

**UNIVERSIDAD MAYOR DE SAN ANDRÉS
FACULTAD DE AGRONOMIA
CARRERA DE INGENIERIA AGRONÓMICA**



TESIS DE GRADO

**“DETERMINACIÓN DE LA INTENSIDAD LUMÍNICA EN PLÁSTICOS
DE CUBIERTA (AGROFILM) PARA AMBIENTES ATEMPERADOS EN
TRES LOCALIDADES DEL DEPARTAMENTO DE LA PAZ”**

HAROLD BARRIENTOS LLANOS

La Paz – Bolivia

2011

**UNIVERSIDAD MAYOR DE SAN ANDRÉS
FACULTAD DE AGRONOMIA
CARRERA DE INGENIERIA AGRONÓMICA**

**DETERMINACIÓN DE LA INTENSIDAD LUMÍNICA EN PLÁSTICOS
DE CUBIERTA (AGROFILM) PARA AMBIENTES ATEMPERADOS EN
TRES LOCALIDADES DEL DEPARTAMENTO DE LA PAZ**

Tesis de grado presentada como requisito
Parcial para optar el título de:
Ingeniero Agrónomo

HAROLD BARRIENTOS LLANOS

Asesores:

Ing. Ph. D. Magali García Cárdenas

Ing. Agr. Víctor Paye Huaranca

Comité Revisor:

Ing. Agr. Cristal Taboada Belmonte

Ing. Agr. Eduardo Oviedo Farfán

Ing. Agr. René Calatayud Valdez

Presidente:



DEDICATORIA

A Dios y a nuestra madre la Virgen María por la fuerza y la voluntad de seguir adelante en todo momento.

A mis padres Nelson y María Luisa por el cariño y valores enseñados y el apoyo incondicional hacia sus hijos.

A mis hermanos Ximena, Nelson, Ronny Brayan,

María Luisa y a mis sobrinos Joaquín y Alejandra, por todas las alegrías y momentos felices compartidos.

AGRADECIMIENTOS

Agradecer a Dios por la vida, y por todo lo que tengo alrededor, gracias a él por darme una familia tan hermosa y llena de felicidad.

A todos y cada uno de los miembros de mi familia, a mis padres el Sr. Nelson Barrientos Serrano, a mi Mamita María Luisa Llanos de Barrientos, mis hermanos Ximena, Nelson, Ronny Brayan, María Luisa. Por el apoyo incondicional en todo momento, y en todo lugar que se encontraron, por el apoyo brindado durante todos estos años de estudio en la universidad.

A mis sobrinos Alejandra Stephanie y Joaquín Antonio, por la alegría que traen a nuestro hogar, y por hacernos entender que los niños son la alegría de este mundo.

Agradecer de manera especial a mis asesores, a la Ing. Ph.D. Magali García y, por haberme brindado todos sus conocimientos y asesoría profesional para la culminación de este trabajo de investigación.

Al Ing. Víctor Paye, que durante su permanencia en la Estación Experimental de Cota-Cota impulso de manera personal el desarrollo de este trabajo, agradecer por los momentos compartidos y al trabajo desempeñado en instalaciones de la misma.

A los miembros del tribunal revisor, al Ing. Eduardo Oviedo Farfán, a la Ing. Cristal Taboada, por el tiempo brindado y por todas las correcciones oportunas al presente trabajo de investigación.

De forma muy agradecida al Ing. René Calatayud, por facilitarnos un área de trabajo en la Estación Experimental de Cota-Cota, y por todas las facilidades dadas para el normal desarrollo del trabajo.

Un agradecimiento muy especial al Ing. Ph.D. Félix Marza, por la contribución a este trabajo, brindando su amplio conocimiento a la conclusión de este trabajo.

Al Arq. Juan Pedro Quisbert, de manera muy particular agradecer por todo lo aprendido durante mi permanencia como auxiliar de la materia de Construcciones Rurales y por considerarme como un amigo.

Agradecer de manera especial al Ing. Antonio Saravia, Gerente General de la Granja "Tomatito", por facilitarnos las condiciones de trabajo dentro sus dependencias, y por todos los consejos y recomendaciones adquiridas durante mi estadía en esta importante empresa agrícola.

También agradecer a los trabajadores de la granja "Tomatito", por su colaboración, la confraternización y los consejos otorgados durante el desarrollo de este trabajo.

A mis grandes amigos, que participaron de manera personal al desarrollo de este trabajo, a Waldir Cruz Pérez, y a Limberth Baptista, gracias por su colaboración.

A mis amigos con los cuales compartimos muchos años de estudio dedicado y alegremente concluimos la carrera de manera satisfactoria, a Ester Tinco, Maribel Gutiérrez, Clara Butrón, Arturo Escalante, Marco Quezada, Sergio Placencio, por brindarnos el compañerismo y amistad.

Agradecer muy especialmente a mi gran amigo y compañero de colegio, Jorge Tantani Torrez, por brindarme la posibilidad de ser parte del centro de estudiantes de Carrera, al centro CE-CIA FE-AGRO, por todas las satisfacciones logradas durante esos dos años, en especial referentes a temas deportivos.

A todos los compañeros y amigos que brindaron el apoyo académico y moral para la culminación de este trabajo.

Para esa personita especial que me ayudo a concluir este trabajo, por ser parte de mi vida y por siempre impulsarme a terminar este trabajo.

A todos mil gracias.

CONTENIDO

<i>INDICE GENERAL.....</i>	<i>ii</i>
<i>INDICE DE CUADROS.....</i>	<i>v</i>
<i>INDICE DE FIGURAS.....</i>	<i>vi</i>
<i>INDICE DE ANEXOS.....</i>	<i>viii</i>
<i>RESUMEN.....</i>	<i>ix</i>

INDICE GENERAL

1.	INTRODUCCIÓN.....	1
1.1.	Objetivos.....	3
1.1.1.	Objetivo general.....	3
1.1.2.	Objetivos específicos.....	3
1.2.	Hipótesis	3
2.	REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA.....	4
2.1.	Radiación solar y luz	4
2.1.1.	Radiación solar.....	4
2.1.2.	Luz	4
2.1.3.	Intensidad lumínica.....	6
2.1.4.	Candela.....	6
2.2.	Plásticos de cubierta para ambientes atemperados.....	6
2.2.1.	Polímeros.....	6
2.2.2.	Proceso de fabricación de as cubiertas para invernaderos.....	8
2.2.3.	Aditivos.....	10
2.2.4.	Estabilizantes a la luz ultravioleta.....	10
2.3.	Ambientes atemperados.....	11
2.3.1.	Cubiertas para ambientes atemperados.....	11
2.3.2.	Propiedades ideales de cubierta para ambientes atemperados.....	11
2.3.3.	Cultivo de lechuga	14
2.3.4.	Riego.....	14
2.3.5.	Manejo del cultivo	15
2.3.6.	Requerimientos edafoclimáticos.....	15
3.	MATERIALES Y MÉTODOS.....	17
3.1.	Localización	17
3.1.1.	Ubicación geográfica.....	17
3.1.2.	Descripción agroecológica y edafoclimática.....	19

3.2.	<i>Materiales</i>	21
3.2.1.	<i>Materiales ambientes atemperados experimentales</i>	21
3.2.2.	<i>Instrumentos de medición</i>	21
3.2.3.	<i>Material vegetal</i>	22
3.2.4.	<i>Material del cultivo</i>	22
3.2.5.	<i>Material de campo</i>	22
3.3.	<i>Metodología</i>	23
3.3.1.	<i>Procedimiento experimental</i>	23
3.3.2.	<i>Análisis estadístico</i>	31
3.4.	<i>Variables de respuesta</i>	33
3.4.1.	<i>Variables microclimáticas</i>	33
4.	<i>RESULTADOS Y DISCUSIÓN</i>	36
4.1.	<i>Localidad Parcopata (Altiplano)</i>	36
4.1.1.	<i>Intensidad lumínica</i>	36
4.1.2.	<i>Transmitancia global de luz</i>	38
4.1.3.	<i>Temperatura promedio</i>	39
4.1.4.	<i>Temperatura máxima</i>	40
4.1.5.	<i>Temperatura mínima</i>	42
4.1.6.	<i>Humedad relativa</i>	44
4.1.7.	<i>Análisis multivariado variables microclimáticas, Parcopata</i>	45
4.2.	<i>Localidad Cota-Cota (Cabecera de valle)</i>	48
4.2.1.	<i>Intensidad lumínica</i>	48
4.2.2.	<i>Transmitancia global de luz</i>	50
4.2.3.	<i>Temperatura promedio</i>	51
4.2.4.	<i>Temperatura máxima</i>	52
4.2.5.	<i>Temperatura mínima</i>	53
4.2.6.	<i>Humedad relativa</i>	54
4.2.7.	<i>Análisis multivariado variables microclimáticas, Cota-Cota</i>	55
4.3.	<i>Localidad Huajchilla (Valle mesotérmico)</i>	58

4.3.1.	<i>Intensidad lumínica</i>	58
4.3.2.	<i>Transmitancia global de luz</i>	60
4.3.3.	<i>Temperatura promedio</i>	60
4.3.4.	<i>Temperatura máxima</i>	62
4.3.5.	<i>Temperatura mínima</i>	63
4.3.6.	<i>Humedad relativa</i>	64
4.3.7.	<i>Análisis multivariado variables microclimáticas, Huajchilla</i>	66
4.3.8.	<i>Variables de cultivo</i>	67
4.3.9.	<i>Análisis multivariado, localidad Huajchilla</i>	76
4.4.	<i>Plásticos de cubierta</i>	79
4.4.1.	<i>Ingeplas</i>	79
4.4.2.	<i>Belén</i>	79
4.4.3.	<i>Flor de empresa</i>	80
4.4.4.	<i>Plasticbol</i>	81
4.4.5.	<i>Plastifill</i>	81
4.5.	<i>Análisis económico</i>	82
5.	CONCLUSIONES	84
6.	RECOMENDACIONES	86
7.	BIBLIOGRAFÍA	88
8.	ANEXOS	92

INDICE DE CUADROS

Cuadro 1.	<i>Densidad de diferentes materiales para cubierta de Ambientes atemperados.....</i>	<i>7</i>
Cuadro 2.	<i>Propiedades del Polietileno de baja densidad.....</i>	<i>8</i>
Cuadro 3.	<i>Temperaturas ideales para el cultivo de lechuga.....</i>	<i>15</i>
Cuadro 4.	<i>Análisis de varianza para intensidad lumínica, Parcopata.....</i>	<i>37</i>
Cuadro 5.	<i>Análisis de varianza para temperatura máxima, Parcopata.....</i>	<i>41</i>
Cuadro 6.	<i>Análisis de varianza para temperatura mínima, Parcopata.....</i>	<i>42</i>
Cuadro 7.	<i>Análisis de varianza para humedad relativa, Parcopata.....</i>	<i>44</i>
Cuadro 8.	<i>Matriz de distancias, variables microclimáticas, Parcopata.....</i>	<i>45</i>
Cuadro 9.	<i>Análisis de Varianza para Intensidad Lumínica, Cota-Cota.....</i>	<i>49</i>
Cuadro 10.	<i>Matriz de distancias, variables microclimáticas, Cota-Cota.....</i>	<i>55</i>
Cuadro 11.	<i>Análisis de varianza para intensidad lumínica, Huajchilla.....</i>	<i>58</i>
Cuadro 12.	<i>Análisis de varianza para temperatura máxima, Huajchilla.....</i>	<i>62</i>
Cuadro 13.	<i>Análisis de varianza para humedad relativa promedio, Huajchilla.....</i>	<i>64</i>
Cuadro 14.	<i>Matriz de distancias, variables microclimáticas, Huajchilla.....</i>	<i>66</i>
Cuadro 15.	<i>Matriz de distancias, variables microclimáticas y de cultivo, Huajchilla.....</i>	<i>77</i>
Cuadro 16.	<i>Características y costos de los plásticos de cubierta utilizados.....</i>	<i>82</i>

INDICE DE FIGURAS

<i>Figura 1.</i>	<i>Espectro electromagnético.....</i>	<i>5</i>
<i>Figura 2.</i>	<i>Maquina procesadora de polietileno para filmes agrícolas.</i>	<i>9</i>
<i>Figura 3.</i>	<i>Lechuga Grand Rapid TBR, en pleno desarrollo.....</i>	<i>16</i>
<i>Figura 4.</i>	<i>Mapa del Estado Plurinacional de Bolivia.....</i>	<i>17</i>
<i>Figura 5.</i>	<i>Mapa del departamento de La Paz.....</i>	<i>18</i>
<i>Figura 6.</i>	<i>Ubicación Granja Tomatito.....</i>	<i>18</i>
<i>Figura 7.</i>	<i>Ubicación C.E. Cota – Cota.....</i>	<i>19</i>
<i>Figura 8.</i>	<i>Ubicación en Huajchilla.....</i>	<i>19</i>
<i>Figura 9.</i>	<i>Instrumentos utilizados.....</i>	<i>21</i>
<i>Figura 10.</i>	<i>Herramientas utilizadas.....</i>	<i>22</i>
<i>Figura 11.</i>	<i>Diseño computarizado de los ambientes atemperados Experimentales.....</i>	<i>23</i>
<i>Figura 12.</i>	<i>Tratamientos establecidos en Cota-Cota.....</i>	<i>25</i>
<i>Figura 13.</i>	<i>Toma de datos con el luxómetro. Parcopata.....</i>	<i>26</i>
<i>Figura 14.</i>	<i>Termómetros utilizados dentro los ambientes atemperados. Parcopata.....</i>	<i>28</i>
<i>Figura 15.</i>	<i>Lechugas antes de la toma de datos. Huajchilla.....</i>	<i>29</i>
<i>Figura 16.</i>	<i>Ambientes atemperados con cultivo en localidad de Huajchilla.....</i>	<i>30</i>
<i>Figura 17.</i>	<i>Croquis experimental.....</i>	<i>32</i>
<i>Figura 18.</i>	<i>Intensidad lumínica promedio por tratamiento, Parcopata.....</i>	<i>36</i>
<i>Figura 19.</i>	<i>Prueba Duncan para intensidad lumínica, Parcopata.....</i>	<i>37</i>
<i>Figura 20.</i>	<i>Transmitancia Global de Luz, Parcopata.....</i>	<i>38</i>
<i>Figura 21.</i>	<i>Temperatura promedio. Parcopata.</i>	<i>40</i>
<i>Figura 22.</i>	<i>Prueba Duncan para temperatura máxima, Parcopata.....</i>	<i>41</i>
<i>Figura 23.</i>	<i>Prueba Duncan para temperatura mínima, Parcopata.....</i>	<i>43</i>
<i>Figura 24.</i>	<i>Prueba Duncan para humedad relativa promedio, Parcopata.....</i>	<i>44</i>
<i>Figura 25.</i>	<i>Correlación de variables respecto a la intensidad lumínica,</i>	

	<i>Parcopata</i>	46
Figura 26.	<i>Intensidad lumínica promedio por tratamiento para la localidad de Cota-Cota</i>	48
Figura 27.	<i>Prueba Duncan para Intensidad Lumínica, Cota-Cota</i>	49
Figura 28.	<i>Transmitancia Global de Luz por tratamiento, Cota- Cota</i>	50
Figura 29.	<i>Temperatura promedio, Cota-Cota</i>	51
Figura 30.	<i>Temperatura máxima, Cota-Cota</i>	52
Figura 31.	<i>Temperatura mínima, Cota-Cota</i>	53
Figura 32.	<i>Prueba Duncan para humedad relativa promedio, Cota-Cota</i>	54
Figura 33.	<i>Correlación de variables respecto a la intensidad lumínica, Cota-Cota</i>	56
Figura 34.	<i>Prueba Duncan para intensidad lumínica, Huajchilla</i>	58
Figura 35.	<i>Transmitancia global de luz, Huajchilla</i>	60
Figura 36.	<i>Prueba Duncan para temperatura promedio, Huajchilla</i>	61
Figura 37.	<i>Prueba Duncan para temperatura máxima, Huajchilla</i>	62
Figura 38.	<i>Prueba Duncan para temperatura mínima. Huajchilla</i>	63
Figura 39.	<i>Prueba Duncan para humedad relativa promedio, Huajchilla</i>	65
Figura 40.	<i>Correlación variables respecto a la intensidad lumínica</i>	66
Figura 41.	<i>Prueba Duncan para peso total, Huajchilla</i>	67
Figura 42.	<i>Prueba Duncan para peso de hojas, Huajchilla</i>	68
Figura 43.	<i>Prueba Duncan para peso de raíz, Huajchilla</i>	69
Figura 44.	<i>Prueba Duncan para número de hojas, Huajchilla</i>	70
Figura 45.	<i>Prueba Duncan para ancho de hojas, Huajchilla</i>	71
Figura 46.	<i>Prueba Duncan para diámetro del cuello de la planta, Huajchilla</i>	72
Figura 47.	<i>Prueba Duncan para contenido de látex, Huajchilla</i>	73
Figura 48.	<i>Prueba Duncan para el color de hojas maduras, Huajchilla</i>	74
Figura 49.	<i>Prueba Duncan para daño en hojas, Huajchilla</i>	75
Figura 50.	<i>Correlación de variables respecto a la intensidad lumínica, Huajchilla</i>	77

INDICE DE ANEXOS

Anexo 1.	<i>Lechugas a los 50 días de la siembra, cultivadas en bolsas, localidad de Huajchilla.....</i>	<i>93</i>
Anexo 2.	<i>Resistencia de los ambientes atemperados experimentales a la nevada, Parcopata.....</i>	<i>93</i>
Anexo 3.	<i>Ambientes atemperados experimentales, Cota-Cota.....</i>	<i>94</i>
Anexo 4.	<i>Ambientes atemperados experimentales, localidad de Huajchilla.....</i>	<i>94</i>
Anexo 5.	<i>Tabla de equivalencias, Candelas vs Lux.....</i>	<i>95</i>
Anexo 6.	<i>Unidades fotométricas utilizadas en la agricultura.....</i>	<i>96</i>
Anexo 7.	<i>Cuadro resumen. Análisis de varianza variables microclimáticas localidad de Cota-Cota.....</i>	<i>97</i>
Anexo 8.	<i>Cuadro resumen, análisis de varianza variables microclimáticas para la localidad de Parcopata.....</i>	<i>98</i>
Anexo 9.	<i>Cuadro resumen, análisis de varianza variables microclimáticas para la localidad de Huajchilla.....</i>	<i>99</i>

RESUMEN

El presente trabajo devela algunas características propias que poseen los plásticos utilizados para cubiertas de ambientes atemperados en nuestro territorio, principalmente la intensidad lumínica en tres localidades de estudio, entre ellas la localidad de Parcopata (altiplano), la localidad de Cota-Cota (cabecera de valle) y la localidad de Huajchilla (Valle mesotérmico).

Para la localidad de Parcopata, la intensidad lumínica a campo abierto fue de 7924,3 cd, el plástico común Plastifill registró 6317,87 cd, El agrofilm Ingeplas con 5432,1 cd, Flor de Empresa con 4830,71 cd, Plasticbol con 4373,96 cd y Belén con 4343,78 candelas. Mostrando los valores más altos de intensidad. Y las condiciones climáticas más adversas para los ambientes atemperados. En la localidad de Cota-Cota, la intensidad lumínica a campo abierto fue de 7663,1 candelas en promedio. Seguida por los agro filmes Plastifill con 6198, 1 cd, Ingeplas con 5420,5 cd, Flor de Empresa con 4772,7 cd, Belén con 4377,1 cd y Plasticbol con 4326,4 candelas. Demostrando que no existe diferencia estadística significativa entre el calibre del plástico y la capacidad de Transmitancia que este posee. La localidad de Huajchilla mostró valores de intensidad lumínica en orden decreciente de la siguiente manera, a campo abierto (exterior) de 7857,9 cd, Plastifill 6229,9 cd, Ingeplas 5621,6 cd, Flor de Empresa 4922,4 cd, Belén 4532,9 cd y Plasticbol con 4501,9 candelas.

La intensidad lumínica influye directamente sobre la temperatura máxima de manera proporcional, además la intensidad lumínica influye de manera inversamente proporcional a la humedad relativa del ambiente.

El peso total de planta obtenido para el cultivo de lechuga en la localidad de Huajchilla, fue el más alto para el plástico Plasticbol con un promedio de peso de

120,43 gramos, seguido por los plásticos Belén con 89,92 g, Flor de Empresa con 86,46 g, Ingeplas con 80,10 g y Plastifill con 78,45 g. Siendo la sumatoria de variables microclimáticas influyentes para el desarrollo del cultivo. El color de las hojas y el daño en hojas por factores no bióticos, es directamente afectado por la intensidad lumínica, siendo estas características de comercialización, mostrando que la intensidad afecta en la calidad del producto final, en este caso las hojas de la lechuga.

Se demostró que la intensidad lumínica depende directamente de la calidad del plástico, el contenido de aditivos estabilizantes frente a la radiación ultravioleta, además del color que presenta cada plástico, siendo el óptimo un color amarillo intenso, que disipa de mejor manera la radiación solar dentro los ambientes atemperados. Así mismo los ambientes atemperados en regiones frías, deben contar con cerramientos laterales con materiales térmicos, y ventilación eficiente en horas de mayor intensidad lumínica. Además se evidenció que época invernal, se obtienen mejores rendimientos para el cultivo de lechuga a bajas intensidades lumínicas, cercanas al requerimiento promedio del cultivo.

Los fabricantes nacionales de plásticos deben mejorar las características de sus filmes agrícolas, principalmente las propiedades ópticas, porque estos influyen directamente sobre los rendimientos en cultivo, los costos de producción y la calidad de los vegetales obtenidos en los ambientes atemperados. De esta forma se develó que el calibre o micronaje en grosor de los plásticos de cubierta no tiene ninguna influencia sobre la transmisión de la luz al interior de los ambientes atemperados, solamente influye en la resistencia y durabilidad del material.

1. INTRODUCCION

El altiplano Boliviano y los valles presentan una serie de factores naturales que limitan la intensificación de la agricultura tales como el déficit hídrico, heladas y granizadas en la mayor parte del año, además de fuertes vientos, que aceleran procesos de desertificación. Esta situación generó en los últimos años un impulso de manera considerable en la producción de hortalizas bajo ambientes atemperados como una alternativa de producción por la experiencia de rentabilidad, alta demanda y corto periodo vegetativo.

La construcción de ambientes atemperados se adapta positivamente a las condiciones ecológicas de nuestro altiplano y valles, incrementando la producción vegetal de hortalizas, flores, frutales de porte bajo y algunas especies forestales. Sin embargo la técnica de producción dentro de ambientes atemperados es una técnica que requiere conocimientos básicos sobre el diseño, construcción y la producción, para evitar fracasos productivos y económicos.

El desarrollo equilibrado de los cultivos dentro de los ambientes atemperados depende de variables como la intensidad lumínica, temperatura, humedad, concentración de dióxido de carbono y de oxígeno, de tal forma que incidan favorablemente sobre los procesos fisiológicos. A su vez, estos factores están íntimamente relacionados entre sí y actúan sobre el crecimiento vegetativo.

Los estudios previos realizados sobre ambientes atemperados se centran en variables netamente microclimáticas, sin tomar en cuenta que la producción vegetal que se desarrolla al interior de los ambientes atemperados depende del aprovechamiento directo de la radiación solar, variable no tomada en cuenta en el diseño de los ambientes atemperados.

La intensidad lumínica es un factor determinante para el desarrollo vegetativo, ya que las especies vegetales poseen rangos de iluminación en los que desarrollan de manera adecuada, siendo este factor muy poco estudiado o tomado en cuenta al momento del diseño de los ambientes atemperados, evidenciándose posteriormente en malos rendimientos o requerimientos adicionales de insumos en la producción.

Los plásticos de cubierta para ambientes atemperados fabricados en nuestro medio, basan sus características en estándares internacionales, los cuales no reflejan las necesidades específicas de nuestras regiones de producción, en especial las del altiplano, tomando en cuenta en sus procesos de fabricación únicamente como factor de calidad la duración de los plásticos, agregando aditivos fotoestabilizadores de la radiación ultravioleta a sus productos, retrasando el envejecimiento de los plásticos, sin tomar en cuenta otros factores como la transmisión global de la luminosidad, intensidad lumínica, difusión de la luz, entre otros. Así mismo el grosor de los plásticos, está relacionado solamente con la resistencia a los factores climáticos tales como lluvia, granizo, heladas, vientos y agentes de daños físicos sobre las cubiertas.

De esta forma esta investigación se encarga de dar a conocer cuál es la incidencia real de la intensidad de la luz, sobre variables microclimáticas al interior de los ambientes atemperados y un cultivo de referencia. Así mismo, se presentan las características propias de los plásticos utilizados, con información relevante para el posterior diseño de ambientes atemperados a escalas productivas, para las tres zonas de mayor producción en el departamento de La Paz.

1.1. Objetivos

1.1.1. Objetivo general

- Determinar la intensidad lumínica en plásticos de cubierta para ambientes atemperados en tres localidades del departamento de La Paz, para establecer su factibilidad de uso.

1.1.2. Objetivos específicos

- Determinar la intensidad lumínica de los plásticos probados sobre los ambientes atemperados diseñados, en las tres localidades en estudio.
- Estimar el efecto de la intensidad lumínica sobre factores microclimáticos dentro de los ambientes atemperados en las tres localidades en estudio.
- Cuantificar el efecto de los plásticos de cubierta sobre el cultivo de lechuga en una localidad de estudio.

1.2. Hipótesis

- Ho. La intensidad lumínica medida dentro los ambientes atemperados es la misma para las tres localidades en estudio, para todos los plásticos estudiados.
- Ho. La intensidad lumínica dentro los ambientes atemperados no influye sobre otros factores microclimáticos en las tres localidades estudiadas.
- Ho. El efecto de los plásticos sobre el cultivo de lechuga es igual para la localidad de estudio.

2. REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA

2.1. Radiación solar y luz

2.1.1. Radiación solar

La radiación solar es la energía emitida por el Sol, que se propaga en todas las direcciones a través del espacio mediante ondas electromagnéticas. Esa energía es el motor que determina la dinámica de los procesos atmosféricos y el clima. La energía procedente del sol es radiación electromagnética proporcionada por las reacciones del hidrogeno en el núcleo del sol por fusión nuclear y emitida por la superficie solar.

El sol emite energía en forma de radiación de onda corta. Después de pasar por la atmósfera, donde sufre un proceso de debilitamiento por la difusión, reflexión en las nubes y de absorción por las moléculas de gases (como el ozono y el vapor de agua) y por partículas en suspensión, la radiación solar alcanza la superficie terrestre oceánica y continental que la refleja o la absorbe. (Valero, 1986)

2.1.2. Luz

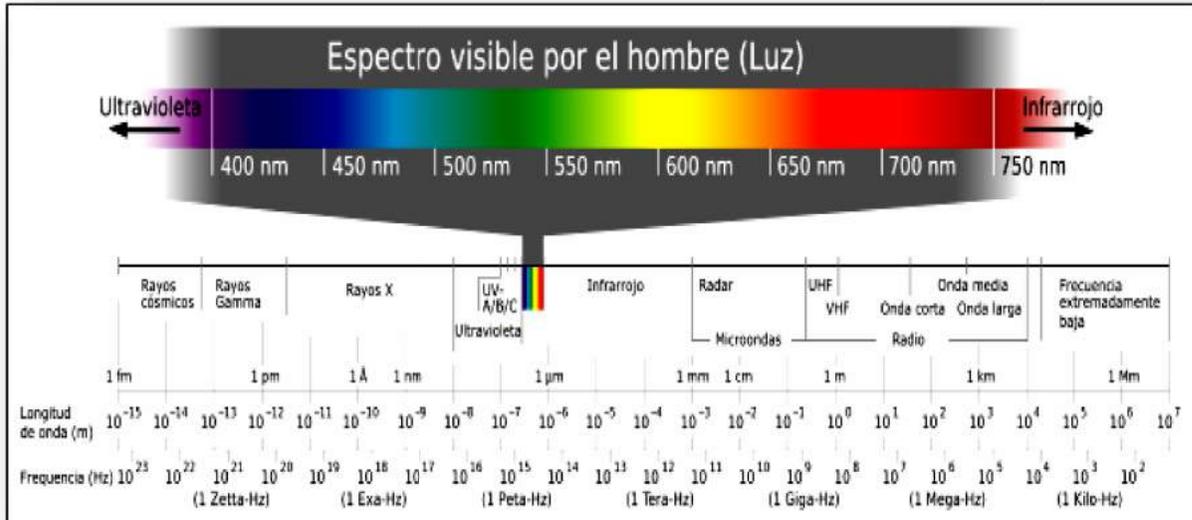
La luz, llamada también luz visible o luz blanca, es uno de los componentes del espectro electromagnético, y se define como aquella parte del espectro de radiación que puede percibir la sensibilidad del ojo humano.

