul con 27 % y finalmente la menor transmisión fue a través del Pc Rojo con tan solo 13 %. En una evaluación realizada por Al-Helal y Abdel-Ghany (2010) señalaron que las cubiertas de colores con mayor brillo en la superficie, reflejaban más el espectro PAR incidente en comparación con cubiertas oscuras, que reflejaron la PAR incidente solo en la longitud de onda del color y a su vez absorbieron la radiación PAR del resto del espectro.

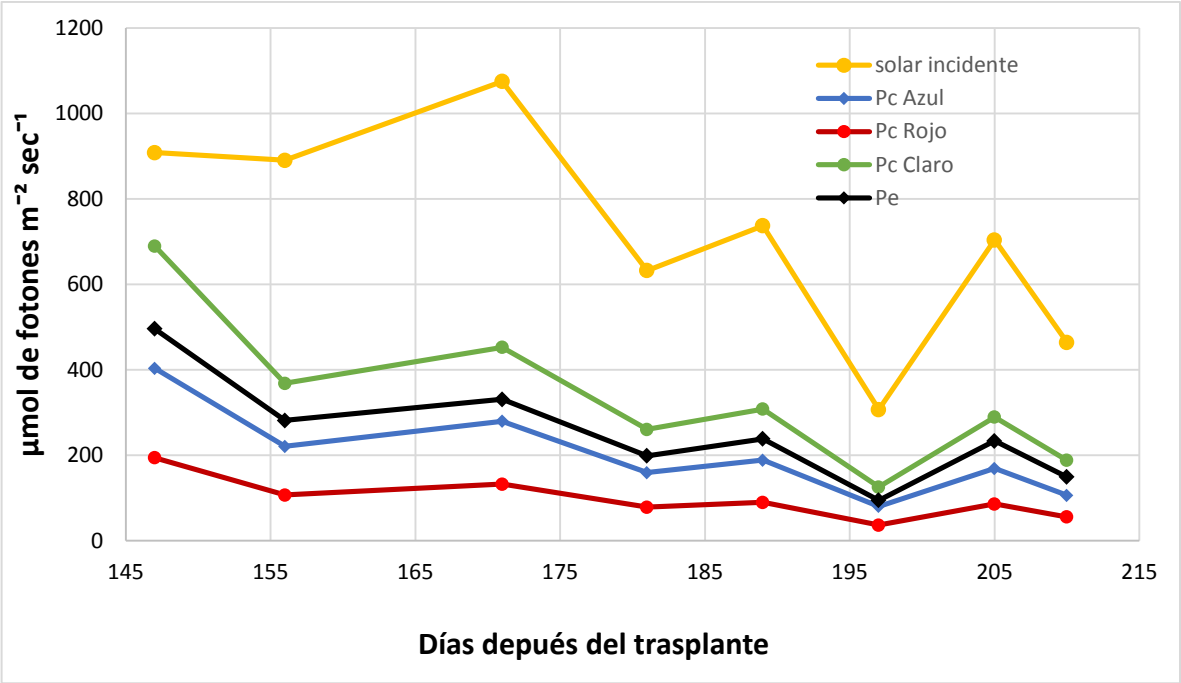

Figura 23. Radiación fotosintéticamente activa al interior y exterior de 4 túneles con diversas cubiertas de color evaluadas durante la fecha 21 de septiembre al 23 de noviembre del 2016 en el campo agrícola experimental Las Enramadas.

6.2.2.2 Temperatura del ambiente.

El comportamiento de la temperatura media al exterior e interior se presenta en la (Figura 24) la cual fue evaluada diariamente, los datos obtenidos mostraron que la temperatura al exterior fue menor en las fechas de evaluación del experimento en comparación a la registrada en los túneles con cubiertas de colores, la temperatura media fue de 26.36 °C (Max. 30 ºC y Min. 14 ºC). Al interior de las cubiertas (Pc Rojo, Pc Azul, Pc Claro y Pe) tuvieron una temperatura media similar entre ellas 28.56 °C (Max. 35 °C y Min. 15 °C), durante todo el desarrollo del cultivo. La diferencia entre la temperatura media al exterior y las obtenida en cada una de las cubiertas fue mínima 2.2 ºC debido a la temporada (otoño) donde los valores de radiación solar incidente son menores que en la temporada primavera-verano, lo cual se reflejó en un descenso de la temperatura al final del ciclo del cultivo. Cabe mencionar que del día 156 al 171 ddt, no se tomaron mediciones para esta variable

debido a fallas en el equipo, por lo que se observa una línea horizontal en el gráfico en los días antes mencionados. Existe una estrecha relación entre radiación y temperatura ya que, al ser percibidos por los fotorreceptores, influirán directamente en diversos procesos morfológicos de un cultivo como lo es la división celular, la expansión foliar, asimilación de carbono y la respiración, cada uno de estos procesos requiere de un determinado rango de temperatura y estará en función de la especie (Penfield, 2008).

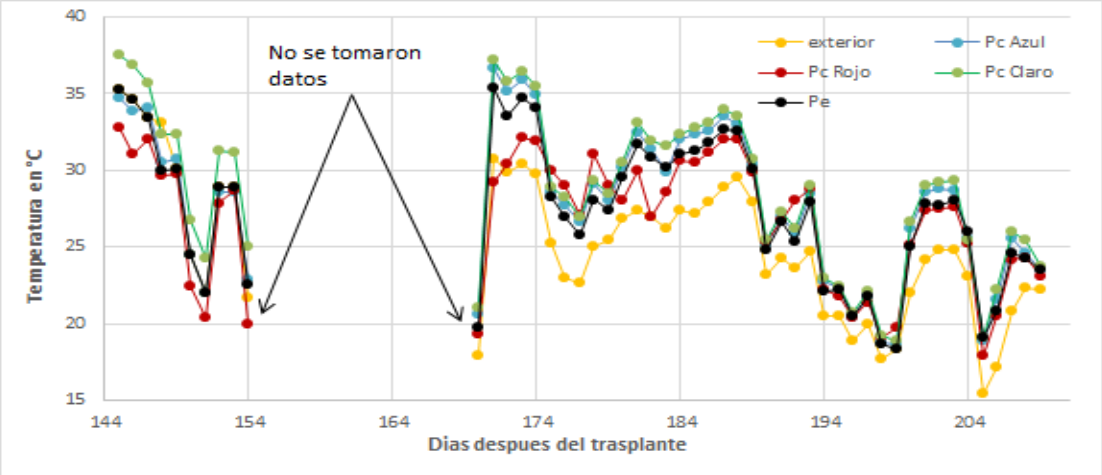

Figura 24. Comportamiento de la temperatura promedio del día en el ciclo de evaluación al exterior e interior de cuatro túneles con 3 cubiertas de Policarbonato y una película de Polietileno de alta densidad en el campo agrícola experimental Las Enramadas.

6.2.3 Variables fenometrícas.

6.2.3.1 Altura de planta.

En el factor A se observaron diferencias estadísticamente significativas a los 159 y 205 ddt, mas no a los 179 ddt (Cuadro 16). También se pudo corroborar que el mayor incremento de esta variable fue en las cubiertas (Pc Rojo) con una altura de 48.22 cm y (Pc Azul) 48.11 cm, en comparación con (Pc Claro) y (Pe), presentando valores inferiores en un 12 % para esta variable. Se han documentado ampliamente los efectos morfogénicos asociados a variaciones en el ambiente lumínico de las plantas Smith (2000), mostró la función del fitocromo para controlar diversos aspectos del desarrollo de las plantas en función de la cantidad relativa de luz para el espectro del rojo (600-700nm) y el rojo lejano (700-800nm); a su vez, Lin (2002) encontró que también la cantidad de radiación del espectro del azul (400-500nm) tuvo un efecto morfológicos en la altura del cultivo. Como se pudo observar las cubiertas de color azul y rojo obtuvieron la mayor altura debido a que los picos máximos en la transmisión correspondían a longitudes de onda de 465 a 530 nm en la cubierta azul y 580 a 686 nm en la cubierta roja, teniendo una importante influencia en la altura como lo mencionan algunos autores.

En factor B hubo diferencias estadísticamente significativas en las tres fechas en que se evaluó la altura, se puedo notar que a partir del día 179 ddt hasta los 205 ddt hubo un incremento para esta variable en las tres variedades en la que destacó más (N) al obtener un valor mayor en un 6 y 8 % comparado con las variedades (P) y (S) respectivamente (Cuadro 16). Como se puede apreciar, la variedad (N) ha obtenido los mayores valores en la mayoría de las variables evaluadas, lo cual nos da una idea que la respuesta a la morfología y desarrollo de esta variedad está relacionada tanto a las propiedades espectrales de las cubiertas como del genotipo.

Cuadro 16. Media de altura de planta en tres evaluaciones comparando cubiertas y variedades, durante los meses de septiembre a noviembre del 2016. Pc= policarbonato, Pe= polietileno de alta densidad

	Muestreos		
Cubiertas	159 ddt	179 ddt	205 ddt
Pc Rojo	32.39 a	34.78 a	48.22 a
Pc Azul	30.44 ab	33.78 a	48.11 a
Pc Claro	30.33 ab	32.22 a	42.22 b
Pe	28.67 b	31.22 a	41.67 b
Variedades			
Prestige	28.67 b	30.83 b	44.67 ab
Nutcracker	33.21 a	36.17 a	47.17 a
Sonora White	29.50 b	32.00 b	43.33 b

Medias a partir de dos factores (n=3) en la misma columna con letra diferente son estadísticamente diferentes Duncan ($P \leq 0.05$). ddt=días después del trasplante.

