



ESTUDIO PRELIMINAR DE LA RESPUESTA FISIOLÓGICA DEL LULO SIN ESPINAS (*Solanum quitoense* var. *quitoense*) EXPUESTO A DIFERENTES NIVELES DE RADIACIÓN DURANTE LA ETAPA VEGETATIVA EN LA SABANA DE BOGOTÁ

TRABAJO DE GRADO

MODALIDAD PROYECTO DE EXPERIMENTACIÓN CIENTÍFICA

Hernán Javier Sogamoso Alape

UNIVERSIDAD MILITAR NUEVA GRANADA

FACULTAD DE CIENCIAS BÁSICAS Y APLICADAS

TECNOLOGÍA EN HORTICULTURA

2020

PROHIBIDA LA REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL SIN LA AUTORIZACIÓN EXPRESA DEL AUTOR



ESTUDIO PRELIMINAR DE LA RESPUESTA FISIOLÓGICA DEL LULO SIN ESPINAS (*Solanum quitoense* var. *quitoense*) EXPUESTO A DIFERENTES NIVELES DE RADIACIÓN DURANTE LA ETAPA VEGETATIVA EN LA SABANA DE BOGOTÁ

Hernán Javier Sogamoso Alape

Trabajo de grado como requisito parcial para obtener el título de Tecnólogo en Horticultura

Directora

María Mercedes Pérez Trujillo, MSc., cPhD.

Docente Facultad de Ciencias Básicas y Aplicadas

**UNIVERSIDAD MILITAR NUEVA GRANADA
FACULTAD DE CIENCIAS BÁSICAS Y APLICADAS
TECNOLOGÍA EN HORTICULTURA**

2020

AGRADECIMIENTOS

Agradezco a Dios por darnos la fuerza necesaria en los momentos cuando más lo necesite y que me siga bendiciendo paso a paso durante toda mi vida.

A mi esposa, hijo y padres por su apoyo dedicación y esfuerzo sin ellos no sería posible obtener esta nueva meta.

A la Universidad Militar Nueva Granada, por el apoyo prestado a los miembros de la fuerza pública del Ejército Nacional de Colombia.

Al programa Tecnología en Horticultura y planta de docentes quienes aportaron sus conocimientos durante toda la carrera.

A la directora María Mercedes Pérez Trujillo quien contribuyó un papel determinante en este trabajo con sus enseñanzas, tiempo, dedicación y esfuerzo.

A todos y cada uno de los que intervinieron en mi carrera, la cual no termina hoy ya que en la vida día tras día hay enseñanzas nuevas que nos fortalecen como seres humanos y profesionales.

A la Vicerrectoría de Investigaciones de la Universidad Militar Nueva Granada por la financiación a través del proyecto PIC CIAS 3019.

RESUMEN

El propósito de este trabajo fue evaluar aspectos de la respuesta fisiológica del lulo sin espinas (*Solanum quitoense* var. *quitoense*) en etapa de desarrollo vegetativo. El estudio se llevó a cabo en Cajicá (Cundinamarca, Colombia) a 2562 msnm. Plántulas de 7 semanas de edad fueron sembradas en materas de 4 L y fueron sometidas a diferentes niveles de radiación PAR, suministrados por mallas polisombra de color negro de bajo y alto sombrío (30 y 60 %), frente a plantas de libre exposición solar. Se evaluaron variables de crecimiento y desarrollo, registrando datos semanalmente desde los 0 hasta 107 días después del trasplante (DDT). Las plantas sometidas a libre exposición solar presentaron mayor altura del tallo principal, siendo un 17,2 % superior a plantas bajo sombrío del 60 %, así como mayor diámetro del tallo siendo un 16 % mayor al de aquellas bajo sombrío más intenso. También acumularon un área foliar mayor en 29,3 % frente a las del sombrío del 60 % y 18,49 % frente a las del sombrío del 30 %, lo que estuvo relacionado con un mayor número de hojas y mayor tamaño medio por hoja, en lo que corresponde al peso seco final se presentó mayor ganancia promedio en plantas del tratamiento libre exposición solar del 41% respecto a plantas del sombrío 60% y solo del 17,7% en plantas bajo sombrío 30%. En el tratamiento de sombrío más leve las plantas presentaron mayor crecimiento y desarrollo en las variables evaluadas en el presente proyecto, permitiendo obtener plantas vigorosas, para ser, parte de la siguiente fase (floración) de este cultivo. La humedad volumétrica del sustrato fue superior en las plantas de lulo bajo el sombrío del 30 y del 60 %, de manera que presentaron, respectivamente, un consumo de agua inferior en un 22,9 y 49,8 % al de aquellas mantenidas a libre exposición. Las plantas bajo polisombra presentaron una menor conductancia estomática, pero un potencial hídrico foliar superior a aquellas libremente expuestas. El contenido relativo de clorofila no presentó diferencias entre los niveles de sombrío. Los resultados obtenidos sugieren que la utilización de polisombra de 30%, pueden contribuir a mejorar la aclimatación de las plantas de lulo sin espinas en etapa de desarrollo vegetativo cuando es cultivado en una altitud como la de la Sabana de Bogotá, que es superior al rango reportado para este cultivo agrícola.

PALABRAS CLAVES: Radiación PAR, mallas polisombra, crecimiento y desarrollo vegetal, SPAD, conductancia estomática, potencial hídrico foliar

ABSTRACT

The purpose of this work was to evaluate aspects of the physiological response of the thornless *lulo* (*Solanum quitoense* var. *quitoense*) in vegetative development. The study was carried out in Cajica (Cundinamarca, Colombia) at 2562 meters above sea level. Seven weeks seedlings were planted in 4 L pots and were subjected to different levels of PAR radiation, supplied by low and high shading with black nets (30 and 60%) and free sun exposure. Growth and development variables were evaluated, recording weekly data from 0 to 107 days after planting (DDT). Open field plants were highest and they had the thickest stem, being 17.2% higher than plants under a 60% shade, as well as a larger diameter of the stem being 16% larger than those under a more intense shade. They also accumulated a larger leaf area by 29.3% compared to those in the 60 % shade and 18.49% compared to those in the 30 % shade, which was related to a greater number of leaves and a larger average size per leaf, in what corresponds to the final dry weight, there was a higher average gain in plants of the free sun exposure treatment of 41% compared to 60 % shady plants and only 17.7% in plants under 30% shade. The behavior group of plants treated under shady 30 and 60%, the mildest treatment under the net presented greater growth and development in the variables evaluated in this project, allowing to obtain plants with better characteristics for the next crop stage (flowering). The volumetric humidity of the substrate was higher in the *lulo* plants under the of 30 and 60 % shading, so that they had, respectively, a water consumption lower by 22.9 and 49.8 % than those kept at free exposure. The plants under black nets presented a lower stomatal conductance, but a leaf water potential higher than those freely exposed. The relative chlorophyll content did not show differences between the levels of shading. The results obtained suggest that the use of 30 % black net, can contribute to improve the adaptation of thornless *lulo* plants in vegetative stage when it grows at Bogota Plateau altitude, which is higher than the range reported for this crop.