La radiación electromagnética se puede ordenar en un espectro que se extiende desde longitudes de onda corta de billonésimas de metro (frecuencias muy altas) hasta longitudes de onda larga de muchos kilómetros (frecuencias muy bajas). (Manú, 2003).

La luz visible es sólo una pequeña parte del espectro electromagnético. Por orden creciente de longitudes de onda (o decreciente de frecuencias), el espectro

electromagnético está compuesto por rayos gamma, rayos X duros y blandos, radiación ultravioleta, luz visible, rayos infrarrojos, microondas y ondas de radio. (Manú, 2003).

Figura 1. Espectro electromagnético.



Fuente. Tipler, 1994.

La luz es un factor imprescindible para llevar adelante una serie de procesos fisiológicos en las plantas, siendo el más importante de todos la “fotosíntesis”. Los pigmentos vegetales involucrados en la fotosíntesis son las antocianinas (azul, y púrpura en color), los carotenoides (naranjas y amarillos en color) que absorben 450-500 nm (azul y verde) y pueden cambiar energía con la clorofila para ayudar en la fotosíntesis; los fitocromos que absorben la luz roja (660 nm) y la luz roja extrema (730 nm) siendo responsables por la fotomorfogénesis y por las respuestas de fotoperiodismo. (Caldari, 2007).

Las hojas absorben eficazmente la luz en las longitudes de onda de las regiones del azul (400–500 nm) y rojo (500–600 nm) del espectro de radiación solar. Las longitudes de onda que las plantas se utilizan son llamadas de luz fotosintéticamente activa (400 a 700 nm, cerca de 45 al 50% de la radiación global). (Caldari, 2007).

2.1.3. Intensidad lumínica

Intensidad lumínica se define como la cantidad de flujo luminoso que emite una fuente por unidad de ángulo sólido. Su unidad de medida en el Sistema Internacional de Unidades es la candela (cd), que es una unidad fundamental del sistema. (Conferencia General de Pesas y Medidas, 1979).

2.1.4. Candela

Según la Conferencia General de Pesas y Medidas (CGPM), una candela (cd) se define como la intensidad luminosa de una fuente de luz monocromática de 540 THz que tiene una intensidad radiante de 1/683 vatios por estereorradián, o aproximadamente 1.464 mW/sr.

La frecuencia de 540 THz corresponde a una longitud de onda de 555 nm, que se corresponde con la luz verde pálida cerca del límite de visión del ojo. Ya que hay aproximadamente 12.6 estereorradianes en una esfera, el flujo radiante total sería de aproximadamente 18.40 mW, si la fuente emitiese de forma uniforme en todas las direcciones. (CGPM, 1979).

2.2. Plásticos de cubierta para ambientes atemperados

2.2.1. Polímeros

Los polímeros son macromoléculas cuyo elevado tamaño se ha conseguido por la unión de moléculas más pequeñas, llamadas monómeros. El polímero se forma uniendo estas pequeñas moléculas, una a continuación de otra, a modo de eslabones de una cadena. El número de eslabones o unidades de monómeros se denomina grado de polimerización y el proceso por el que se realiza esta unión, polimerización.

Los polímeros se emplean en diferentes aplicaciones agrícolas, tanto en forma de filmes (cubierta de túneles, de invernaderos, acolchados, solarización, ensilaje, etc.). Sucede que diferentes formas de un mismo plástico puede tener diferentes aplicaciones. Tal es el caso del polietileno de baja densidad (LDPE) material empleado en aplicaciones tan diferentes y diversas. (Caldari, 2007).

A continuación se presentan los materiales y plásticos más utilizados en la agricultura.

Cuadro 1. Densidad de diferentes materiales para cubierta de ambientes atemperados.

Material	Densidad (g/cm ³)
Polietileno lineal de baja densidad (LLDPE)	0.905 – 0.940
Polietileno de baja densidad (LDPE)	0.915 – 0.930
Polietileno de media densidad	0.930 – 0.940
Polietileno de alta densidad (HDPE)	0.940 – 0.960
Polipropileno	0.900 – 0.910
Copolímero etileno-acetato de vinilo (EVA)	0.920 – 0.930
Copolímero etileno-acrilato de butilo (EBA)	0.920 – 0.930
Policloruro de vinilo (flexible) (PVC)	1.250 – 1.500
Policloruro de vinilo rígido normal (PVC)	1.350 – 1.460
Policloruro de vinilo de alto impacto (PVC)	1.340 – 1.400
Poliestireno cristal (PS)	1.050
Poliestireno antichoque (PS)	1.040 – 1.070
Poliamida (PA)	1.030 – 1.140
Polimetacrilato de metilo (PMMA)	1.180
Poliéster / fibra de vidrio	1.500 – 1.600
Vidrio	2.400

Fuente. CEPLA 2006.

La densidad del plástico es su principal ventaja ya que facilita el manejo, la colocación, el transporte y menor rigidez de las estructuras.

2.2.2. Polietileno de baja densidad

El polietileno de baja densidad (*low density polyethylene*, LDPE) es el polietileno más utilizado en filmes agrícolas. El etileno, procedente del craqueo de la nafta, es el monómero de los polietilenos, su composición química es $CH_2=CH_2$.

Las propiedades que hacen del LDPE uno de los polímeros de mayor consumo son su excelente aislamiento eléctrico, buena procesabilidad, flexibilidad, buenas propiedades mecánicas (dureza, tenacidad y resistencia), resistencia química y buena transparencia.

Las principales propiedades del polietileno de baja densidad (LDPE) se presentan a continuación.

Cuadro 2. Propiedades del Polietileno de baja densidad

Propiedad	LDPE
Fotoestabilidad	+ / -
Transparencia	-
Termicidad	-
Propiedades mecánicas	+ / -
Fluencia	+
Soldadibilidad	+
Extrusión	+

(+) bueno, (+/-) intermedio, (-) malo.

Fuente CEPLA, 2006.

2.2.3. Proceso de fabricación de las cubiertas para invernadero

Las películas plásticas usadas en la agricultura se fabrican mediante el proceso del soplado del film. La materia prima en forma de granos se introduce en el sistema de alimentación de la extrusora. Los sistemas de alimentación admiten uno o varios

componentes. De esta forma se puede partir del polímero granulado, al que se le añaden los aditivos que le dan al polímero las características que el agricultor demanda, o directamente los gránulos de polímero vienen mezclados de antemano con los aditivos.

Figura 2. Maquina procesadora de polietileno para filmes agrícolas.



Fuente. Flor de Empresa, 2009.

Estos gránulos y los aditivos pasan a alimentar la extrusora en cantidades dosificadas dependiendo el fabricante y las características deseadas en el producto final.

Una vez fundido el polímero y los aditivos dentro la extrusora pasa por una serie de camisas y tornillos extrusores que permiten que el polímero fluye de manera líquida o viscosa hacia la camisa, la cual transmite el polímero fundido hacia el cabezal de extrusión y posteriormente hacia el anillo de enfriamiento. Es en este anillo donde el polímero adquiere la forma cilíndrica, ayudada por un flujo de aire que hace que la burbuja se expanda y adquiera el tamaño y grosor deseado.

Esta burbuja, atraviesa unas placas guía, las cuales uniformizan el tamaño, a manera que el plástico se enfría. Una vez frío, el polímero es guiado hacia los plegadores que conducen a este hacia los rodillos que estiran y enrollan al film para ser enrollados sobre cilindros de cartón que le dan la forma comercial al filme agrícola. (CEPLA, 2006).

2.2.4. Aditivos

Un aditivo es una sustancia que se agrega a otra para darles cualidades de las que carecen o para mejorar las que poseen. En el caso de los plásticos, se consideran aditivos a los materiales que van dispersos físicamente en una matriz polimérica sin afectar a su estructura molecular. Son especialidades químicas que, añadidas en pequeñas cantidades durante la fabricación del plástico agrícola, mejoran su peso total permitiendo alcanzar mayor duración y prestaciones. (CEPLA, 2006).

2.2.5. Estabilizantes a la luz ultravioleta

La exposición del plástico a los rayos UV de la luz solar inicia reacciones químicas como la oxidación foto-térmica, que provoca la disminución progresiva de las propiedades físicas y ópticas del plástico. Como consecuencia, la protección contra los rayos UV es de vital importancia en los plásticos expuestos a la intemperie. (CEPLA, 2006).

2.3. Ambientes Atemperados

Según Matallana (2001), Invernadero es un espacio con el microclima apropiado para el óptimo desarrollo de una plantación específica, por lo tanto, partiendo del diseño deben obtenerse en él, la temperatura, humedad relativa y ventilación apropiadas que permitan alcanzar alta productividad a bajo costo, en menos tiempo, sin daño ambiental, protegiéndose de las lluvias, las heladas, o los excesos de viento que pudieran perjudicar un cultivo.

2.3.1. Cubiertas para ambientes atemperados

Para escoger la cubierta adecuada es necesario tener en cuenta la situación geográfica, las temperaturas máxima, mínima y media, las posibilidades de heladas, el régimen de vientos, la humedad relativa, el régimen de lluvias, la radiación solar, la especie que se va a sembrar. (Flores 2006).

2.3.2. Propiedades ideales de cubierta para ambientes atemperados

La eficiencia del polietileno en la actividad agrícola se establece comparando producciones bajo invernadero y al aire libre con idénticos productos en zonas iguales. La cubierta no se usa solamente para evitar que el agua se precipite sobre el cultivo, aunque es muy común esta idea. El polietileno brinda a las plantas protección efectiva en sus diferentes etapas de desarrollo. (CEPLA, 2006).

2.3.2.1. Difusión de luz

Es la propiedad que tienen las cubiertas de cambiar la dirección de los rayos solares distribuyéndola equitativamente por toda el área para beneficiar a todo el invernadero en su conjunto y a la vez impedir que lleguen directamente a la planta. Este factor permite el desarrollo armónico del cultivo y ayuda a obtener frutos más homogéneos y sanos. (Flores 2006).

2.3.2.2. Fotosíntesis

La extensión en que se realiza la fotosíntesis en una planta, depende de una serie de factores internos y externos. Los principales factores internos son la estructura de las hojas y su contenido de clorofila, la acumulación de productos de la fotosíntesis en las células de las partes verdes de la planta y la presencia de pequeñas cantidades de sales minerales.

La mayor eficacia fotosintética se obtiene en general a baja intensidad luminosa, el aumento de la intensidad luminosa de la luz no produce ningún efecto en la velocidad de la fotosíntesis (saturación). El exceso de luz, acompañado de un exceso de calor, produce efectos negativos. A partir de una cierta intensidad luminosa se verifica una detención del incremento de la fotosíntesis (saturación luminosa). La excesiva intensidad de la luz, destruye el aparato fotosintético e inactiva algunas enzimas o sustancias básicas en la actividad de todo ser vivo. (Manú, 2003).

La deficiencia de radiación luminosa, generalmente no actúa como factor limitante. En plantaciones muy densas puede darse defectos de iluminación en las que las hojas inferiores reciben menos radiación. Si hay pocas plantas, estas podrían quemarse. También se pierde un 8 % de la radiación total por efecto de la reflexión por la superficie foliar y otro 10 % se inactiva al ser absorbida por los pigmentos no fotosintéticos, paredes celulares, etc. A todas estas pérdidas deben sumarse la producida por la respiración vegetal, que representa otro 33 %. (Manú, 2003).

2.3.2.3. Microclima

Manejar un microclima que permite controlar y mantener las temperaturas óptimas, aporta en cosechas más abundantes y de mejor calidad, reconocidas en el mercado por mejores precios. Adicionalmente permite programar las cosechas para épocas de escasez. (Flores 2006).

2.3.2.4. Luminosidad

Dentro de un invernadero se puede obtener mayor o menor luminosidad, dependiendo de su diseño y de su cubierta. También es importante tener en cuenta que en días nublados se reduce la transmisión de luz a lo que la transparencia del material de cubierta sobresale en importancia. El espesor no contribuye ni afecta la transmisión de luz al interior del invernadero. Una película calibre 8 (200 micras) transmite prácticamente la misma luz que una cubierta calibre 2 (50 micras). (Flores 2006).

2.3.3. Propiedades mecánicas

Las propiedades mecánicas de las películas o filmes agrícolas definen su comportamiento al aplicarles esfuerzo o deformación, con el objetivo de predecir su comportamiento o servicio, entre las propiedades se tienen: tracción, fluencia, impacto. Estas propiedades determinan su duración y su calidad. (CEPLA, 2006).

2.3.3.1. Estabilización frente a la luz ultravioleta

La adición de foto estabilizadores es la forma más simple y eficaz de retrasar el envejecimiento de los filmes agrícolas usados a la intemperie. La protección contra la radiación UV se basa en disminuir o evitar su absorción por los grupos cromóforos presentes en el polímero, para ello se utilizan absorbentes de radiación UV que absorben dicha radiación y la transforman en calor, disipada dentro la estructura polimérica.

La principal función de los aditivos estabilizantes frente a la luz ultravioleta, es mejorar y prolongar la vida útil del material de cubierta para invernaderos, teniendo los plásticos una duración mínima de dos años. (CEPLA, 2006).

2.4. Cultivo de Lechuga

La lechuga es una planta herbácea anual de la familia de las compuestas. Tallos muy cortos. Hojas verde brillantes sin espinas, las inferiores enteras con peciolo corto. Hojas superiores sésiles, más redondeadas y ovales. Flores amarillas manchadas de violeta en panículas. Su origen se sitúa en Asia, a partir de la especie *Lactuca serriola*. Se encuentra ampliamente cultivada en todo el mundo, presentando numerosas variedades. Algunas veces aparecen asilvestradas. (FAO, 2010)

La lechuga es una planta anual y autógama, pertenece a la familia Asteraceae, y cuyo nombre botánico es *Lactuca sativa L.*

Las principales características de la lechuga son las siguientes:

- Raíz: pivotante, corta y con ramificaciones, no mayores a 25 cm.
- Hojas: colocadas en roseta, desplegadas desde durante todo su desarrollo, con borde ondulado o aserrado.
- Tallo: cilíndrico y ramificado.
- Inflorescencia: capítulo floral amarillo dispuesto en racimos o corimbos.
- Semillas: provistas de vilano plumoso.

Se cultiva por sus hojas en alimentación. Deben recogerse cuando la planta presente una forma consistente al tacto. (FAO. 2010).

2.4.1. Riego

El riego debe ser periódico, no abundante, más habitual en verano. En todo caso es mejor no encharcar la tierra para evitar la aparición de hongos. Al carecer de un sistema radicular amplio, debe evitarse que el subsuelo se seque. Se puede regar mediante goteo o por inundación. La distancia entre filas se debe situar a unos 50 cm y la distancia entre plantas ha de ser de unos 30 cm. Es muy sensible al agua salada, que reduce mucho la producción. (Montes, 2004).

2.4.2. Manejo del cultivo

La plantación se realiza en semillero. Después de un aclarado de ejemplares, cuando hayan aparecido unas 4 hojas deberán ser trasplantadas a su enclave definitivo. Estarán listas para la recolección en un periodo que oscila entre los 45 días para las especies más tempranas y los 90 para las más tardías. (Montes, 2004).

2.4.3. Requerimientos edafoclimáticos

Precisa una tierra ligera, que no se encharque. Es conveniente añadir estiércol, potasio para formación del cogollo y magnesio para que tenga un aspecto bien verde. Es un cultivo que se resiente de un exceso de nitrógeno que puede quemar las hojas. (Montes, 2004).

2.4.3.1. Temperatura

La lechuga exige que haya diferencia de temperaturas entre el día y la noche, además de ser susceptible a cambios bruscos en la temperatura.

Cuadro 3. Temperaturas ideales para el cultivo de lechuga

ESPECIE	T° mínima letal	T° máxima letal	T° mínima biológica	T° máxima biológica	T° óptima
Lechuga	(-6) °C	> 40 °C	6 °C	30 °C	15 – 20 °C

Fuente. FAO, 2010.

2.4.3.2. Humedad

La humedad relativa óptima para el desarrollo de la lechuga está comprendida entre 60 a 80 %, aunque en momentos determinados el cultivo acepta adecuadamente humedades menores. (FAO, 2010).

2.4.3.3. Intensidad luminosa

El cultivo de lechuga es susceptible a cambios bruscos o elevados de intensidad, requiere para su normal y óptimo desarrollo una intensidad de 12000 a 30000 lux, o 1100 a 2700 candelas. (FAO, 2010).

2.4.3.4. Lechuga Grand Rapid TBR

- Color de hoja: Verde claro
- Forma de la hoja: Latispatoide, borde fuertemente rizado
- Nervadura: Medianamente desarrollada
- Tipo cabeza: Suelta, crespa
- Palatabilidad: Regular a buena

Citado en (Montes, 2004).

Figura 3. Lechuga Grand Rapid TBR, en pleno desarrollo.



Fuente. Centro Experimental Cota-Cota. 2010.

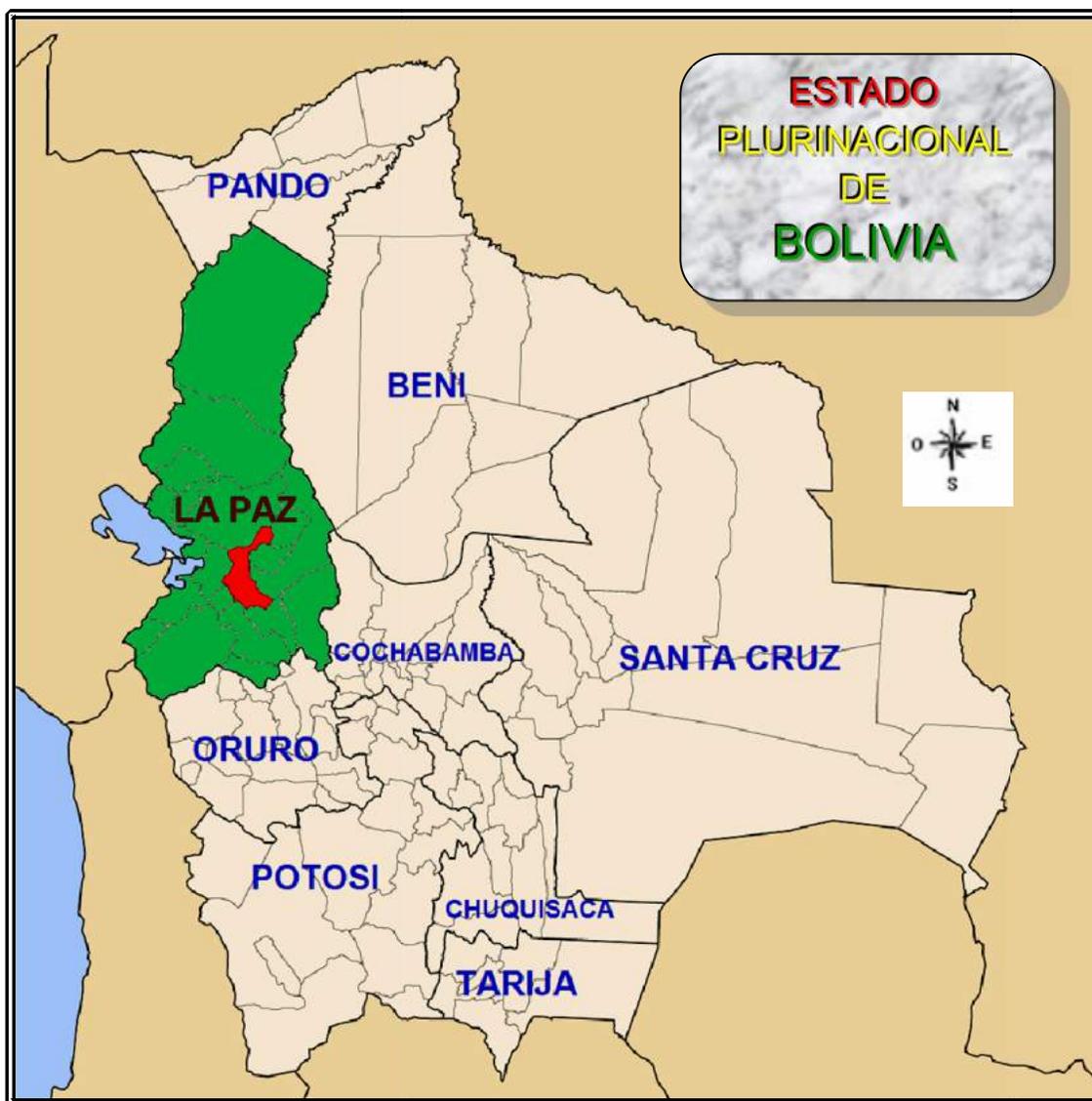
3. MATERIALES Y METODOS

3.1. Localización

3.1.1. Ubicación geográfica

El presente trabajo de investigación fue establecido en tres localidades de la Provincia Murillo del Departamento de La Paz, del Estado Plurinacional de Bolivia.

Figura 4. Mapa del Estado Plurinacional de Bolivia



Fuente. Elaboración propia, Diva Gis, 2010.

Figura 5. Mapa del departamento de La Paz



Fuente. Elaboración propia, Diva Gis, 2010.

3.1.1.1. Parcopata (Altiplano)

La granja Tomatito se encuentra en la ciudad de El Alto, en la zona Parcopata, distante a 30 km de la ciudad de La Paz, se localiza aproximadamente a $16^{\circ}35'47,8''$ latitud Sur, y a $68^{\circ}12'46,8''$ longitud Oeste, se encuentra a una altitud de 3948 m.s.n.m.

Figura 6. Ubicación Granja Tomatito



Fuente. Google Earth. 2010.

3.1.1.2. Centro Experimental Cota-Cota (Cabecera de Valle)

El Centro experimental de Cota-Cota, se encuentra en la zona de Cota-Cota, distante a 20 km del centro de la ciudad de La Paz, está ubicado a $16^{\circ}32'09''$ de latitud Sur, y a $68^{\circ}03'48,7''$ de longitud Oeste. Además de una altitud de 3429 m.s.n.m.

Figura 7. Ubicación C.E. Cota - Cota



Fuente. Google Earth. 2010.

3.1.1.3. Huajchilla (Valle mesotérmico)

La localidad de Huajchilla se encuentra distante a 35 km de la ciudad de La Paz, ubicado a $16^{\circ}37'58,6''$ latitud Sur, y a $68^{\circ}02'50,6''$ longitud Oeste, y a una altitud aproximada de 3015 m.s.n.m.

Figura 8. Ubicación en Huajchilla



Fuente. Google Earth. 2010.

3.1.2. Descripción agroecológica y edafoclimática

3.1.2.1. Parcopata (Altiplano)

Las características climatológicas de la zona son propias del altiplano central y norte, clasificados como estepa espinosa a estepa montano templado – frío, de acuerdo a la clasificación de Holdridge. Presenta suelos arcillo limosos en las planicies, dificultan la infiltración de aguas en la época de lluvias.

En la zona se desarrollan cultivos de papa, quinua, cañahua, cebolla, cebada y avena. Como también se evidencian especies nativas como la thola, paja brava, pastos y otros. En especies forestales se tienen kiswaras, pinos y eucaliptos.

La zona presenta una temperatura promedio anual de 8 °C, con heladas frecuentes entre los meses de abril a agosto, presenta temperatura mínima extrema de -10 °C, y máximas extremas de 20 °C, con una precipitación anual de 500 a 600 mm. (Michel, 1977).

3.1.2.2. Centro Experimental Cota-Cota (Cabecera de Valle)

La zona corresponde a una cabecera de valle, con vegetación arbustiva y herbácea, entre estas se tienen: quinua silvestre (*Chenopodium sep.*), kikuyo (*Penicetum clandestinum*), alfalfa (*Medicago polymorpha*), entre las más preponderantes. También se tienen especies nativas como, solanáceas, compositaceas, chenopodiaceas entre otras. Entre especies arbóreas se cuenta con eucaliptos, acacias, cipreses, pinos, molles, entre otros.

Presenta una precipitación media anual de 521,8 mm, una temperatura máxima anual de 17,7 °C, una temperatura mínima extrema de -0.5 °C, temperatura mínima promedio de 1 °C, una humedad relativa promedio del 50%, y 98 días con heladas. (SENAHMI, 2010).

3.1.2.3. Huajchilla (Valle mesotérmico)

La zona es un valle estrecho rodeado de colinas y montañas que forman la cuenca del río La Paz, presenta laderas de pendiente con presencia de terrazas naturales con baja cobertura vegetal. Los suelos son salinos sódicos de origen coluvio aluvial, provenientes del arrastre sedimentario de colinas adyacentes.

La zona presenta un clima templado y seco característico de un valle mesotérmico. Presenta temperaturas máxima extrema de 32 °C, y mínima extrema de 3 °C, registrándose temperatura promedio de 14 °C, y una precipitación media de 400 mm, concentrada en los meses de enero a marzo. (Killen et. al., 1993).

3.2. Materiales

3.2.1. Materiales ambientes atemperados experimentales

- Polietileno de baja densidad (agofilm):
 - 20 m agofilm “Ingeplas” 250 micras, filtro UV 2 años.
 - 20 m agofilm “Belén” 250 micras filtro UV 2 años.
 - 20 m agofilm “Flor de empresa” 250 micras filtro UV 2 años.
 - 20 m agofilm “Plasticbol” 100 micras filtro UV 2 años.
 - 30 m plástico transparente común “Plastifill”, sin filtro UV.

- Madera:
 - 60 listones 2´x 3´x 1,50 m.
 - 60 piezas de machihembre 3´x ½´x 2,00 m.
 - 75 piezas machihembre 2´x ½´ x 2,00 m.
 - 150 piezas machihembre (varias dimensiones).
 - 60 estacas de madera.
 - 4 kg de clavos (varios calibres).
 - 2 kg de alambre de amarre.
 - 1 rollo de alambre galvanizado calibre 10.

3.2.2. Instrumentos de medición

- Luxómetro digital EXTECH / EA30.
(1 – 400.000 lux, 37.000 candelas).
- Termómetro – Higrómetro digital EXTECH.
- GPS Garmin (modelo etrex, 16 canales).
- 5 termómetros de máximas y mínima.
- 2 Termómetros comunes.
- Trípode.
- Calibrador.
- Balanza analítica (0,00 – 400,00 g).

Figura 9. Instrumentos utilizados



Fuente. Elaboración propia, 2010.

3.2.3. Material vegetal

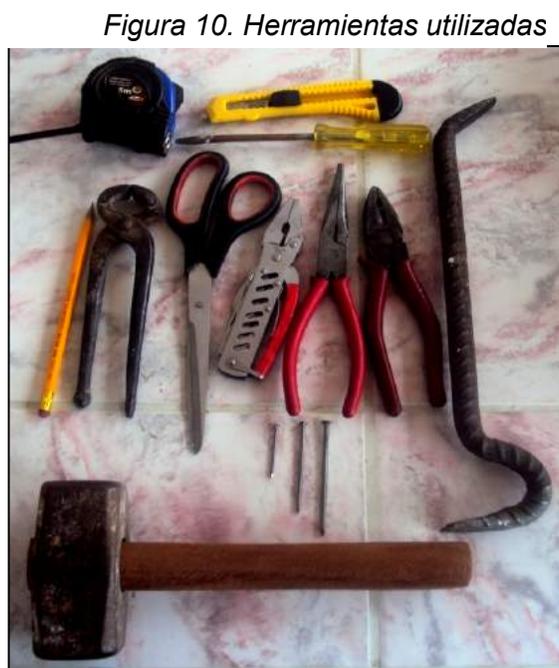
- 1 oz de semilla lechuga variedad “Grand Rapid”, marca SEMINIS.

3.2.4. Material de cultivo

- 1 m³ turba.
- 1 m³ tierra negra.
- 10 kg humus de lombriz.
- 125 bolsas de repique calibre 25 cm x 35 cm.

3.2.5. Material de campo

- Cortadora eléctrica de madera (Gladiator de 3”).
- Martillo.
- Alicate.
- Tenaza.
- Huincha de 50 m.
- Flexómetro de 5 m.
- Tijeras.
- Estilete.
- Calibrador.
- Regadera.
- Pala.
- Picota.
- Planillas y registros.
- Cámara fotográfica.
- Cinta adhesiva.
- Cuerda.
- Tachuelas 1”.
- Navaja.