Los resultados obtenidos para la variable altura de planta, mostraron diferencias estadísticamente significativas en todas las fechas de evaluación (Figura 25), también se observa que el último muestreo (205 ddt), tuvo una influencia muy marcada para esta variable en todos los tratamientos, en los cuales destacan (Pc Rojo+N) con 51.67 cm, (Pc Azul+N) con 50.67 cm y (Pc Rojo+P) con 48.67 cm. En cuanto a los valores más bajos tenemos (Pc Claro+P) con 40.33 cm, (Pe +P) y (Pe +S) con 41 cm respectivamente. De las tres evaluaciones realizadas, las últimas dos (179 y 205 ddt) mostraron una importante influencia para esta variable al observar que el transcurso de una fecha a otra trajo consigo un aumento importante en la altura siendo los tratamientos en los cuales intervinieron las cubiertas color rojo y azul (Pc Rojo y Pc Azul) las de mayor altura 12 % y 14 % más en comparación con los tratamientos en los cuales intervinieron las cubiertas (Pc Claro y Pe). En relación a los resultados obtenidos Oren-Shamir *et al*., (2001) y Shahak *et al*., (2004) reportaron que la elongación de los tallos desarrollados en cubiertas fotoselectivas es debido a un incremento de la proporción de la longitud de onda del rojo y rojo lejano en relación a la transmitida por las cubiertas de diversos colores. Resultados similares fueron obtenidos por Tafoya *et al.,* (2015), al evaluar Mallas de diversos colores, reportaron que las Mallas de color negro, rojo y azul, propiciaron un incremento en la altura de plantas de pimiento en un 23 %, 33 % y 16 % respectivamente comparando el desarrollo del cultivo a cielo abierto.

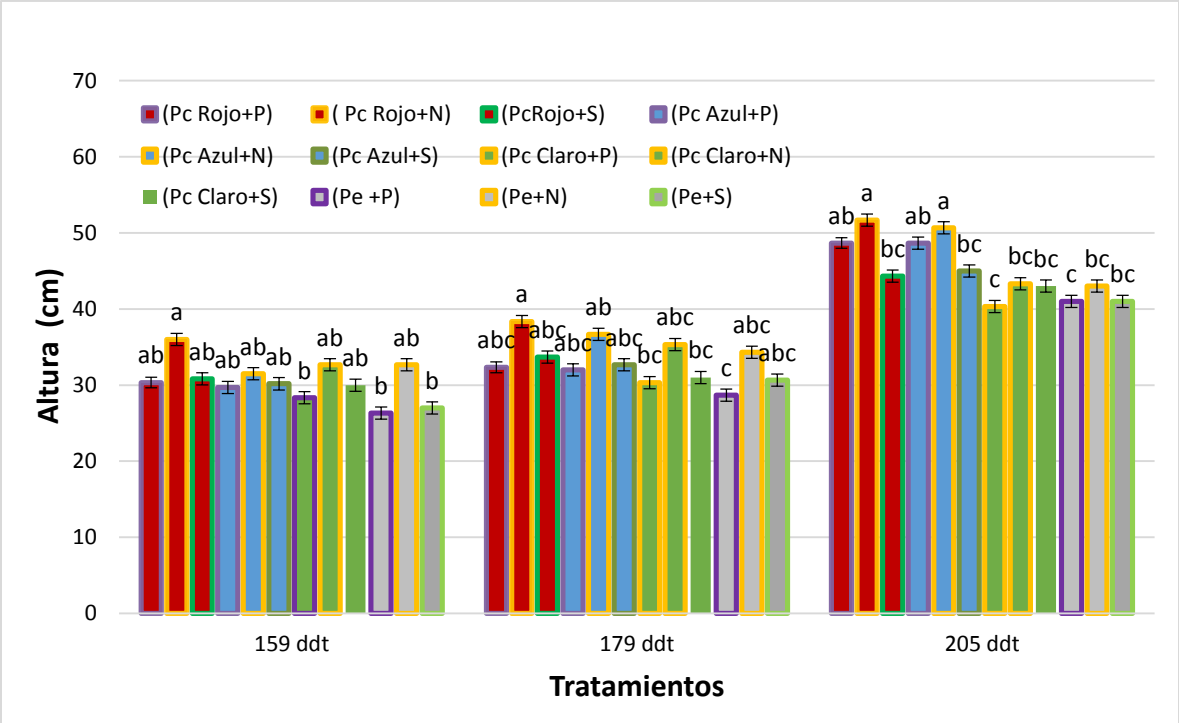

Figura 25. Comportamiento en la altura del cultivo de nochebuena por unidad experimental en tres fechas de muestreo en el campo agrícola experimental Las Enramadas. Pc= policarbonato, Pe= película de polietileno de alta densidad P= Prestige, N= Nutcracker, S=Sonora White, color de cubiertas (rojo, azul y claro). Medias (n=3) en la misma fecha de evaluación con letra diferente son estadísticamente diferentes Duncan ($P \leq 0.05$). ddt=días después del trasplante ɪ=error estándar.

6.2.3.2 Área de brácteas.

Para el factor A se observan diferencias estadísticamente significativas en el desarrollo del área de brácteas (Figura 26). A los 179 ddt Pc Rojo conto con la mayor área foliar (1123.17), a su vez en esta fecha se presentó la formación de la bráctea, posteriormente a los 205 ddt se observó que los mayores valores fueron registrados para las cubiertas Pc Rojo (1753.42 cm²) y Pc Azul (1779.90 cm²), en comparación de Pc Claro y el Pe quienes fueron inferiores en un 20 % para esta variable Cabe mencionar que el desarrollo en el área de brácteas a partir de los 179 a los 205 ddt, tuvo un incrementó para esta variable en un porcentaje considerable para cada cubierta en el que Pc Rojo aumento un 35 %, Pc Azul 45 %, Pc Claro 34 % y Pe 39 % lo cual nos indica que dicha etapa es crítica para el óptimo desarrollo de esta variable y que está en función de la calidad de la radiación transmitida para cada una de las cubiertas. En un estudio realizado por Jiménez *et al*., (2001), al evaluar niveles de sombreo y su influencia en la fisiología del cultivo de nochebuena encontró que el valor máximo para la variable área de brácteas fue en la cubierta con 48 % de sombreo.

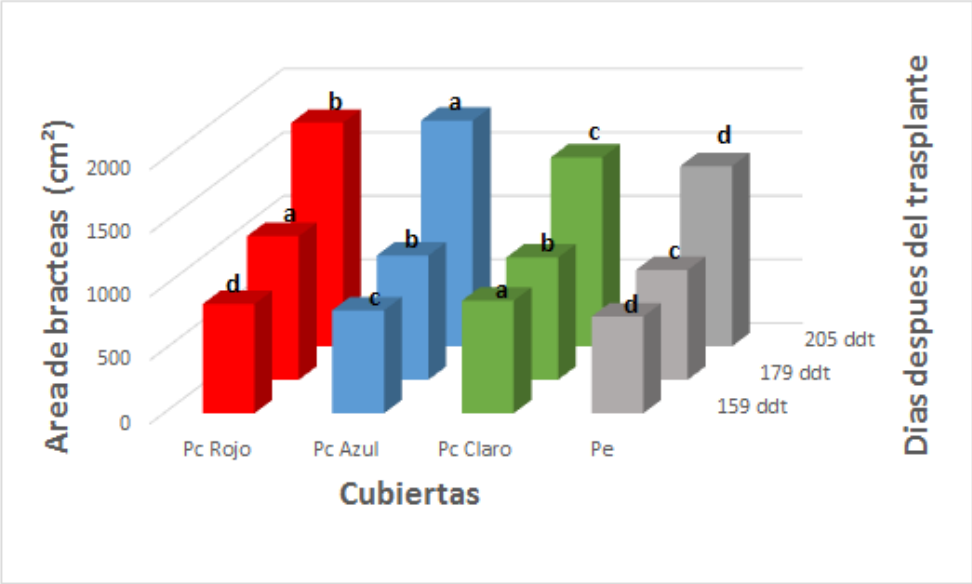

Figura 26. Desarrollo del área de brácteas al interior de cuatro bioespacios con diferentes cubiertas en tres fechas de muestreo en el campo agrícola experimental Las Enramadas. Pc= policarbonato, Pe= película de polietileno de alta densidad, color de cubiertas (rojo, azul y claro). Medias a partir del factor A (n=3) en la misma fecha de evaluación con letra diferente son estadísticamente diferentes Duncan ($P \leq 0.05$). ddt=días después del trasplante.

Para el factor B se encontraron diferencias estadísticamente significativas en las tres evaluaciones (Cuadro 17) en la cual se puede ver que al final de la evaluación la variedad con mayor área de bráctea fue (N) con 1722.74 cm² (100 %), seguida de (P) la cual tuvo un 6.5 % menos área foliar en comparación de (N) y finalmente (S) siendo un 14 % inferior para esta variable; No obstante, los resultados obtenidos para estas variedades estuvieron por debajo a los reportados por García *et al*., (2013), quienes obtuvieron valores superiores en un 14 % para la variedad (P) y 20 % para (S). De acuerdo a los resultados obtenidos en este trabajo se infiere que las cubiertas evaluadas presentaron un efecto importante para cada variedad en el desarrollo del área brácteal.

Para los tratamientos (Cuadro 17), se observa que el mayor valor para esta variable fue para aquellos que incluían las cubiertas de Policarbonato color rojo y azul; quien presentó mayor área de brácteas fue en el tratamiento (PcAzul+N) con 2135.18 cm², seguido de (PcRojo+N) con 1853.97 cm² y (PcRojo+P) con 1757.16 cm². En cuanto al resto de los tratamientos se puede ver que los valores más bajos fueron en (PcClaro+S) con 1317.32 cm², (Pe+P) 1388 cm² y (Pe+N) con 1398.64 cm². García *et al*., (2013), indican que las evaluaciones de estas variables son de importancia, ya que representan la parte visual que sostiene el desarrollo de la planta (área foliar) y es el atractivo para el consumidor por sus colores vistosos y su tamaño de brácteas.