KEY WORDS: PAR radiation, shading nets, plant growth and development, SPAD, stomatal conductance, leaf water potencial

TABLA DE CONTENIDO

1. INTRODUCCIÓN.....	7
2. MARCO DE REFERENCIA.....	8
2.1 Generalidades sobre el lulo.....	8
2.1.1 Morfología de la planta de lulo	8
2.1.2 Fenología de la planta de lulo.....	8
2.1.3 Material vegetal y propagación.....	9
2.1.4 Producción del lulo en Colombia.....	9
2.2 Respuesta de las plantas ante la intensidad lumínica	11
2.2.1 La fotomorfogénesis.....	12
2.2.2 Efectos de la luz sobre la fotosíntesis.....	13
3. OBJETIVOS.....	15
3.1 OBJETIVO GENERAL.....	15
3.2 OBJETIVOS ESPECÍFICO.....	15
4. METODOLOGÍA	15
4.1 Localización de la zona de estudio.....	15
4.2 Descripción del área experimental y de los tratamientos evaluados.....	16
4.3 Variables evaluadas.....	18
4.4 Mantenimiento de las unidades experimentales.....	23
4.5 Análisis de datos.....	24
5. RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....	24
5.1 Condiciones micrometeorológicas.....	24
5.2 Morfología y crecimiento de las plantas.....	28
5.3 Contenido relativo de clorofila	33
5.4 Potencial hídrico de la hoja	34
5.5 Conductancia estomática.....	35
5.6 Humedad volumétrica del sustrato y volumen de irrigación	37
6. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	38
7. BIBLIOGRAFÍA.....	39

1. INTRODUCCIÓN

El lulo es un arbusto nativo de la cordillera de los Andes, de regiones de bosques húmedos, que crece bajo el dosel de plantas de estratos de mayor altura o semipenumbra; es considerada una planta no plenamente domesticada, debido a variedades con presencia de espinas y tricomas (Medina et al., 2006; Acosta et al., 2009). Este frutal pertenece a la familia Solanaceae; (*Solanum quitoense* var. *quitoense*) corresponde a la especie sin espinas y (*S. quitoense* var. *septentrionale*) a la especie con espinas (Gómez et al., 2014).

Este frutal se cultiva desde 1300 a 2500 msnm, con rango de temperatura entre 14 a 18 °C, humedad relativa del 80 % y con precipitación anual entre los 1500 y 2000 mm (Morillo et al., 2019). Requiere suelos preferiblemente franco arcillosos o franco arenosos, ricos en materia orgánica, pH entre 5,2 y 5,8, con un adecuado drenaje, esto con el fin de que el agua no se acumule en el suelo, conllevando a la pudrición del cuello y descomposición de la raíz de la planta (Cámara de Comercio, 2015; Morillo et al., 2019).

Los principales países productores son Perú, Ecuador, Panamá, Costa Rica, Honduras y Colombia (Bonet y Cárdenas, 2012). Es un cultivo de alta productividad y valor comercial en el mercado nacional como internacional (Flórez et al., 2008), ya que se ha incentivado en los últimos años la producción de este frutal andino promisorio (González et al., 2013). Ochoa et al. (2016) reportan a nivel nacional la implementación específica de esquemas de economía campesina tradicional para la producción del cultivo del lulo.

El lulo es una fruta apetecida por su aroma, sabor agridulce, color de la pulpa, su alto valor nutricional, propiedades antioxidantes, medicinales y agroindustriales, lo cual permite que sea un fruto promisorio (Morillo et al., 2019).

En cuanto a las limitantes para el establecimiento del cultivo, se tiene el efecto de la radiación solar, ya que por ser el lulo una planta de semipenumbra, con ruta fotosintética C3, la planta tolera periodos cortos de radiación. Esta es una característica propia del lulo ya que crece naturalmente en el sotobosque, por lo cual presenta una mejor adaptación para su cultivo en regiones frescas y sombreadas, razón por la cual se recomienda la siembra bajo penumbra natural o artificial. Sin embargo, para la variedad sin espinas, que es producto de la domesticación, las siembras de esta especie pueden efectuarse en ambientes de alta iluminación y a libre exposición (Medina et al., 2006; Cardona et al., 2016).

El presente estudio tuvo como propósito realizar una evaluación preliminar de la respuesta fisiológica del lulo (*Solanum quitoense* var. *quitoense*) sin espinas cuando se expone a diferentes niveles de intensidad lumínica en una zona geográfica que por su altitud, presentan mayores niveles de radiación y menor temperatura, en comparación a las regiones donde se siembra tradicionalmente. Según la literatura, las condiciones adecuadas para la producción del lulo en Colombia son altitudes de 1200 a 1600 msnm y temperaturas entre 17 y 20 °C (Fernando et al., 2014). El proyecto se ejecutó en el municipio de Cajicá (Cundinamarca, Colombia) a 2560 msnm, con temperatura promedio de 14,7 °C, humedad relativa del 80,8 % y radiación PAR de 344,6 $\mu\text{mol}/\text{m}^2/\text{s}$. Algunos trabajos señalan que se han ejecutado cultivos de lulo en la zona altoandina, en regiones con alta intensidad de radiación PAR como en la Sabana de Bogotá, bajo cubiertas del tipo invernaderos (Angulo, 2008) y bajo casas de malla con polisombra negra (Cruz et al., 2007).

Se realizó el seguimiento, de cambios fisiológicos, relacionados con la morfología como área foliar, número de hojas, altura y diámetro del tallo principal, peso seco de cada órgano de la planta, el crecimiento, contenido relativo de clorofila, conductancia estomática, potencial hídrico en las hojas

y variables asociadas a recurso hídrico como el volumen de agua de riego y la humedad volumétrica del sustrato. En plantas de lulo sin espinas durante la fase vegetativa, Bajo diferentes niveles de radiación PAR, así plantas expuestas a libre exposición solar, plantas con porcentaje de retención de radiación solar dadas por polisombra de color negro del 30 % y del 60 %.

El estudio del crecimiento y desarrollo y de algunos aspectos básicos de la fisiología de las plantas de lulo (*S. quitoense* var. *quitoense*) durante su desarrollo vegetativo en una zona de altitud, contribuye a generar conocimientos sobre el comportamiento de esta variedad bajo mallas polisombra, lo cual puede servir de elemento para que los agricultores de una zona de altitud mayor puedan valorar si la implementación de materiales sintético asimila el ambiente natural de este cultivo.

2. MARCO DE REFERENCIA

2.1. Generalidades sobre el lulo

2.1.1. Morfología de la planta de lulo

La planta de lulo presenta en su morfología una raíz principal pivotante de contextura fibrosa y superficial profundizando unos 50 cm y con gran desarrollo de raíces laterales (Bernal y Franco, 2017).

El tallo de la planta de lulo es de forma cilíndrica, crece erecto, su consistencia es semileñoso, y con presencia de vellos (tricomas), algunos presentan espinas y sin espinas según la variedad, de la parte basal brotan tallos secundarios, una planta adulta puede llegar a alcanzar una altura aproximada de 3 m (Bernal y Franco, 2017).

Las hojas de esta planta son de contexturas gruesas y suculentas, de forma palmeadas, lobuladas, elípticas y alternas de forma ovalada de color verde por el haz y verde claro por el envés, con nervaduras de color violáceo, las hojas están sostenidas a las ramas por un peciolo pubescente y suculento de 15 cm de longitud aproximada. Este órgano alcanza hasta 50 cm de largo y 35 cm de ancho (Bernal y Franco, 2017).

Presenta flores adheridas a las axilas de sus ramas con pedúnculos cortos. La flor del lulo es pentámera, perfecta, hermafrodita, el ovario súpero, con cuatro lóculos, forman grupos de inflorescencias no mayor a siete flores (Bernal y Franco, 2017).

En cuanto a sus frutos se clasifican entre las bayas, de forma globosas, de 4 a 8 cm de diámetro, cubiertos por tricomas. Presentan un color amarillo en su epidermis, la pulpa es de color verde con un sabor agridulce, presentando numerosas semillas en cada fruto (Bernal y Franco, 2017).

2.1.2. Fenología de la planta de lulo

Fenológicamente, durante su desarrollo vegetativo y reproductivo pasa por cinco etapas (Bonnet y Cárdenas, 2012), así: trasplante a yema floral (100 días de duración aproximados), yema floral a antesis (30 días), antesis a formación del fruto (7 días), formación del fruto a iniciación de la madurez (84 días) e iniciación madurez a madurez completa (17 días). El tiempo total de desarrollo es de 258

días al término de la primera cosecha, según la variedad, para una zona de altitud comprendida 2200 msnm, bajo invernadero.