Fuente. Elaboración propia, 2010

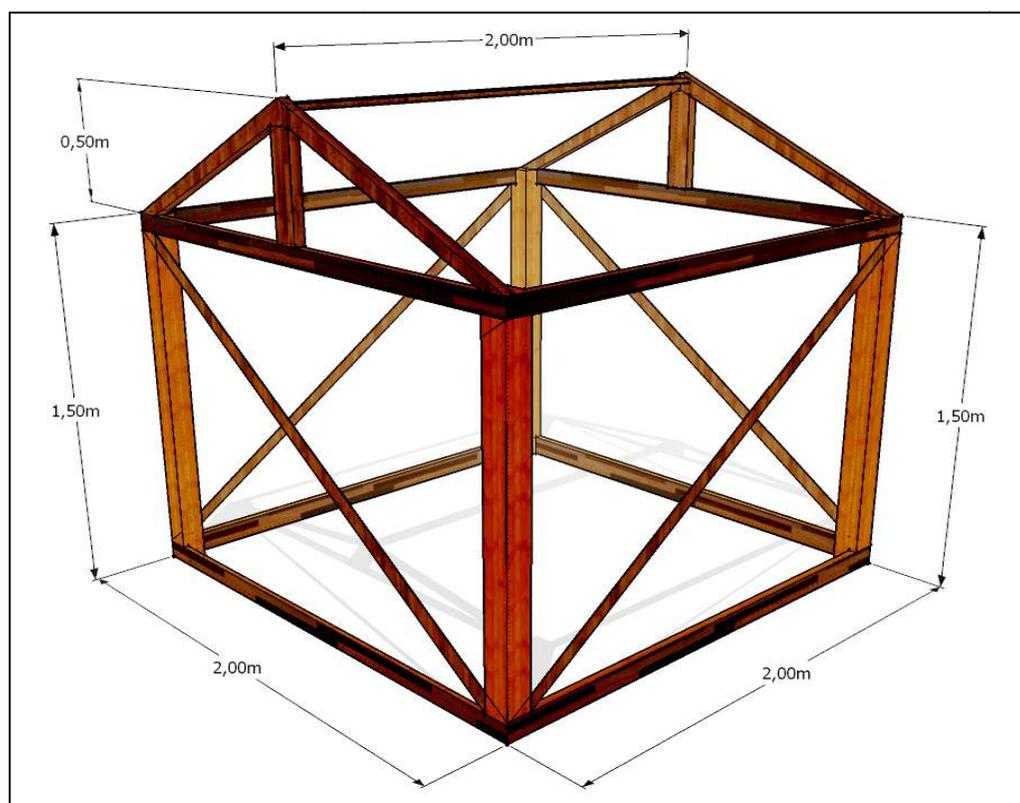
3.3. Metodología

3.3.1. Procedimiento experimental

3.3.1.1. Diseño de los ambientes atemperados experimentales

El diseño de los ambientes fue realizado con el paquete graficador en 3 dimensiones digital Sketchup8 ®. Tanto para la estructura de madera, como para el agrofilm.

Figura 11. Diseño computarizado de los ambientes atemperados experimentales



Fuente. Elaboración propia, 2009.

3.3.1.1.1. Características de los ambientes atemperados experimentales

- | | |
|------------------|-----------------------------|
| - Caída de techo | A dos aguas o tipo capilla. |
| - Ventilación | Por apertura lateral |
| - Perímetro | 2 m x 2 m x 2 m x 2 m. |
| - Volumen | 7 m ³ |

- Área cubierta	4 m ²
- Ancho modelos	2 m ²
- Largo modelos	2 m ²
- Altura menor	1,50 m
- Altura mayor	2,00 m
- Numero de bolsas por ambiente	25
- Marco de plantación	30 cm x 30 cm

3.3.1.2. Construcción ambientes atemperados experimentales

3.3.1.2.1. Cortado de la madera

Luego de diseñar los ambientes y de haber realizado los cálculos de requerimiento de material, se procedió al cortado de la madera.

Se cortó la madera con la ayuda de la sierra circular, de acuerdo a las medidas establecidas en el diseño. Toda la madera fue preparada en el Centro Experimental de Cota-Cota. La madera preparada fue trasladada a las localidades, para su posterior armado definitivo en el terreno.

3.3.1.2.2. Preparación del terreno

Para las tres localidades se realizó la limpieza del terreno, la nivelación, y además se ubicó con la ayuda del GPS el Norte magnético, para la ubicación correcta de los modelos.

3.3.1.2.3. Armado y anclado en terreno

Los modelos fueron armados en cada localidad de tal forma que posean las mismas características de construcción y ubicación. Una vez armadas las estructuras de

madera, se procedió a asegurar las mismas al suelo, esto para evitar que los vientos y lluvias no afecten a las estructuras. Los anclajes se realizaron con estacas comunes ayudadas con el alambre galvanizado.

3.3.1.2.4. Colocado del agrofilm

Primeramente se corto el agrofilm de acuerdo al diseño establecido, seguidamente se fue colocando el mismo de tal forma que se tenga la mayor superficie del plástico expuesta a la radiación solar.

Paulatinamente se aseguro el agrofilm a la estructura, procurando realizar un tesado adecuado, para tener una superficie eficiente de exposición. En esta etapa además se habilitaron accesos al interior de las estructuras.

Figura 12. Tratamientos establecidos en Cota-Cota.



Fuente. Elaboración propia. 2010

3.3.1.3. Recolección de datos

Los datos obtenidos fueron captados gradualmente, por cada localidad, rotando para cada una los instrumentos, tratando de uniformizar las lecturas semanalmente.

Se realizaron mediciones cuatro veces por semana, comenzando en la localidad de Cota-Cota la primera semana, seguida por la localidad de Parcopata la segunda semana y finalmente la localidad de Huajchilla la tercera semana. Una vez concluido este ciclo se comenzaron las mediciones nuevamente en el orden asignado hasta la conclusión del trabajo de acuerdo al cronograma establecido.

3.3.1.3.1. Intensidad Lumínica exterior

En las tres localidades, estos datos se tomaron en campo abierto en un área representativa, libre de interferencias de cualquier tipo.

Para campo abierto solamente se tomaron datos en días despejados, sin ninguna interferencia de nubosidad o agentes tales como gases de combustión automotor o polvo, desplazados por el viento.

Figura 13. Toma de datos con el luxómetro. Parcopata



Fuente. Elaboración propia. 2010.

3.3.1.3.2. Intensidad lumínica interior

Estos datos se tomaron al interior de cada uno de los modelos, para las tres localidades. Estos datos fueron tomados entre las 9:00 am y las 16:00 pm, dado que

en este intervalo no se presenta ningún tipo de interferencia con respecto a la radiación solar.

3.3.1.3.3. Transmitancia global de luz (TGL)

Restando la cantidad de luz al interior del ambiente atemperado, con la cantidad de luz al exterior del ambiente atemperado. Registrada para determinar el porcentaje de luz que es reflejada por el plástico de cubierta.

3.3.1.3.4. Temperatura exterior

La temperatura exterior fue tomada con un termómetro común marca Meteostar, dejando este instrumento a la intemperie en cada localidad.

3.3.1.3.5. Temperatura interior

La temperatura interior fue medida con la ayuda de un termómetro común, simultáneamente a las mediciones de la intensidad lumínica en cada localidad.

3.3.1.3.6. Temperaturas máximas y mínimas exteriores

Estas mediciones fueron tomadas con la ayuda del termómetro digital, que registró las temperaturas extremas para cada localidad.

3.3.1.3.7. Temperaturas máximas y mínimas interiores

Estas mediciones fueron tomadas con la ayuda de los termómetros de máximas y mínimas, colocados estratégicamente dentro de cada ambiente, registrando las temperaturas nocturnas extremas y diarias extremas para cada localidad.

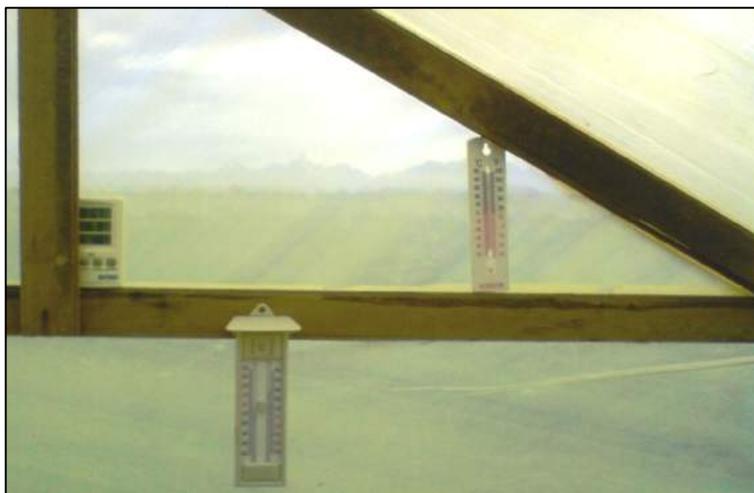
3.3.1.3.8. Humedad relativa exterior

El termómetro-higrómetro registró las humedades extremas a campo abierto para cada localidad.

3.3.1.3.9. Humedad relativa interior

Medida simultáneamente a la temperatura interior y la intensidad lumínica dentro de cada ambiente y para cada localidad.

Figura 14. Termómetros utilizados dentro los ambientes atemperados. Parcopata.



Fuente. Elaboración propia. 2010.

3.3.1.4. Preparación del cultivo

3.3.1.4.1. Siembra

La siembra para la localidad de Huajchilla, fue realizada el día viernes 27 de agosto del año 2010. La siembra fue realizada dentro de los ambientes, colocando 2 semillas en cada bolsa preparada con el sustrato. Luego se procedió a tapar las semillas y posteriormente se regó cada bolsa.

3.3.1.5. Labores culturales

3.3.1.5.1. Riego

El riego se efectuó ayudado por una regadera, realizando riego día por medio, en proporciones idénticas para cada tratamiento.

3.3.1.5.2. Desmalezado

A la par del riego se realizó el desmalezado para cada bolsa de manera individual, para evitar efectos adversos de las malezas sobre el cultivo.

Figura 15. Lechugas antes de la toma de datos. Huajchilla.



Fuente. Elaboración propia. 2010.

3.3.1.5.3. Ventilación

De acuerdo a los requerimientos del cultivo, se adecuaron los ambientes para regular las condiciones microclimáticas. Para ello se realizó una apertura lateral del ambiente para permitir la libre circulación de aire dentro los ambientes.

Esta ventilación se mantuvo abierta a partir de las 09 h, hasta las 15 h. durante todo el ciclo del cultivo. Durante las noches los ambientes se mantuvieron cerrados para evitar que las condiciones externas del ambiente interfiriesen con el normal desarrollo del cultivo.

3.3.1.5.4. Cosecha

La cosecha de todas las bolsas en los ambientes atemperados, se realizó aproximadamente a los 90 días de la siembra, tomando en cuenta la siembra directa del cultivo.

Además se cosecharon todas las bolsas indistintamente del desarrollo vegetativo, ya que este parámetro es determinante para estimar el efecto del material de cubierta sobre el cultivo.

Figura 16. Ambientes atemperados con cultivo en localidad de Huajchilla



Fuente. Elaboración propia. 2010.

3.3.2. Análisis Estadístico

El procedimiento *Modelo Lineal General Multivariante* proporciona un Análisis de Regresión y un Análisis de la Varianza Unidireccional para una variable dependiente (respuesta) con uno o más factores, o covariables.

Con este procedimiento se pueden investigar las interacciones entre los factores, así como los efectos de los factores individuales, algunos de los cuales pueden ser aleatorios. Además se pueden incluir los efectos de las covariables y las interacciones de las covariables con los factores. (Abraira, Pérez de Vargas, 1996)

Dicho procedimiento utiliza un “análisis de efectos principales”, que lleva a cabo comparaciones por parejas no corregidas, entre las medias marginales estimadas para cualquier efecto principal del modelo, tanto para los factores entre sujetos como para los de dentro de los sujetos. De esta forma se determina el efecto de una variable sobre otra, y el grado de significancia entre los tratamientos.

3.3.2.1. Análisis multivariado

El análisis comienza con el cálculo de la matriz de distancias entre los elementos de la muestra (casos o variables). Esa matriz contiene las distancias existentes entre cada elemento y todos los restantes de la muestra. A continuación se buscan los dos elementos más próximos (es decir, los dos más similares en términos de distancia) y se agrupan en un conglomerado.

Este procedimiento calcula similitudes o desigualdades (las distancias), entre los pares de variables o entre los pares de casos. Éstos pueden usarse por similitud o medidas de distancia. El procedimiento que mide la similitud de variables es el método de correlación de Pearson, que valiéndose del coeficiente de correlación asocia a las variables según la similitud que poseen o la influencia entre variables o casos. (SPSS®, 2010).

3.3.2.2. Tratamientos

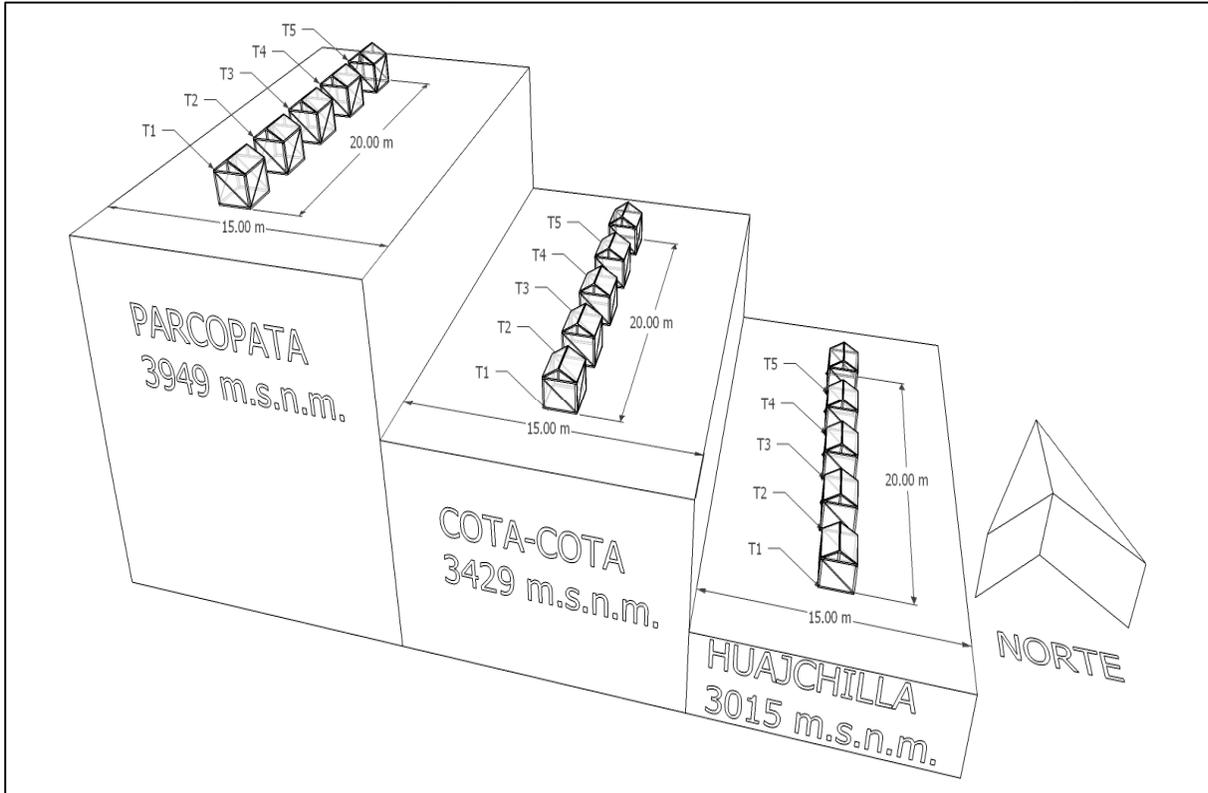
Los tratamientos fueron establecidos de la siguiente forma:

- Tratamiento 1 = agofilm marca "Ingeplas".
- Tratamiento 2 = agofilm marca "Belén".
- Tratamiento 3 = agofilm marca "Flor de Empresa".
- Tratamiento 4 = agofilm marca "Plasticbol".
- Tratamiento 5 = agofilm transparente común "Plastifill".
- Tratamiento 6 = Exterior (Campo abierto)

Cada uno de los tratamientos, fue replicado en las 3 localidades de estudio.

3.3.2.3. Croquis Experimental

Figura 17. Croquis experimental.



Fuente. Elaboración propia, 2010.

3.3.2.4. Características del área experimental

Para las tres localidades de estudio se consideraron las siguientes características:

- Localidades de estudio	3
- Número total de tratamientos	5
- Área experimental	20 m x 15 m
- Superficie experimental por localidad	300 m ²

3.4. Variables de respuesta

3.4.1. Variables microclimáticas

3.4.1.1. Intensidad lumínica interior

Medida al interior de los ambientes y expresada en Candelas, unidad del sistema Internacional de Unidades.

3.4.1.2. Intensidad lumínica exterior

Medida a campo abierto y expresada en Candelas, unidad del sistema Internacional de Unidades.

3.4.1.3. Transmitancia Global de luz

Obtenida a partir de los datos captados individualmente para cada uno de los tratamientos. Expresada en porcentaje.

3.4.1.4. Temperatura interior

Medida al interior de los ambientes, con termómetros ambientales comunes, los datos se registraron en grados Celsius.

3.4.1.5. Humedad relativa interior

La humedad relativa fue registrada al interior de los ambientes de manera individual, los datos fueron registrados en porcentaje.

3.4.1.6. Temperatura Exterior

Medida en campo abierto, con un termómetro ambiente común, los datos se registraron en grados Celsius.

3.4.1.7. Humedad relativa exterior

La humedad relativa fue registrada en campo abierto, los datos fueron registrados en porcentaje.

3.1.2. Variables del cultivo

3.1.2.1. Peso planta

Cuantificada pesando la totalidad de la planta con la balanza digital, los pesos fueron expresados en gramos.

3.1.2.2. Peso de hojas

Pesando la totalidad de las hojas cortadas a partir del cuello de la planta, variable expresada en gramos.

3.1.2.3. Peso de raíz

Pesando la raíz cortada desde el cuello, unidades registradas en gramos.

3.1.2.4. Número de hojas

Conteo realizado para la totalidad de hojas de las plantas estudiadas.

3.1.2.5. Ancho hojas maduras

Medidas en la parte más amplia del haz de la hoja madura, en la parte expuesta a la radiación solar. Perpendicular a la nervadura de la hoja, expresadas en centímetros.

3.1.2.6. Diámetro de cuello

Medida en la zona de corte, entre las hojas y la raíz, unidad expresada en centímetros.

3.1.2.7. Contenido de látex

Medición subjetiva realizada al momento de cortar la planta por el cuello, evaluada por la cantidad de látex expulsada por la planta.

3.1.2.8. Color de hojas maduras

Medición cualitativa para hojas maduras, medidas de acuerdo al tono de color presentado al momento de la cosecha.

3.1.2.9. Daño en hojas

Medición cualitativa de las hojas, calificando el daño de hojas causadas por excesos de radiación solar sobre el follaje.

4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

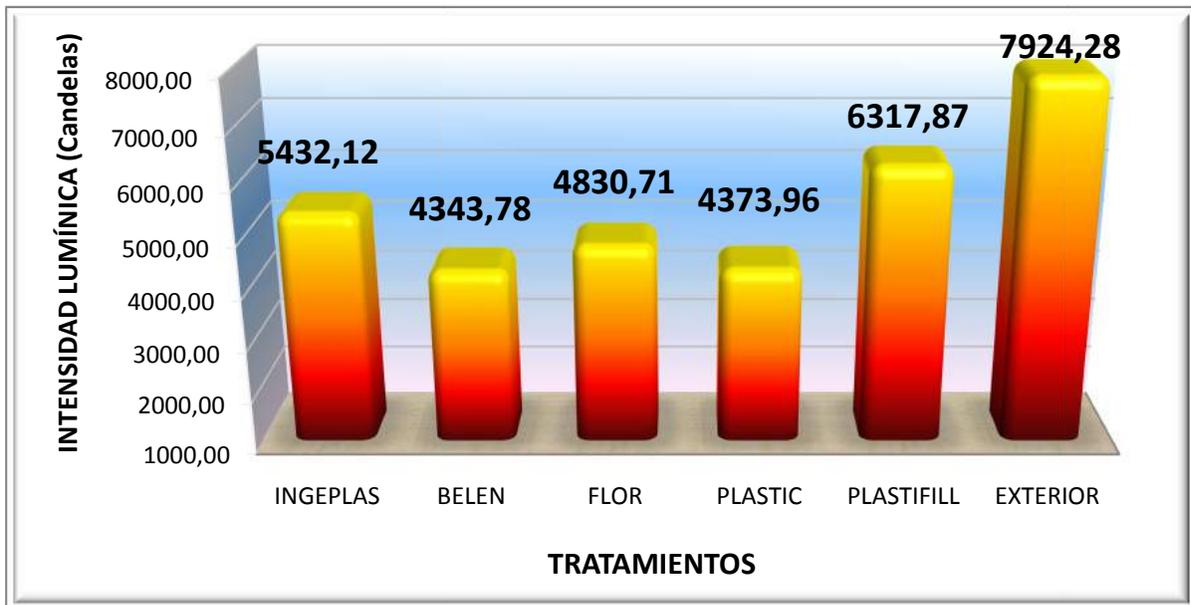
4.1. Localidad Parcopata (*Altiplano*)

4.1.1. Intensidad lumínica

La intensidad lumínica promedio, para esta localidad de estudio presentó valores más altos con respecto a las otras localidades, factor atribuible a la altitud de la zona, lo que provoca mayor incidencia de la radiación UV, la misma que afecta de gran manera a la productividad y la durabilidad de los plásticos.

Otro factor representativo, es el clima de la zona que presenta mayor incidencia de vientos, además de presentar muchas veces heladas, las cuales dañan severamente a los plásticos, degradándolos más rápidamente, e influyendo en la traslucidez de los plásticos agrícolas.

Figura 18. Intensidad lumínica promedio por tratamiento, Parcopata.



A continuación se muestra el análisis de varianza para la variable de intensidad lumínica para la localidad de Parcopata.

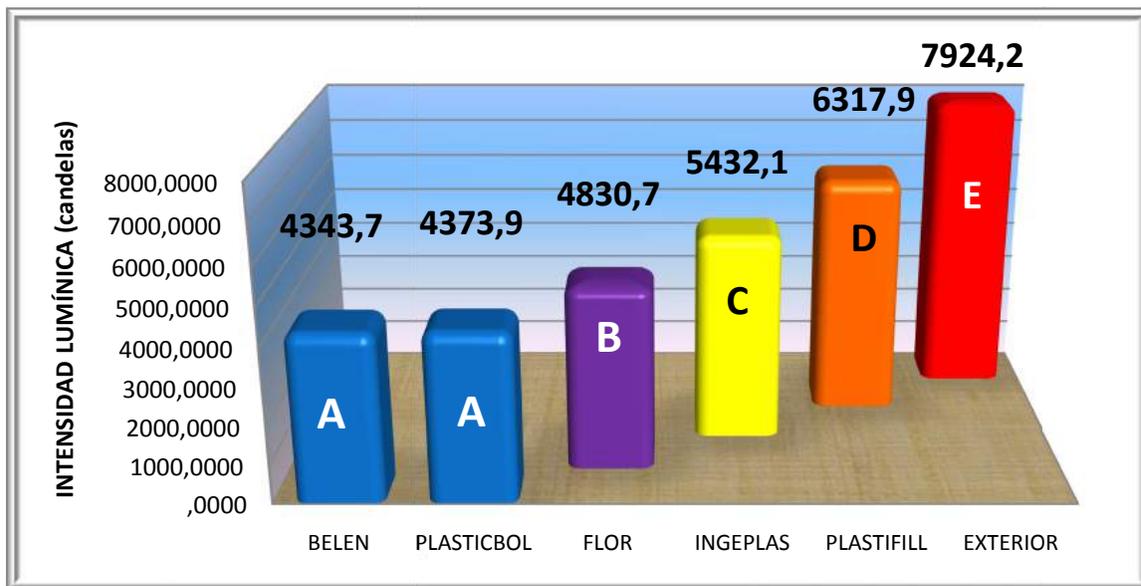
Cuadro 4. Análisis de varianza para intensidad lumínica, Parcopata.

Origen	Suma de cuadrados	gl	Media cuadrática	F	Sig.
TRAT	3096852663,910	6	516142110,652	2464,030	,000**
Error	18852361,342	90	209470,682		
Total	3115705025,253	96			

Del cuadro anterior se rescata la alta significancia que existe entre tratamientos, mostrando la variación entre tratamientos, como del exterior de los ambientes atemperados.

A continuación se detalla la prueba Duncan para comparar las medias de los tratamientos, y de esta forma saldar las diferencias que resalta el análisis de varianza.

Figura 19. Prueba Duncan para intensidad lumínica, Parcopata



El grupo A, incluye a los plásticos Belén con 4343,7 candelas y el plástico Plasticbol con 4373,9 candelas, presentando una similitud estadística, mostrando que no existe diferencia en el espesor del plástico, ya que el plástico Plasticbol solamente posee

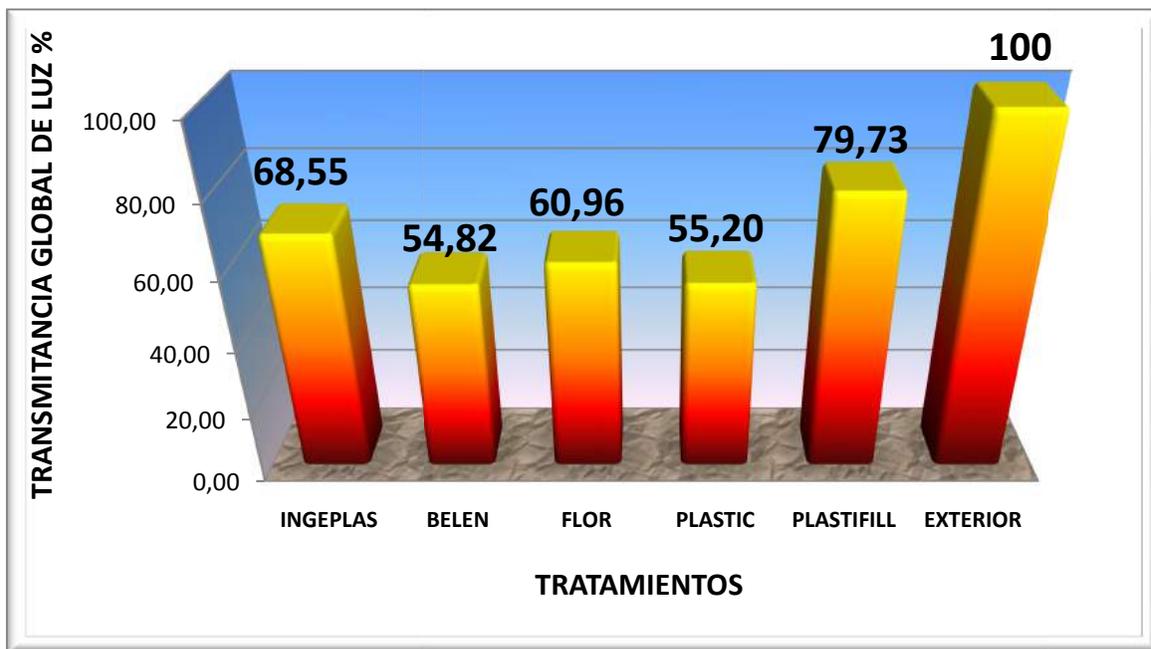
100 micras de espesor, pero presenta similares características ópticas al plástico Belén, además que el costo es menor de acuerdo al espesor.

El plástico Ingeplas es el agrofilm con la mayor intensidad dentro los tratamientos. El plástico común Plastifill, presenta una intensidad lumínica de 6317,9 candelas, mostrando que si bien este plástico es mucho más traslúcido que el agrofilm, la intensidad dentro del ambiente atemperado, se reduce debido al reflejo del plástico, sus aditivos y el ángulo de incidencia sobre este. El exterior corresponde una intensidad de 7924,2 candelas, siendo estas lecturas la referencia para restar las pérdidas de acuerdo al tratamiento.

4.1.2. Transmitancia global de luz

Esta variable expresa la cantidad exacta de intensidad luminosa al interior de los ambientes, sin tomar en cuenta las causas de la perdida de esta.