Cuadro 17. Comparación de medias del desarrollo del área de brácteas (cm²) en cultivo de nochebuena por variedad y unidad experimental en tres fechas de muestreo campo agrícola experimental Las Enramadas. Pc= policarbonato, Pe=película de polietileno de alta densidad P= Prestige, N= Nutcracker, S=Sonora White, color de cubiertas (rojo, azul y claro).

	Muestreo		
Variedades	159 ddt	179 ddt	205 ddt
Prestige	807.42 c	1011.61 a	1613.44 b
Nutcracker	857.39 a	973.51 b	1722.74 a
Sonora White	841.56 b	956.56 c	1477.71 c
Tratamientos			
(PcRojo+P)	888.15 b	1212.84 a	1757.16 c
(PcRojo+N)	859.33 cd	1053.15 c	1853.97 b
(PcRojo+S)	832.15 e	1103.51 b	1649.12 e
(PcAzul+P)	795.67 f	924.22 e	1719.04 d
(PcAzul+N)	871.67 bc	971.24 d	2135.18 a
(PcAzul+S)	762.98 g	1031.62 c	1485.48 gh
(PcClaro+P)	880.39 bc	1104.31 b	1589.54 f
(PcClaro+N)	924.88 a	974.89 d	1503.15 g
(PcClaro+S)	838.71 de	811.73 g	1317.32 j
(Pe+P)	665.46 h	805.06 g	1388.02 i
(Pe+N)	773.7 fg	894.78 ef	1398.64 i
(Pe+S)	932.4 a	879.4 f	1458.93 h

Comparación de medias a partir de dos factores (n=3) en la misma columna con letra diferente son estadísticamente diferentes Duncan ($P \leq 0.05$). ddt=días después del trasplante.

6.2.4 Variables fisiológicas.

6.2.4.1 Fotosíntesis.

Para el factor A (Cuadro 18) hubo diferencias estadísticamente significativas en cada uno de los muestreos, presentándose la mayor tasa fotosintética a los 159 ddt. Posteriormente este valor disminuyó considerablemente; cabe destacar que durante las tres evaluaciones hubo una variación muy pronunciada en cada una de las cubiertas para cada día de la evaluación, en la que podemos observar que Pc Claro siempre mantuvo los valores más elevados de fotosíntesis con un promedio de 5.27 μmol CO_2 $m^{-2}sec^{-1}$ en comparación de Pe con 4.57 μmol CO_2 $m^{-2}sec^{-1}$, Pc Azul con 3.90 μmol CO_2 $m^{-2}sec^{-1}$ y Pc Rojo con 3.73 μmol CO_2 $m^{-2}sec^{-1}$. Con respecto a los resultados obtenidos por Li *et al*., (2014), menciona que la luz difusa mejora la fotosíntesis de los cultivos, ya que una distribución horizontal uniforme del flujo fotosintético de fotones juega un papel importante en esta mejora, por lo cual se esperaba que el Polietileno de alta densidad mostrará valores superiores al resto de las cubiertas, sin embargo, el Policarbonato fue superior en un 13 %.

En cuanto al factor B, se observan diferencias estadísticamente significativas en dos de tres fechas (159 ddt y 205 ddt), hubo un comportamiento similar que en el factor A, ya que los valores máximos de fotosíntesis se presentaron en la primera evaluación, posteriormente los valores descendieron entre un 30 y 50 % para cada una de las variedades como se logra observar en el Cuadro 18. Numéricamente no existió una diferencia para las variedades al promediar las tres fechas de evaluación para (P) ya que se obtuvo 4.64 μmol CO_2 $m^{-2}sec^{-1}$, (N) 4.33 μmol CO_2 $m^{-2}sec^{-1}$ y (S) 4.13 μmol CO_2 $m^{-2}sec^{-1}$.

Cuadro 18. Comparación de medias de lecturas realizadas entre las 12 y las 15 hr para la variable fotosíntesis (µmol CO_2 $m^{-2}sec^{-1}$) en factor A (cubiertas) y B (variedades) en los meses de septiembre a noviembre del 2016.

	Muestreo		
Cubiertas	159 ddt	179 ddt	205 ddt
Pc Rojo	5.35 b	2.78 c	3.06 d
Pc Azul	5.20 b	2.90 bc	3.61 c
Pc Claro	6.05 a	3.36 b	6.41 a
Pe Claro	5.17 b	3.90 a	4.64 b
Variedades			
Prestige	5.08 b	3.46 a	5.40 a
Nutcracker	6.06 a	3.05 a	3.88 b
Sonora White	5.18 b	3.20 a	4.02 b

Medias a partir de dos factores (n=3) en la misma columna con letra diferente son estadísticamente diferentes Duncan (*P*≤ 0.05). ddt=días después del trasplante.

En tratamientos (Figura 27), hubo diferencias estadísticamente significativas para las tres evaluaciones en la que los valores promedio más altos fueron para; (Pc+Son) 5.49 µmol CO_2 $m^{-2}sec^{-1}$, (Pc+Prest) 5.52 µmol CO_2 $m^{-2}sec^{-1}$ y (Pe+Prest) 5.46 µmol CO_2 $m^{-2}sec^{-1}$. En cuanto a los tratamientos con menores valores de fotosíntesis tenemos; (PcRojo+Nut) 3.84 µmol CO_2 $m^{-2}sec^{-1}$, (PcRojo+Prest) 2.96 µmol CO_2 $m^{-2}sec^{-1}$ y (PcAzul+Son) 2.48 µmol CO_2 $m^{-2}sec^{-1}$. En un estudio realizado por Bergstrand *et al.*, (2016) reportaron que la fotosíntesis neta en poinsettia, fue afectada por la calidad de la radiación, principalmente en las longitudes de onda del color rojo (620 a 660 nm) ya que respondieron de forma efectiva para esta variable; seguido del verde (530 nm) y finalmente el azul (450 nm) que resultó en una tasa fotosintética más baja. Por su parte Lin (2002) menciona que la longitud de onda de 450 nm (azul) promueve la apertura de estomas, lo que posiblemente habría conducido a una menor respuesta a la concentración de CO_2 en la región del azul.

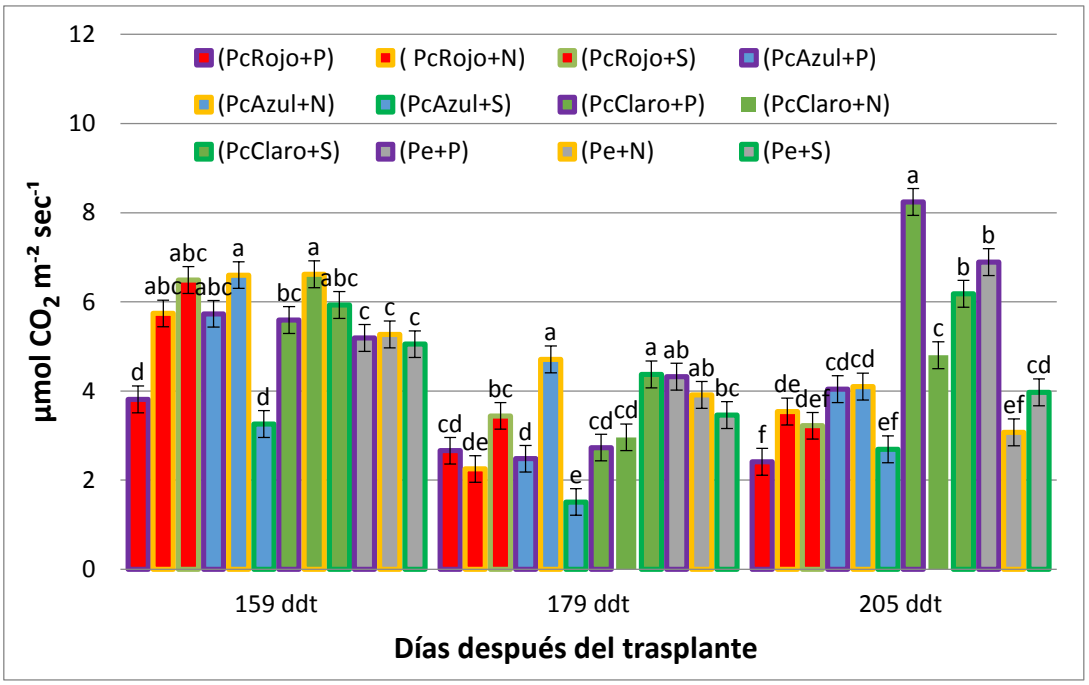

Figura 27. Comportamiento de la tasa fotosintética del cultivo de nochebuena por unidad experimental (tratamiento) en tres fechas de muestreo en el campo agrícola experimental Las Enramadas. Pc= policarbonato, Pe= película de polietileno de alta densidad P= Prestige, N= Nutcracker, S=Sonora White, color de cubiertas (rojo, azul y claro). Medias (n=3) en la misma fecha de evaluación con letra diferente son estadísticamente diferentes Duncan (*P*≤ 0.05). ddt=días después del trasplante ɪ=error estándar.

En la (Figura 28) se observa la fluctuación de la tasa fotosintética durante un día completo comparando los tres tratamientos con mejor desempeño (t8, t5 y t3) en la primera evaluación (4 de octubre del 2016). En el que para los tres tratamientos hubo una evolución de la tasa fotosintética donde a las 13 hr se refleja la mayor tasa fotosintética llegando a alcanzar el valor máximo de 6.49 µmol CO_2 $m^{-2}sec^{-1}$ posteriormente a partir de las 15 hr comienza a haber un declive en general para los tres tratamientos (3.96 µmol CO_2 $m^{-2}sec^{-1}$) y continúa disminuyendo conforme transcurren las horas al igual que la incidencia solar.