El periodo de tiempo de la fase vegetativa comprende desde el momento del trasplante al sitio definitivo de siembra, momento en el cual portan entre 3 y 4 hojas verdaderas, para dar fin a la primera fase comprendida entre 70 y 75 días hasta la aparición del primer cojín floral (Angulo, 2008). Durante la primera etapa de desarrollo vegetativo, las plantas de lulo presentan gran acumulación de biomasa, donde el 50 % de los fotoasimilados son canalizados a los órganos encargados de la fotosíntesis (hojas) (Medina et al., 2008).

2.1.3. Material vegetal y propagación

En Colombia, existen dos tipos de variedades de lulo que se cultivan: (*S. quitoense* var. *quitoense*) en la cual el fruto, es de sabor dulce y cuenta con órganos aéreos sin espinas y *S. quitoense* var. *septentrionale*, de sabor más ácida y con espinas en órganos aéreos. Las plantas sin espinas se recomiendan la sembrar en altitudes entre 1600 a 2000 msnm y el material con espinas se desarrolla mejor entre 1900 y 2500 msnm (Cámara de Comercio, 2015; Morillo et al., 2019).

Con el objetivo de obtener plantas previamente seleccionadas para encontrar mejores cualidades en adaptación, resistencia a plagas, producción, características físicas, se debe realizar una selección adecuada de propagación (Molina, 2018). El cultivo de lulo se puede propagar por medios sexuales y por varios medios vegetativos. Para la propagación sexual se seleccionan plantas vigorosas, sanas y de alta productividad, de donde se extraen las semillas que se utilizarán. Para la propagación asexual del lulo se emplean estacas obtenidas de brotes axilares de 25 a 30 cm de longitud y que posean 4 a 5 yemas. También se utiliza la propagación por cultivos de tejidos (meristemos) (Quinchia y Cabrera 2006).

2.1.4. Producción del lulo en Colombia

En Colombia, los principales departamentos productores en su orden, son Huila (15%), Valle del Cauca (15%), Antioquia (12%), Cauca (10%), Boyacá (8%) y el resto de departamentos (40%) como lo indica (figura 3), la cual se sembraron 10307 ha para el año 2017 (figura1), se cosecharon 8234 ha, aportando una producción de 79872 t (figura 2), con un rendimiento de 9,7 t ha⁻¹ en datos obtenidos en periodos de años transcurridos entre 2007-2017 (Agronet, 2017).

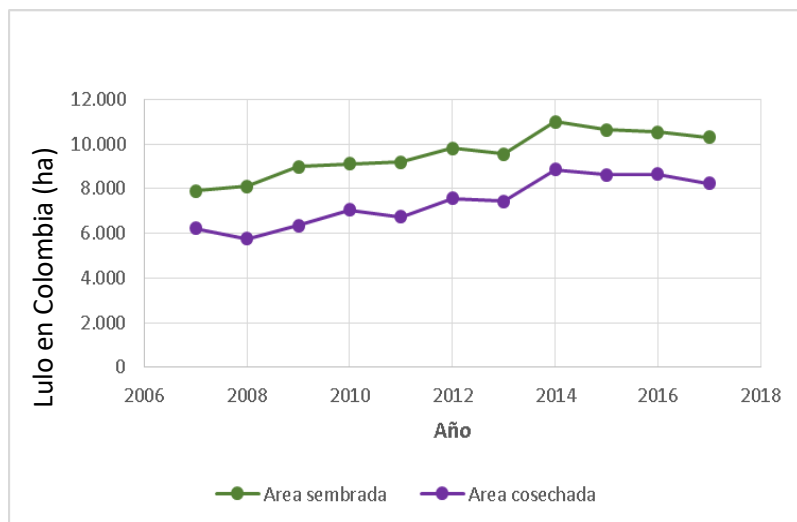


Figura 1. Área sembrada 10.307 ha de lulo en Colombia, aportando un área cosechada de 8.234 ha, en datos registrados en línea de tiempo de 10 años (Agronet, 2017).

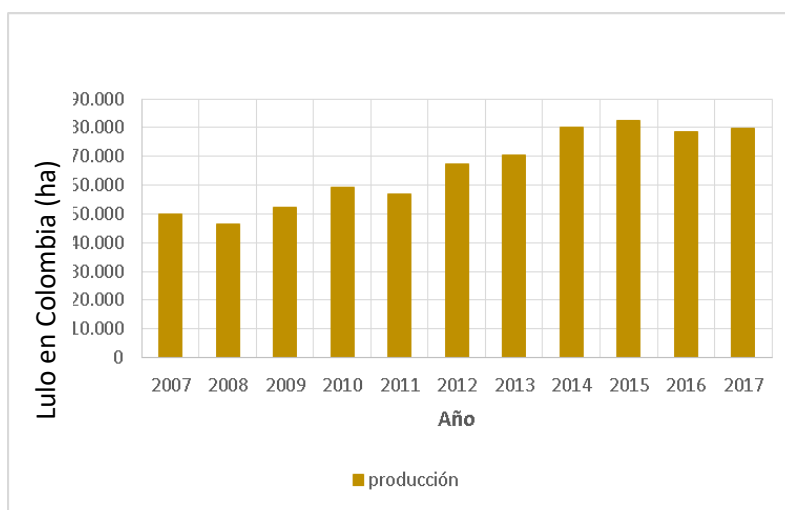


Figura 2. Producción 79.872 t, de lulo en Colombia, en datos registrados en línea de tiempo de 10 años (Agronet, 2017).

Según los registros de (Agronet, 2017), los departamentos de mayor producción del cultivo de lulo en Colombia, muestra que la tasa de incremento de producción del lulo es del 3,6%, para el año 2013 (Ardila, 2015), esto según al área sembrada y cosechada, de las cuales se obtienen menor cantidad de producto con respecto al área sembrada, por lo cual se requiere capacitación por parte de profesionales con el fin de aumentar los niveles de producción, esto debido a que los productores se enfrentan problemas agronómicos como plagas, enfermedades, desarrollo vegetativo y reproductivo limitado hasta el punto de eliminar el cultivo antes de la cosecha (Cruz et al., 2007).

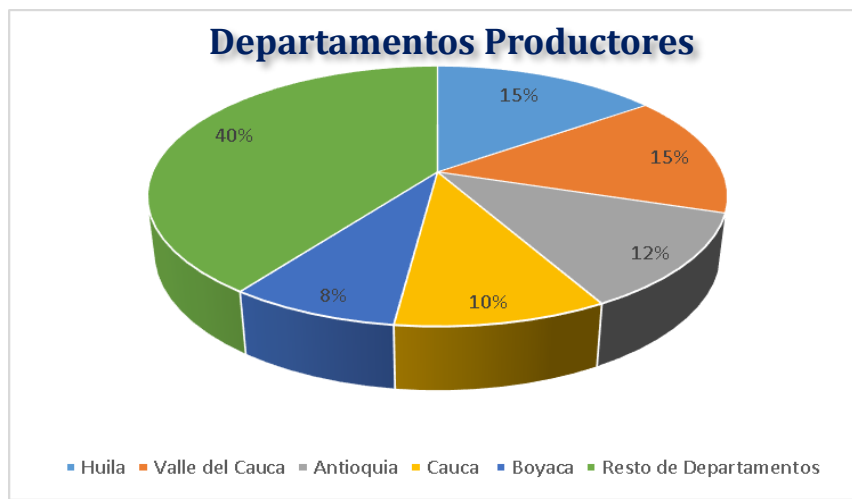


Figura 3. Principales departamentos productores del fruto en Colombia (Agronet, 2017).

2.2. Respuesta de las plantas ante la intensidad lumínica

El ambiente natural puede imponer condiciones desfavorables para el crecimiento y desarrollo vegetal, ya que las plantas son organismos estáticos al suelo, imposibilitado el movimiento, en busca de un lugar adecuado para su crecimiento. Esto conlleva a que las plantas estén expuestas a estrés medio ambiental debido a factores bióticos y abióticos. El estrés biótico puede ser causado por seres vivos como humanos, animales, plantas y agentes patógenos (hongos, bacterias, virus), mientras que el estrés abiótico se encuentra asociado al déficit hídrico, la salinidad, temperaturas extremas (calor, frío) y la excesiva o insuficiente irradiación (Azcón-Bieto y Talón, 2008).