Figura 20. Transmitancia Global de Luz, Parcopata.



De acuerdo al grafico anterior, las diferencias de transmisión de la luz al interior de los ambientes, siendo el exterior el 100 %, seguido con un 79,73 % el plástico Plastifill, Ingeplas con 68,55 %, Flor de Empresa con 60,96 %, Belén con 54,82 % y mostrando la menor Transmitancia el plástico Plasticbol.

Esta variable demuestra claramente las diferencias y similitudes entre los tratamientos frente al exterior. Los datos reflejados señalan que el comportamiento de los plásticos fue muy similar entre localidades.

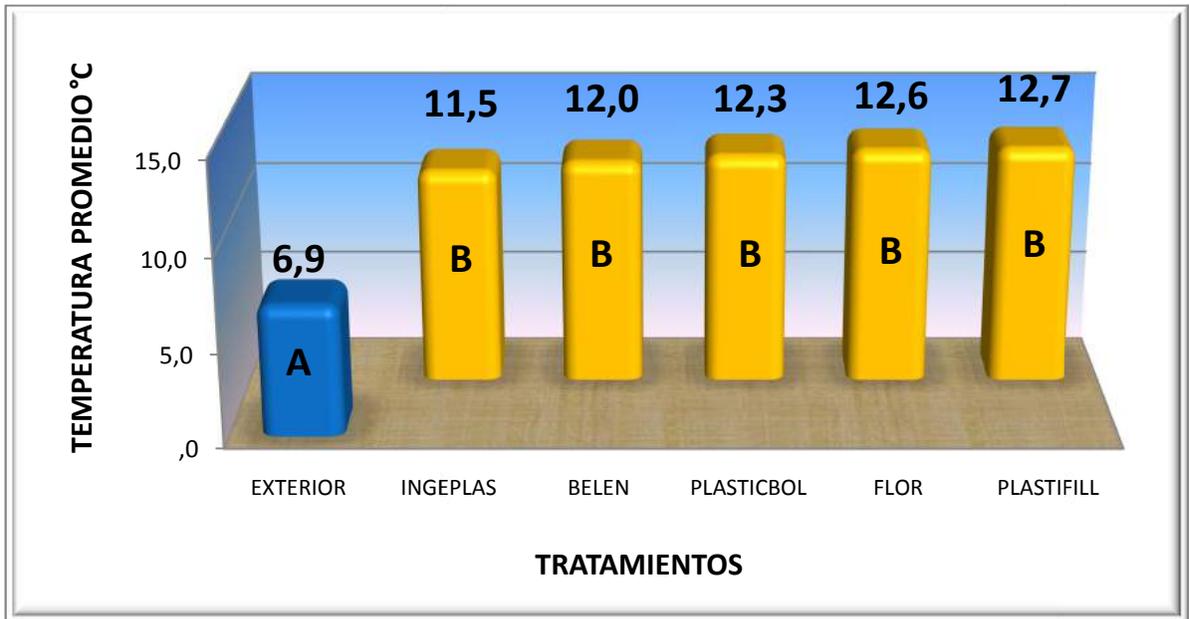
El CEDEFOA (2006), resalta que en áreas con alta radiación y escasa nubosidad, la radiación recibida dentro un invernadero durante los períodos cálidos puede causar problemas en los cultivos por exceso de temperatura. Para evitar esta situación se han desarrollado plásticos que aumentan la proporción de radiación difusa dentro los invernaderos. La intensidad de la radiación solar bajo un film plástico es siempre menor que la del exterior, debido a la reflexión y absorción del material de cerramiento. La pérdida de transmisión debida al filme se puede estimar entre un 5 y 40%, en función de las condiciones del invernadero: orientación, limpieza del film, época del año, estado de degradación del film, condensación de agua, polvo adherido, etc.

Si bien ninguno de los tratamientos cumple con el requerimiento de luminosidad, que dice que la gran mayoría de las hortalizas requieren aproximadamente un 30 % de luminosidad, los valores más bajos simplemente alcanzan un 50 % de transmisión de la luminosidad, teniéndose un exceso en la luminosidad para todos los tratamientos.

4.1.3. Temperatura promedio

La temperatura promedio para la localidad de Parcopata fue menor entre las localidades, ya que esta zona, presenta temperaturas mínimas inclusive por debajo de los 0°C, además de tener temperaturas máximas inferiores a las demás localidades.

Figura 21. Temperatura promedio. Parcopata.



La figura anterior muestra que, la temperatura promedio del exterior tiene diferencias con los tratamientos, con un valor de temperatura promedio de 6,9 °C, este valor relativamente bajo, se vio influenciado de manera considerable con las temperaturas mínimas, las cuales presentaron valores negativos durante varios días durante la investigación, y las máximas no sobrepasan los 20 °C en ninguna circunstancia.

Torrez (1995) señala, que los distintos órganos de las plantas tienen exigencias distintas de temperatura, y además las funciones vitales de una misma planta son diferentes, la respiración tiene sus temperaturas óptimas, más altas que de la fotosíntesis, y de esta última es más alta para el transporte de carbohidratos. Por este motivo deben utilizarse filmes que mantenga de manera constante la temperatura del ambiente en todo el transcurso del día.

4.1.4. Temperatura máxima

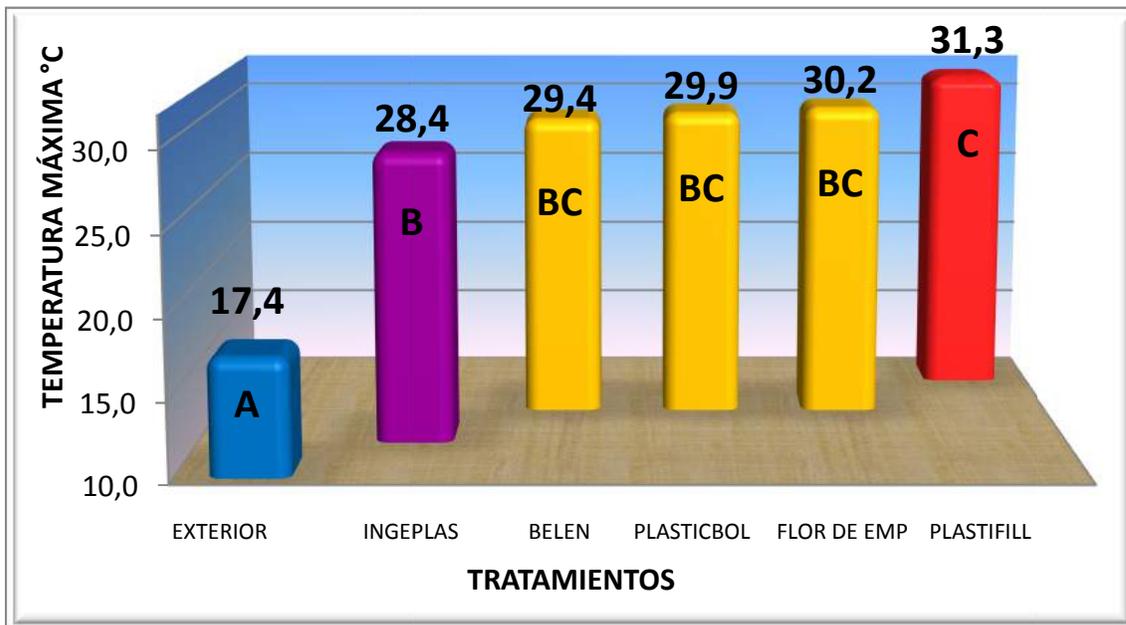
Para la temperatura máxima, en la localidad de Parcopata el análisis de varianza fue el siguiente.

Cuadro 5. Análisis de varianza para temperatura máxima, Parcopata.

Origen	Suma de cuadrados	gl	Media cuadrática	F	Sig.
TRAT	76195,118	6	12699,186	1549,406	,000**
Error	737,655	90	8,196		
Total	76932,773	96			

La temperatura máxima para la localidad de Parcopata, se presentó generalmente entre las 11:45 y las 14:00 horas, margen de tiempo, en el que la radiación es la más alta, y existe poca incidencia de vientos.

Figura 22. Prueba Duncan para temperatura máxima, Parcopata.



La prueba Duncan observada en el cuadro anterior muestra al grupo A, el cual indica que la temperatura máxima del exterior es de 17,4 °C, muy por debajo de las medias de los tratamientos. El grupo B, para el plástico Ingeplas, con una temperatura máxima de 28,4 °C, mostró la temperatura más baja para los tratamientos, así mismo este plástico posee la mayor intensidad lumínica entre los filmes agrícolas utilizados.

El subgrupo BC, agrupa a los plásticos Belén con 29,4 °C de temperatura máxima, seguido por Plasticbol con 29,9 °C y Flor de Empresa con 30,2 °C. El grupo C, incluye al plástico Plastifill, con una temperatura máxima de 31,3 °C, este tratamiento corresponde al plástico traslucido, sin aditivos UV ni colorante, es decir se la temperatura máxima se influencia por intensidad lumínica registrada en horas meridianas, entre las 11:45 y las 14:00 horas, momento máximo de insolación para esta localidad.

Bacsó (1996), indica que, las altas temperaturas incrementan la evapotranspiración vegetal, disminuyendo la capacidad de la planta en transformar carbohidratos, por la reducción de agua en el sistema fotosintético. Es por eso que se deben elegir filmes agrícolas que mantengan temperaturas máximas no muy distantes del óptimo de temperaturas para los cultivos, y de esta forma mejorar la eficiencia de los cultivos de acuerdo al filme utilizado.

4.1.5. Temperatura mínima

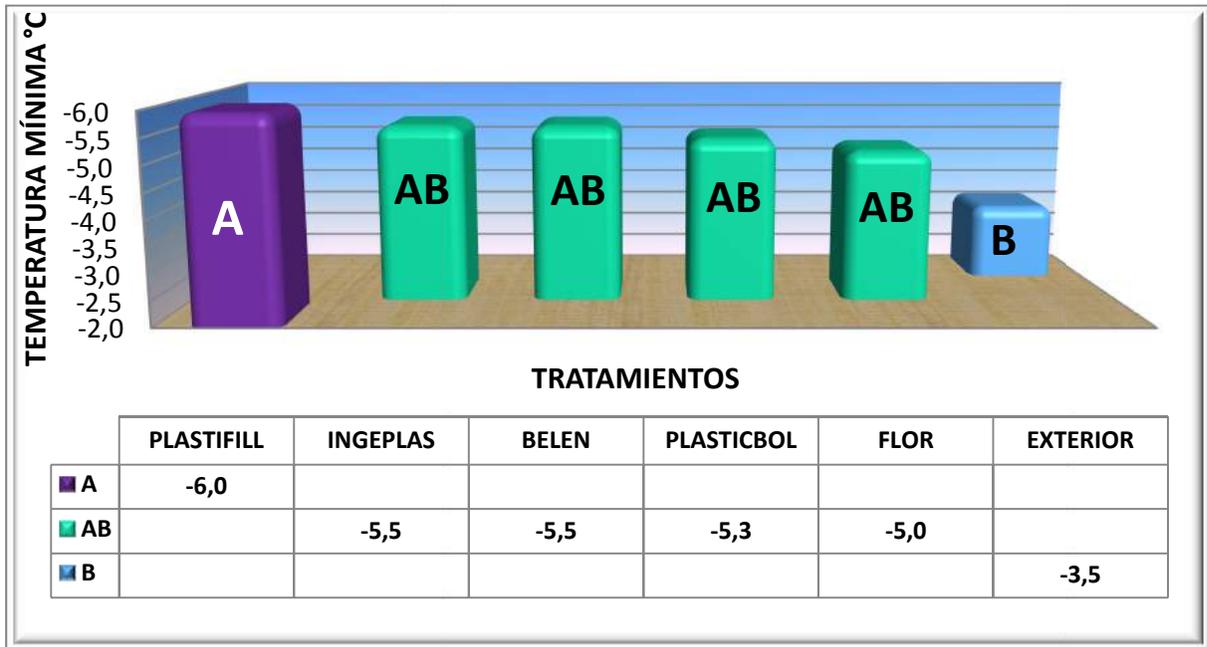
Las temperaturas mínimas registradas se dan a horas de la madrugada, entre las 3:00 y las 6:30, para esta localidad, observando heladas y rocío matutino, incluso formación de escarcha sobre la superficie de los ambientes atemperados.

Cuadro 6. Análisis de varianza para temperatura mínima, Parcopata.

Origen	Suma de cuadrados	gl	Media cuadrática	F	Sig.
TRAT	2575,319	6	429,220	47,163	,000**
Error	819,061	90	9,101		
Total	3394,380	96			

El análisis de varianza plasmado en el cuadro anterior indica que existen diferencias entre los tratamientos, por lo cual se realiza una comparación de medias Duncan.

Figura 23. Prueba Duncan para temperatura mínima, Parcopata.



La prueba Duncan muestra al grupo A que incluye al plástico Plastifill con $-6,0\text{ }^{\circ}\text{C}$, siendo esta la temperatura mínima promedio entre todos los tratamientos. El subgrupo intermedio AB, tiene asociados a los plásticos Ingeplas con $-5,5\text{ }^{\circ}\text{C}$, Belén con $-5,5\text{ }^{\circ}\text{C}$, Plasticbol con $-5,3\text{ }^{\circ}\text{C}$ y Flor de Empresa con $-5,0\text{ }^{\circ}\text{C}$. El grupo C, solamente asocia al Exterior, con una temperatura mínima de $-3,5\text{ }^{\circ}\text{C}$, cabe señalar que esta temperatura es superior a la de los ambientes atemperados, pudiendo atribuirse este efecto a la circulación de aire, ya que dentro los ambientes, por las noches estos permanecen cerrados y sin flujo de aire, sumada la humedad superior dentro el ambiente pudieron causar que la temperatura baje un poco más al interior de los ambientes que en el exterior.

Manú (2003) define, con el término helada se indica el descenso de la temperatura por debajo de $0\text{ }^{\circ}\text{C}$, si las temperaturas descienden demasiado, puede llegar a detenerse la absorción de sustancias nutritivas a través de las raíces, se congela el agua de los tejidos, o el mismo protoplasma rompiendo las paredes celulares, causando quemaduras en las hojas, causando muchas veces la marchitez de las plantas.

4.1.6. Humedad relativa

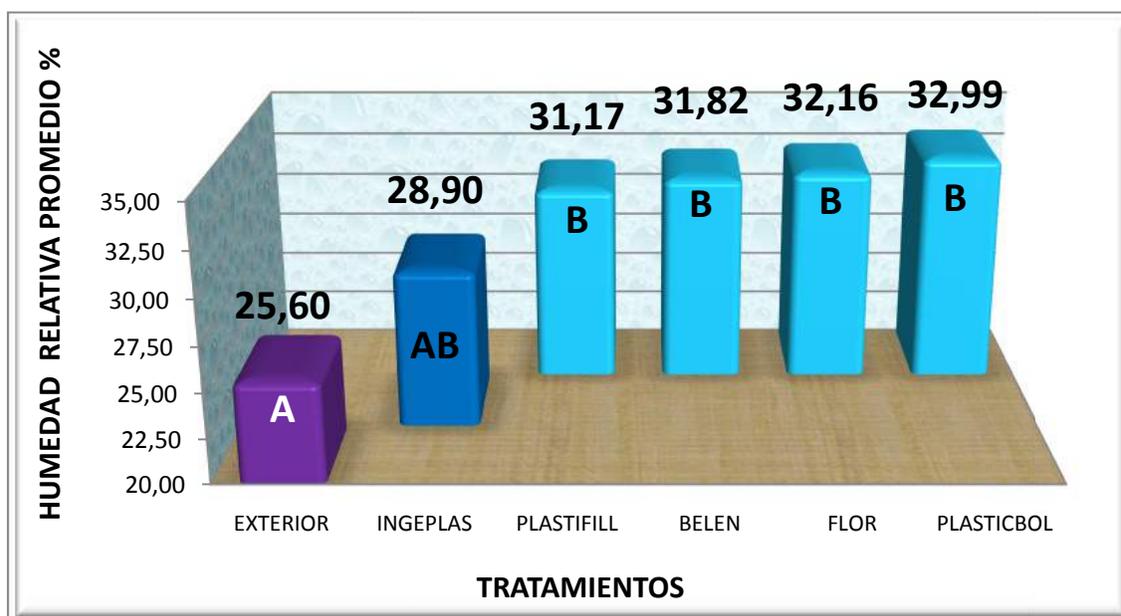
La variable humedad relativa, dependiente de las condiciones propias de cada ambiente, se vio influenciada por la intensidad lumínica del medio día, en cuanto a la humedad mínima, ya que la humedad máxima se produce en horas de la madrugada.

Cuadro 7. Análisis de varianza para humedad relativa, Parcopata.

Origen	Suma de cuadrados	gl	Media cuadrática	F	Sig.
TRAT	89554,821	6	14925,803	539,899	,000**
Error	2488,099	90	27,646		
Total	92042,920	96			

La alta significancia expresada demuestra que existen diferencias notables entre los tratamientos, por lo cual se hace necesario realizar una comparación de medias.

Figura 24. Prueba Duncan para humedad relativa promedio, Parcopata.



La prueba Duncan muestra la caracterización en dos grupos principales A y B, y un sub grupo AB. Al grupo A, corresponde la humedad relativa del Exterior, con un valor de 25,60 %, siendo esta influenciada por los movimientos del viento, la vegetación e incluso la contaminación del aire. Dando de esta forma un valor menor que de los tratamientos. El Subgrupo AB, incluye solamente al plástico Ingeplas, con un valor intermedio de 28,90% de humedad relativa, siendo interesante que este plástico presentó la mayor intensidad durante el día, influyendo en un descenso en la humedad promedio registrada.

El grupo B, asocia a los plásticos, Plastifill con un valor de 31,17 %, Belén con valor de 31,82 %, Flor de Empresa 32,16 % y finalmente a Plasticbol con 32,99 % de humedades relativas promedio. Esta asociación revela que la humedad no está influenciada por la intensidad de forma directa, ya que el factor para que exista mayor humedad por la madrugada es la temperatura mínima.

4.1.7. Análisis multivariado variables microclimáticas, Parcopata

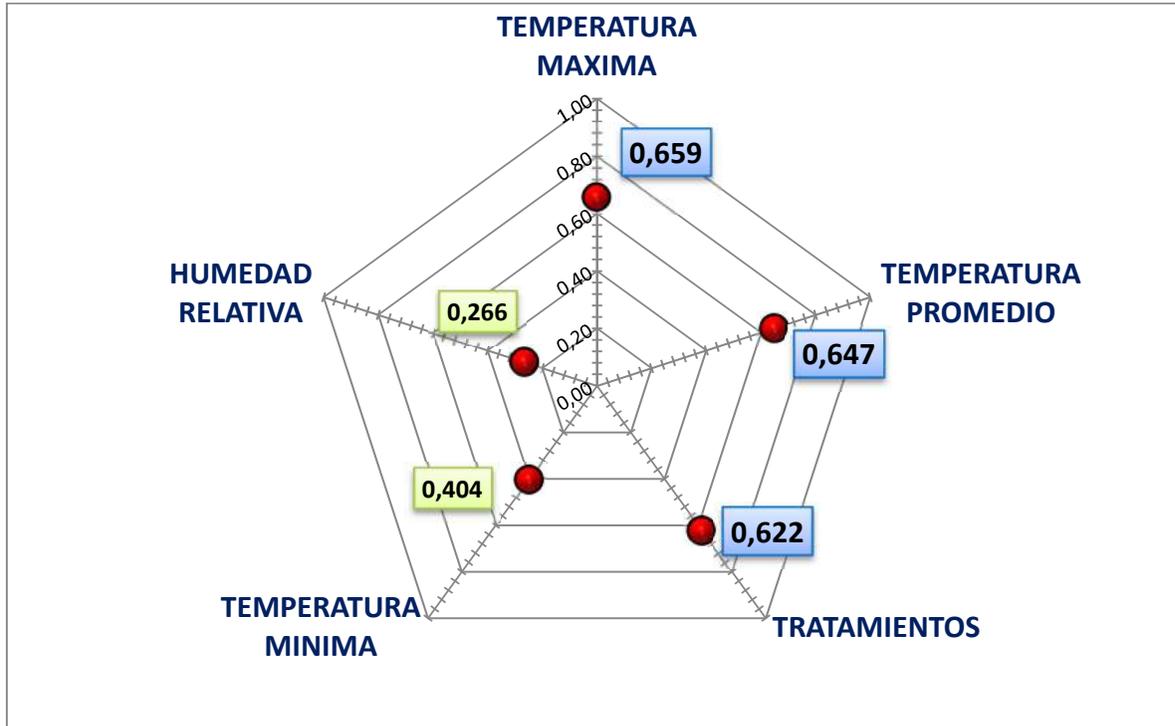
Para determinar el grado de influencia de la intensidad lumínica sobre las demás variables se realizó un análisis multivariado de las variables microclimáticas, reflejadas en el cuadro siguiente.

Cuadro 8. Matriz de correlaciones, variables microclimáticas, Parcopata.

VARIABLES	INTENSIDAD LUMINICA
TEMPERATURA MAXIMA	0,659
TEMPERATURA PROMEDIO	0,647
TRATAMIENTOS	0,622
TEMPERATURA MINIMA	0,404
HUMEDAD RELATIVA	0,266

El cuadro anterior muestra los coeficientes que presentan las variables microclimáticas al ser cruzada con la variable intensidad lumínica, este método asocia las variables por la similitud que presentan, además estos coeficientes son extraídos a partir de la correlación de Pearson, mostrando valores entre 0 a 1.

Figura 25. Correlación de variables respecto a la intensidad lumínica, Parcopata



La figura anterior refleja cuan relacionada esta cada variable microclimática con respecto a la intensidad luminosa, mostrando que mientras más cercana es la distancia a 1, más relación directa tiene con la intensidad lumínica. La variable que más similitud presenta con la intensidad lumínica es la temperatura máxima, reflejando que a mayor intensidad lumínica, mayor será la temperatura alcanzada. Por otro lado, la humedad presenta la distancia más alejada, reflejando que la intensidad lumínica influye muy poco sobre la humedad, factor claramente reflejado en las horas de mayor humedad, cuando la intensidad lumínica es casi nula.

La intensidad lumínica en esta zona es mayor, se tiene un clima más adverso, demostrado con las temperaturas mínimas, viéndose la necesidad de mejorar los ambientes atemperados para impedir que las temperaturas mínimas letales afecten directamente a los cultivos.

Los resultados sugieren que en el altiplano necesariamente los ambientes atemperados deben contar con muros laterales de materiales térmicos para conservar el calor acumulado durante todo el día y así brindar mejores condiciones para las noches. En lo posible los ambientes atemperados deben estar diseñados para reducir los efectos de la inversión térmica. Debido a que la época de estudio fue en invierno, se tuvieron las condiciones más adversas, principalmente con las temperaturas y la incidencia de la intensidad lumínica alta, todos los registros fueron tomados en días totalmente despejados, es por eso que los resultados expresados son reflejo de las condiciones más desfavorables que se pueden encontrar en esta región.

Se debe resaltar que los plásticos a utilizar en esta zona deberían poseer cantidades adecuadas de aditivos estabilizantes de la radiación ultravioleta, para reducir los costos de renovación constante de las cubiertas, también deben ser difusores de la radiación que incide sobre los plásticos, ya que las intensidades de radiación solar incidente sobre las cubiertas son muy superiores a los requerimientos de los cultivos dentro los ambientes atemperados.

Los plásticos de cubierta para esta zona, necesitan de aditivos colorantes en proporciones adecuadas, permitiendo una difusión mayor de la intensidad lumínica, ya que se pudo comprobar que los plásticos que poseen menores proporciones de estos colorantes son menos estables a las variables microclimáticas.

Considerando la gran cantidad de radiación que se recibe en la zona, la fabricación de plásticos para cubierta debería ser más homogénea, en cuanto a las dosificaciones de aditivos colorantes, ya que una fabricación uniforme dará un

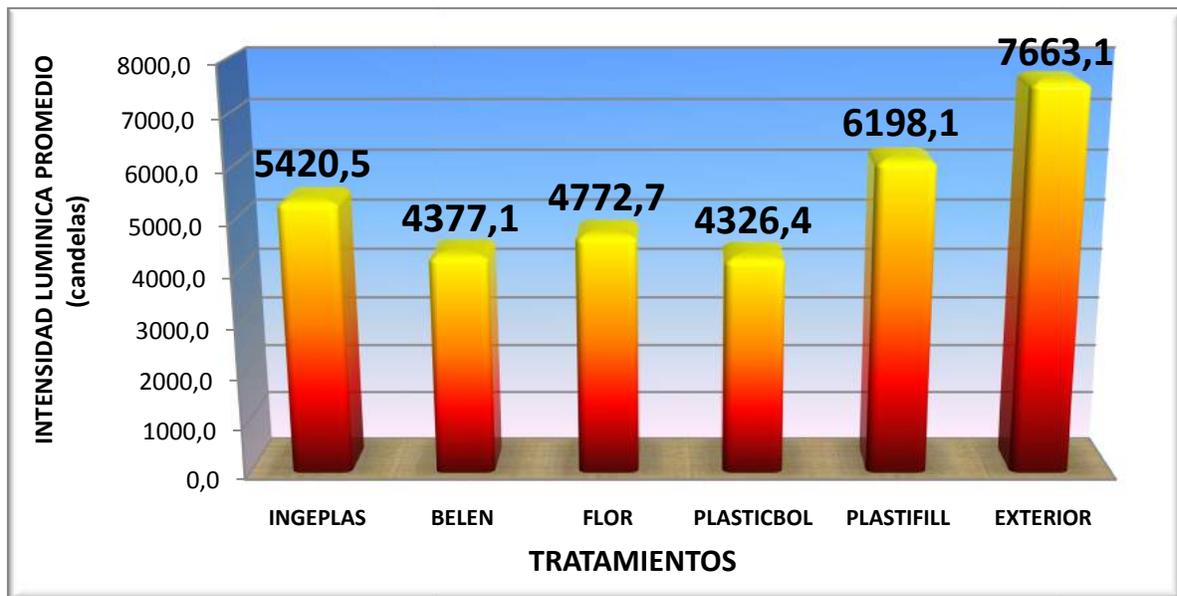
producto que responda mejor a la alta radiación incidente sobre los ambientes atemperados, reduciendo así otros gastos como mallas semisombra, o mayores costos de construcción.

4.2. Localidad Cota – Cota (Cabecera de valle)

4.2.1. Intensidad lumínica

De acuerdo a las intensidades registradas para cada tratamiento se obtuvieron los siguientes promedios para toda la etapa experimental.

Figura 26. Intensidad lumínica promedio por tratamiento para la localidad de Cota-Cota



En la figura, se evidencia una diferencia entre los tratamientos y con respecto a las lecturas al exterior. Claramente se observa que las intensidades lumínicas decrecen diferencialmente al interior de los ambientes atemperados.

Otra observación importante está dada por el espesor del plástico, que no influye en las lecturas obtenidas, ya que el plástico Plasticbol de 100 micras, obtuvo un valor similar al plástico Belén de 250 micras de espesor. Si no más bien el factor que

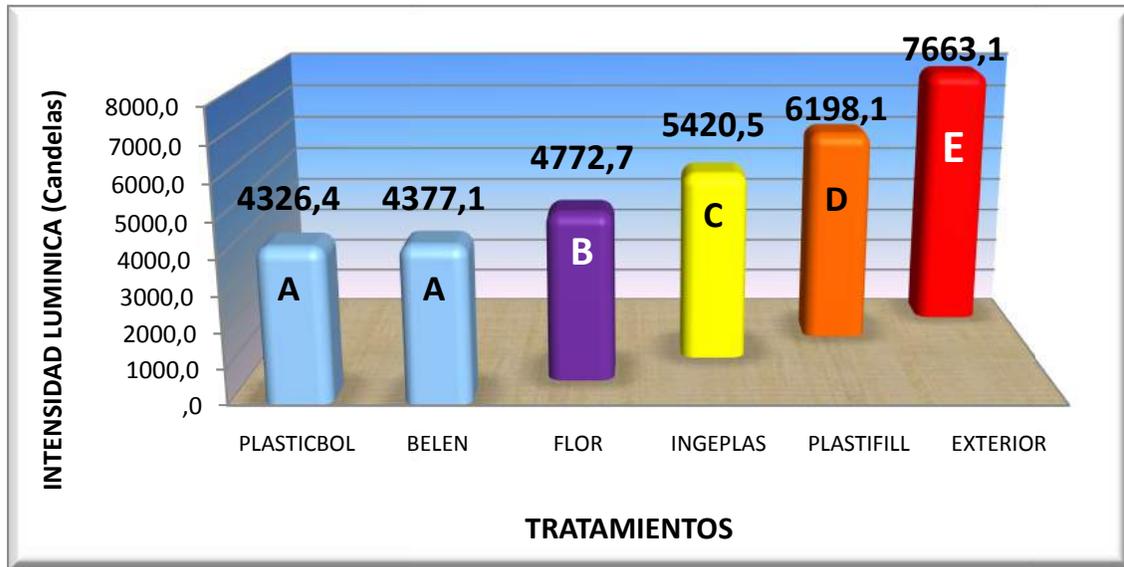
determina la transmisión de la luz al interior de los ambientes es el contenido de aditivos y colorantes propios de cada empresa de acuerdo a sus estándares propios de fabricación, como menciona Alpi (1999).