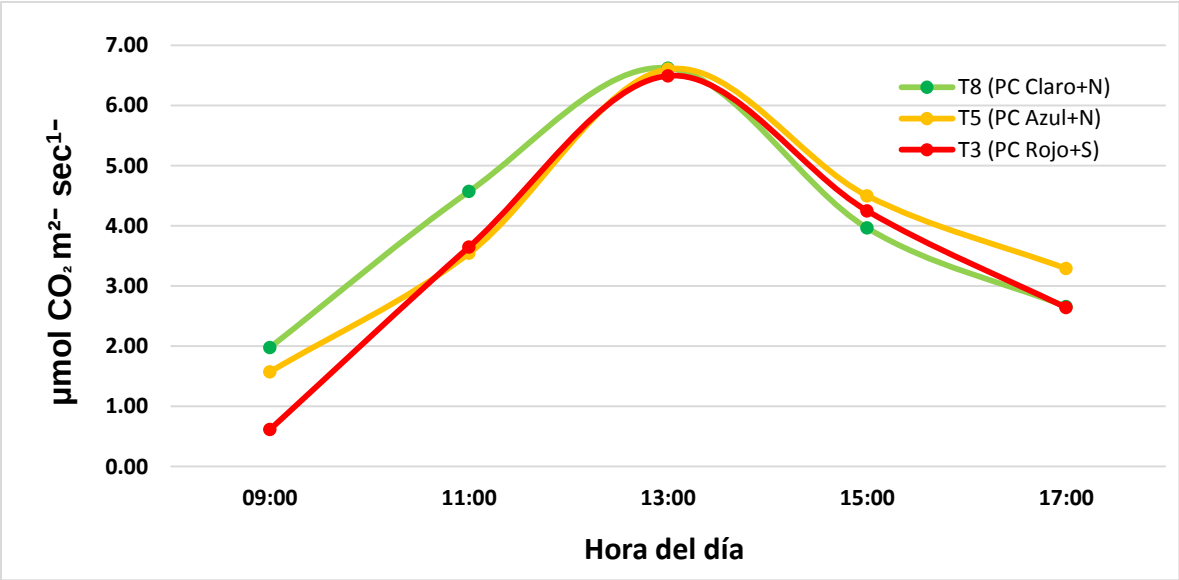

Figura 28. Evolución de la tasa fotosintética en cultivo de nochebuena durante un día completo comparando los tres tratamientos con mejor desempeño en la evaluación del día 4 de octubre del 2016 en el campo agrícola experimental Las Enramadas. Pc= policarbonato, Pe= película de polietileno de alta densidad P= Prestige, N= Nutcracker, S=Sonora White, color de cubiertas (rojo, azul y claro). Medias (n=3).

6.3 Propiedades espectrales del dosel del cultivo.

6.3.1 Reflectancia (ρ) absorbancia (α) y transmitancia (τ) del dosel en tratamientos uno y cuatro.

En la (Figura 29) se presentan cuatro gráficos en los cuales se describe el comportamiento de reflectancia (ρ), absorbancia (α) y transmitancia (τ) para los tratamientos 1 (M+P) y 4 (Pe+P) en hojas verdes y pigmentadas. En el T1 en hojas verdes se observa que la (α) representó un 96 %, (ρ) 3 % y (τ) el 1 % del total del espectro de 400-700 nm, donde hubo picos en (ρ) con 41 % y (τ) con 19 % principalmente en la región del verde (540-560 nm), y un descenso muy marcado en la (α) de 60.5 %, posteriormente a los 612 nm (rojo) hubo otro pico en (ρ) y (τ) pero en una menor magnitud. Para el tratamiento 1 (M+P) en hojas pigmentadas la (α) representó un 95 %, (ρ) 3.5 % y (τ) 1.5 % del total del espectro de radiación fotosintéticamente activa, en el que a diferencia del tratamiento (M+P) en hojas verdes tanto en (ρ) como (τ) presentaron una caída abrupta a los 546 nm (verde), sin embargo, a los 612 nm (rojo) se presentó otro pico con mayor magnitud con 83.5 % en la (ρ), una (τ) del 7 % y un descenso para la (α) del 90.5 %.

En el T4 en hojas verdes se observó que, del valor total del espectro de 400-700 nm, la (α) representó un 96.5 %, (ρ) 2.5 % y (τ) 1 %. A los 546 nm (verde) se presentaron picos en magnitud para (ρ) con 39 % y (τ) con 17.5 %, caso contrario fue para (α) ya que mostró un descenso del 56 %, a los 612 nm (rojo) se repitió un incremento en (ρ) de 26 %, en (τ) de 8.5 % y un descenso en (α) de 34.5 %. Para el T4 en hojas pigmentadas, del valor total del espectro de la radiación fotosintéticamente activa (α) representó un 93.5 %, (ρ) 5.5 % y (τ) 1 %, nuevamente se observó una disminución en magnitud para la variable (ρ) y (τ) a los 546 nm (verde) con un comportamiento similar que, en hojas verdes, posteriormente a los 612 nm (rojo) se observó que (ρ) y (τ) aumentaron en magnitud con 80 % y 25 % respectivamente, mientras que (α) presentó un descenso de 90 %.

Larcher (1995) y Alonso-Jimenez *et al.*, (1999), mencionan que la respuesta espectral de la vegetación está caracterizada por el papel fundamental que

desempeñan los pigmentos de la hoja en la absorción de la energía. Mientras que las propiedades de la superficie de la hoja son, en parte responsables de la reflectancia en dicha superficie, la absorción está gobernada principalmente por la estructura interna, esto es: composición, concentración y distribución de los pigmentos (clorofilas, carotenos, luteína, antocianinas entre otros). De ellos, el más importante es la clorofila, que es la responsable de dos bandas de absorción, una en el azul (400-510 nm) y otra en el rojo (610-720 nm).

Con respecto a la absorción Ollinger (2011), menciona que las características de absorción específicas son causadas por cambios en los estados electrónicos de energía o cambios en las propiedades vibratorias o rotaciones de las moléculas, las características de absorción para los compuestos vegetales individuales tienden a ocurrir en porciones discretas del espectro en lugar de distribuirse en un intervalo más amplio de longitud de onda.

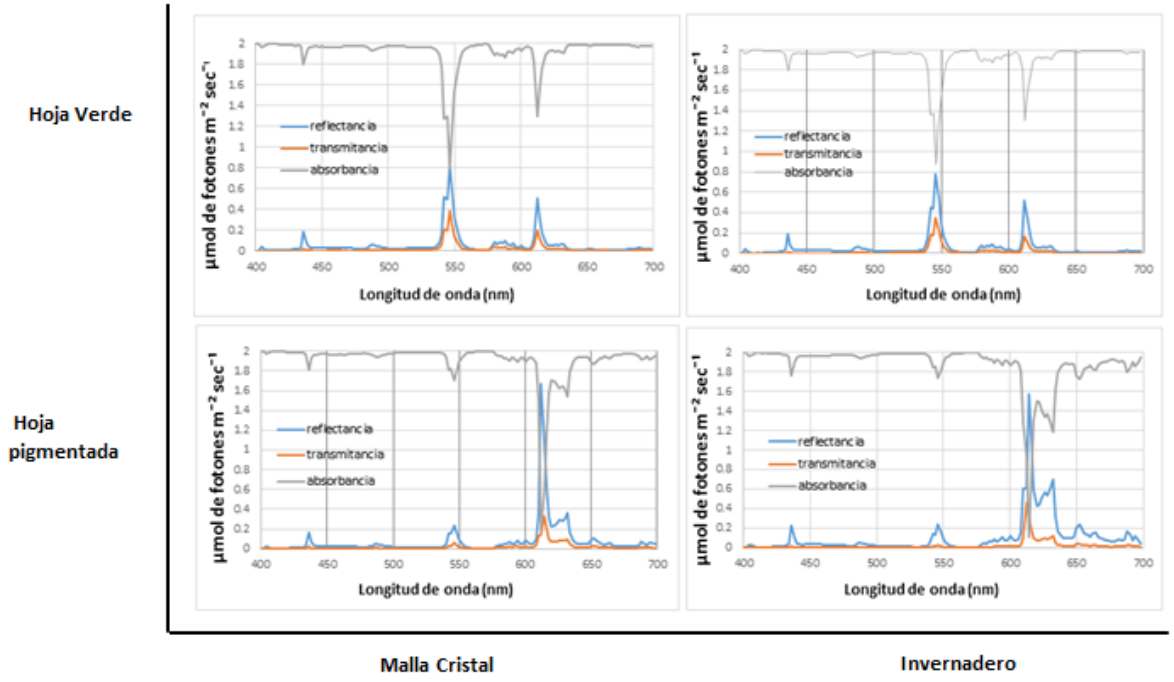

Figura 29. Reflectancia, absorbancia y transmitancia en cultivo de nochebuena: en los tratamientos 1 (M+P) gráficos a la izquierda y 4 (Pe+P) gráficos a la derecha, en hojas verdes (arriba) y pigmentadas (abajo). Localidad las Encinas. M= Malla sombra tipo cristal, Pe= película de Polietileno de alta densidad, P= Prestige, N= Nutcracker, S=Sonora White.

6.3.2 Reflectancia (ρ) absorbancia (α) y transmitancia (τ) del dosel en tratamientos dos y cinco.

Se presenta en la Figura 30 cuatro gráficos en los cuales se describe el comportamiento de reflectancia (ρ), absorbancia (α) y transmitancia (τ), para los tratamientos; 2(M+N) y 5(Pe+N) en hojas verdes y pigmentadas. En el T2 en hojas verdes se observó que, del valor total del espectro de la longitud de onda de la radiación fotosintéticamente activa (α) representó un 94 %, (ρ) 4 % y (τ) 2 %. A los 546 nm (verde) se encuentran picos en (ρ) con 61.5 % y (τ) 34 %, mientras que (α) mostró un declive de 95 %, posteriormente a los 618 nm (rojo) hubo otra caída abrupta para (α) 57 %, mientras que (ρ) y (τ) incrementaron en 38 y 19 % respectivamente. Para el T2 en hojas pigmentadas una vez más (α) representó el valor más alto 89 %, (ρ) 6 % y (τ) 5 % del total del espectro de la radiación fotosintéticamente activa. A los 548 nm (verde) se encuentran picos en magnitud para las variables, (ρ) 81 % y en (τ) tan solo 3.5 %, mientras que (α) disminuyo en un 84.5 %, posteriormente entre 570 y 600 nm se observa un aumento en las tres variables en el que su comportamiento fue en forma de cresta, para los 618 nm (rojo) hubo una caída abrupta para (α) 85 % mientras que (ρ) y (τ) incrementaron una vez más en 60 % y 25 % respectivamente.