La luz solar es la fuente principal de energía para la biosfera en la que habitamos; hace parte de un sistema cerrado y equilibrio dinámico constante desde el punto de vista termodinámico, donde del sol se recibe prácticamente la mayoría de esta energía. La radiación solar llega a la tierra en un conjunto de ondas que es el espectro radiactivo electromagnético, del cual el 40 % corresponde a la luz visible que está entre longitudes que van de 400 a 700 nm (Azcón-Bieto y Talón, 2008). La radiación ultravioleta (UV), la infrarroja (IR) y la fotosintéticamente activa (PAR) tienen efectos en las plantas, generando cambios a nivel celular y en las funciones fisiológicas (Fischer y Pérez, 2014),

como son los procesos de fotosíntesis, fototropismo y fotomorfogénesis, además de otros factores ambientales como la temperatura, la humedad relativa, entre otros (Carrasco, 2009).

2.2.1. La fotomorfogénesis

El efecto de luz es uno de los estímulos ambientales, que mayor efecto tiene sobre las plantas, en cuanto al tiempo expuesto a la luz directa, ya que puede afectar los fenómenos naturales, que se pueden presentar durante cierta época del año al igual que la presencia de plantas vecinas.

La cantidad de luz que llega a las plantas puede afectar su crecimiento y desarrollo, como fuente de energía mediante la fotosíntesis, esto debido a que las plantas poseen fotorreceptores que son los que reciben información de su ambiente luminoso para luego utilizar información.

Estas moléculas presentan cambios en su estado, en función del ambiente luminoso y como consecuencia de ello, modulan distintos aspectos del crecimiento y desarrollo (Azcón-Bieto y Talón, 2008).

Por esta razón, cuando las plantas están en la oscuridad y se exponen a la luz cambian su morfología favorablemente, ya que el exceso de la radiación afecta los fotosistemas, siendo los fotorreceptores los encargados de captar y transmitir este cambio a la planta, esto debido a las diferentes condiciones del ambiente luminoso. Las plantas o algunos de sus órganos, se pueden beneficiar o en algunos casos afectar por estas situaciones que se presentan (Azcón-Bieto y Talón, 2008).

En cuanto a los fitocromos, que son cromoproteínas sensibles a ciertas longitudes de ondas de luz visible. Por ejemplo, cuando una planta se cultiva en oscuridad, el fitocromo A es el más abundante y si esta es cultivada a exposición de luz los niveles del fitocromo A descienden debido a su destrucción y a la inhibición de su síntesis. Por ello, se debe tener en cuenta que la exposición a la luz desencadena en las plantas una serie de cambios morfológicos aumentando el desarrollo de algunas variables como altura y diámetro del tallo principal, área foliar acumulada, número de hojas y cambios fisiológicos, donde se inicia la síntesis de clorofila, se organiza el aparato fotosintético y se sintetizan pigmentos como los antocianos. Estos cambios son el resultado de la acción de los fitocromos (Azcón-Bieto y Talón, 2008).

La fotomorfogénesis se define como las estrategias que las plantas adoptan para el crecimiento y desarrollo dependientes de la luz que involucran la acción combinada de varios receptores (Rueda, 2008).

Las moléculas fotorreceptoras cambian su estado en función del ambiente luminoso y como consecuencia de ello, modulan distintos aspectos del crecimiento y el desarrollo. Cuando una plántula crece por bajo de la superficie del suelo, no recibe luz, al emerger, recibe los primeros fotones y gracias a la acción de los fotorreceptores, la planta puede percibir el cambio en el ambiente luminoso y modifica su morfología en un sentido aparentemente ventajoso desde el punto de vista de su adaptación (Azcón-Bieto y Talón, 2008).

Cuando las plantas cultivadas en la oscuridad son transferidas a la luz, se produce un marcado reajuste en la expresión de los genes. Esto es debido a que los fotorreceptores generan una cascada

transcripciones en la que su acción modifica la expresión de algunos factores de transcripción, y éstos, a su vez, alteran la expresión de otros genes (Azcón-Bieto y Talón, 2008).

En respuesta a los diferentes niveles de irradiación, las especies dicotiledóneas como el lulo suelen mostrar una notable promoción del crecimiento del tallo, al igual que cuando la luz blanca utilizada para cultivar las plantas se enriquece con luz roja lejana, simulando con este proceso la presencia de plantas vecinas, lo que causa que el crecimiento del tallo aumente considerablemente debido a la utilización de este proceso. Las hojas pueden adoptar una posición más erecta, en algunos casos las plantas proyectan sus hojas horizontalmente hacia los espacios en los que la relación entre la cantidad de luz rojo/rojo lejano es más alta y reducen de ese modo la superposición con las hojas de las plantas vecinas. Incorporando estos cambios se favorece la colocación de las hojas a mayor altura dentro del dosel vegetal y la menor producción de hojas a partir de ramificaciones basales, lo que disminuye las probabilidades de que el área foliar quede intensamente sombreada (Azcón-Bieto y Talón, 2008).

Teniendo en cuenta las bajas relaciones rojo/rojo lejano aceleran el momento en que se produce la transición entre la fase vegetativa y la fase reproductiva. Se considera que esta respuesta aumenta la probabilidad de que el desarrollo reproductivo avance antes de que la competencia por la luz con otras plantas haga que los recursos sean muy limitados. Otra señal importante es suministrada por el foto período, ya que algunas especies florecen o lo hacen más pronto cuando los días son largos, otras lo hacen cuando los días son cortos, y un tercer grupo no muestra respuestas al foto período, esta medición del foto período se basa en la coincidencia entre la luz y el ritmo circadiano (Azcón-Bieto y Talón, 2008).

El ambiente luminoso interviene en la extensión celular ya que el crecimiento de las plantas se ve afectado por la acción de los fotorreceptores, tanto en la germinación debido a que se aumenta la capacidad de crecimiento del embrión, al igual sucede durante la desetiolación es decir a los cambios que conllevan la transición de una plántula emergente que crece en oscuridad, ya que se inhibe el crecimiento de los ejes caulinareos mientras se promueve la expansión de las hojas. Así como durante el sombreado por la presencia de plantas vecinas. El crecimiento de un tejido depende del crecimiento de sus células. Ello implica un aumento irreversible de su tamaño, como es el caso de las células oclusivas, cuando hay apertura estomática. Para que exista un crecimiento debe entrar agua en las células, generando turgencia, y la pared que las rodea se debe expandir de forma irreversible (Azcón-Bieto y Talón, 2008).

Por este motivo el ajuste de las plantas al ambiente luminoso de los cultivos no ha sido optimizado desde el punto de vista productivo, por ejemplo, las bajas relaciones rojo/rojo lejano incrementan la dominancia apical. En cultivos extensivos no es sencillo alterar el ambiente luminoso por la dificultad de instalar métodos que interfieran en la entrada de luminosidad directa; sin embargo, es posible alterar el nivel de fotorreceptores, de modo que la planta responda al ambiente que la rodea como si el cultivo no fuera tan denso como en realidad lo es (Azcón-Bieto y Talón, 2008).

2.2.2. Efectos de la luz sobre la fotosíntesis

Las plantas experimentan un estrés por luz, cuando la intensidad luminosa aumenta por el punto de saturación, esto sucede en las membranas tilacoides en los cloroplastos, absorben más energía

luminosa que la que necesita para el proceso de la fotosíntesis y los fotones que son los encargados de captar la energía lumínica, llegan al punto máximo o superiores de saturación, siendo característico para cada especie vegetal, caso que sucede cuando se traslada una planta en condiciones sombreadas a plena luz solar. A menudo, en la naturaleza la absorción de energía luminosa en la superficie foliar es superior a su capacidad fotosintética, lo que origina un estado de exceso de reducción de los transportadores de la cadena de electrones y una acumulación de energía de excitación no disipada en las antenas asociadas a los centros de reacción. Como consecuencia, la fotoinhibición se favorece y, también, la reducción directa del O_2 por la cadena de transporte de electrones (Azcón-Bieto y Talón, 2008).