Cuadro 9. Análisis de Varianza para Intensidad Lumínica, Cota-Cota.

Origen	Suma de cuadrados	gl	Media cuadrática	F	Sig.
TRATAMIENTO	2994820995,745	6	499136832,624	1971,411	,000**
Error	22786883,137	90	253187,590		
Total	3017607878,881	96			

El análisis de varianza para la variable de intensidad lumínica, muestra que existen diferencias altamente significativas entre los tratamientos.

Figura 27. Prueba Duncan para Intensidad Lumínica, Cota-Cota



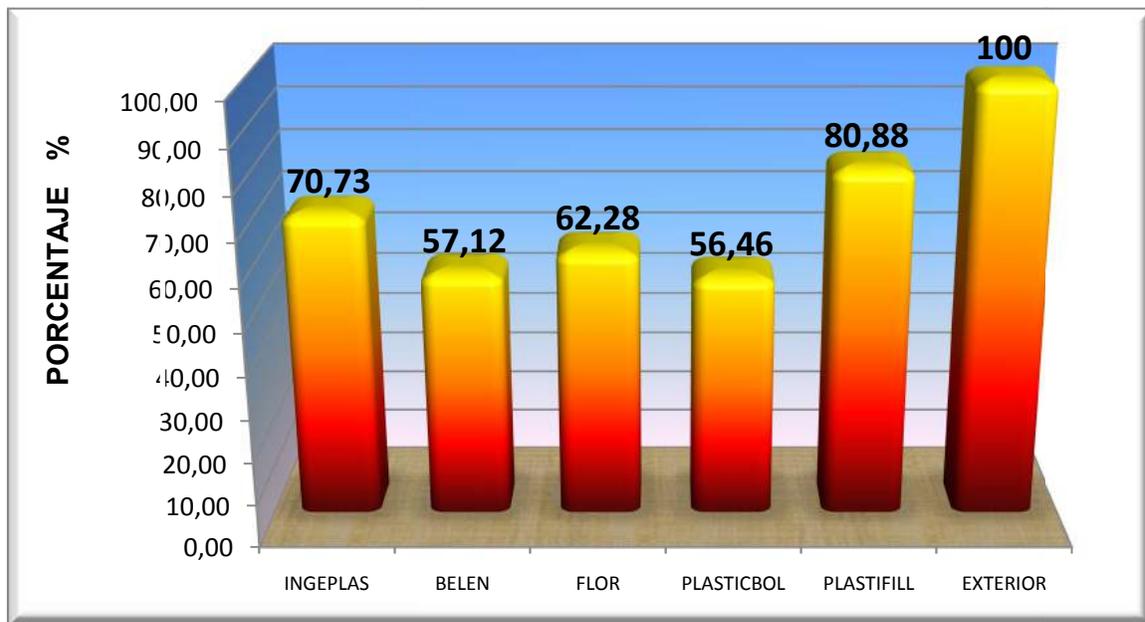
En el cuadro anterior, el plástico Plastifill presenta la mayor intensidad lumínica con 6198,1 candelas, seguido por el tratamiento Ingeplas con 5420,5 candelas, Flor de Empresa con 4772,7 cd, Belén con 4377,1 cd y Plasticbol con 4326,4 candelas respectivamente. La comparación de medias asocia al tratamiento Plasticbol con Belén, mostrando medias de 4326,4 y 4377,1 candelas respectivamente.

Las diferencias encontradas para esta variable pueden atribuyen a factores de fabricación, ya que cada plástico posee diferentes dosificaciones de aditivos y colorantes dependiendo de los patrones de fabricación, además los plásticos poseen diferentes cantidades de aditivos y colorantes propios para cada empresa.

4.2.2. Transmitancia Global de Luz

La Transmitancia Global de Luz Visible da una clara visión de qué cantidad de luz no ingresa a los ambientes, indistintamente de factores como la pendiente del ambiente, o el ángulo de incidencia sobre estos.

Figura 28. Transmitancia Global de Luz por tratamiento, Cota- Cota.



El figura muestra que el plástico “Plastifill” totalmente libre de aditivos y colorante, posee similares porcentajes de Transmitancia que el plástico “Ingeplas”, además los plásticos “Belén” y “Plasticbol”, también demuestran transmitancia similar, no obstante el diferente grosor que presentan.

Por otro lado el plástico Flor de empresa, posee una Transmitancia global intermedia, debiéndose atribuir efectos de fabricación que difieren de manera significativa en los

productos finales, ya que no todos los plásticos presentan las mismas condiciones en características ópticas y de calidad. Otro aspecto notable referente a la Transmitancia, es que los plásticos presentan tonalidades de color amarillo muy diferentes. A mayor coloración la difusión de la luz es mayor, por consiguiente la Intensidad de la luz decrece notablemente al interior de los ambientes.

El CEDEFOA (2006), indica que, un aditivo puede mejorar la apariencia del producto, como son los pigmentos, colorantes, entre otros. Cabe notar que muchos de los aditivos colorantes si bien presentan mejores apariencias al producto, afectan de manera diferente a la Transmitancia de la luz.

4.2.3. Temperatura Promedio

Las temperaturas registradas y promediadas diariamente, fueron contrastadas para cada tratamiento y comparada con la temperatura promedio del exterior.

Figura 29. Temperatura promedio, Cota-Cota.



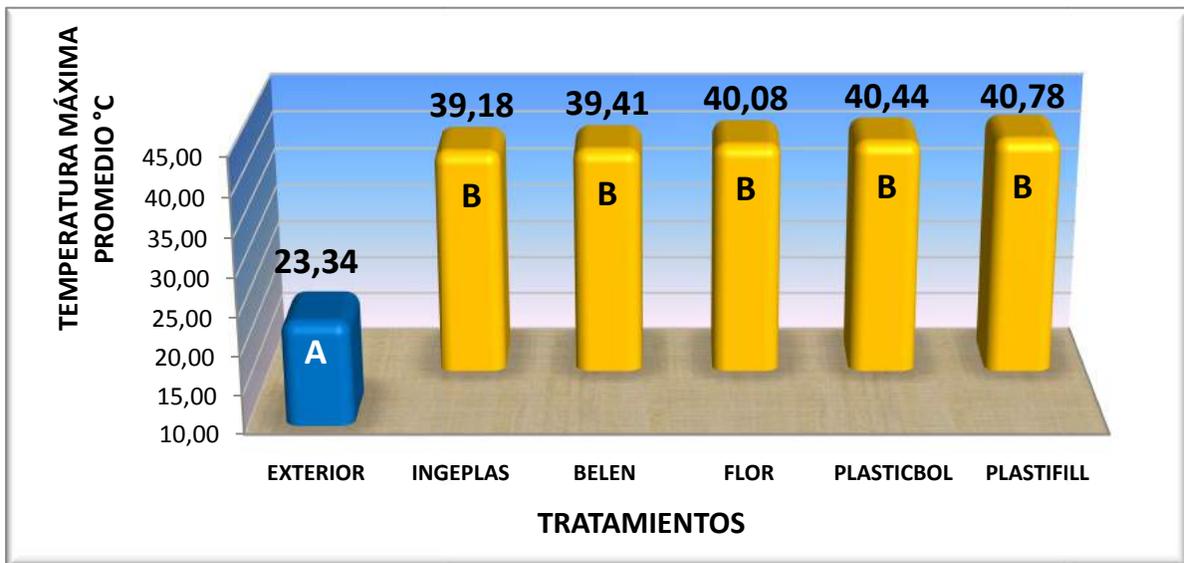
El figura refleja que estadísticamente los tratamientos son similares para la variable de temperatura promedio, notándose simplemente una variación de pocas decimas,

siendo el plástico Ingeplas el que posee la menor temperatura promedio de todos los tratamientos, seguido por la marca Belén, Plastifill, Plasticbol, y la marca Flor de empresa registró la mayor temperatura promedio para la localidad de Cota-Cota. Esta similitud de temperaturas no refleja realmente el comportamiento de la temperatura dentro de los ambientes, ya que las temperaturas máximas y mínimas poseen diferencias más claras entre tratamientos.

4.2.4. Temperatura máxima

Las temperaturas máximas fueron contrastadas entre los tratamientos y además comparadas con la temperatura promedio del exterior.

Figura 30. Temperatura máxima, Cota-Cota.



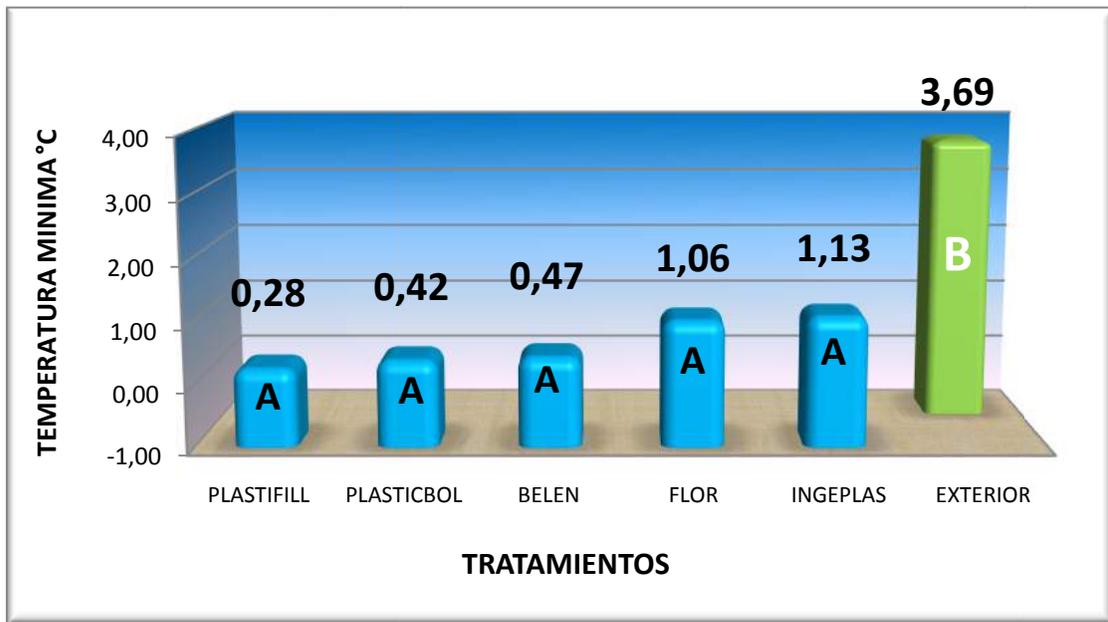
La temperatura máxima promedio del exterior tiene un valor de 23,34 °C, siendo esta inferior con la de los ambientes atemperados. Los tratamientos, con el plástico Ingeplas con el menor valor, de 39,18 °C, seguido por los plásticos Belén con 39,41 °C, Flor de Empresa con 40,08 °C, Plasticbol con 40,44 °C y finalmente Plastifill con 40,78 °C, expresando que las temperaturas máximas se comportaron de manera similar para todos los ambientes atemperados muy indistintamente del plástico de cubierta.

Según Manú (2003), las altas temperatura tienen un efecto negativo sobre la productividad vegetal, ya que la respiración es superior a la fotosíntesis, además las altas temperaturas causan daños en las plantas, como la deshidratación, muerte del protoplasma, y quemadura de frutos y hojas.

4.2.5. Temperatura mínima

Las temperaturas mínimas registradas, se dan generalmente en horas tempranas del día, en ausencia de la radiación solar, con las mayores concentraciones de humedad relativa.

Figura 31. Temperatura mínima, Cota-Cota.



La temperatura al interior de los ambientes es similar para los tratamientos, en comparación con el exterior estas son notoriamente menores, este fenómeno se conoce como inversión térmica, debido al volumen reducido de los ambientes atemperados planteados, y además estos permanecieron cerrados durante las noches, entonces el efecto es el siguiente: “durante las noches, el aire de los ambientes se enfría de manera exagerada, esto siempre que no exista movimiento

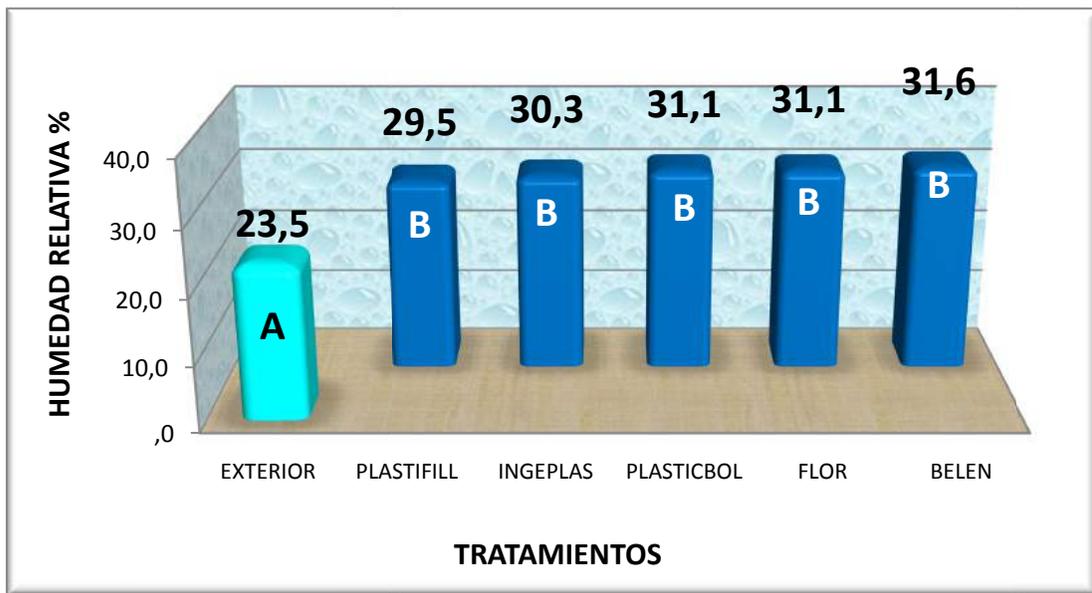
de aire en los ambientes, esto debido a que el aire frío es más pesado que el aire caliente, entonces el aire frío se mantiene en el fondo, y se mantiene así hasta que haya circulación de aire o este aire frío se caliente y se levante”. (Manú. 2003).

4.2.6. Humedad relativa

La humedad relativa registrada promedio, es la media de la máxima registrada por día y la mínima registrada en la madrugada de cada día de muestreo, a continuación se presenta el análisis de varianza para esta variable.

Del cuadro anterior se establece que existen diferencias entre los tratamientos, con respecto a la humedad relativa promedio.

Figura 32. Prueba Duncan para humedad relativa promedio, Cota-Cota.



La humedad del exterior presenta una humedad relativa promedio del 23,5 %. Los ambientes atemperados, con los plásticos Plastifill con 29,5 %, Ingeplás con 30,3 %, Plasticbol con 31,1 %, Flor de Empresa con 31,1 % y Belén con 31,6 % de humedad relativa promedio respectivamente en orden ascendente. Lo que indica que las

humedades fueron similares para los ambientes. Cabe notar que no existió condensación dentro de los ambientes lo que indica que el aire al interior de los ambientes pocas veces llegó a saturarse es decir llegar a una humedad del 100%.

Manú (2003) señala, en el caso de las plantas, si la humedad relativa es muy baja, la velocidad de transpiración se incrementa considerablemente y en ciertos momentos llega a superar la capacidad de absorción de humedad del suelo, lo que provoca estrés hídrico. Así mismo indica, si la humedad del aire es muy alta, también puede ser dañina, ya que posibilita el desarrollo y propagación de enfermedades que afectan el peso total de los cultivos.

4.2.7. Análisis multivariado variables microclimáticas, Cota-Cota

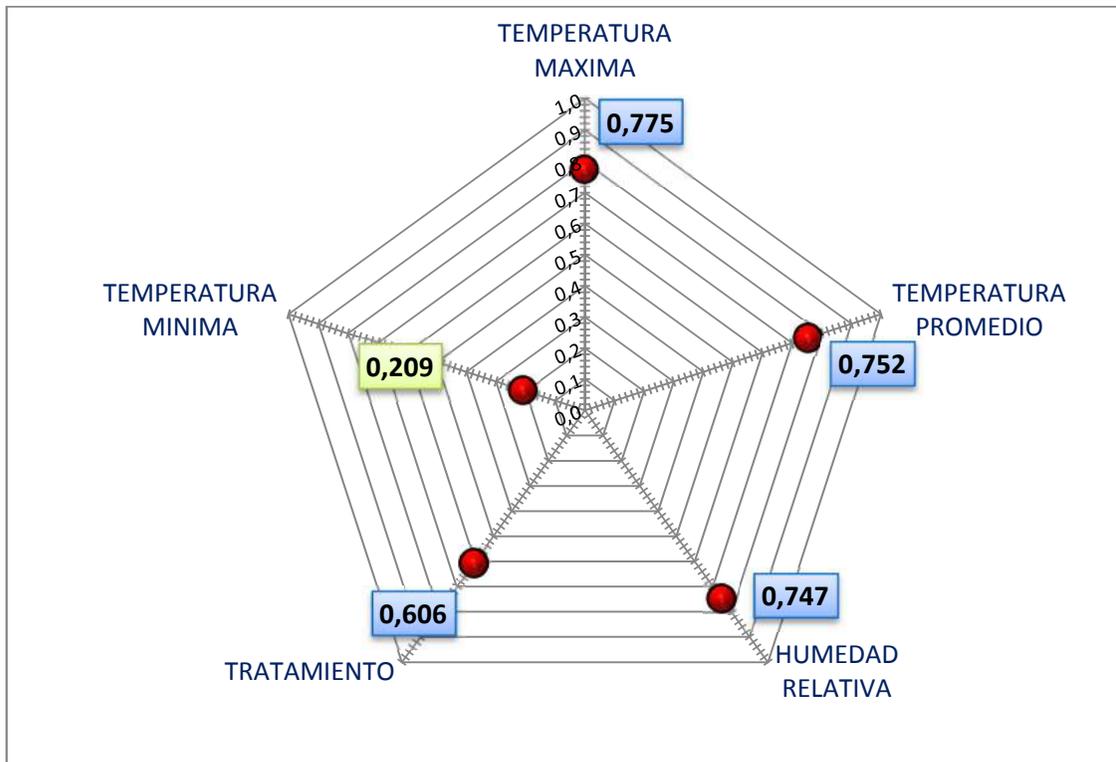
Para denotar el grado de asociación que presentan las variables microclimáticas con respecto a la variable intensidad lumínica, se presenta la matriz de distancias y el coeficiente que expresa la similaridad entre variables.

Cuadro 10. Matriz de correlaciones, variables microclimáticas, Cota-Cota.

VARIABLES	INTENSIDAD LUMINICA
	Distancia (0 – 1)
TEMPERATURA MAXIMA	0,775
TEMPERATURA PROMEDIO	0,752
HUMEDAD PROMEDIO	0,747
TRATAMIENTO	0,606
TEMPERATURA MINIMA	0,209

El cuadro anterior muestra la alta relación existente con las variables temperatura máxima, temperatura promedio, humedad promedio, y los tratamientos, y muy poca con la temperatura mínima.

Figura 33. Correlación de variables respecto a la intensidad lumínica, Cota-Cota.



La figura muestra el grado de similaridad que tienen las variables microclimáticas con la intensidad lumínica, y la influencia que esta tiene sobre las demás variables, se evidencia una vez más que la intensidad lumínica influye de sobre manera sobre las temperaturas máximas y la promedio, en esta localidad existe mayor humedad, mostrándose que la intensidad lumínica afecta a los valores de humedad, una situación inversamente proporcional, ya que a medida que la intensidad lumínica aumenta, aumenta la temperatura y la humedad decrece proporcionalmente a esta.

En esta localidad se obtuvieron intensidades lumínicas menores que en Parcopata o Huajchilla, haciendo notar que esta localidad presenta mayores coberturas vegetales, como arboles de gran porte, además de los cerros colindantes. Los mismos que provocan que exista radiación directa sobre los ambientes atemperados solamente desde las 08 h 45 min, hasta las 14 h 30 min.

En esta localidad el factor más limitante es la ventilación de los ambientes, ya que en general los vientos no son constantes, además en horas de mayor temperatura dentro los ambientes (medio día), los vientos son muy débiles y no favorecen a una adecuada ventilación. Este factor provocó la elevación de la temperatura máxima a niveles letales para la mayoría de cultivos en ambientes atemperados.

Otro factor condicionante para esta zona, son las constantes heladas en época invernal, debiendo utilizar cerramientos laterales con materiales que permitan la mejor retención de calor durante las noches, similarmente a la localidad de Parcopata.

El plástico de cubierta para estas zonas debería presentar una tonalidad amarilla uniforme a lo largo de la superficie del plástico, para que el cultivo que esta al interior reciba uniformemente la radiación solar, además esta coloración favorece que las temperaturas no sean demasiado altas durante el día, también reduce el gasto innecesario de mallas semisombra, o gastos adicionales de construcción.

Los árboles altos y frondosos que se encuentran en esta zona, funcionan como barreras vivas contra el viento, pero a la vez dañan en gran medida las cubiertas con el desprendimiento de semillas ramas y hojas. Entonces los ambientes deberán estar alejados significativamente de estos factores para no sufrir daños, y por consiguiente una merma en los ingresos a causa de ellos.

Otro aspecto influyente y evidente para esta localidad, fue la alta presencia de malezas circundantes al área de trabajo, dificultando las labores dentro los ambientes atemperados, no siendo cuantificado su efecto sobre alguna de las variables de estudio.

Así mismo la presencia de plagas afecta de gran manera a los cultivos presentes en la zona debiendo recurrirse a numerosos métodos de control para estos, siendo estos influyentes en los rendimientos, ya que si no se toman medidas de control se verán afectados los rendimientos de los cultivos.

4.3. Localidad Huajchilla (Valle mesotérmico)

4.3.1. Intensidad lumínica

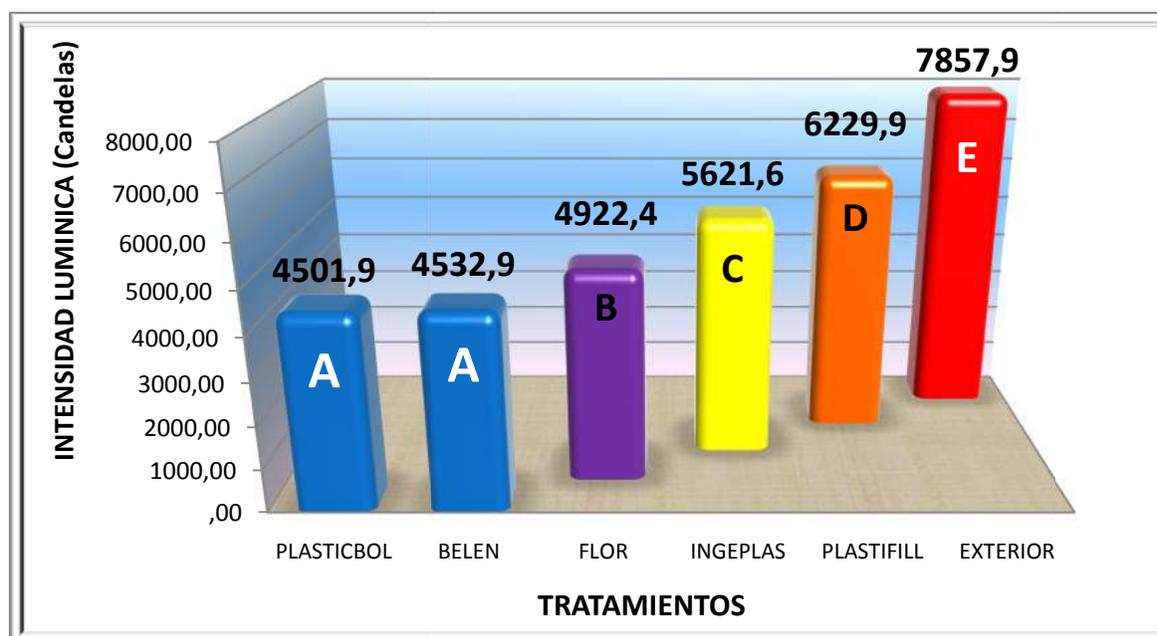
A continuación se resume el análisis de varianza para la variable intensidad lumínica para la localidad de Huajchilla.

Cuadro 11. Análisis de varianza para intensidad lumínica, Huajchilla.

Origen	Suma de cuadrados	gl	Media cuadrática	F	Sig.
TRAT	3155344791,638	6	525890798,606	9761,247	,000**
Error	4848783,546	90	53875,373		
Total	3160193575,184	96			

Del cuadro anterior podemos inferir que existen diferencias altamente significativas entre los tratamientos para esta variable.

Figura 34. Prueba Duncan para intensidad lumínica, Huajchilla.



El grafico anterior muestra, que existen diferencias altamente representativas entre los tratamientos con respecto a la intensidad lumínica, formando cinco grupos por asociación de las medias.

El grupo A, asocia a los plásticos Plasticbol con 4501,9 cd, acompañado del plástico Belén con 4532,9 cd, demostrando una vez más el similar comportamiento entre estos tratamientos. Siendo ambos los valores más bajos entre los tratamientos para la intensidad lumínica. El grupo B solo incluye al plástico Flor de Empresa, con 4922,4 cd, con una intensidad intermedia, pero mucho menor a la del exterior.

El plástico Ingeplas se ve agrupado en el grupo C, con 5621,6 cd, siendo el tratamiento con la intensidad lumínica más alta para los filmes de 250 micras de espesor. El plástico Plastifill, se agrupo en el grupo D con 6229,9 cd, siendo la intensidad más alta entre los tratamientos, pero cabe resaltar que este plástico no posee aditivos UV, ni posee color alguno. Por último se agrupa al exterior en E, con una intensidad promedio de 7857,9 cd.

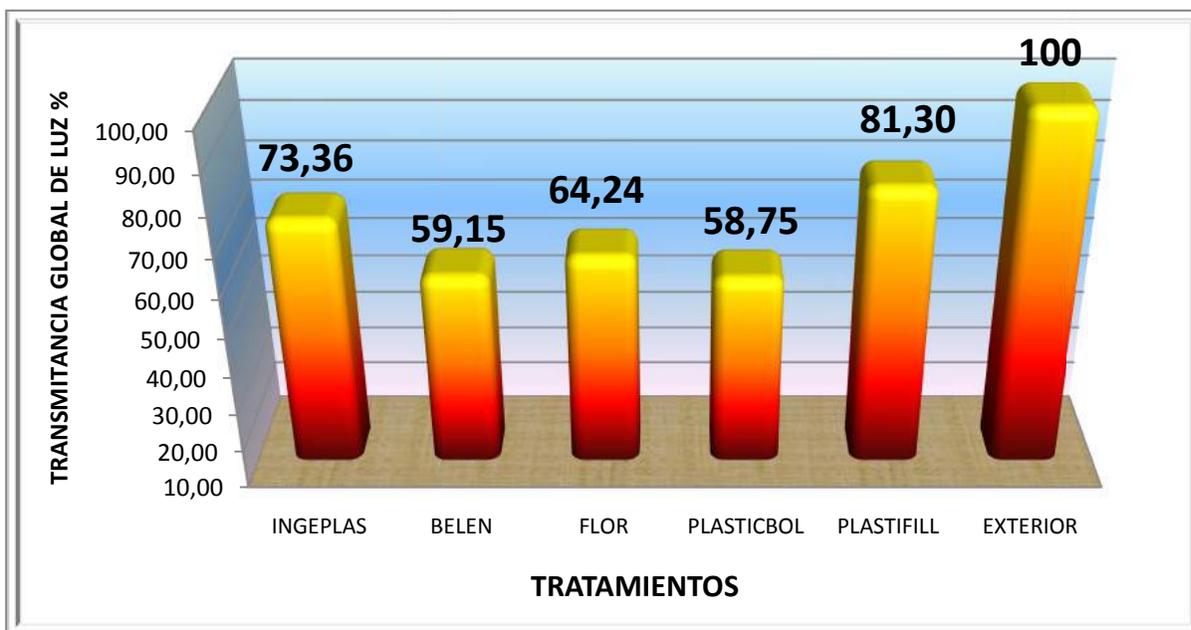
Caldari (2007), asevera que, la calidad de luz tiene influencia en la tasa de fotosíntesis. A mayor altitud, las plantas están más expuestas a longitudes de las fracciones azul y ultravioleta del espectro de radiación. Plantas que son cultivadas en una condición o influencia de mucha sombra reciben abundante luz de las fracciones azul y roja y tienen su crecimiento perjudicado, creciendo más largos y delgados por una tasa fotosintética más baja. Intensidades de luz muy altas pueden reducir el crecimiento por resultado de un “estrés hídrico”.