En el T5 en hojas verdes se observó que, del valor total del espectro de la radiación fotosintéticamente activa, la (α) representó un 96 %, (ρ) 3 % y (τ) 1 %. A los 546 nm (verde) se observan picos en (ρ) de 46.5 % y (τ) con 22.5 %, mientras que (α) disminuyó un 69 %, posteriormente a los 612 nm (rojo) hubo otra caída abrupta para la variable (α) 38 %, mientras que en (ρ) y (τ) se mantuvo un incremento de 22.5 y 6.5 % respectivamente. Mientras T5 en hojas pigmentadas, del total del espectro fotosintético se observó que (α) representó un 92 % mientras que (ρ) representó 5 % y (τ) solo el 3 %, a los 548 nm (verde) se observó un aumento en magnitud para (ρ) con 62.4 % mientras que (τ) 31.5 %, y para la variable (α) se presentó una disminución del 93.9 %. En los 612 nm (rojo) hubo otra caída abrupta para (α) 84 %, en cuanto a (ρ) y (τ) mostraron un incremento superior

en magnitud en comparación con el mismo tratamiento en hojas verdes en un 40 % y 66 % respectivamente. De los resultados obtenidos en esta evaluación podemos contrastar lo obtenido por Ollinger (2011) y Zwiggelaar (1998) quienes describen lo siguiente: los pigmentos foliares incluyendo clorofila a (435, 670-680 nm) y b (480, 650 nm), carotenoides (420, 440,470 nm), antocianinas (400-500 nm) y una variedad de pigmentos accesorios absorben fuertemente en la región del visible y son abundantes en la vegetación, ocasionando que la reflectancia sea generalmente baja y menos variable en las longitudes de onda visibles.

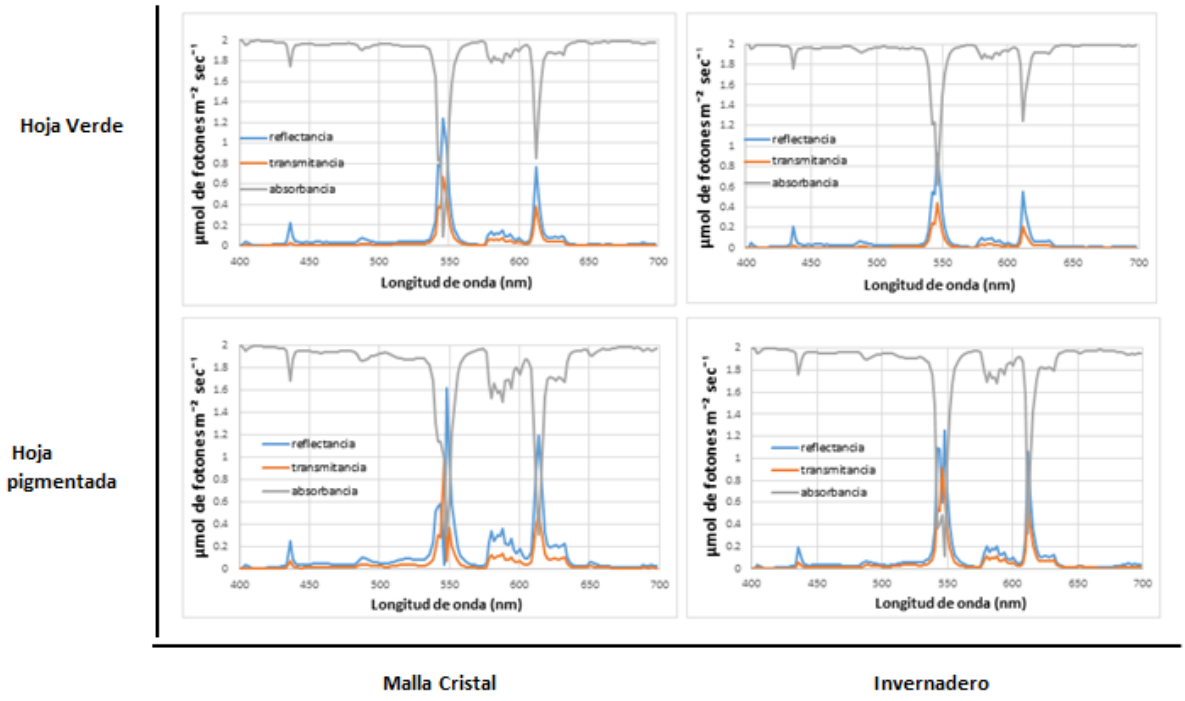

Figura 30. Reflectancia, absorbancia y transmitancia en cultivo de nochebuena: en los tratamientos 2 (M+N) gráficos a la izquierda y 5 (Pe+N) gráficos a la derecha, en hojas verdes (arriba) y pigmentadas (abajo). Localidad las Encinas. M= Malla sombra tipo cristal, Pe= película de Polietileno de alta densidad, P= Prestige, N= Nutcracker, S=Sonora White.

6.3.3 Reflectancia (ρ) absorbancia (α) y transmitancia (τ), de dosel en tratamientos tres y seis.

En la Figura 31 se muestra la reflectancia (ρ), absorbancia (α) y transmitancia (τ), para el espectro perteneciente a la radiación fotosintéticamente activa (400-700 nm) para tratamientos 3 (M+S) y 6 (Pe+S) en hojas verdes y pigmentadas. Para T3 en hojas verdes se observó que (α) representó un 97 %, (ρ) 8.5 % y (τ) 1 % del total del espectro. Se pudo observar que a los 546 nm (verde) hubo picos en magnitud para (ρ) con 29 % y (τ) 12 %, mientras que (α) disminuyó en un 41 %, posteriormente a los 612 nm (rojo) hubo otra caída abrupta para (α) con 31.5 %. En cuanto a (ρ) y (τ) se observó otro pico, pero con baja magnitud 20 % y 10 % respectivamente. Para T3 en hojas pigmentadas se observó que, del valor total del espectro de la radiación fotosintéticamente activa (α) representó un 97 %, (ρ) 8.5 % y (τ) 1 %, en el que los picos de mayor magnitud fueron principalmente en la región del verde (546 nm) para (ρ) la cual fluctuó en un 29 %, mientras que (τ) obtuvo 12 %, sin embargo, (α) disminuyó un 41 %. En los 612 nm (rojo) se desplegó otra caída abrupta (α) 40 %, mientras que en (ρ) y (τ) se presentó un ligero incremento del 25 % y 10 % respectivamente. Cabe mencionar que el comportamiento tanto en hojas verdes como pigmentadas fue similar en cuanto a los valores obtenidos en magnitud para las tres variables.

En cuanto al T6 en hojas verdes se observó que, del valor total del espectro de la radiación fotosintéticamente activa, (α) representó un 97 %, (ρ) 2.5 % y (τ) 0.5 %. Se observa que a los 546 nm (verde) (α) presentó un declive de 45 %, mientras que (ρ) aumento 33.5 % y (τ) solo mostró un 7 %. Se observó otro pico de menor magnitud en (ρ) con 20 % y (τ) tan solo en un 5 % en los 612 nm (rojo), caso contrario sucede con (α) al disminuir un 26.5 %. Para el T6 en hojas pigmentadas la (α) representó un 97.5 %, (ρ) 2 % y (τ) 0.5 % del total del espectro de la radiación fotosintéticamente activa, en el que en la región del verde (546 nm) se aprecia un ligero aumento en (ρ) 23.5 % y en (τ) con 7 %, mientras que (α) disminuyó en un 20 %, posteriormente en los 612 nm (rojo) se muestra aumento para (ρ) y (τ) con 30 % y 15 % respectivamente, caso contrario en (α) la cual disminuyó en un 40 %.