El exceso de radiación solar puede causar fotoinhibición ya que se saturan las estructuras encargadas de la captar energía (fotosistemas I y II). En caso contrario el sucede en las plantas expuestas bajo sombrío, por lo tanto modificación la capacidad fotosintética de las hojas, estado hídrico y el crecimiento de los órganos de la planta como tallo, hojas y raíz (Yin et al., 2010).

Las plantas pueden desarrollar mecanismos de tolerancia debido a su aparato fotosintético, que es una máquina molecular flexible que puede aclimatarse a fluctuaciones metabólicas y de luz en minutos o segundos o a escalas mayores de tiempo, en donde los cambios ambientales disparan respuestas de señalización que finalizan en modificaciones en la biogénesis del aparato fotosintético, por lo cual, las células aclimatadas a alta irradiación pueden contener altas concentraciones de carotenoides que sirven como antenas para captar y traducir la energía, además de proteger contra daños fotooxidativos que se puede presentar debido a que la radiación UV-B provoca alteraciones en las membranas celulares y en el DNA, los cuales tendrían un efecto negativo sobre el aparato fotosintético, particularmente en plantas acondicionadas a la luz difusa que de repente se exponen a radiación solar alta (Melgarejo et al., 2010). Las plantas acondicionadas a la sombra y luego expuestas periódicamente a la luz solar directa, presentan daño en las proteínas, mediante un efecto fuerte de la radiación fotosintéticamente activa y la radiación UV (Casierra, 2007).

Existe diferencias en el aparato fotosintético dependiendo del efecto de la luz: las hojas de sombra poseen más cloroplastos y un mayor número de tilacoides apilados por grana que las de sol. Las hojas más gruesas de las plantas de sol poseen mayor contenido de clorofila total y carotenos por unidad de área, mientras que las de sombra más delgadas y con un peso seco relativamente bajo, contienen más clorofilas por unidad de peso fresco o peso seco (Azcón-Bieto y Talón, 2008).

Las hojas de sombra invierten más nitrógeno en la producción de pigmentos fotosintéticos para la captación de la escasa radiación incidente, mientras que en las hojas de sol hay una gran inversión en proteínas del estroma cloroplástico, principalmente la proteína rubisco. Este hecho se traduce en una relación clorofila/proteína soluble baja en las hojas de sol y elevada en las de sombra. Las plantas de sol poseen, asimismo, una composición química distinta de las de sombra, con mayor proporción de lípidos, almidón, carbohidratos. Las plantas de sombra poseen mayor número de pigmentos en las antenas de los fotosistemas con el propósito de aprovechar mejor la escasa radiación luminosa incidente (Azcón-Bieto y Talón, 2008).

Los bajos valores del punto de compensación de luz de las plantas de sombra se deben a su reducida tasa de respiración, que es compensada con facilidad por una fotosíntesis poco elevada. Las tasas de fijación de CO_2 y de respiración son más elevadas en las hojas de plantas de sol que en las de sombra, expresadas tanto por unidad de área como por contenido en clorofila. Con una

determinada densidad de flujo fotónico, la fotosíntesis neta se satura; esto corresponde al punto de saturación luminoso. Dicho punto es menor en las plantas de sombra; las plantas sol muestran tasas mayores de asimilación de CO₂ con saturación de luz, considerándose esta tasa como una medida de su capacidad fotosintética (Azcón-Bieto y Talón, 2008).

3. OBJETIVOS

3.1. Objetivo general

Diferenciar aspectos fisiológicos en plantas de lulo sin espinas en etapa de desarrollo vegetativo, ante diferentes niveles de radiación PAR, proporcionados por mallas polisombra, en una zona alto andina como lo es la Sabana de Bogotá.

3.2. Objetivos específicos

- Establecer los cambios en la morfología como área foliar, altura y diámetro del tallo principal y en el crecimiento conductancia estomática en las plantas de lulo ante las variaciones de la irradiación dadas por los tratamientos de sombrío.
- Determinar el efecto de la radiación PAR en los tratamientos evaluados en este proyecto de investigación, sobre el contenido relativo de clorofila.
- Comparar la conductancia estomática, el potencial hídrico de las hojas, la humedad volumétrica del sustrato y el volumen de irrigación en plantas de lulo sometidas a los diferentes niveles de sombreadamiento.

4. METODOLOGÍA

4.1. Localización de la zona de estudio

El proyecto de investigación se realizó en la huerta de campo abierto del programa de Tecnología en Gestión y Producción Hortícola, en el Campus Nueva Granada, de la Universidad Militar Nueva Granada (Figura 4), ubicada a 4°56'N, 74°00'O y 2580 msnm, en el municipio de Cajicá, Cundinamarca, Colombia.



Figura 4. Sitio donde se llevó a cabo el montaje del proyecto, zona de labores agrícolas asignadas para el programa de Tecnología en Gestión y Producción Hortícola, dentro del campus Nueva Granada (Cajicá, Cundinamarca).

4.2. Descripción del área experimental y de los tratamientos evaluados

Los tratamientos que se evaluaron fueron: plantas de lulo (*Solanum quitoense* var. *quitoense*) sin espinas, ubicadas a libre exposición (T1), plantas ubicadas bajo polisombra negra con capacidad de retención de radiación solar del 30 % (T2) y plantas bajo polisombra negra del 60% (T3) (Figura 6). Las cámaras de los tratamientos T2 y T3 se cubrieron con polisombra de material tejido y manufacturado de polietileno de color negro, a una altura aproximada del mesón de 0,8 m, aferrando la polisombra al mesón por medio de una cuerda, se dejó una abertura en la cámara, esto con el fin de realizar labores de mantenimiento y riego del cultivo.

Como área de trabajo se contó con 20 m² dentro de la huerta del programa de Tecnología en Horticultura (Figura 5A), donde se instalaron tres mesones metálicos de dimensiones de 0,8 m de ancho, 5 m de largo y 1 m de altura (Figura 5B), sobre estos mismos se ubicaron las materas plásticas con las plantas (Figura 5C). Cada mesón estaba dividido en tres cámaras por arcos metálicos; se tomaron dos cámaras cada una de 3 m² para instalar cada tratamiento.

Para esto se contó con un tamaño por cámara de 2 m de largo aproximado, instalando 12 plantas por cámara, con una densidad de 4 plantas/m²; paralelamente sobre el mesón se dejó un espacio libre de 1 m de largo entre tratamiento, esto con el fin de reducir el sombreamiento entre los tratamientos que se presentaran durante el recorrido diario del sol.

Las plantas expuestas a libre exposición solar se instalaron de igual forma que en los tratamientos bajo polisombra en las cámaras, sin la utilización de la polisombra.

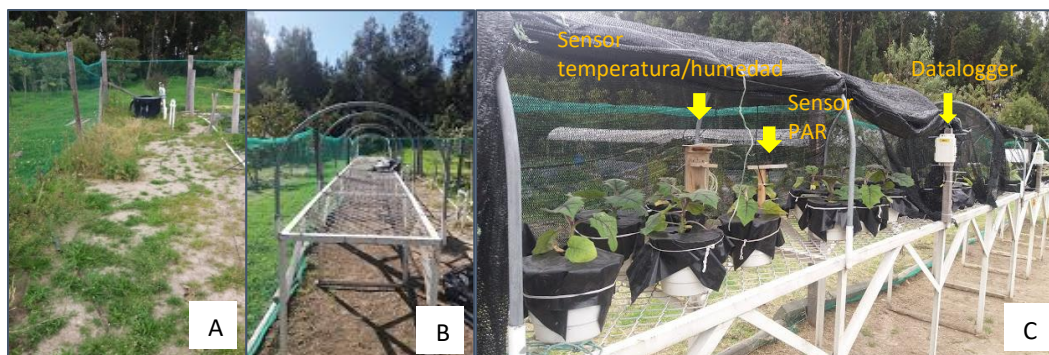


Figura 5. Área experimental. Antes de la instalación del mesón (A). Mesón metálico instalado utilizado para la adecuación de las cámaras de polisombra (B). Vista de una de las cámaras de polisombra con la ubicación de las plantas de lulo, y el datalogger para registro de datos micro meteorológico y los sensores de temperatura del aire, humedad relativa y radiación PAR (C).