De acuerdo a esta aseveración, se puede decir que los plásticos con intensidades de luz intermedia trabajan mejor, ya que las condiciones al interior son más estables y pueden alojar a una mayor selección de cultivos, y elevar la productividad al dar condiciones normales de desarrollo.

4.3.2. Transmitancia global de luz

A continuación se expresa la Transmitancia global de luz obtenida por los tratamientos, para la localidad de Huajchilla.

Figura 35. Transmitancia global de luz, Huajchilla.

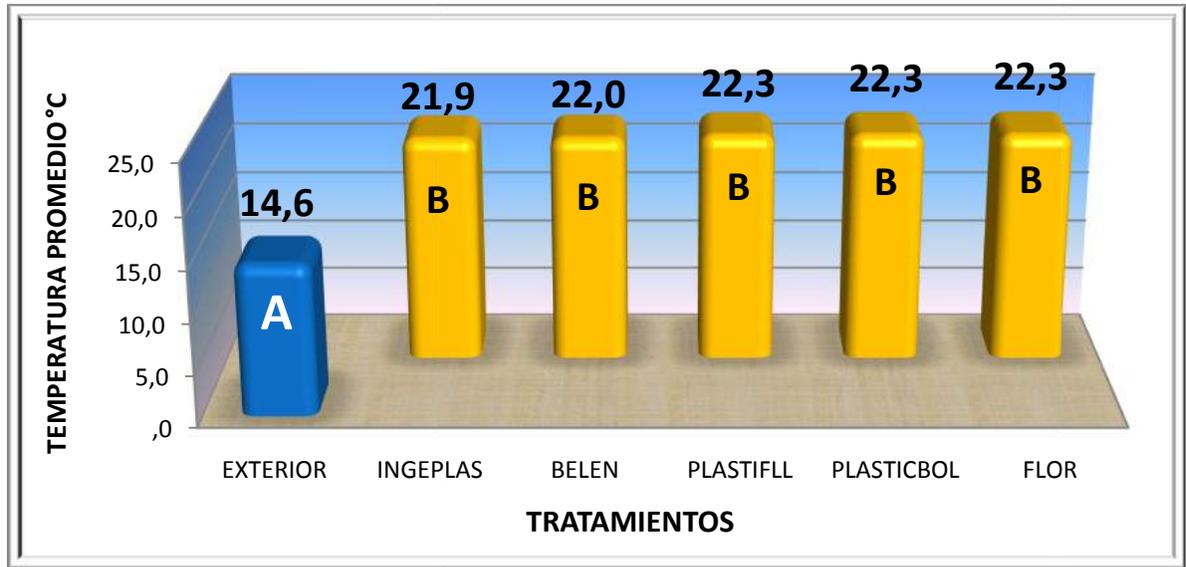


La Transmitancia de luz reflejada, evidencia las diferencias entre tratamientos, siendo el exterior el 100% de la intensidad lumínica, seguido por los plásticos Plastifill con un 81,30 %, Ingeplas con 73,36 %, Flor de Empresa con 64,24 %, Belén con 59,15 % y finalmente Plasticbol con 58,75 % de transmisión global de la intensidad.

4.3.3. Temperatura promedio

La temperatura promedio para la localidad de Huajchilla, en el exterior es notoriamente superior a la de las otras localidades, siendo la principal causa que no se registran temperaturas negativas, y temperaturas máximas elevadas superando los 25 °C en campo abierto.

Figura 36. Prueba Duncan para temperatura promedio, Huajchilla.



La temperatura del exterior presenta un valor de 14,6 °C, el grupo B, incluye a los tratamientos plásticos, con el menor valor de Ingeplas con 21,9 °C, Belén con 22,0 °C, Plastifill con 22,3 °C, Plasticbol 22,3 °C y Flor de Empresa con 22,3 °C, claramente se observa que tres tratamientos contaron con la misma temperatura promedio, pero solamente un tratamiento (Flor de Empresa) es un filme agrícola disponible en el mercado, mostrando que posee mejores condiciones en mantener una temperatura estable y óptima para los cultivos.

Según el CEDEFOA (2005), las variaciones más importantes de la temperatura que afectan el comportamiento de las plantas son producidas por la estación de la producción, variación de temperatura en un día, la altitud del lugar, el calor y el contenido de humedad de los suelos, y por último la acción de la vegetación. De esta forma se deduce que la temperatura promedio dependerá de la sumatoria de factores que influyan en esta, para este estudio, las máximas, mínimas, humedad y la intensidad lumínica. Siendo notoriamente influyente el movimiento de aire de la zona, presentando vientos medios a horas meridianas del día, y por las tardes un incremento del flujo de aire, permitiendo una mejor ventilación de los ambientes y por tanto reduciendo el efecto de las temperaturas máximas extremas.

4.3.4. Temperatura máxima

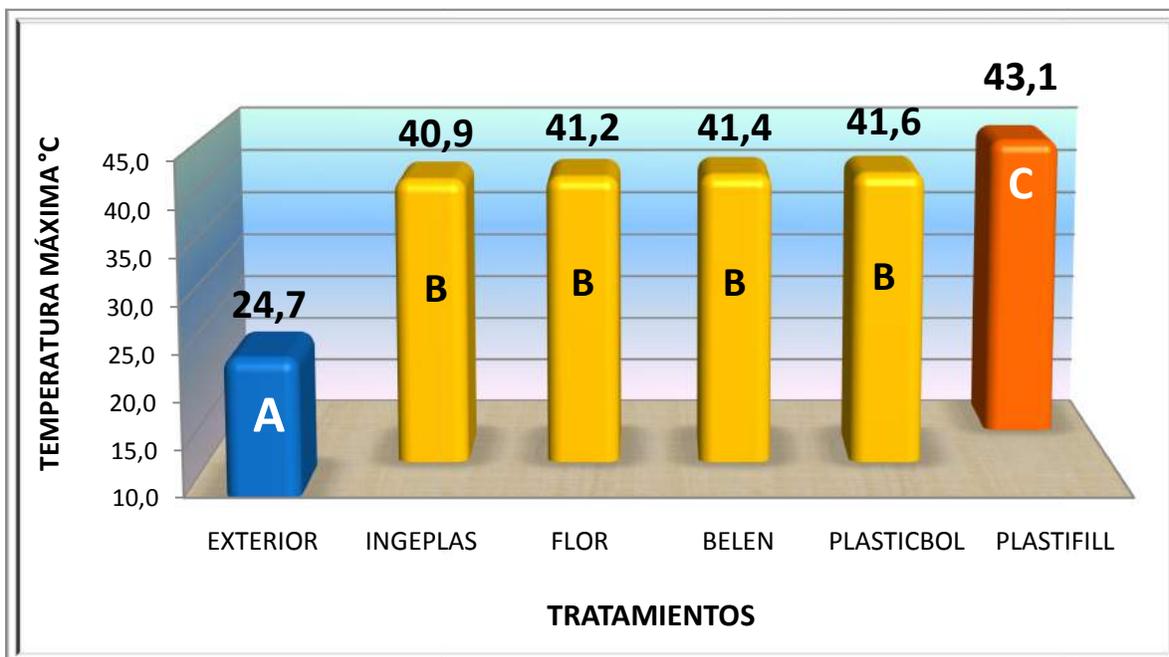
Las temperaturas máximas para esta localidad, corresponden a las más altas registradas para las tres localidades, debido a la altitud de la zona y las características propias de la zona de río abajo del departamento de La Paz.

Cuadro 12. Análisis de varianza para temperatura máxima, Huajchilla.

Origen	Suma de cuadrados	gl	Media cuadrática	F	Sig.
TRAT	148549,686	6	24758,281	11177,307	,000**
Error	199,354	90	2,215		
Total	148749,040	96			

El análisis de varianza denota la significancia entre los tratamientos, por lo cual se realiza la prueba Duncan para determinar esas diferencias.

Figura 37. Prueba Duncan para temperatura máxima, Huajchilla.



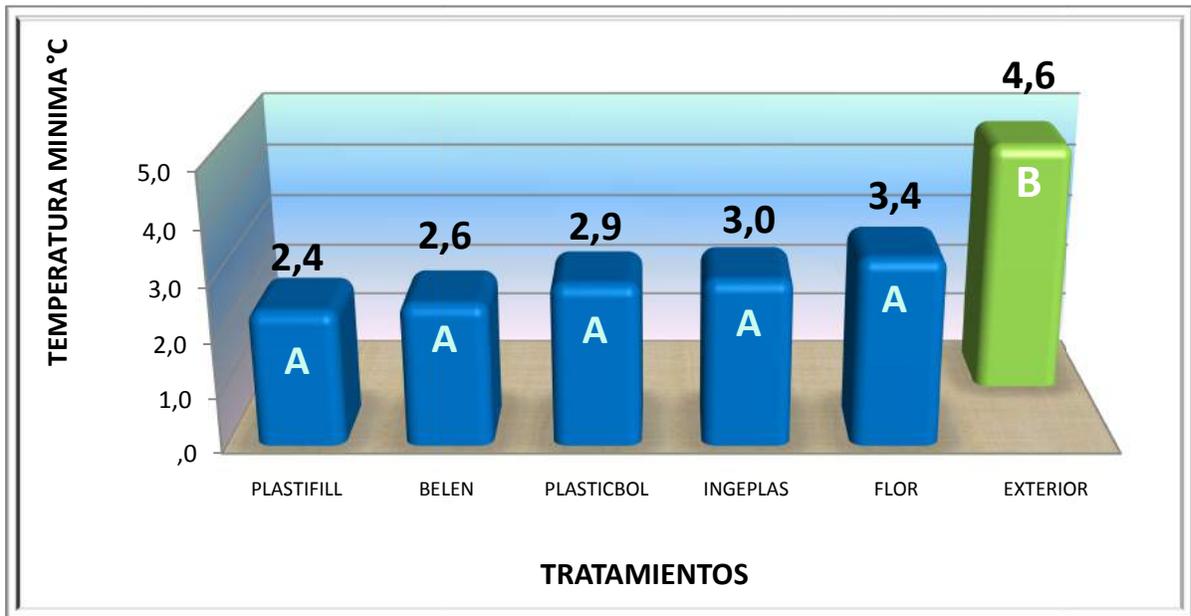
La prueba Duncan evidencia la formación de tres grupos de acuerdo a las similitudes de las medias por tratamiento. El grupo A, registra al exterior como el tratamiento con la menor temperatura, con un valor de 24,7 °C, siendo esta superior a las de las localidades de Cota-Cota y Parcopata. El grupo B asocia a los plásticos Ingeplas con 40,9 °C, Flor de Empresa con 41,2 °C, Belén con 41,4 °C y Plasticbol con 41,6 °C, siendo todos los tratamientos para este grupo filmes agrícolas, mostrando poca variación en general con respecto a la temperatura promedio.

Estos resultados de temperaturas máximas, son elevados, no son aptos para el cultivo, por lo que en la etapa del cultivo se procedió a ventilar los ambientes y de esta forma bajar las temperaturas máximas y que estas no afecten negativamente sobre el cultivo.

4.3.5. Temperatura mínima

Para la zona de Huajchilla no se registró ninguna temperatura mínima por debajo del cero, tanto para los tratamientos como para el exterior.

Figura 38. Prueba Duncan para temperatura mínima. Huajchilla.



El grupo con los tratamientos plásticos, muestra a Plastifill con la temperatura mínima menor con un valor de 2,4 °C, seguido por Belén con 2,6 °C, Plasticbol con 2,9 °C, Ingeplas con 3,0 °C y Flor de Empresa con 3,4 °C de temperaturas mínimas. Esto denota que no hay gran variación entre los tratamientos, ya que los promedios no difieren de manera significativa entre ellos.

El Grupo B, que incluye solamente a la temperatura mínima del exterior, con un valor de 4,6 °C, siendo esta superior a la de los ambientes atemperados, pudiendo deberse este efecto al flujo de aire, el cual no existió dentro los ambientes atemperados, pudiendo haberse producido un efecto de inversión térmica, tal y como se evidenció para las demás localidades.

Las temperaturas mínimas están por encima los 0 °C, por lo que el cultivo tuvo un desarrollo adecuado en esta localidad, atribuido a las características de valle de la zona y de la altitud, siendo esta la zona de estudio con la menor altitud.

4.3.6. Humedad relativa

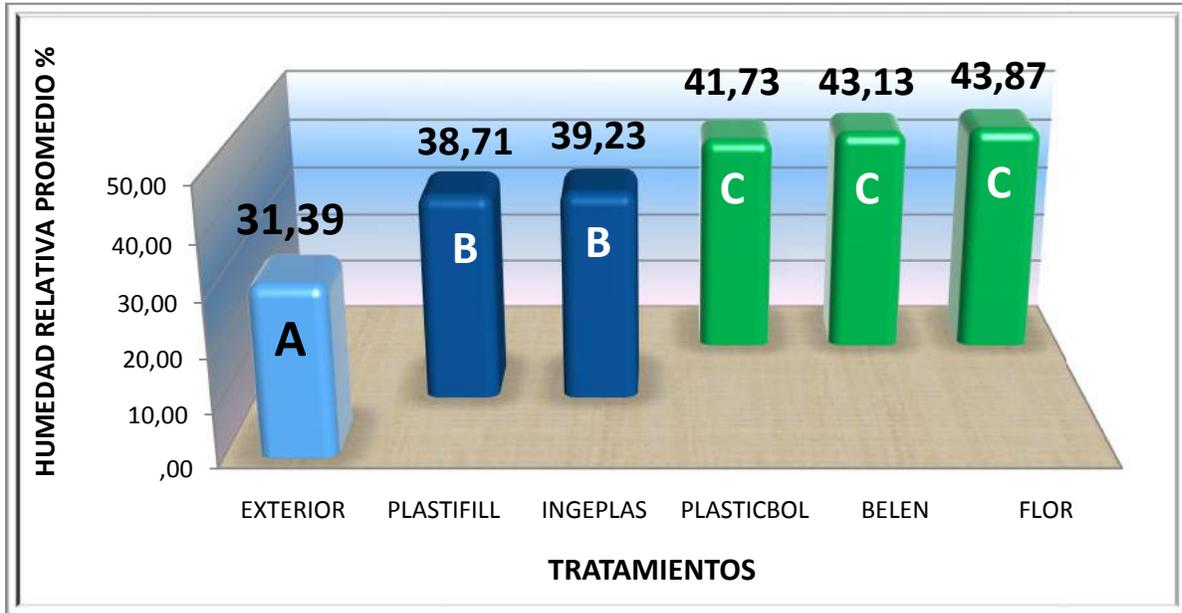
La humedad relativa promedio para esta localidad fue superior a la de las demás, debido a que el cultivo requiere de humedades por encima del 50 % para un desarrollo eficaz debiendo sumarse la humedad procedente del riego que incrementaron los valores de la humedad para los ambientes atemperados.

Cuadro 13. Análisis de varianza para humedad relativa promedio, Huajchilla.

Origen	Suma de cuadrados	gl	Media cuadrática	F	Sig.
TRAT	152788,327	6	25464,721	2750,775	,000**
Error	833,156	90	9,257		
Total	153621,483	96			

El cuadro anterior nos demuestra que existen diferencias entre los tratamientos, por lo cual se requiere la prueba Duncan para establecer esas diferencias.

Figura 39. Prueba Duncan para humedad relativa promedio, Huajchilla.



El grafico anterior, aclara que se agrupa en tres categorías a los tratamientos, el grupo A incluye solamente a la humedad del exterior, con una promedio de 31,39%. El grupo B asocia al plástico Plastifill con 38,71%, seguido por Ingeplas con 39,23 % de humedad relativa, teniendo ambos tratamientos las mayores intensidades lumínicas. Finalmente, el grupo C incluye a los plásticos Plasticbol con 41,73 %, Belén con 43,13 %, y al plástico Flor de Empresa con 43,87 %, mostrando que el grupo C es el más apto para el cultivo de la lechuga, ya que los valores registrados para este grupo están cercanos a los requerimientos de humedad óptima del cultivo.

La humedad relativa de esta zona es la más alta registrada para las localidades de estudio, atribuida a la altitud de la localidad, los vientos, y la cuenca del río cercana a la zona, para campo abierto. En cambio para los ambientes atemperados, la humedad se incrementó en mayor medida por los aportes de riego ofrecidos al cultivo.

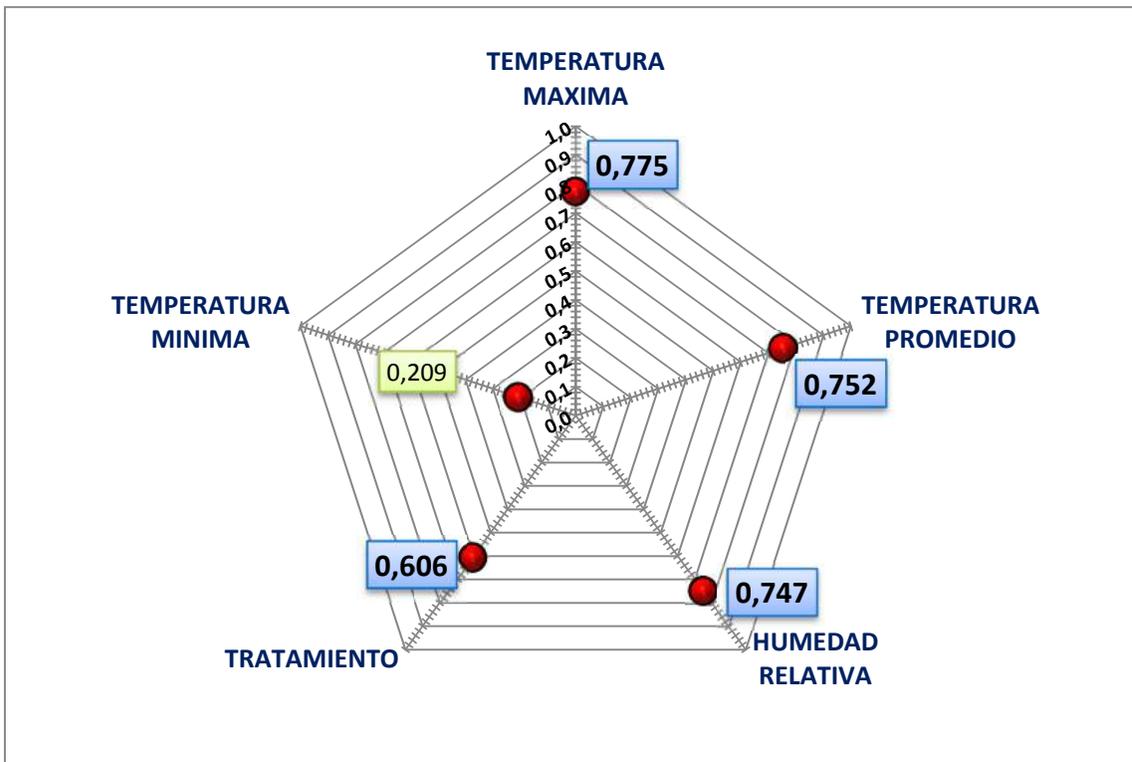
4.3.7. Análisis multivariado variables microclimáticas localidad Huajchilla

Cuadro 14. Matriz de correlaciones, variables microclimáticas, Huajchilla.

VARIABLES	INTENSIDAD LUMINICA
TEMPERATURA MAXIMA	0,775
TEMPERATURA PROMEDIO	0,752
HUMEDAD RELATIVA PROMEDIO	0,747
TRATAMIENTO	0,606
TEMPERATURA MINIMA	0,209

La matriz muestra las distancias en relación a las similitudes e influencias de la variable intensidad lumínica sobre las variables microclimáticas en la localidad de Huajchilla. Siendo la variable temperatura mínima la que no presenta mayor relevancia ni relación directa con la intensidad lumínica.

Figura 40. Correlación de variables respecto a la intensidad lumínica, Huajchilla.



De la misma forma que en las anteriores localidades, la intensidad lumínica influye directamente en la temperatura máxima y promedio, también influye significativamente en la humedad relativa promedio, los tratamientos presentan una relación media con la intensidad, no mostrando diferencias tan notorias como en las otras localidades.

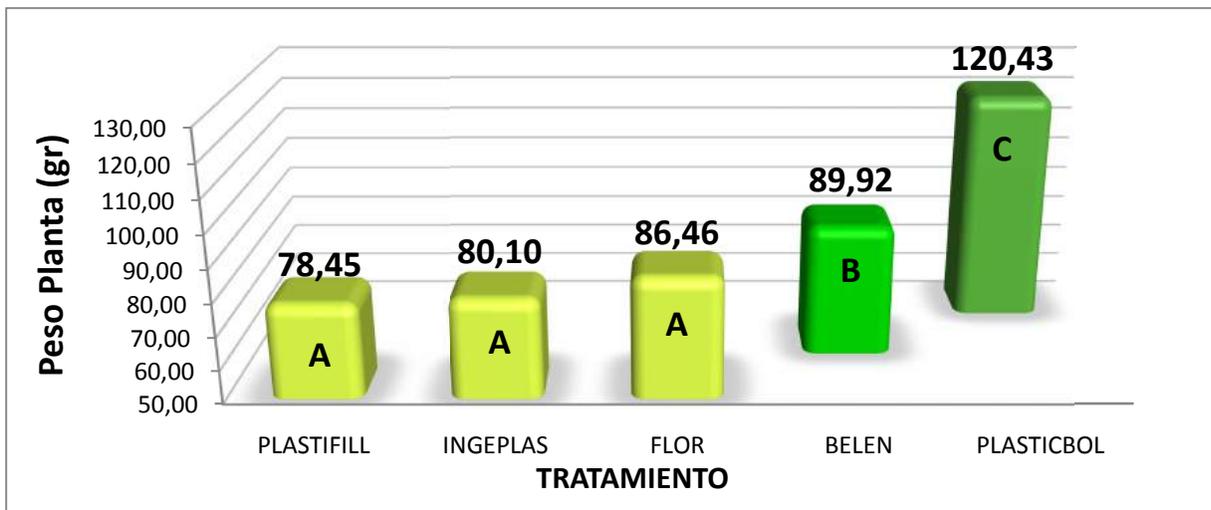
4.3.8. Variables de cultivo

Las variables del cultivo solamente fueron registradas para la localidad de Huajchilla, siendo esta la zona dedicada a la siembra del cultivo de referencia debido a las condiciones de manejo. Así mismo se ofreció al cultivo todas condiciones óptimas para su normal desarrollo, debiendo recurrirse a la ventilación durante el día ya que como se vio en la variable temperatura máxima, estas alcanzan valores no aptos para la producción de la lechuga.

4.3.8.1. Peso de planta

El peso total viene expresado en el peso total de las plantas, en el total de gramos producidos por tratamiento.

Figura 41. Prueba Duncan para peso total, Huajchilla.



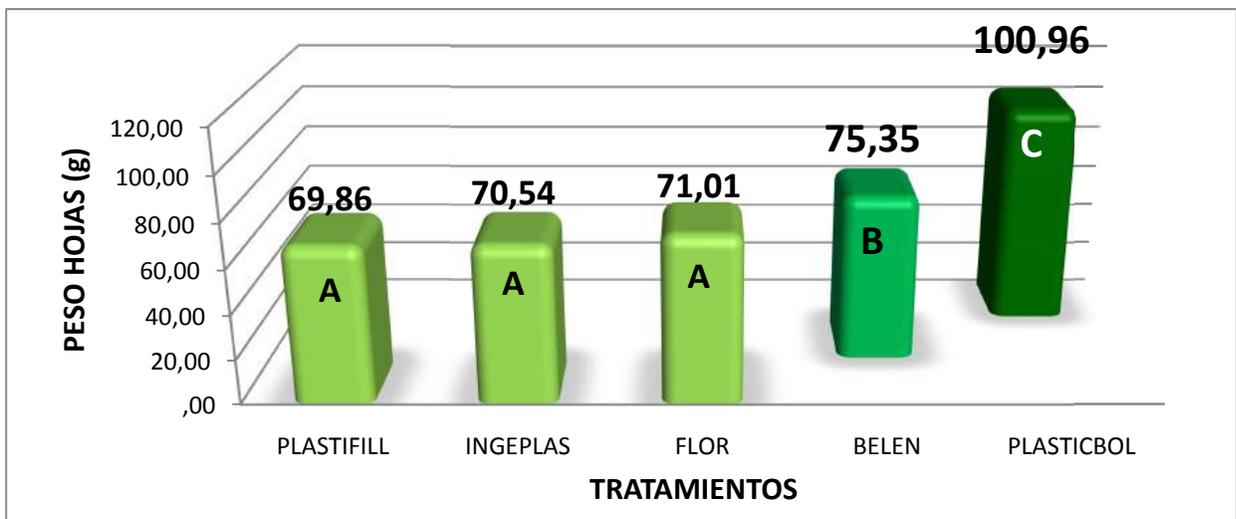
La figura anterior presenta al grupo A con el plástico, Plastifill con 78,45 g, Ingeplas con 80,10 g, Flor de Empresa con 86,46 g, siendo estos tratamientos los que presentan los menores pesos totales. El grupo B solo asocia al plástico Belén con 89,92 gramos de peso. Por último se forma el grupo C, con el tratamiento Plasticbol, con un peso total promedio de 120,43 gramos, siendo el tratamiento con el más alto peso total, y presentó la intensidad lumínica más baja en todas las localidades.

Según el SEMTA (1991), ninguna planta puede desarrollarse si le falta la luz. A campo abierto no existe ese problema pero en cultivos protegidos, las paredes, las cubiertas y los materiales de sostén, disminuyen la intensidad de la luz. Para el caso del rendimiento de la lechuga en Huajchilla, el verdadero problema es la intensidad transmitida al interior de los ambientes, demostrando que el material de cubierta influye directamente sobre el rendimiento ya que los tratamientos con menor intensidad lumínica presentan mejores rendimientos en comparación con los tratamientos con intensidades altas.

4.3.8.2. Peso de hojas

Las diferencias significativas son representadas en la prueba Duncan que se muestra a continuación.

Figura 42. Prueba Duncan para peso de hojas, Huajchilla.



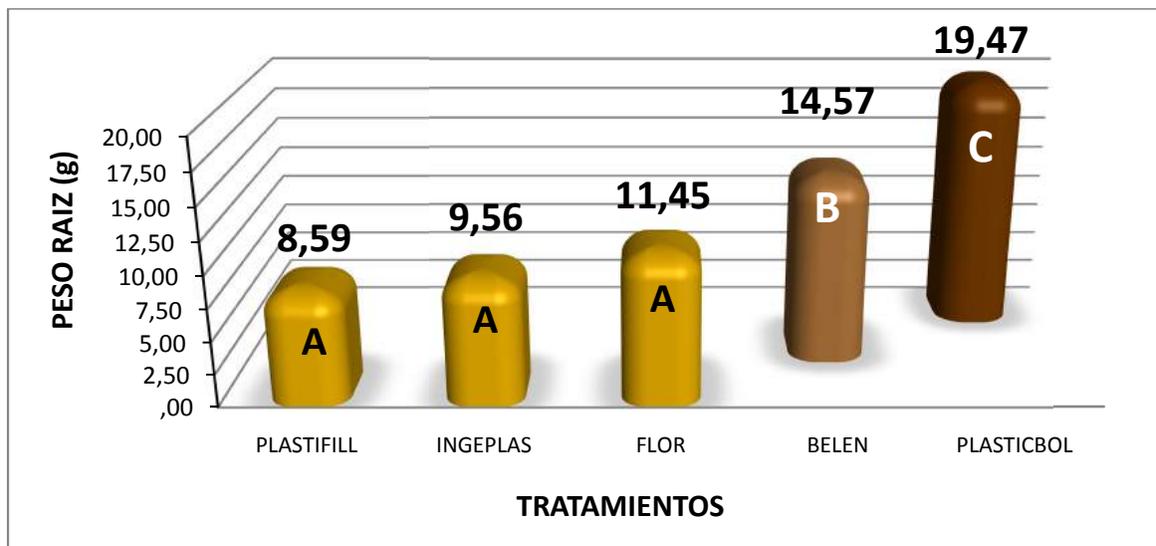
El peso de las hojas indica, que el grupo A, formados por Plastifill con 69,86 g, Ingeplas con 70,54 g, Flor de empresa con 71,01 g. el grupo B con Belén y 75,35 g. Finalmente C con Plasticbol y sus 100,96 gramos.