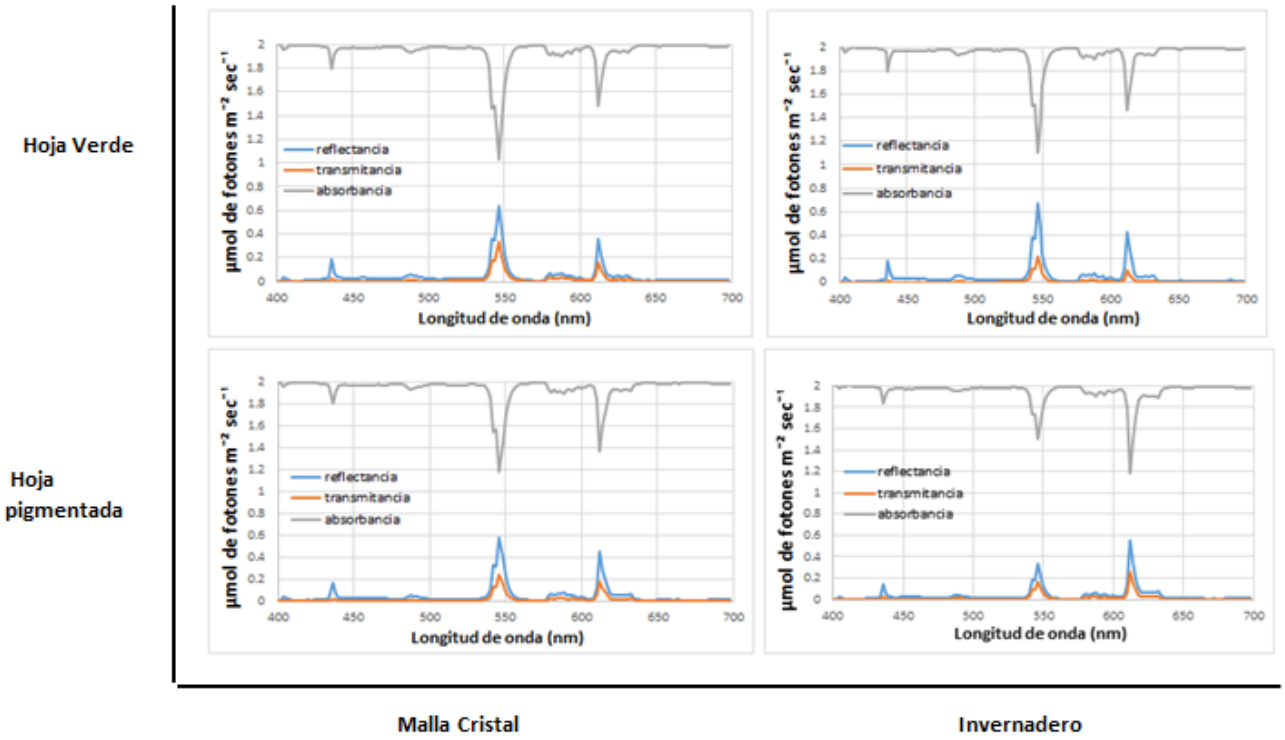

Figura 31. Reflectancia, absorbancia y transmitancia en cultivo de nochebuena en los tratamientos 3 (M+S) gráficos a la izquierda y 6 (Pe+S) gráficos a la derecha, en hojas verdes (arriba) y pigmentadas (abajo). Localidad las Encinas. M= Malla sombra tipo cristal, Pe= película de Polietileno de alta densidad, P= Prestige, N= Nutcracker, S=Sonora White.

De acuerdo a los resultados obtenidos se interpreta que tanto (ρ) y (Ʈ), mas no en (α) (la cual mostró valores inversos en % comparado con ρ y Ʈ), mostraron un comportamiento similar al obtener picos de mayor magnitud a los 436 nm (azul), 546 nm (verde) y 618 nm (rojo), mientras que (α) mantuvo valores superiores en todo el espectro de la radiación fotosintéticamente activa en los seis tratamientos evaluados, en el que cada tratamiento obtuvo valores diferentes en magnitud para (ρ), (Ʈ) y (α) a pesar de coincidir en las longitudes de onda.

De acuerdo a los resultados obtenidos en la evaluación de espectrometría del dosel, en general pudimos apreciar que la absorción predomino en un 90 %,

mientras que reflectancia y Transmitancia presentaron valores inferiores, dichos resultados obtenidos en la evaluación de espectrometría contrasta con lo mencionado por autores como Larcher (1995), quien asume que la mayor parte de la radiación que penetra una hoja es absorbida por la misma. Dependiendo de la estructura foliar y del contenido de cloroplastos de las células del mesófilo, las hojas absorben, generalmente, del 60-80 %, reflejan del 6-10 % y transmiten entre un 10-20 % de la radiación fotosintéticamente activa.

Ollinger (2011) menciona que las características de absorción específicas son causadas por cambios en los estados electrónicos de energía o cambios en las propiedades vibratorias o rotaciones de las moléculas, las características de absorción para los compuestos vegetales individuales tienden a ocurrir en porciones discretas del espectro en lugar de distribuirse en un intervalo más amplio de longitud de onda.

VII. CONCLUSIÓN.

Localidad #1

Se concluye que las propiedades espectrales de la Malla sombra cristal y película de polietileno de alta densidad tuvieron un efecto importante en el desarrollo y calidad del cultivo, a pesar que ambas cubiertas mostraron transmitir la radiación en las mismas longitudes de onda (525 a 650 nm) pero con diferente magnitud en el cual el polietileno de alta densidad mostró una transmisión de 12.82 % más de radiación PAR en comparación de la Malla sombra cristal, por lo tanto se encontraron diferencias estadísticas significativas en la prueba de medias para las variables: área foliar, fotosíntesis y clorofila donde el polietileno de alta densidad obtuvo resultados superiores en un 16 %, 26 % y 7 % respectivamente en comparación de los resultados obtenidos en la Malla tipo cristal.

El comportamiento de las variedades mostró diferencias estadísticas significativas en la mayoría de las variables evaluadas así como en cada fecha de muestreo, se observó que la respuesta de la variedad Nutcracker a la morfología y desarrollo del cultivo de nochebuena fue superior al resto de las variedades para las variables: altura, número de brotes, área foliar, área de brácteas y fotosíntesis, mientras que Prestige lo fue para las variables: diámetro de tallo, peso seco de hojas, y de tallos e índice de clorofila. Por lo tanto, se infiere que los resultados obtenidos están en función tanto de las propiedades espectrales de las cubiertas como del genotipo ya que observamos que Nutcracker supero estadísticamente a las demás variedades en la mayoría de las evaluaciones.

La transmisión de la radiación PAR en la Malla sombra cristal fue similar a la de una película convencional (película de Polietileno de alta densidad) por lo que tuvo influencia en el desarrollo y calidad floral de tres variedades de nochebuena mostrando valores similares para las variables: diámetro del tallo, número de brotes, índice de área foliar, área de brácteas, fotosíntesis y clorofila, sin embargo la película de Polietileno de alta densidad obtuvo mejores resultados en dos variables de suma importancia responsables de la calidad floral: altura y área foliar.

Localidad #2

Se concluye que las propiedades espectrales del Policarbonato color rojo el cual transmitió en la longitud de onda de 600 a 735 nm, azul de 490 a 585 nm, Policarbonato Claro de 500 a 654 nm y el Polietileno de alta densidad 500 a 654 nm, tuvieron un efecto importante en el desarrollo y calidad del cultivo de nochebuena, en el que cada cubierta conto con propiedades espectrométricas distintas por lo que transmitió longitudes de onda especificas en diferentes magnitudes, actuando diversos fotorreceptores y pigmentos fotosintéticos, en el que Pc Rojo y Pc Azul mostraron las menores transmisiones de 13 % y 23 % de la radiación PAR, sin embargo, hubo diferencias estadísticamente significativas atribuidas a estas cubiertas donde se registraron valores superiores para las variables: altura y área de brácteas en comparación de las cubiertas de Policarbonato Claro y película de Polietileno de alta densidad que tuvieron una mayor transmisión 40 % y 30 % respectivamente, sin embargo, para la variable fotosíntesis Pc Claro y Pe Claro obtuvieron los mejores resultados. En cuanto a la variable temperatura del ambiente se mostró un comportamiento similar en el cual las cubiertas registraron una temperatura media donde la máxima de 32 °C y la mínima de 15 °C, mientras la diferencia de temperatura media al exterior e interior de los bioespacios fue mínima (1.7 °C) debido a la estación en la que se fue establecido el experimento.

En cuanto al desarrollo de las variedades hubo diferencias estadísticamente significativas en los tres muestreos realizados, por lo tanto, su habito de crecimiento fue distinto, sin embargo, al igual que en la localidad número uno la variedad Nutcracker obtuvo los mejores resultados para las variables: altura y área brácteal, pero en fotosíntesis no fue así ya que Prestige supero en un 7 % a la variedad Nutcracker y en un 11 % a Sonora White.

Las cubiertas de Policarbonato color rojo y azul en interacción con la variedad Nutcracker, Prestige y Sonora White respectivamente, obtuvieron los

mejores resultados en comparación de la película de Polietileno de alta densidad y el Policarbonato Claro los cuales presentaron valores inferiores, a excepción de la tasa fotosintética donde los resultados obtenidos mostraron una mayor eficiencia de esta variable. No obstante, y a pesar de que las cubiertas de color rojo y azul obtuvieron los resultados más relevantes en las variables antes mencionadas, esto no indica que hayan sido las de mejor calidad, ya que como producto final mostraron una disparidad en la longitud de brotes los cuales por su aspecto elongado carecían de estética, así también se observó una mayor área foliar lo cual es un parámetro importante de selección en los estándares de calidad. Sin embargo, las variedades desarrolladas en las cubiertas de Policarbonato Claro y película de Polietileno de alta densidad, fueron más compactas e incluso mostraron más homogeneidad en su arquitectura (variable no evaluada), además de ser más eficientes en la tasa fotosintética.

Los resultados obtenidos en esta investigación demuestran la importancia de realizar experimentos donde se evalué la calidad espectral de cubiertas fotoselectivas y su efecto en la arquitectura de especies ornamentales con importancia económica, debido a que en trabajos realizados con anterioridad y relacionados a investigación sugieren que la calidad de la radiación influirá directamente en la morfología de los cultivos al incidir dichas longitudes de onda sobre los pigmentos fotosintéticos y sobre los fotorreceptores activando cambios en su estructura como son la disminución o aumento de altura, elongación de brotes y floración.

Por lo tanto se rechaza la hipótesis nula debido a que las propiedades espectrales de ambas cubiertas mostraron resultados diferentes para las variables evaluadas y como consecuencia en el desarrollo y calidad floral del cultivo.

VIII. REFERENCIA BIBLIOGRAFÍCA.

Adams, P., y Ho, L. C. (1993). Effects of environment on the uptake and distribution of calcium in tomato and on the incidence of blossom-end rot. *Plant and Soil, 154*(1), 127-132.

Aguilar, R. N. (2015). Percepción remota como herramienta de competitividad de la agricultura. *Revista mexicana de ciencias agrícolas, 6*, 399-405.

Al-Helal, I. M., y Abdel-Ghany, A. M. (2010). Responses of plastic shading nets to global and diffuse PAR transfer: Optical properties and evaluation. *NJAS - Wageningen Journal of Life Sciences, 57*(2), 125-132.

Alonso-Jimenez, C., Moreno, V., y Rodríguez, E. (1999). Determinación experimental de la firma espectral de la vegetación. una sencilla práctica de introducción a la teledetección.VIII Congreso nacional de teledetección, Albacete España.