Las plantas se distribuyeron así: 12 plantas de lulo ubicadas a libre exposición ambiental (T1), 12 plantas bajo polisombra de color negro con capacidad de retención de radiación solar del 30% (T2) y 12 plantas bajo polisombra de color negro del 60% (T3) (figura 6).



Figura 6. Distribución de las plantas de lulo sobre los mesones en el área experimental. T1: plantas a libre exposición solar, T2: plantas bajo polisombra del 30% y T3: plantas bajo polisombra del 60%.

Como material vegetal se trabajó con plantas de lulo sin espinas (*Solanum quitoense* var. *quitoense*), de 7 semanas de emergencia y 4-5 hojas verdaderas en promedio por planta, obtenidas en el Centro de BIO-SISTEMAS de la Universidad Jorge Tadeo Lozano (Chía, Cundinamarca). Las plantas se trasplantaron en materas con una capacidad volumétrica de 4000 mL (Figura 7A), empleando un sustrato correspondiente a una mezcla tierra negra (40 %), cascarilla de arroz tostada (20 %), turba rubia (Promix PGX® (20 %) y escoria de carbón de grano fino (20 %). Cada planta contó con un acolchado plástico de color negro ajustado en la parte superior de cada matera. Las plantas fueron colocadas bajo invernadero durante dos semanas, como periodo de aclimatación (Figura 7 B).

Posteriormente fueron trasladadas al área experimental y ubicadas bajo cada uno de los niveles de sombrero, homogenizando en lo posible el material vegetal según su altura, número de hojas y en adecuado estado sanitario.

Para el seguimiento de las variables micro meteorológicas se instaló una estación HOBO® USB Micro Station (Onset Computer Corporation, USA), con sensores de radiación fotosintéticamente activa (PAR), humedad relativa y temperatura del aire (figura 5 C). Estos sensores fueron ubicados en el tratamiento de libre exposición y en el tratamiento de polisombra del 60 %. Con el empleo de estos sensores se confirmó la capacidad de infiltración de la radiación por parte de las polisombras.

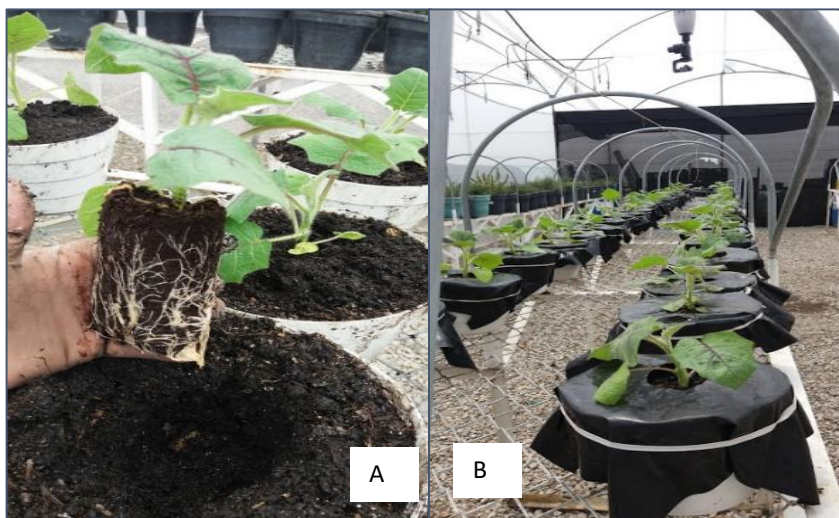


Figura 7. Plántula de lulo sin espinas en el momento de su trasplante a los contenedores empleados para el experimento (A). Plantas de lulo trasplantadas en etapa de aclimatación bajo invernadero (B).

4.3. Variables evaluadas

Entre el 15 de Julio y el 28 de Octubre del año 2019, con una frecuencia de una vez por semana y durante un total de 15 semanas, se evaluaron variables relacionadas con la morfología y el crecimiento de las plantas y también el contenido relativo de clorofila, la humedad volumétrica del sustrato y el volumen de irrigación. El registro de datos se realizó sobre cinco plantas marcadas por cada tratamiento, donde cada planta constituyó una repetición. El experimento culminó hasta que el 100 % de las plantas de lulo habían entrado en etapa reproductiva, determinada por la aparición del primer cojín floral.

La longitud del tallo principal, fue medida con regla o flexómetro (Figura 8 A), tomada desde la base del tallo de la planta, hasta el meristemo apical del tallo, sitio donde emergían las hojas nuevas. Se muestrearon 5 plantas por cada tratamiento.

El diámetro del tallo principal fue tomado en la parte basal, justo encima del cuello de la raíz (Figura 9), empleando calibrador digital (pie de rey). Se muestrearon 5 plantas por cada tratamiento.

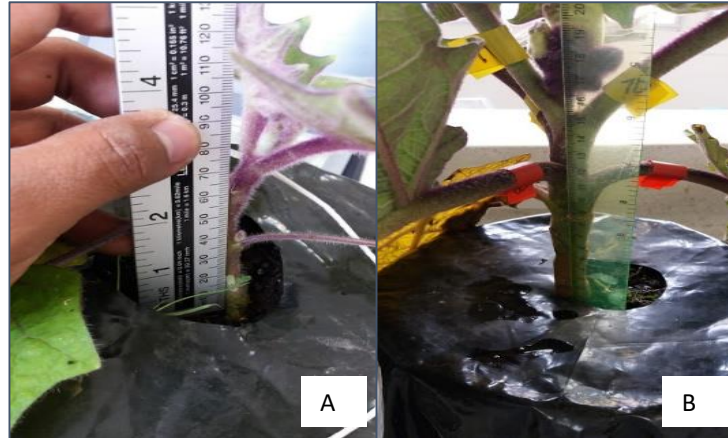


Figura 8. Registro de altura de la planta, tomada desde la parte basal del tallo (A), hasta el meristemo apical del tallo (B).



Figura 9. Toma de diámetro del tallo, ubicando equipo pie de rey en la parte basal del tallo.

El área foliar de cada planta, se obtuvo de la sumatoria de cada foliolo expandidos adheridos a la planta. Para ello, se procedió a medir el ancho mayor de cada hoja, empleando una regla o un flexómetro (Figura 10 A). El ancho máximo de cada foliolo (cm) se asume como el diámetro de un círculo (Figura 10 B); se calculó el radio (cm) y partir de ello se obtuvo el área (cm²), el área obtenida fue ajustada con la ecuación (1) propuesta por Vargas et al. (2009):

$$\text{Ecuación 1. } y = 0.877x + 5.6401$$

Donde y, es el área de una hoja de lulo, expresada en cm² y x es el área de un círculo (cm²), cuyo diámetro corresponde al ancho de la hoja medido. El área foliar de una planta completa se obtuvo a través sumatoria de las áreas de todos los foliolos. Se muestrearon 5 plantas por cada tratamiento.

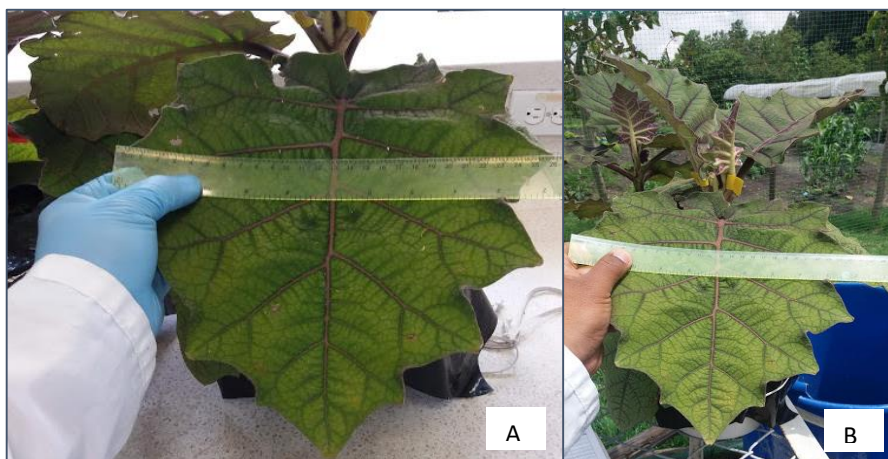


Figura 10. Medida del ancho de la hoja de lulo para determinación del área foliar (A y B).