Según el SEMTA (1991), las hojas, tienen la función más importante, es allí donde por acción de la luz, del sol, del agua, el aire y los nutrientes, se producen los almidones y azúcares que la planta necesita. Si una planta amarillea, deja de producir el almidón y los azúcares necesarios, impidiendo el normal desarrollo, esta amarillez puede producirse por exceso en la radiación solar, deficiencia de nutrientes o deficiencia de agua. La mayor producción vegetal mostrada por el plástico Plasticbol, demuestra que como este plástico posee la menor transmitancia e intensidad lumínica, el cultivo de lechuga se adapta de mejor manera a esta condición, mostrando que para la época invernal, la intensidad lumínica debe reducirse la incidencia directa de esta sobre el cultivo, para mejorar los rendimientos, buscando que el plástico de cubierta permita esta condición.

4.3.8.3. Peso de raíz

El peso de la raíz es la diferencia entre el peso total y el peso de las hojas.

Figura 43. Prueba Duncan para peso de raíz, Huajchilla.



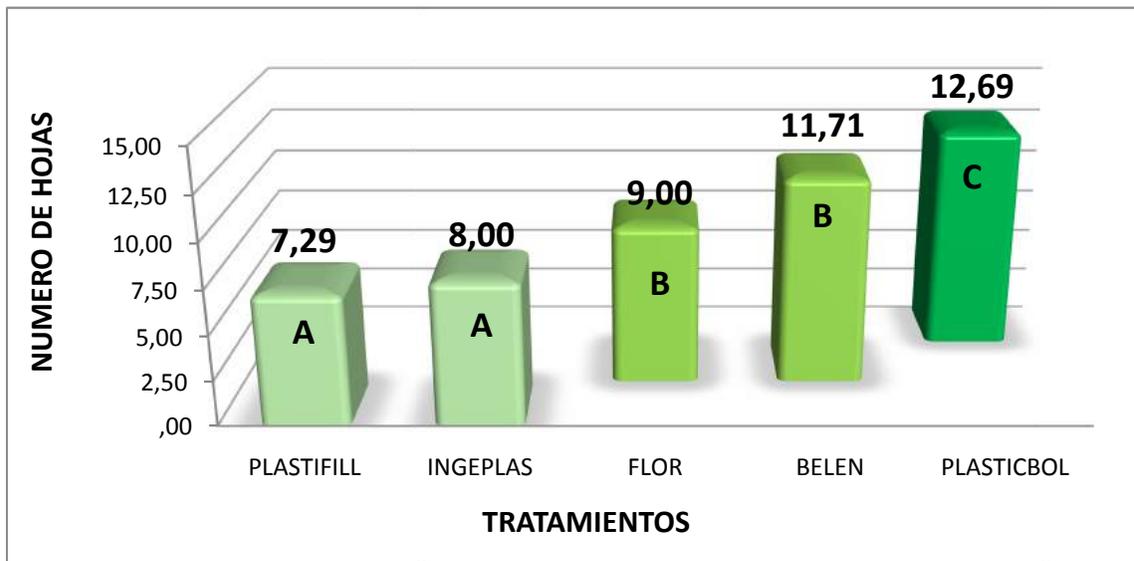
El grafico anterior señala nuevamente la misma disposición de tratamientos, el grupo A, con Plastifill, Ingeplas y Flor de empresa. El grupo B con Belén, y el grupo C, con Plasticbol. El cuadro muestra que a mayor desarrollo vegetativo las raíces incrementan su peso, totalmente relacionado al peso total.

El peso de las raíces solamente se atribuye al grado de desarrollo adquirido por el cultivo, a su vez este desarrollo depende de todos los factores microclimáticos, antes vistos, y demostrando una vez más los mejores rendimientos se obtienen a menores intensidades lumínicas de acuerdo al plástico de cubierta.

4.3.8.4. Número de hojas

El numero de hojas mostrado es el conteo total de hojas tanto maduras como en estado tierno, contadas para estimar el efecto de las variables microclimáticas de los ambientes atemperados.

Figura 44. Prueba Duncan para número de hojas, Huajchilla.



La figura refleja que existen, 3 grupos diferenciados, el A con el plástico Plastifill con 7,29 hojas, Ingeplas con 8 hojas en promedio. El grupo B con Flor de empresa con 9

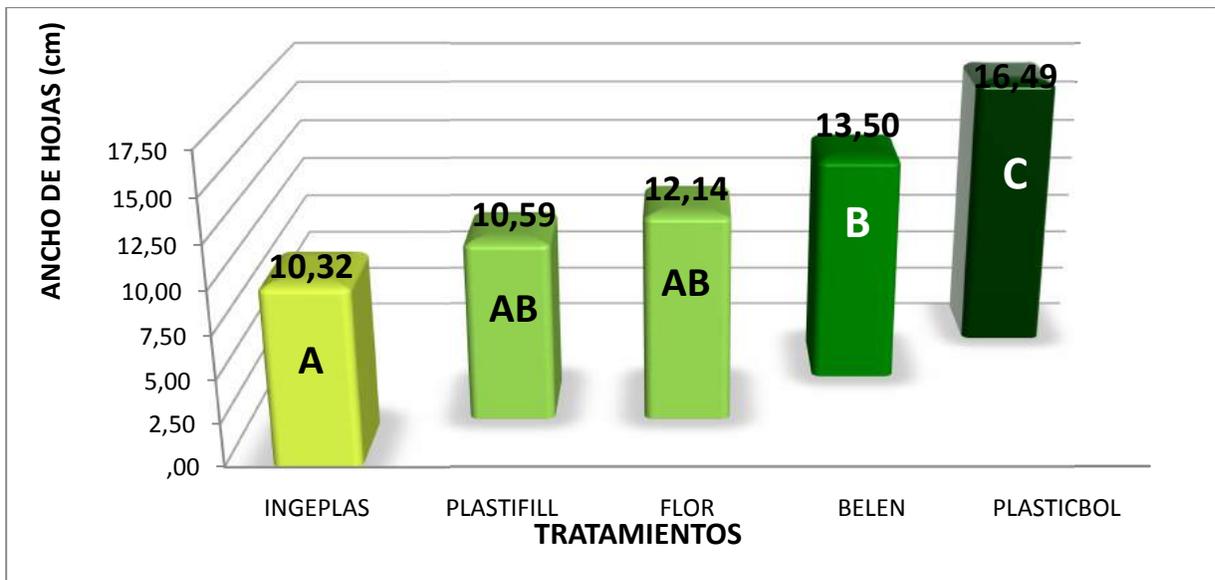
hojas, Belén con 11,71 hojas, Plasticbol con 12,69 hojas en promedio. Y finalmente el grupo C con el plástico Plasticbol con 12,69 hojas.

El número de hojas está directamente relacionado con la humedad relativa dentro del ambiente formando un grupo muy cercano, esto indica que a mayor humedad relativa del ambiente mayor cantidad de hojas se producirán.

4.3.8.5. Ancho hojas maduras

El ancho de hojas se registró solamente para hojas totalmente desarrolladas, no así para hojas en estado de desarrollo.

Figura 45. Prueba Duncan para ancho de hojas, Huajchilla.



La prueba Duncan realizada señala que existen tres grupos por asociación estadística y un subgrupo intermedio entre A y B, dentro el grupo A se encuentra a Ingeplas, con el menor ancho de hojas registrado de 10,32 cm, seguido por el subgrupo AB, con Plastifill con 10,59 cm, Flor de empresa con 12,14 cm. El grupo B agrupa a Belén con 13,50 cm. Y finalmente el plástico Plasticbol con el mayor ancho de hojas con 16,49 cm. Este análisis indica que a mayor desarrollo de la planta se

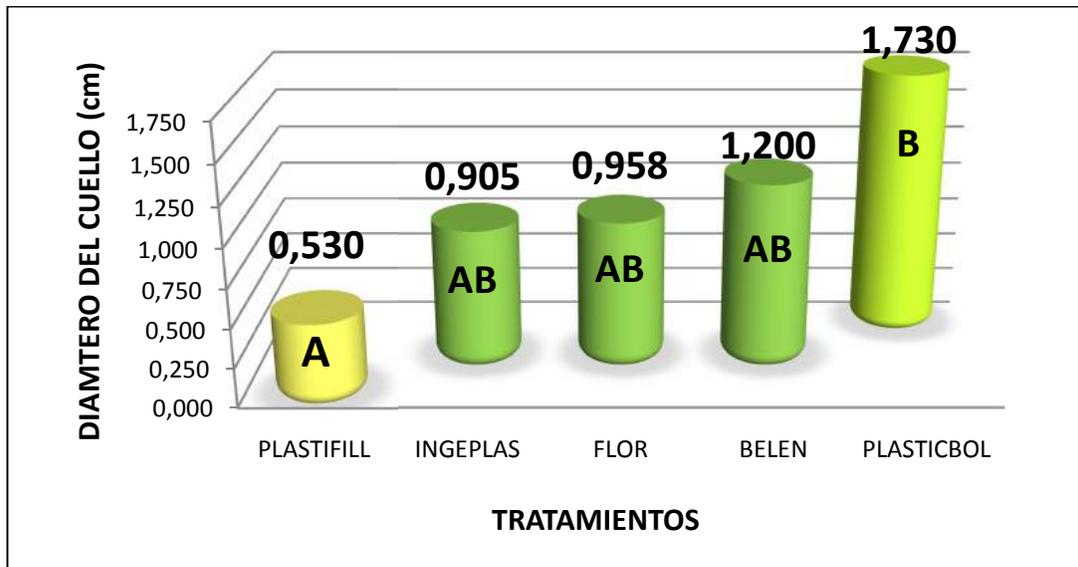
incrementa el ancho de las hojas, hasta llegar al máximo que presenta la variedad genéticamente.

El ancho de la hojas es el reflejo de la intensidad luminosa al interior de cada ambiente, reafirmando que la intensidad lumínica es un factor determinante para el rendimiento, en este caso las hojas de lechuga tienen mayor área foliar para el tratamiento que posee la menor intensidad lumínica. Lo contrario sucede para los tratamientos con alta intensidad, las áreas foliares son menores debido a que tienen excesos en la recepción de la radiación teniendo que reducir su superficie expuesta para evitar daños sobre sus hojas.

4.3.8.6. Diámetro de cuello

El diámetro del cuello fue registrado para determinar si esta variable es directamente afectada por la intensidad lumínica.

Figura 46. Prueba Duncan para diámetro del cuello de la planta, Huajchilla.



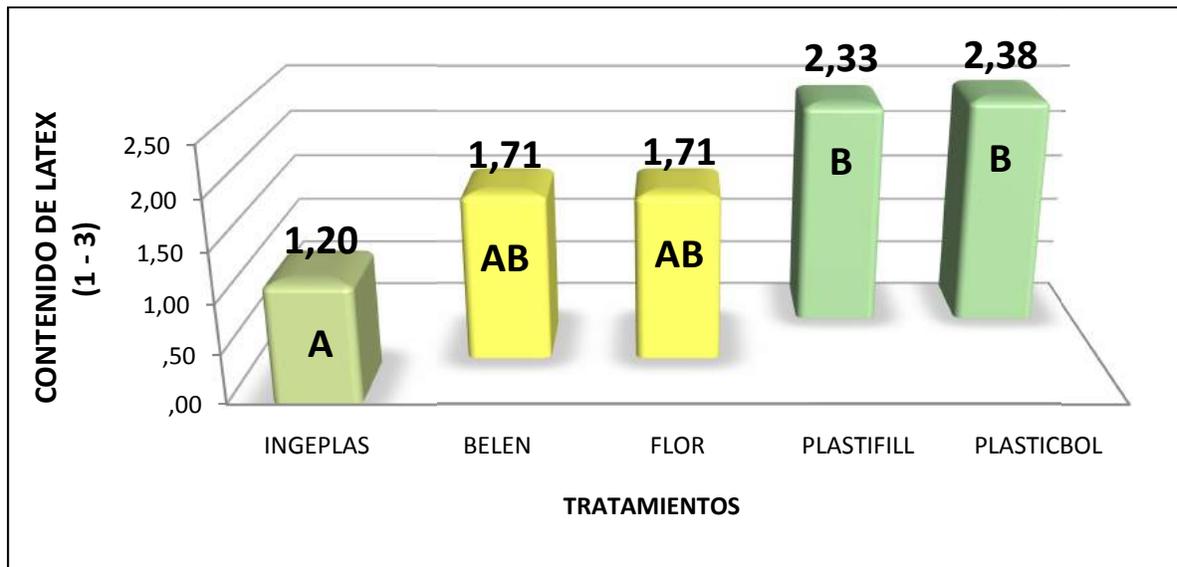
El grafico anterior, muestra dos grupos diferenciados y un subgrupo intermedio, el grupo A al cual pertenece el plástico Plastifill con 0,530 cm de diámetro promedio

para el cuello de la planta. El subgrupo AB formado por Ingeplas con 0,905 cm, Flor de Empresa con 0,958 cm y Belén con 1,2 cm de diámetro del cuello de planta promedio. Finalmente el grupo C con Plasticbol con 1,730 cm. El diámetro del cuello de las plantas estudiadas, se encuentra directamente relacionado con el nivel de desarrollo alcanzado.

4.3.8.7. Contenido de látex

El látex es la savia elaborada que fluye de la raíz hacia las hojas, con una propiedad de ser densa y lechosa. El contenido de látex fue visualizado para ver si la intensidad y el microclima de los ambientes influye en el desarrollo de medios de defensa por parte de la planta, además que el látex tienen influencia en la calidad del producto, dándole un sabor amargo a hojas muy desarrolladas, cualidad no favorable para el consumo.

Figura 47. Prueba Duncan para contenido de látex, Huajchilla.



La prueba Duncan señala, que existen dos grupos A y B, además de un subgrupo AB, el grupo A con el plástico Ingeplas con un contenido bajo de látex de acuerdo a

su desarrollo que fue también bajo. El subgrupo AB con Belén y Flor de Empresa, mostrando un contenido medio de látex conforme el desarrollo alcanzado.

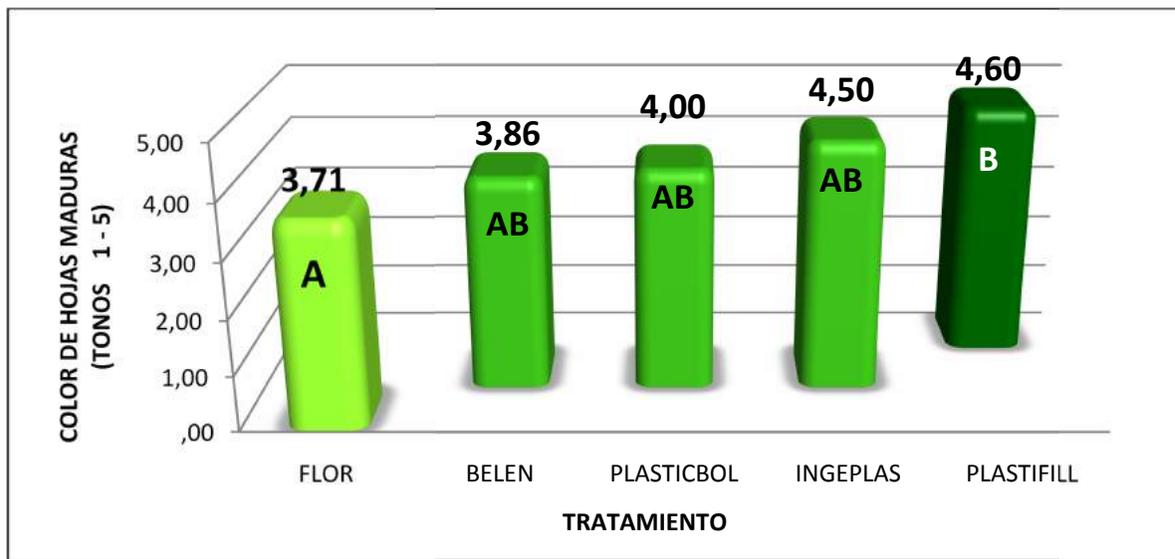
El grupo B asocia a Plastifill y Plasticbol, como similares, con un contenido medio a alto de látex, el plástico Plastifill sin color y con la mayor intensidad, mostró un alto contenido de látex, no obstante este fue el tratamiento con menor peso total, este puede ser un mecanismo de defensa contra la alta intensidad lumínica recibida. Lo contrario sucede con Plasticbol, que obtuvo el mayor peso total pero presenta látex por el estado de desarrollo alcanzado.

Esto refleja solamente que la intensidad lumínica engloba a los demás factores microclimáticos para el desarrollo del cultivo, a medida que el cultivo adquiere mayor desarrollo se intensifica el contenido del látex.

4.3.8.8. Color de hojas maduras

Registrado, para evidenciar el efecto de la intensidad lumínica sobre el cultivo de referencia y determinar el efecto sobre este.

Figura 48. Prueba Duncan para el color de hojas maduras, Huajchilla.



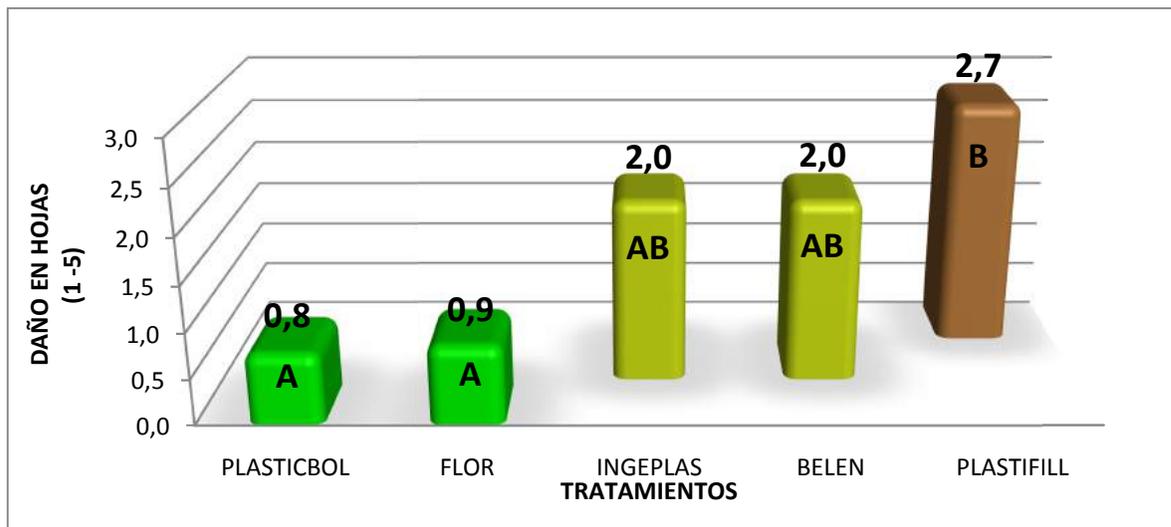
El figura refleja que el plástico Flor de Empresa tiene la coloración de hojas más tenue, característica comercial deseable, pero este tratamiento no llegaba aún a la madurez comercial. Los plásticos Belén, Plasticbol e Ingeplas presentaron tonalidad cercana a cuatro, este tono es verdoso, pero no tan intenso, señalando que se tienen buena calidad para comercializar este producto. Finalmente el plástico Plastifill mostró una coloración de hojas mucho más intensa que los demás tratamientos, asociada a la mayor intensidad recibida. Además este tratamiento no alcanzó la madurez comercial al momento del registro del color de las hojas.

La coloración de las hojas, es proporcional a nivel de intensidad lumínica, a mayores intensidades la coloración de las hojas se torna oscura a un nivel poco atractivo visualmente, no reflejando el verdadero estado de madurez del cultivo. Por otro lado la coloración tenue, o débil se atribuye a otro factor en la calidad del plástico, que es la coloración y acabado propio para cada plástico.

4.3.8.9. Daño en hojas

El daño en hojas se calificó para ver el efecto de la intensidad lumínica sobre las hojas de los tratamientos.

Figura 49. Prueba Duncan para daño en hojas, Huajchilla.



La figura anterior para daño en hojas muestra, que los tratamientos Plasticbol y Flor de Empresa tuvieron menores daños en las hojas siendo caracterizados como poco, con tendencia hacia ninguno. Los plásticos Ingeplas y Belén presentaron una tendencia a daño medio, no obstante el plástico belén presenta una de las intensidades más bajas, Ingeplas posee la mayor intensidad entre los plásticos y también posee daños medios. El plástico Plastifill, presentó los mayores daños en hojas, con un valor cercano a 3, el cual indica daño alto y representativo en las hojas, siendo este tratamiento el que obtuvo la mayor intensidad lumínica entre los plásticos agrícolas.

El análisis señala que existe una relación directa entre el daño en hojas y la intensidad lumínica, sugiriendo que a mayores intensidades de luz mayores daños existirán en las hojas. También muestra que los tratamientos se relacionan con la intensidad y combinados generan los daños sobre las hojas. También cabe señalar que a mayores intensidades de radiación, se requieren mayores cantidades de agua y ventilación ya que se incrementa la evapotranspiración, siendo limitante para el desarrollo del cultivo e incrementando los daños en las hojas pues las plantas están débiles y no adquieren resistencia frente a las altas intensidades.

4.3.9. Análisis multivariado, localidad de Huajchilla

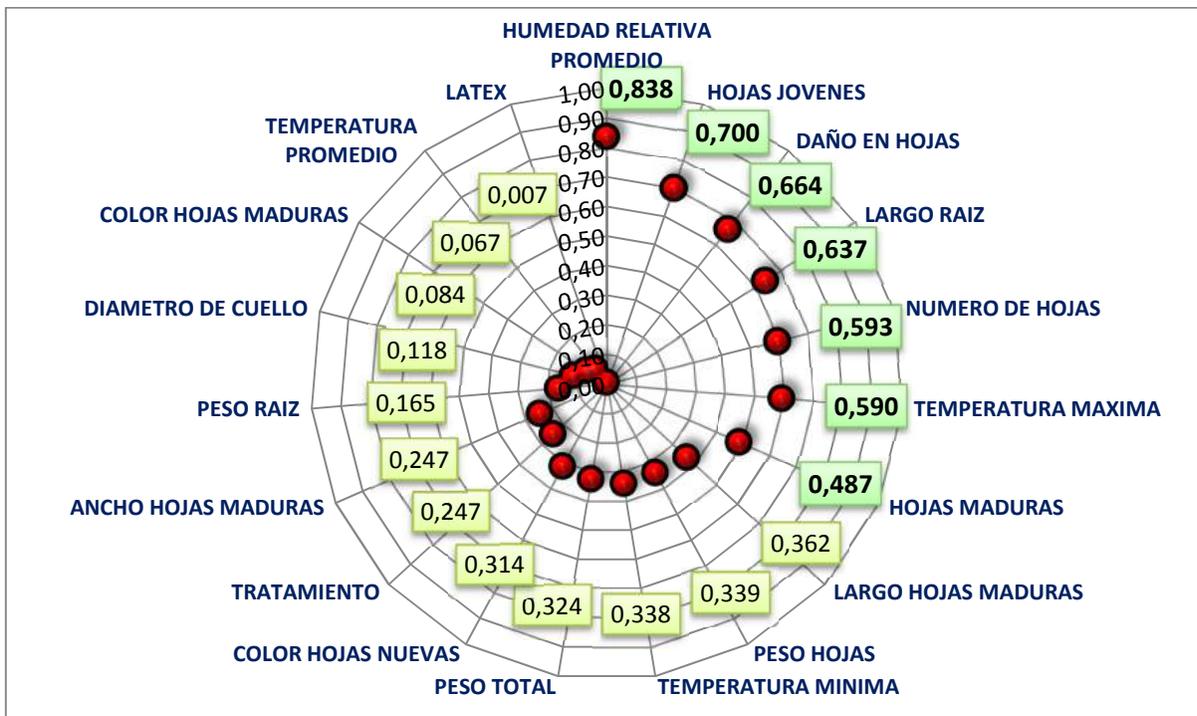
Para este análisis se tomaron en cuenta a todas las variables, variables microclimáticas y variables del cultivo, de esta forma se trata de develar la influencia de una variable sobre otra en especial las variables que poseen mayor similitud con la intensidad lumínica o dependen en algún grado de esta variable.

A continuación se desglosa la matriz de distancias que poseen las variables con respecto a la intensidad lumínica, mostrando que a medida que los valores se acerca a la unidad, estas tienen mayor afinidad con la intensidad lumínica, los valores demasiado bajo, no tienen relación directa o la influencia de la variable intensidad lumínica es nula.

Cuadro 15. Matriz de correlaciones, variables microclimáticas y de cultivo, Huajchilla.

VARIABLES	INTENSIDAD LUMINICA PROMEDIO
	Correlación (0 – 1)
HUMEDAD RELATIVA	0,838
HOJAS JOVENES	0,700
DAÑO EN HOJAS	0,664
LARGO RAIZ	0,637
NUMERO DE HOJAS	0,593
TEMPERATURA MAXIMA	0,590
HOJAS MADURAS	0,487
LARGO HOJAS MADURAS	0,362
PESO HOJAS	0,339
TEMPERATURA MINIMA	0,338
PESO TOTAL	0,324
COLOR HOJAS NUEVAS	0,314
TRATAMIENTO	0,247
ANCHO HOJAS MADURAS	0,247
PESO RAIZ	0,165
DIAMETRO DE CUELLO	0,118
COLOR HOJAS MADURAS	0,084
TEMPERATURA PROMEDIO	0,067
LATEX	0,007

Figura 50. Correlación de variables respecto a la intensidad luminica, Huajchilla.



El análisis anterior muestra de manera explícita cuales de las variables son las que son influenciadas directamente por la intensidad lumínica, puede considerarse una relación directa y proporcional a las variables que presentan valores iguales o mayores a 0,500 como distancia de asociación con respecto a la variable intensidad lumínica.

Las variables de cultivo que dependen directamente de la radiación solar, y la intensidad lumínica son el número de hojas jóvenes, que a menor intensidad lumínica existe una mayor producción de hojas, el largo de la raíz es consecuencia del desarrollo de las hojas que presenta cada planta, por otra parte la intensidad lumínica afecta directamente en el daño de las hojas que depende directamente con la transmitancia de la luz de cada plástico en particular, en menor medida la intensidad lumínica afecta al desarrollo de las hojas maduras, obteniéndose un equilibrio entre hojas jóvenes y hojas maduras. Las demás variables no muestran relación directa con la intensidad lumínica, si no otro tipo de relaciones entre variable, adicionando las variables microclimáticas.

Esta localidad presentó las mejores condiciones para la producción en ambientes atemperados, ya que no presentó días con heladas en época invernal, presenta mayor circulación de vientos en horas de mayor temperatura. De la misma forma que para las anteriores localidades la cubierta necesariamente debe presentar una coloración uniforme, permitiendo una mejor difusión de la radiación al interior de los ambientes atemperados, a la vez que impide que existan excesos de radiación sobre los cultivos.

Se pudo comprobar con el cultivo de lechuga, que las características de cada plástico afectan en diferentes proporciones al cultivo. Principalmente con la intensidad lumínica, que si bien los resultados no reflejan directamente esta relación, el rendimiento dio una referencia clara, que todas las variables se asocian en diferentes magnitudes para incidir sobre el desarrollo del cultivo, teniéndose plásticos con rendimientos más altos en similitud de condiciones de manejo. La coloración del

plástico resultó ser determinante para la producción, ya que con menores intensidades de radiación se obtuvieron mejores resultados en rendimiento para el cultivo de lechuga, también a menores intensidades lumínicas, se tiene coloraciones de hojas deseables para la venta, y además no se presentan daños en las hojas.