Álvarez, M.S. (2011). Riego deficitario en distintas etapas del desarrollo de plantas ornamentales cultivadas en maceta. Tesis de doctorado. Universidad Politécnica de Cartagena. Cartagena, Colombia. 260 pp.

Ayala-Tafoya, F., Sánchez-Madrid, R., Partida-Ruvalcaba, L., Yáñez-Juárez, M. G., Ruiz-Espinosa, F. H., Velázquez Alcaraz, T. d. J., Parra-Delgado, J. M. (2015). Producción de pimiento morrón con Mallas sombra de colores. *Revista fitotecnia mexicana, 38*, 93-99.

Ballaré, C. L., y Casal, J. J. (2000). Light signals perceived by crop and weed plants. *Field Crops Research, 67*(2), 149-160.

Basyouni, R. (2014). Use of nondestructive- optical sensors in assessing nitrogen status in six popular greenhouse plants. (Doctoral dissertation, Oklahoma State University) 8-27 pp.

Benavides, A., Maiti, K.R y Teran, E. G. (1993). El balance spectral de la radiación y la fotomorfogénesis y la productividad de los vegetales. Facultad de Ciencias Biologicas de la Universidad Autonoma de Nuevo Leon. San Nicolas De Los Garza, N.L. 46 pp.

Bergstrand, K. J., Suthaparan, A., Mortensen, L. M., y Gislerod, H. R. (2016). Photosynthesis in horticultural plants in relation to light quality and CO2 concentration. *European journal of horticultural science*, *81*(5), 237-242.

Bermúdez, J. H., Escobar, I. y Prados, N. c. (2001). La radiacion solar en invernaderos *mediterraneos. Horticultura: revista industria, distribucion y socioeconomica horticola, 15*, 18-27.

Botero, J. (2017). *Determinación del nivel foliar de nutrientes mediante espectroscopía de reflectancia*. Tesis de maestria. Universidad Nacional de Colombia. Medellin, Colombia. 116 pp.

Cabrera, R., Morán, F., y Torres, R. (2006). Producción de Nochebuena Euphorbia pulcherrima Willd. ex. Klotzsch. en Morelos. Folleto técnico No. 23. Recuperado el 24 de agosto de 2017, de http://biblioteca.inifap.gob.mx:8080/jspui/handle/123456789/2912

Canul, K. J., García, P. F., Osuna, C. F. J. y Ramírez, R. S. (2012). Metodologías de mejoramiento genético aplicables en nochebuena. Folleto Técnico No. 64. 39 p.

Castellano, S., Hemming, S., y Russo, G. (2008). The influence of colour on radiometric performances of agricultural nets. *Acta Horticulturae 801,* 10 pp.

Casierra-Posada, F., Matallana-Díaz, Y.A., & Zapata-Casierra, E. (2014). Growth of bell pepper plants (*Capsicum annuum*) affected by colouRojo covers. G*esunde Pflanzen, 66*(4), 149-155.

Castilla, N. (2013). Protected cultivation. En: Greenhouse technology and management 2nd edition. Kindle Edition. Madrid, España. 374 pp.

Chalate Molina, H., San Juan Hernández, R., Lazcano, G.D., y Pérez Hernández, P. (2008). Programa estratégico de necesidades de investigación y transferencia de tecnología de la cadena productiva horticultura ornamental en el estado de Veracruz. Veracruz: Fundación produce Veracruz.

Cerny, T., Faust, J., Layne, D., Rajapakse, N. (2003). Influence of photoselective films and growing season on stem growth and flowering of six plant species. *Journal of the American Society for Horticultural Science, 128*(4), 486-491.

Clifford, S. C., Runkle, E. S., Langton, F. A., Mead, A., Foster, S. A., Pearson, S., y Heins, R. D. (2004). Height control of poinsettia using photoselective filters. *HortScience, 39*(2), 383-387.

Costa, L. C. d. B., Pinto, J. E. B. P., Castro, E. M. d., Alves, E., Bertolucci, S. K. V., y Rosal, L. F. (2010). Effects of colouRojo shade netting on the vegetative development and leaf structure of Ocimum selloi. *Bragantia,Campinas, 69*, 349-359.

Cox, A.D. (2001). Growth, nutrient content, and growth médium electrical conductivity of poinsettia irrigated by subirrigation or from overhead. Journal of Plant Nutrition, 24 (3), 522-533.

Dodd, A. N., Salathia, N., Hall, A., Kévei, E., Tóth, R., Nagy, F., Webb, A. A. R. (2005). Plant Circadian Clocks Increase Photosynthesis, Growth, Survival, and Competitive Advantage. *Science, 309*(5734), 630-633.

Domurath, N., Schroeder, F. G., & Glatzel, S. (2012). Light response curves of selected plants under different light conditions. In *VII International Symposium on Light in Horticultural Systems, 956*, 291-298.

Ecke, P. III, Faust, J.E., Williams, J. y Higgins, A. (2004). The Ecke poinsettia Manual. Ball Publ., Batavia Illinois. 287 pp.

Escalante Cárdenas, L., Trejo Calzada, R., Esquivel Arriaga, O., Arreola Avila, J. G., & Flores Hernández, A. (2008). Comparación de tasas fotosintéticas en algunas plantas cultivadas y malezas. *Revista Chapingo Serie Zonas Áridas*, *7*(2),165-172.

Faust, E,. J. (2017). The Gist on Mist. *Growertalks, (81)*4, 18-21.

Faust, J.E., y Heins R,D. (1996). Axillary bud development of poinsettia 'Eckespoint Lilo' and 'Eckespoint Rojo Sails' (*Euphorbia pulcherrima* Willd.) is inhibited by high temperatures. *Journal of the American Society for Horticultural Science, 121*, 920–926.

Fisher, P. R., Heins, R. D., y Lieth, J. H. (1996). Quantifying the relationship between phases of stem elongation and flower initiation in poinsettia. *Journal of the American Society for Horticultural Science, 121*(4), 686-693.

Franklin, K. A. (2009). Light and temperature signal crosstalk in plant development. *Current Opinion in Plant Biology, 12*(1), 63-68.

Galicia-Jiménez, A. B., Trejo, C., Valdez-Aguilar, L., T. Rodríguez-González, M., y Peña-Valdivia, C. B. (2001). Shade intensity and its effect in morphology and physiology of poinsettia (Euphorbia pulcherrima Willd.) *Revista Chapingo Serie Horticultura, 7*(2), 143-149.

Gautam, P., Terfa, M.,Olsen, J., y Torre., S. (2015). Rojo and Azul light effects on morphology and flowering of petunia hybrida. *Scientia Horticulturae, 184*, 171-178.

Gates, D.M. (1980). Biophysical Ecology. Springer-Velarg New York Inc, New York. *Edition Kindle.* 611 pp.

García. (2004). Modificaciones al sistema de clasificación climática de Köppen: (para adaptarlo a las condiciones de la República Mexicana). Universidad Nacional Autónoma de México, Instituto de Geografía.

García, Faustino, P., Alia Tejacal, I., Vargas Domínguez, G., Valdez-Aguilar, L., Canul-Ku, J. Ramírez Rojas, S. (2013). Comportamiento de variedades comerciales de nochebuena en Morelos. *Folleto Técnico No. 74*.

Gonzáles, S., G. y Rabin, L., C. (2011). Para entender las radiaciones energía nuClaro, medicina, industria. Publicado por; Facultad de Ciencias Universidad de la Republica. Montevideo, Uruguay. 93 pp.

Grossi., H. (2004). Distribución espacial de la radiación fotosintéticamente activa en Argentina. *Meteorologica, 29*(1-2), 27-36.

Hartley, E. (1992). Chapter 12 “Poinsettias” En: introduction to floriculture: Larson., R. San Diego California. Ed. Academic Press second edition. 635 Pp.

Hanan, J.J. (1997). Greenhouses: advanced technology for protected horticulture. CRC press, Colorado, United States of America. 684 pp.

Hernández, P., Aispuro, S. M., Tejacal, A. I., Ramírez, A.R., Torres. V. O., y Weiss. U.H. (2014). Microlysimetric quantification of wáter consumption in poinsettia (*Euphorbia Pulcherrima* Willd.). Revista mexicana de Ciencias Agrícolas, 5 (8), 1481-1493.

Heggie, L., y Halliday, K., L. (2005). The highs and lows of plant life: temperature and light interactions in development**.** *Int. J. Dev. Biol., 49,* pp. 675-687

Hunt, E. R., Doraiswamy, P. C., McMurtrey, J. E., Daughtry, C. S. T., Perry, E. M., y Akhmedov, B. (2013). A visible band index for remote sensing leaf chlorophyll content at the canopy scale. *International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation, 21*, 103-112.

Iglesias N., Muños A. (2007). Comparacion de la transmission de la radiacion fotosinteticamente activa en invernaderos del (PAR) en invernaderos del norte de la Patagonia. Horticultura Argentina. *Rio negro Argentina 26*(60): 10-16.

Jiao, Y., Lau, O. S., y Deng, X. W. (2007). Light-regulated transcriptional networks in higher plants. *Nat Rev Genet, 8* (3), 217-230.

Jiménez., S. Alvarado., O. y Balaguera., H. (2015). Fluorescencia como indicador de estrés en Helianthus annuus L. *Revista Colombiana De Ciencias Horticolas,* 9,149-160 pp.

Khattak, Mateen., y Pearson, S. (2006). Spectral Filters and Temperature Effects on the Growth and Development of Chrysanthemums under Low Light Integral. *Plant Growth Regul, 49,* 61-68.

Kittas, C., y Baille, A. (1998). Determination of the Spectral Properties of Several Greenhouse Cover Materials and Evaluation of Specific Parameters Related to Plant Response. *Journal of Agricultural Engineering Research, 71(2)*, 193-202.

Lazo, J.V. and J. Ascencio. 2010. Efecto de diferentes calidades de luz sobre el crecimiento de Cyperus rotundus. *Bioagro, 22(2)*, 153-158.