Por su parte, el número total de hojas por planta se obtuvo rotulando cada hoja, teniendo en cuenta las hojas expandidas desde el meristemo apical (Figura 11 A). Las hojas caídas de cada planta durante el desarrollo del proyecto también fueron colectadas y almacenadas en bolsas de papel para su posterior pesaje (Figura 11 B). Se muestrearon 5 plantas por cada tratamiento.

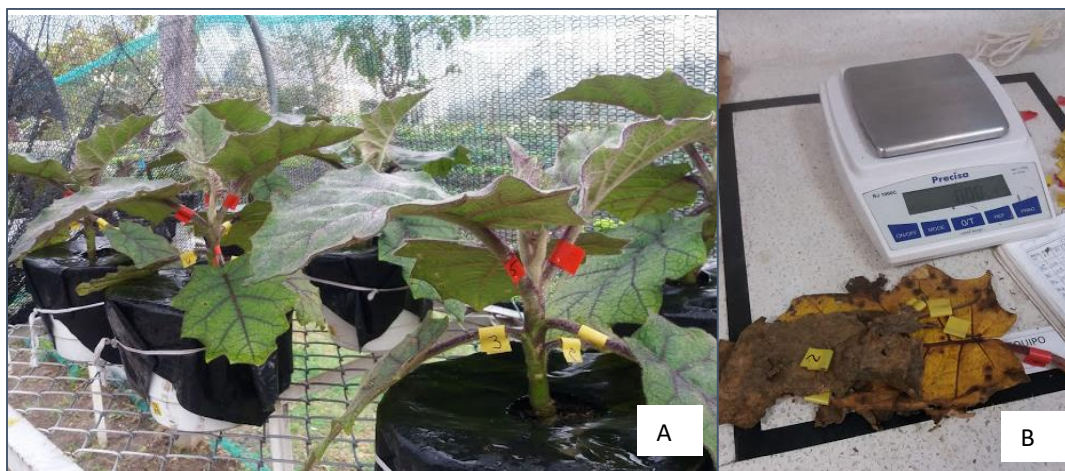


Figura 11. Hojas de plantas de lulo rotuladas con cinta (A), y recolección de hojas caídas para su almacenamiento (B).

Al inicio (día 0) (Figura 12 A) y final del experimento (día 107), se realizó un muestreo destructivo con el fin de cuantificar la biomasa acumulada por planta. Para ello, cada planta fue retirada del contenedor, lavando cuidadosamente la raíz y realizando su separación en los diferentes órganos: raíz, tallo (tallo principal y peciolo), hojas (vivas y muertas) y cojines florales. El material vegetal fue empacado en bolsas de papel, con el fin de llevarlos al horno de secado (Memmert, Alemania) (Figura 12 B), durante un periodo de tiempo de cinco días a una temperatura de 50°C.

Posteriormente, se realizó el peso del material seco por planta, empleando una balanza de calibración analítica (Kasalab S.A.S, Colombia). Se muestrearon 5 plantas por cada tratamiento.



Figura 12. Muestreo destructivo de las plantas de lulo por órganos (tallo principal, raíz y hojas) (A), y ubicación del material vegetal en horno durante cinco días a 50°C para obtención de biomasa (B).

Para medir el contenido relativo de clorofila se utilizó el equipo SPAD-502 (Minolta, Japón) (Figura 13 A). Se tomó la tercera hoja expandida de cada planta, contada desde la parte apical del tallo hacia abajo (tercio medio); se realizaron cuatro lecturas, ubicando el lector del equipo en diferentes puntos de la hoja, en las secciones intervenales de la parte media (Figura 13 B), obteniendo un promedio de los registros por planta. Se muestrearon 5 plantas por cada tratamiento (C).

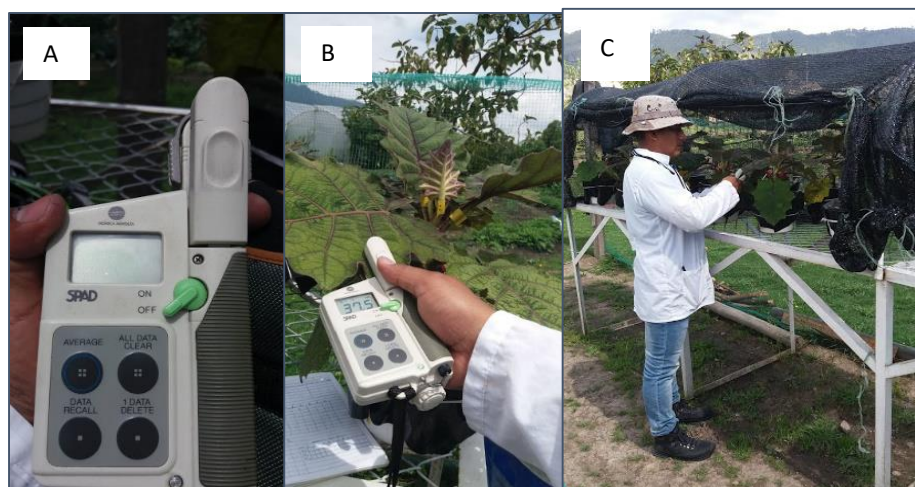


Figura 13. Empleo del equipo SPAD-502 (A), para la medición del contenido relativo de clorofila en una hoja de una planta de lulo (B y C).

La conductancia estomática y la temperatura foliar, fueron medidas durante dos días en el periodo del experimento, tanto en condiciones nubladas como en condiciones soleadas. Para la medición de estas variables se empleó un porómetro AP4 (Delta T Devices, Inglaterra) (Figura 14 A). Se seleccionó la tercera hoja completamente expandida, tomada desde la parte apical de la planta hacia abajo, en la parte media de cada hoja, en un segmento intervenal (Figura 14 B), se colocó la pinza (Figura 14 C). El seguimiento de estas variables se hizo en diferentes intervalos de tiempo para cada día 09:00 am, 11:00 am, 01:00 pm y 03:00 pm. Se realizaron dos lecturas por planta y se muestrearon 5 plantas por tratamiento.



Figura 14. Equipo porómetro (A) empleado para la medición de la conductancia estomática y temperatura de la hoja en plantas de lulo (B), ubicando la cubeta en la parte media e intervenal de una hoja del tercio medio de la planta (C).

El potencial hídrico de la hoja se obtuvo mediante la utilización de la bomba Schölander 1505D (PMS Instruments, USA) (Figura 15A). En un día soleado y nublado. Se realizó la colecta de tres hojas tomadas de plantas diferentes de cada tratamiento retiradas por medio de corte transversal, que fueron colectadas a las 06:00 am y 12:00 pm. Las hojas fueron inmediatamente depositadas en bolsa hermética plástica con papel absorbente húmedo e introducidas en nevera de campo portátil, introduciéndola en nevera a 8 °C en laboratorio de horticultura (Figura 15B), con el fin de disminuir la pérdida de agua por transpiración, adecuando cada peciolo de la hoja a la perforación del empaque de la cámara de presión (figura 15 C), posteriormente con ayuda de una lupa se observa el peciolo que emerge agua del tejido vascular.



Figura 15. Equipo bomba Schölander (A); hojas de lulo colectadas en campo y empacadas en bolsas plásticas herméticas (B) para su refrigeración y posterior toma de datos; ajuste de la hoja, con su peciolo antes de ser llevado a cámara de presión (C).