4.4. Plásticos de cubierta

4.4.1. Ingeplas

Este plástico presenta una coloración amarillo verdosa, presentó la mayor Transmitancia de luz al interior de los ambientes atemperados, para las tres localidades en estudio. Se comprobó que este plástico no brinda condiciones adecuadas para el cultivo de la lechuga, ya que este cultivo requiere intensidades lumínicas bajas. Este material produjo daños sobre el follaje de la lechuga debido a la alta intensidad registrada al interior del ambiente cubierto con esta marca.

Este material presentó a su vez los valores más bajos de humedad, no reteniendo de manera adecuada en ninguna de las localidades una humedad beneficiosa para el cultivo de la lechuga. De esta forma el uso de este material debería estar acompañado de mallas semisombra a diferentes porcentajes de sombra para ofrecer intensidades luminosas adecuadas para los cultivos.

Este plástico puede resultar beneficioso en época de lluvias, o en épocas con nubosidad constante, también puede adaptarse para cultivos que requieren intensidades de luz altas para la maduración de los frutos o para el desarrollo vegetativo.

4.4.2. Belén

Esta marca presentó una de las intensidades lumínicas más bajas, para las tres localidades de estudio, favorecida por la coloración que presenta, además del patrón de fabricación transversal que posee en su superficie, que favorece la difusión de la

radiación de manera más uniforme dentro los ambientes. El factor limitante para este plástico es el costo que llega a ser el más alto para todos los tratamientos, influyendo de gran manera en la de adquisición de este material. Sin embargo un análisis detallado sobre los beneficios y costos a 5 años o más podría demostrar un ahorro al no necesitar de malla semisombra adicional en los ambientes atemperados.

El ambiente cubierto por este plástico, favoreció a un buen desarrollo del cultivo de lechuga, teniendo valores de radiación cercanos al óptimo requerido, además no mostró daños en hojas ni tonalidades de color muy oscuras, más bien presentó coloraciones deseables de manera comercial.

4.4.3. Flor de Empresa

Este plástico presenta deficiencias en la fabricación ya que en la superficie de este, se encuentran manchas de color amarillo intenso, esto por una inapropiada mezcla del colorante con el polímero al momento de la fabricación, que hace que la radiación no sea bien distribuida al interior del ambiente. Además presentó una transmisión de la luz moderadamente alta, reflejada en el rendimiento del cultivo.

Esta material registró fluctuaciones de temperaturas menos bruscas que en otros materiales, siendo el que presentó registros más estables de las variables microclimáticas. Esta marca se ve favorecida por el bajo costo que tiene y por la facilidad de compra, además que se adapta a cultivos con diferentes requerimientos en cuanto a la intensidad lumínica.

En cuanto al cultivo de lechuga presento un rendimiento medio, con algunas plantas afectadas mínimamente por quemaduras de sol, y mostro coloración intermedia del follaje. Mostrando además que este plástico si bien resulta económico también deberá estar acompañado de una malla semisombra para reducir la incidencia de la intensidad lumínica sobre los cultivos.

4.4.4. Plasticbol

Este material con solamente 100 micrones de espesor, presentó los mejores rendimientos del cultivo, a la vez que mostró los menores valores de intensidad lumínica. Confirmando una vez más que el grosor no incluye en la transmisión de la luz, simplemente el grosor mejora las propiedades físicas de resistencia.

Así mismo, este plástico mostró valores superiores de humedad, temperaturas adecuadas y reparte de manera adecuada la luz al interior del ambiente, esto permitió un desarrollo adecuado del cultivo de lechuga, presentando el rendimiento más alto para todos los tratamientos.

La coloración que presenta este plástico es bastante uniforme siendo el plástico más opaco, característica deseable para cultivos de bajo requerimiento de intensidad lumínica. Además que abarata los costos de producción al no requerir ninguna protección adicional contra la intensidad, por tanto menores costos en la construcción.

La limitante para este plástico radica en el espesor que posee, ya que en nuestro medio se tienen constantes fenómenos naturales adversos, tales como lluvias, granizadas, heladas, vientos entre otros, que deterioran aceleradamente a las cubiertas, y mayor aún si estas son de un grosor bajo.

4.4.5. Plastifill

Este plástico utilizado como referencia, simplemente se utilizó para demostrar que la coloración del plástico influye de sobremanera sobre las variables microclimáticas. Además de demostrar que un plástico en nuestro medio debe contar con cantidades óptimas de aditivos estabilizadores a la radiación ultravioleta, para evitar el deterioro prematuro del material de cubierta.

La intensidad lumínica al interior de este tratamiento, fue la más alta confirmando que la coloración del plástico influye sobre el cultivo. Con este material de cubierta, se obtuvieron los menores rendimientos, se evidenciaron mayores daños, y el follaje obtenido presentó coloraciones bastante oscuras con respecto a las características deseables para la comercialización.

Este tipo de plásticos se degradan aceleradamente, por no poseer los aditivos foto estabilizantes a la radiación ultravioleta, ya que pasados los seis meses se registraron daños en el material, debiendo recurrir a composturas para evitar la pérdida total de este material. Adicionalmente se requieren mayores niveles de riego ya que la intensidad lumínica incrementa la temperatura interna y por consiguiente las pérdidas por evapotranspiración de los cultivos.

4.5. Análisis económico

A continuación se resumen los costos registrados en tiendas y agropecuarias de la ciudad de La Paz y El Alto.

Cuadro 16. Características y costos de los plásticos de cubierta utilizados.

AGROFILM	ESPESOR (Micrones)	FILTRO UV	UNIDAD DE VENTA		DISPONIBILIDAD DE VENTA
			ROLLO 50x4 m	METRO 1 x 4 m	
			Precio * Bs.	Precio * Bs.	
INGEPLAS	250	2 – 3 años	2000	42	Disponible
BELEN	250	2 – 3 años	2300	46	Disponible
FLOR DE EMPRESA	250	2 – 3 años	1800	36	Disponible
PLASTICBOL	100	2 – 3 años	1000	18	no disponible

**Precios al mes de abril de 2010*

Los plásticos utilizados corresponden a plásticos nacionales, las marcas Ingeplas, Belén y Flor de empresa se comercializan directamente en tiendas agropecuarias, y están al alcance de cualquier persona.

El plástico Plasticbol, se vio discontinuado en su producción, debido al espesor, que al ser de 100 micrones, no es apto para las duras condiciones que tenemos a lo largo del año y en las zonas productivas.

El plástico Plastifill, es un plástico común, disponible en cualquier lugar de venta de plástico, este no tiene las mismas dimensiones que los otros filmes agrícolas. Y no se ve la necesidad de realizar un análisis económico de este ya que solo se lo utilizó como referencia.

5. CONCLUSIONES

- La intensidad lumínica para la localidad de Parcopata (*Altiplano*), a campo abierto fue de 7924,3 cd, el plástico común Plastifill registró 6317,87 cd, El agrofilm Ingeplas con 5432,1 cd, Flor de Empresa con 4830,71 cd, Plasticbol con 4373,96 cd y Belén con 4343,78 candelas. En la localidad de Cota-Cota (*Cabecera de valle*), la intensidad lumínica a campo abierto fue de 7663,1 candelas en promedio. Seguida por el plástico, Plastifill con 6198, 1 cd, Ingeplas con 5420,5 cd, Flor de Empresa con 4772,7 cd, Belén con 4377,1 cd y Plasticbol con 4326,4 candelas. La localidad de Huajchilla (*Valle mesotérmico*) mostró valores de intensidad en orden decreciente de la siguiente manera, a campo abierto (exterior) de 7857,9 cd, Plastifill 6229,9 cd, Ingeplas 5621,6 cd, Flor de Empresa 4922,4 cd, Belén 4532,9 cd y Plasticbol con 4501,9 candelas.
- La intensidad lumínica afecta directamente sobre la Temperatura máxima y Temperatura promedio de manera proporcional, a medida que se incrementa la intensidad lumínica se incrementa la temperatura interior de los ambientes atemperados.
- La humedad relativa es inversamente proporcional a la intensidad lumínica, a medida que la intensidad lumínica se incrementa la humedad disminuye, además a niveles nulos de intensidad lumínica la humedad presenta los valores más altos y se tienen los valores extremos de la temperatura mínima.
- El peso total de planta obtenido para el cultivo de lechuga en la localidad de Huajchilla, fue el más alto para el plástico Plasticbol con un promedio de peso de 120,43 gramos, seguido por los plásticos Belén con 89,92 g, Flor de Empresa con 86,46 g, Ingeplas con 80,10 g y Plastifill con 78,45 g. Siendo la sumatoria de variables microclimáticas influyentes para el desarrollo del cultivo.

- El color de las hojas, el número de hojas jóvenes, hojas maduras y el daño en hojas por factores no bióticos, es directamente afectado por la intensidad lumínica, siendo estas características deseables de comercialización, mostrando que la alta intensidad lumínica afecta en la calidad de las hojas de lechuga.
- La intensidad lumínica depende directamente de la calidad del plástico, el contenido de aditivos estabilizantes frente a la radiación ultravioleta, además del color que presenta cada plástico, siendo el óptimo un color amarillo intenso, que disipa de mejor manera la radiación solar dentro los ambientes atemperados.
- Los ambientes atemperados en la región del *Altiplano*, deben contar con cerramientos laterales con materiales térmicos, y ventilación eficiente en horas de mayor intensidad lumínica. En época invernal, se obtienen mejores rendimientos para el cultivo de lechuga a bajas intensidades lumínicas, cercanas al requerimiento promedio del cultivo.
- Los fabricantes nacionales de plásticos deben mejorar las características de sus filmes agrícolas, principalmente las propiedades ópticas, porque estos influyen directamente sobre los rendimientos en cultivo, los costos de producción y la calidad de los vegetales obtenidos en los ambientes atemperados. El calibre o micronaje en grosor de los plásticos de cubierta no tiene ninguna influencia sobre la transmisión de la luz al interior de los ambientes atemperados.

6. RECOMENDACIONES

- Los filmes agrícolas para cubierta de ambientes atemperados Ingeplas y Flor de empresa requieren necesariamente el uso de malla semisombra para la producción de lechuga en época invernal, para evitar daños en las hojas y obtener productos de mejor calidad
- Se recomienda para el cultivo de lechuga el uso del agrofilm belén, siendo el plástico que posee menor intensidad lumínica y presenta valores óptimos para el desarrollo del cultivo, además de no requerir malla semisombra adicional para el desarrollo del cultivo.
- Los ambientes atemperados tales como carpas solares, walipinis y otros, deberán contar con ventilación eficiente, de esta forma se reducen los efectos nocivos de las temperaturas letales para los cultivos, además se evitan problemas fitosanitarios por exceso de humedad en el ambiente.
- El cerramiento lateral de los ambientes atemperados para la región del altiplano y cabeceras de valle, debe ser construido con materiales térmicos que eviten las pérdidas de energía hacia el exterior, especialmente en horas de madrugada.
- Realizar trabajos similares, en ambientes atemperados de mayor tamaño, para ver efectos detallados de la incidencia de la intensidad lumínica sobre variables microclimáticas.
- Realizar estudios similares para diversos cultivos, y así de esta forma obtener información puntual para nuestras zonas productivas del departamento de La Paz.

- Se recomienda a los fabricantes de filmes agrícolas, la adición de aditivos que reduzcan la transmisión de la radiación al interior de los ambientes atemperados, además de la adición de colorantes de manera uniforme para crear un efecto de difusión de la radiación solar al interior de los ambientes.
- Replicar este tipo de estudio en diferentes épocas del año para tener información detallada de la incidencia del material de cubierta en diferentes épocas de producción.
- Incentivar y diversificar la producción de hortalizas en las ciudades, tales como micro huertas, y los invernaderos familiares urbanos, para mejorar la nutrición y la seguridad alimentaria de los habitantes urbanos.

7. BIBLIOGRAFIA

- ABRAIRA V., PÉREZ DE VARGAS A., "Métodos Multivariantes en Bioestadística", Editorial Centro de Estudios Ramón Areces. 1996.

- ACUÑA, J.F.; GONZÁLEZ, J.H. "Uso de plásticos foto selectivos en la producción de rosa bajo invernadero en la Sabana de Bogotá". VIII Congreso CIDAPA – Buenos Aires, Argentina 2006.

- ACUÑA, J.F.; BRICEÑO, J.F. "Efecto del manejo de clima en la incidencia de plagas y enfermedades en cultivos bajo invernadero". VIII Congreso CIDAPA – Buenos Aires, Argentina 2006.

- ALLEN L., WEBSTER, "Estadística aplicada a los negocios y la economía", Editorial McGraw-Hill, Tercera Edición, 2005

- ALPI, A.; TOGNONI, F. 1999. "Cultivo en invernadero". Editorial Mundi-Prensa. Madrid. 1999. 347 pp.

- ALVAREZ, A.; HUAYTA, E., "Medidas y Errores". 2da Edición, Ed. indep. 2000.

- BAIXAULI, C., "Aspectos prácticos del control ambiental para hortalizas en invernadero". Ed. Fundación Cultural y de Promoción social. Caja Rural Valencia. 1996.

- CALDARI, P., "Manejo de la luz en Invernaderos". Los beneficios de Luz de Calidad en el cultivo de Hortalizas. Ciba - Especialidades Químicas Ltda. Brasil, 2007.

- CALZADA, J., "Métodos estadísticos para la investigación", Universidad Agraria La Molina, Lima, Perú, 1992.

- CEDEFOA. (Centro de desarrollo de y Fomento a la Autoayuda), “Manual de Construcción de Carpas Solares”, producciones graficas Tauro, La Paz, Bolivia, 2005.
- CEPLA. (Comité Español de Plásticos en Agricultura). “Plásticos para la agricultura”. Escobar Impresores. Almería, España, 2006. 143 pp.
- COCHRAM, W, y Cox, G. “Diseños Experimentales”, Segunda edición, Editorial Trillas, México D.F., México. 1997.
- DIAZ, J.R.; PEREZ, J., “Tecnología de invernaderos”. Edición Fundación para la Investigación Agraria en la provincia de Almería (FIAPA), Almería. 1994. 352 pp.
- FAO. UNESCO. Manuales, y textos diversos. Disponibles en línea. www.fao.org.
- FLORES, G., Percy. “Invernaderos, Construcción y manejo”, primera edición, Ed. Ripalme, Lima - Perú, 2006. 135 pp.
- HERNANDEZ, R.; FERNANDEZ, C.; BAPTISTA, P., “Metodologías de la Investigación”, Editorial McGraw-Hill, Cuarta Edición, México D.F., México, 2006.
- KILLEN T., J; García E. E.; Beck S. G., “Guía de árboles de Bolivia, Herbario Nacional de Bolivia”, editorial Quipus, La Paz Bolivia 1993.
- MAROTO, J., V., “Elementos de Horticultura General”. Ediciones Mundi-Prensa. Madrid, España. 2000. 424pp.
- MANÚ, García, A. “Agroclimatología”, Universidad Evangélica de Bolivia, Santa Cruz de la sierra. 2003.
- MATAALLANA, J. “Invernaderos”, Escobar Impresores. Almería, España, 2001.

- MICHEL, G. “Zonificación agroclimática de los riesgos de sequía, en el altiplano paceño”. (Tesis de grado). Facultad de Agronomía, U.M.S.A., La Paz, Bolivia, 1997.

- MOLLINEDO V. A.; TAPIA, A.C. “Evaluación del efecto de películas para invernadero de foto selectividad específica sobre la producción de tomate y pimiento”. VIII Congreso CIDAPA – Buenos Aires, Argentina 2006.

- MONTERO, J. I., ANTÓN, A., MUÑOZ, P. (1999): “Modificaciones en las estructuras e instalaciones de invernaderos orientadas a la reducción del impacto ambiental”. En “Encuentro Medioambiental Almeriense: en busca de soluciones”. Disponible en: <http://www.gem.es/materiales/document/document/principi.htm>

- MONTES, R, A., “Evaluación agronómica de 5 cultivares de lechuga en condiciones de invernadero”. Tesina de grado, Viacha, Bolivia. 2004.

- MURRAY, R. S., “Estadística”, Editorial McGraw-Hill, segunda edición, México D.F., México, 1997.

- PAYE, H., “Invernaderos”, cuadernillo educativo para productores agrícolas, La Paz, Bolivia, 2008

- ROBLEDO, P. F., y L.M. Vicente. “Aplicación de los Plásticos en la Agricultura”. Editorial Mundi Prensa, Madrid, España. 1981. 552p.

- SALISBURY, Frank B; Ross, Cleon W. “Fisiología Vegetal”. Grupo Editorial Iberoamericana, México D.F., México 1994.

- SEMTA, (Servicios Múltiples de Tecnologías Apropriadas), “Manual de Cultivos Protegidos”, editorial Garza Azul, La Paz, Bolivia, 1991.

- SEMTA, (Servicios Múltiples de Tecnologías Apropriadas), “Construcción de Invernaderos, Pozos y Estanques”, taller gráfico Hisbol, La Paz, Bolivia, 1992.

- SPSS®, “Manual del Usuario”, versión 18, disponible en línea:
<http://www.spss.com>

- TIPLER, Paul Allen. “Física”. 3ª Edición. Barcelona, 1994.

- VILLALPANDO, J. F., RUÍZ, J. A., “Observaciones agrometeorológicas y su uso en la agricultura”, primera edición, Ed. Limusa, México D.F., México, 1993.

8. ANEXOS

Anexo 1. Lechugas a los 50 días de la siembra, cultivadas en bolsas, localidad de Huajchilla.



Anexo 2. Resistencia de los ambientes atemperados experimentales a la nevada, Parcopata.



Anexo 3. Ambientes atemperados experimentales, Cota-Cota.



Anexo 4. Ambientes atemperados experimentales, localidad de Huajchilla.



Anexo 5. Tabla de equivalencias. Candelas vs. Lux.

UNIDAD	VALORES										
CANDELA	1	100	200	300	400	500	600	700	800	900	1000
LUX	10,764	1076,4	2152,8	3228,2	4304,3	5380,4	6456,4	7532,5	8608,6	9684,7	10760,7
	VALORES										
CANDELA	1100	1200	1300	1400	1500	1600	1700	1800	1900	2000	2100
LUX	11836,8	12912,9	13989,0	15065,0	16141,1	17217,2	18293,3	19369,3	20445,4	21521,4	22597,5
	VALORES										
CANDELA	2200	2300	2400	2500	2600	2700	2800	2900	3000	3100	3200
LUX	23673,6	24749,7	25825,8	26901,9	27977,9	29054,0	30130,1	31206,1	32282,2	33358,3	34434,4
	VALORES										
CANDELA	3300	3400	3500	3600	3700	3800	3900	4000	4100	4200	4300
LUX	35511,4	36587,4	37663,5	38739,6	39815,7	40891,8	41967,9	43044,0	44120,1	45196,2	46272,3
	VALORES										
CANDELA	4400	4500	4600	4700	4800	4900	5000	5100	5200	5300	5400
LUX	47348,4	48424,5	49500,6	50576,7	51652,8	52728,9	53805,0	54881,1	55957,2	57033,3	58109,4
	VALORES										
CANDELA	5500	5600	5700	5800	5900	6000	6100	6200	6300	6400	6500
LUX	59185,4	60261,6	61337,7	62413,8	63489,9	64566,0	65642,1	66718,2	67794,3	68870,4	69946,5
	VALORES										
CANDELA	6600	6700	6800	6900	7000	7100	7200	7300	7400	7500	7600
LUX	71022,4	72098,5	73174,6	74250,7	75327,8	76403,9	77479,0	78555,1	79631,2	80707,3	81783,4
	VALORES										
CANDELA	7700	7800	7900	8000	8100	8200	8300	8400	8500	8600	8700
LUX	82859,4	83935,6	85011,7	86088,8	87164,9	88240,0	89316,1	90392,2	91468,3	92544,4	93620,5
	VALORES										
CANDELA	8800	8900	9000	9100	9200	9300	9400	9500	9600	9700	9800
LUX	94696,4	95772,5	96849,6	97925,7	99001,8	100077,9	101153,0	102229,1	103305,2	104381,3	105457,4
	VALORES										
CANDELA	9900	10000	10100	10200	10300	10400	10500	10600	10700	10800	10900
LUX	106533,4	107610,5	108686,6	109762,7	110838,8	111914,9	112990,0	114066,1	115142,2	116218,3	117294,4
	VALORES										
CANDELA	11000	11100	11200	11300	11400	11500	11600	11700	11800	11900	12000
LUX	11837,4	119447,5	120523,6	121599,7	122675,8	123751,9	124827,0	125903,1	126979,2	128055,3	129132,4

Anexo 6. Unidades fotométricas utilizadas para la agricultura.

FOTOMETRIA				RADIOMETRIA		
NOMBRE	SIMBOLO	UNIDAD	FORMULA	NOMBRE	SIMBOLO	UNIDAD
Energía luminosa	Q_v	Talbot		Energía radiante	Q_e	julios
Potencia luminosa	P_v	Lumen	dQ_v/dt	Potencia radiante	P_e	watios
Intensidad luminosa	I_v	Candela	$dP_v/d\omega$	Intensidad radiante	I_e	wat/st
Luminancia	L_v	Nit	dI_v/dS_{lp}	Radiancia	L_e	wat/m ² .st
Iluminación	E_v	Lux	dP_v/dS_l	Irradiación	E_e	wat/est.
Exitancia luminosa	M_v	lum/m ²	dP_v/dS_e	Exitancia radiante	M_e	wat/m ²
Densidad espectral	$D_v(\lambda)$	D/nm	$dD/d\lambda$	Densidad espectral	$D_e(\lambda)$	D/nm
Rendimiento luminoso	η_l	lum/w	P_v/P_e			
Curva patrón de luminosidad	$V(\lambda)$		Máximo para $\lambda = 555 \text{ nm}$			

Anexo 7. Cuadro resumen. Análisis de varianza variables microclimáticas localidad de Cota-Cota.

Pruebas de los efectos inter-sujetos

Origen	Variable dependiente	Suma de cuadrados	gl	Media cuadrática	F	Sig.
Modelo	INTENSIDAD PROMEDIO	3,155E9	6	5,259E8	9761,247	,000
	TEMPERATURA PROMEDIO	42734,500 ^b	6	7122,417	4202,400	,000
	TEMPERATURA MAXIMA	148549,686 ^c	6	24758,281	11177,307	,000
	TEMPERATURA MINIMA	1009,182 ^d	6	168,197	110,127	,000
	HUMEDAD PROMEDIO	152788,327 ^e	6	25464,721	2750,775	,000
	TRATAMIENTO	INTENSIDAD PROMEDIO	3,155E9	6	5,259E8	9761,247
TEMPERATURA PROMEDIO		42734,500	6	7122,417	4202,400	,000
TEMPERATURA MAXIMA		148549,686	6	24758,281	11177,307	,000
TEMPERATURA MINIMA		1009,183	6	168,197	110,127	,000
HUMEDAD PROMEDIO		152788,327	6	25464,721	2750,775	,000
Error		INTENSIDAD PROMEDIO	4848783,546	90	53875,373	
	TEMPERATURA PROMEDIO	152,536	90	1,695		
	TEMPERATURA MAXIMA	199,354	90	2,215		
	TEMPERATURA MINIMA	137,457	90	1,527		
	HUMEDAD PROMEDIO	833,156	90	9,257		
	Total	INTENSIDAD PROMEDIO	3,160E9	96		
TEMPERATURA PROMEDIO		42887,036	96			
TEMPERATURA MAXIMA		148749,040	96			
TEMPERATURA MINIMA		1146,640	96			
HUMEDAD PROMEDIO		153621,483	96			

a. R cuadrado = ,998 (R cuadrado corregida = ,998)

b. R cuadrado = ,996 (R cuadrado corregida = ,996)

c. R cuadrado = ,999 (R cuadrado corregida = ,999)

d. R cuadrado = ,880 (R cuadrado corregida = ,872)

e. R cuadrado = ,995 (R cuadrado corregida = ,994)

Anexo 8. Cuadro resumen, análisis de varianza variables microclimáticas para la localidad de Parcopata.

Pruebas de los efectos inter-sujetos

Origen	Variable dependiente	Suma de cuadrados	gl	Media cuadrática	F	Sig.
Modelo	INTENSIDAD LUMINICA PROMEDIO	3,097E9	6	5,161E8	2464,030	,000
	TEMPEARTURA PROMEDIO	12701,164 ^b	6	2116,861	342,589	,000
	TEMPERATURA MAXIMA	76195,118 ^c	6	12699,186	1549,406	,000
	TEMPERATURA MINIMA	2575,319 ^d	6	429,220	47,163	,000
	HUMEDAD RELATIVA PROMEDIO	89554,821 ^e	6	14925,803	539,899	,000
	TRAT	INTENSIDAD LUMINICA PROMEDIO	3,097E9	6	5,161E8	2464,030
TEMPEARTURA PROMEDIO		12701,164	6	2116,861	342,589	,000
TEMPERATURA MAXIMA		76195,118	6	12699,186	1549,406	,000
TEMPERATURA MINIMA		2575,319	6	429,220	47,163	,000
HUMEDAD RELATIVA PROMEDIO		89554,821	6	14925,803	539,899	,000
Error		INTENSIDAD LUMINICA PROMEDIO	1,885E7	90	209470,682	
	TEMPEARTURA PROMEDIO	556,111	90	6,179		
	TEMPERATURA MAXIMA	737,655	90	8,196		
	TEMPERATURA MINIMA	819,061	90	9,101		
	HUMEDAD RELATIVA PROMEDIO	2488,099	90	27,646		
	Total	INTENSIDAD LUMINICA PROMEDIO	3,116E9	96		
TEMPEARTURA PROMEDIO		13257,276	96			
TEMPERATURA MAXIMA		76932,772	96			
TEMPERATURA MINIMA		3394,380	96			
HUMEDAD RELATIVA PROMEDIO		92042,920	96			

a. R cuadrado = ,994 (R cuadrado corregida = ,994)

b. R cuadrado = ,958 (R cuadrado corregida = ,955)

c. R cuadrado = ,990 (R cuadrado corregida = ,990)

d. R cuadrado = ,759 (R cuadrado corregida = ,743)

e. R cuadrado = ,973 (R cuadrado corregida = ,971)

Anexo 9. Cuadro resumen, análisis de varianza variables microclimáticas para la localidad de Huajchilla.

Pruebas de los efectos inter-sujetos

Origen	Variable dependiente	Suma de cuadrados	gl	Media cuadrática	F	Sig.
Modelo	INTENSIDAD LUMINICA PROMEDIO	3,155E9	6	5,259E8	9761,247	,000
	TEMPERATURA PROMEDIO	42735,382 ^d	6	7122,564	4203,258	,000
	TEMPERATURA MAXIMA	148549,686 ^c	6	24758,281	11177,307	,000
	TEMPERATURA MINIMA	1009,182 ^d	6	168,197	110,127	,000
	HUMEDAD RELATIVA PROMEDIO	152788,327 ^e	6	25464,721	2750,775	,000
TRATAMIENTO	INTENSIDAD LUMINICA PROMEDIO	3,155E9	6	5,259E8	9761,247	,000
	TEMPERATURA PROMEDIO	42735,382	6	7122,564	4203,258	,000
	TEMPERATURA MAXIMA	148549,686	6	24758,281	11177,307	,000
	TEMPERATURA MINIMA	1009,183	6	168,197	110,127	,000
	HUMEDAD RELATIVA PROMEDIO	152788,327	6	25464,721	2750,775	,000
Error	INTENSIDAD LUMINICA PROMEDIO	4848783,546	90	53875,373		
	TEMPERATURA PROMEDIO	152,508	90	1,695		
	TEMPERATURA MAXIMA	199,354	90	2,215		
	TEMPERATURA MINIMA	137,457	90	1,527		
	HUMEDAD RELATIVA PROMEDIO	833,156	90	9,257		
Total	INTENSIDAD LUMINICA PROMEDIO	3,160E9	96			
	TEMPERATURA PROMEDIO	42887,890	96			
	TEMPERATURA MAXIMA	148749,040	96			
	TEMPERATURA MINIMA	1146,640	96			
	HUMEDAD RELATIVA PROMEDIO	153621,483	96			

a. R cuadrado = ,998 (R cuadrado corregida = ,998)

b. R cuadrado = ,996 (R cuadrado corregida = ,996)

c. R cuadrado = ,999 (R cuadrado corregida = ,999)

d. R cuadrado = ,880 (R cuadrado corregida = ,872)

e. R cuadrado = ,995 (R cuadrado corregida = ,994)