Larcher, W. (1995). Physiological Plant Ecology. Ecophysiology and stress physiology of functional grups. Translated by J. Weiser. Springer. Berling. Third Edition. 506 pp.

Li, T., Heuvelink, E., Dueck, T., Janse, J., Gort, G., y Marcelis, L. (2014). Enhancement of crop photosynthesis by diffuse light: quantifying the contributing factors. *Annals of botany, 114*(1), 145-156.

Lin, C. (2002). Azul light receptors and signal transduction. *The Plant Cell, 14* (1), 207-225.

Mata, A. D., y Botto, J. (2009). Manipulation of Light Environment to Produce High-quality Poinsettia Plants. *HortScience, 44*(3), 702-706.

Mortensen, L. M. (1990). Effects of temperature and light quality on growth and flowering of Begonia × hiemalis Fotsch. and Campanula isophylla Moretti. *Scientia Horticulturae, 44*(3), 309-314.

Narbona, E., Ortiz, P. L., y Arista, M. (2006). Germination variability and the effect of various pre-treatment on germination in the perennial spurge Euphorbia nicaeensis All. *Flora Plants, 201*(8), 633-641.

Nicolai, B. M., Beullens, K., Bobelyn, E., Peirs, A., Saeys, W., Theron, K. I., y Lammertyn, J. (2007). Nondestructive measurement of fruit and vegetable quality by means of NIR spectroscopy: A review. *Postharvest Biology and Technology, 46*(2), 99-118.

Ñústez, L. C. E., Santos Castellanos, M., y Segura Abril, M. (2009). Dry matter allocation and partitioning of four potato varieties (Solanum tuberosum L.) in Zipaquirá, Cundinamarca (Colombia). *Revista Facultad Nacional de Agronomía, Medellín, 62*(1), 4823-4834.

Ollinger, S. (2011). Sources of variability in canopy reflectance and the convergent properties of plants. *New Phytologist, 189*(2), 375-394.

Oren-Shamir, M., Gussakovsky, E., Shpiegel, E., Nissim-Levi, A., Ratner, K., Ovadia, R., y E. Giller, Y. (2001). ColoRojo shade nets can improve the yield and quality of green decorative branches of Pittosporum variegatum. *Journal Horticultural Science and Biotechnology,* 76, 353-361.

Penfield, S. (2008). Temperature perception and signal transduction in plants. *New Phytologist, 179*(3), 615-628.

Perez-Garcia, F. y J.B. Martinez-Laborde. (1994). Introduccion a la Fisiologia Vegetal. Ediciones Mundi-prensa, Madrid, España. 218 Pp.

Perez-Lopez, A., Carrillo-Salazar, J., Colinas-Leon, M., y Sandoval-Villa, M. (2005). Growth regulation of Poinsettia (Euphorbia pulcherrima Willd ex. Klotzsch) with ethephon. *Agrociencia, 39*(6), 639-646.

Pérez, Teixeira da Silva, J., y Lao, M. (2006). Light Management in Ornamental Crops. Floriculture, Ornamental and Plant Biotechnology, IV, 683- 695.

Rajapakse, N. C., McMahon, M. J., y Kelly, J. W. (1993). End of day far-Rojo light reverses height Rojouction of chrysanthemum induced by CuSO4 spectral filters. *Scientia Horticulturae, 53*(3), 249-259.

Rajapakse, N. C., y Shahak, Y. (2007). Light-Quality Manipulation by Horticulture Industry *Annual Plant Reviews Volume 30: Light and Plant Development* (pp. 290-312): Blackwell Publishing Ltd.

Rivas, J. (2013). “ la luz y el aparato fotosintetico”. En: Fundamentos de Fisiologia. Azcon Bieto, J., y Talon., M. España. Ed. Mcgrawhill. Pp. 165-190.

Roggo, Y., Chalus, P., Maurer, L., Lema-Martinez, C., Edmond, A., y Jent, N. (2007). A review of near infraRojo spectroscopy and chemometrics in pharmaceutical technologies. *Journal of Pharmaceutical and Biomedical Analysis, 44*(3), 683-700.

Romero-Gámez, M., Suárez-Rey, E. M., Castilla, N., y Soriano, M. (2012). Evaluation of global, photosynthetically active radiation and diffuse radiation transmission of agricultural screens. *Spanish Journal of Agricultural Research, 10*(2),306-313.

Ruiz-Espinoza, F. H., Murillo-Amador B., García-Hernández, J. L. Troyo-Diéguez E. Palacios-Espinoza A. Beltrán-Morales, A. Fenech-Larios L. Zamora-Salgado S., Marrero-Labrador P., Nieto-Garibay A. (2007). Mediciones lineales en la hoja para la estimación no destructiva del área foliar en albahaca (*Ocimun basilicum* L.). *Chapingo Serie Horticultura, 13*(1), 29-34.

Runkle, E. S., y Heins, R. D. (2002). Stem extension and subsequent flowering of seedlings grown under a film creating a far-Rojo deficient environment. *Scientia Horticulturae, 96*(1), 257-265.

Sánchez, C. F. (1997) Valoración de caracteristicas de la formación de un arquetipo de jitomate apto para un ambiebte no restrictivo. Tesis de Doctorado. Instituto de Recursos Geneticos y Productividad. Colegio de Postgraduados. Montecillos, México. 189 pp.

Samaniego Cruz, E., Quezada Martin, M. R., Rosa Ibarra, M. d. l., Munguía López, J., Benavides Mendoza, A., y Ibarra Jiménez, L. (2002). Producción de plántulas de tomate y pimiento con cubiertas de Polietileno reflejante para disminuir la temperatura de invernadero. *Agrociencia, 36*, 305-318.

Serrano,C. (2005). Construcción de invernaderos, ediciones Mundi-Prensa 3ra edición. Madrid, España. 503 pp.

Shahak, Y., Gussakovsky, E., Gal, E., y Ganelevin, R. (2004). ColorNets: Crop protection and light-quality manipulation in one technology. *Acta Horticulturae, 659*, 143-151.

Smith, H. (2000). Phytochromes and light signal perception by plants--an emerging synthesis. *Nature, 407* (6804), 585.

Strachan, I. B., Stewart, D.W., Pattey E. (2005). Determination of leaf area index in agricultural systems. (Eds.) J.L. Hatfield, J.M. Baker , Micrometeorology in Agricultural Systems, American Society of Agronomy, Inc., Crop Science Society of America, Inc., Soil Science Society of America, Inc., Madison, WI, USA, pp. 179-198. *Agronomy Monograph No. 47*.

Taiz, L. and Zeiger, E. (2010). Plant physiology, fifth edition. sinauer associates,inc. USA. 580 pp.

Thapa,. S. (2016). Production of posenttia (*Euphorbia pulcherrima*) with light emitting diodes compaRojo with the traditional high pressure sodium lamp. Tesis de Maestría. Deparament of Plant Sciences. Norwegian University of Life and Sciences. Oslo, Noruega. 66 pp.

Taylor, J. M., Lopez, R. G., Currey, C. J., y Janick, J. (2011). The poinsettia: History and transformation. *Chronica Horticulturae, 51*(3), 23-28.

Trejo, L., Arroyo, T. P. F., Olsen, K. M., Eguiarte, L. E., Arroyo, B., Gruhn, J. A., y Olson, M. E. (2012). Poinsettia's wild ancestor in the Mexican dry tropics: historical, genetic, and environmental evidence. *American Journal of Botany, 99*(7), 1146-1157.

Uddling, J., Gelang-AlfRojosson, J., Piikki, K., y Pleijel, H. (2007). Evaluating the relationship between leaf chlorophyll concentration and SPAD-502 chlorophyll meter readings. *Photosynthesis research, 91*(1), 37-46.

Yepes, J. G.,Martinez, B. E. (2005). Los balances energeticos en la produccion agropecuaria. *Energetica 33*, 73-89.

Zhao, D., y Oosterhuis, D. (1998). Cotton Responses to Shade at Different Growth Stages: Nonstructural Carbohydrate Composition. *Crop Science, 38*(5), 1196-1203.

Zwiggelaar, R. (1998). A review of spectral properties of plants and their potential use for crop/weed discrimination in row-crops. *Crop Protection, 17*(3), 189-206.

Citas de páginas web:

CONABIO (2010) Malezas de México. Comisión Nacional para el Conocimiento y uso de la Biodiversidad: http://www.conabio.gob.mx/malezasdemexico/euphorbiaceae/euphorbia-pulcherrima/fichas/fhicha.htm#3.identificacion y descripción.

CONAGUA. (2010). Servicio Meteorológico Nacional. Normales Climatológicas: consultado el 10 de febrero del 2017 en http:// smn.cna.gob.mx/climatología/Normales5110/Normal05048.

INIFAP. (2016). Rojo Nacional de Estaciones Agrometeorológicas Automatizadas del Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias; consultado el 30 de marzo del 2017. Disponible en:http://clima.inifap.gob.mx/lnmysr/Historicos/Datos?Estado=18&Estacion=36152&Anio=2016&Mes=9

Jensen, M., Marlow, D. (2010). Manejo de luz, temperatura y DPV. Consultado el 11 de mayo del 2017. Disponible en: http://www.hortalizas.com/%20horticultura-%20protegida/manejo-de-luz-temperatura-y-dpv/.

SIAP. (2015). SAGARPA. Anuario estadístico de producción agrícola y servicios de información agroalimentaria y pesca. Secretaria de Agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación: http://www.siap.gob.mx/cierre de producción-agrícola-por-estado. Consultado el 28 de marzo del 2017.

Siproduce. (2013). Sifupro. Características principales de las variedades de nochebuena validadas en La petaca Concordia. Sistema produce Sinaloa: http://siproduce.sifupro.org.mx/seguimiento/archivero/25/2013/anuales/anu_1592-25-2014-05-3.pdf. Consultado el 8 de noviembre del 2017.