Cada dos o tres veces en la semana, se determinó la humedad volumétrica del sustrato en las materas, empleando el equipo Theta Probe MLX 2 (DELTA-T Devices, Inglaterra) (Figura 16 A). La sonda fue insertada en tres puntos en el sustrato cercano a la base de cada planta (Figura 16 B); este procedimiento se repitió para cinco plantas por tratamiento. Los valores obtenidos fueron promediados para obtener valor por tratamiento ($\theta_{lectura}$); teniendo en cuenta la humedad volumétrica del sustrato empleado a capacidad de campo (CC) ($\theta_{CC} = 35\%$), con el fin de calcular el volumen de riego en mL (*Vol. riego*) a suministrar por tratamiento, para los cálculos se empleó la ecuación (2):

$$\text{Ecuación 2. } V_{riego} = (\theta_{Cc} - \theta_{lectura}) * 40 = \text{cantidad en ml.}$$



Figura 16. Equipo DELTA-T Devices empleado para medir la humedad volumétrica del sustrato de las plantas de lulo (A); inserción de la sonda en el sustrato (B).

4.4. Mantenimiento de las unidades experimentales

En cuanto a las labores del cultivo, se realizó diariamente el riego a las plantas manualmente con un beaker plástico de 250 mL, levantando el acolchado que cubría la planta y luego se regaba sobre la corona de la planta. El volumen de agua diario que se utilizaba se obtenía de los valores promedio de la medición de la humedad del sustrato de cada tratamiento registrado con la sonda Theta Probe (DELTA- T Instruments), este valor se ajustaba según la ecuación 2.

En cuanto a la labor de fertilización, se utilizó una solución nutritiva ajustada para lulo (Vargas et al., 2005), dos veces a la semana en los tres tratamientos.

También se hicieron labores fitosanitarias como el control de arvenses durante la semana en los tratamientos sobre el orificio del acolchado. En cuanto a la poda se realizó manualmente el deschuponado durante cada semana, que consistía en retirar los brotes axilares de las hojas, el cual el tamaño no debe ser mayor de 4 cm. También se realizó eliminación de brotes de los tallos secundarios que se presentaban en la base del tallo.

4.5. Análisis de datos

El proyecto presentó una duración de 17 semanas en donde semanalmente se registraron datos de las plantas de lulo (*S. quitoense* var. *quitoense*), de las variables a evaluar en el área experimental como altura del tallo principal de la planta, diámetro del tallo, área foliar acumulada por planta, número de hojas vivas, número total de hojas, contenido relativo de clorofila, biomasa acumulada entre otras, a partir de los datos se calculó el promedio de cinco plantas por tratamiento y el error estándar respectivamente, de la cual los datos se expresaron en graficas observando fluctuaciones en los datos obtenidos a través de las semanas transcurridas, empleando estadística descriptiva entre los tratamientos, promedios y los errores estándar. Posteriormente se brindará un análisis más detallado, como el análisis de varianza.

5. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

5.1. Condiciones micrometeorológicas

De acuerdo a la figura 17,18 y 19 se puede observar el comportamiento promedio diario de la temperatura del aire, la humedad relativa y la radiación PAR, registradas desde el día 17 julio al 27 noviembre, en los diferentes tratamientos donde se ubicaron las plantas de lulo, tanto expuestas a libre exposición solar como cámara bajo sombrío del 30 y 60 %.

La temperatura del aire para el ambiente libre exposición solar fue de 14,7 °C, una máxima de 17,29 °C y la mínima de 10,11 °C y bajo sombrío del 60% el promedio fue de 14,11 °C, con una máxima de 16,31 °C una mínima de 9,44.

La humedad relativa en el tratamiento bajo libre exposición solar fue en promedio de 80,8 %, con una máxima de 92,74 y mínima de 68,32 %. Bajo sombrío del 60 %, el promedio de la humedad relativa fue de 81,77 %, con una máxima de 93,13 % y una mínima de 69,43 %.

En cuanto a la radiación PAR, en el tratamiento a libre exposición solar, en promedio fue 344,61 $\mu\text{mol}/\text{m}^2/\text{s}$, con una máxima de 552,24 $\mu\text{mol}/\text{m}^2/\text{s}$. En la cámara con sombrío del 30 % se presentó un promedio de PAR de 175,42 $\mu\text{mol}/\text{m}^2/\text{s}$ y una máxima de 305,55 $\mu\text{mol}/\text{m}^2/\text{s}$. Bajo sombrío del 60 %, la PAR promedio fue de 91,99 $\mu\text{mol}/\text{m}^2/\text{s}$, con una máxima de 214,95 $\mu\text{mol}/\text{m}^2/\text{s}$.

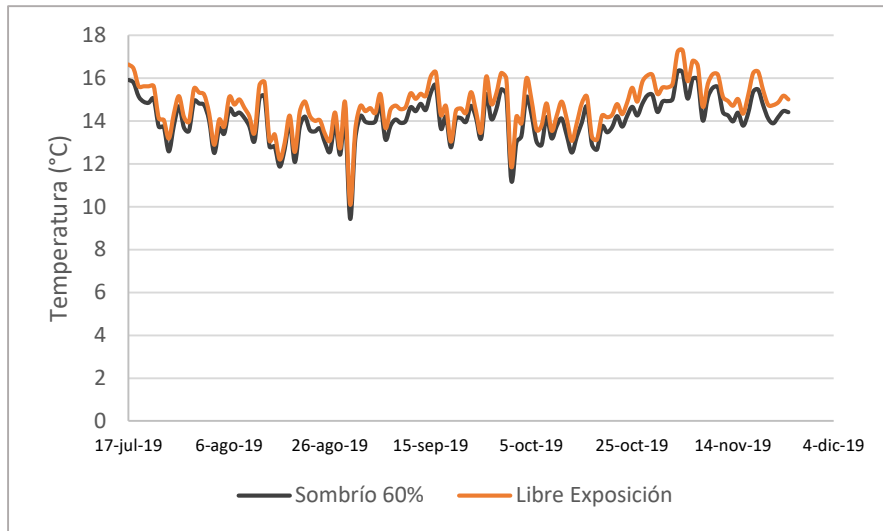


Figura 17. Promedio diario de la temperatura del aire (°C), registrada en los tratamientos de libre exposición solar y sombrío del 60 %, a los que fueron sometidos las plantas de lulo (*S. quitoense* var. *quitoense*) durante el periodo de la investigación.

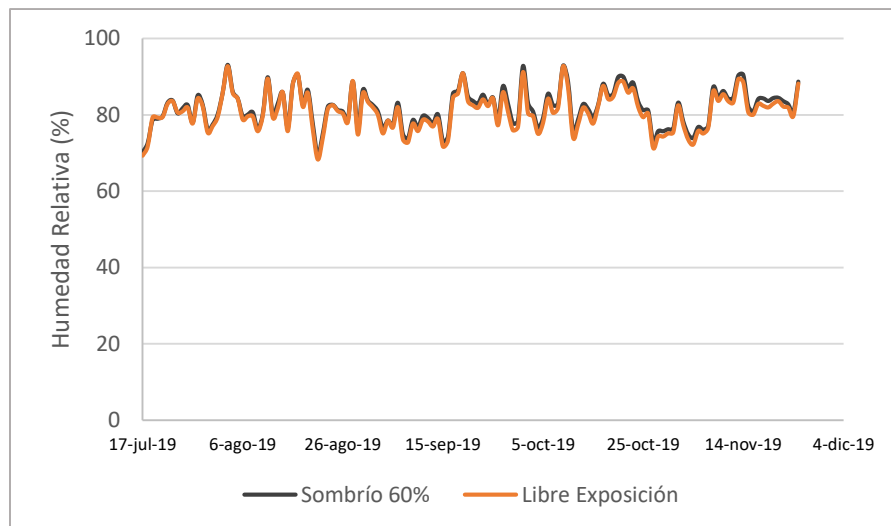


Figura 18. Promedio diario de la humedad relativa (%), en los tratamientos de libre exposición solar y sombrío del 60 %, al que fueron sometidos las plantas de lulo (*S. quitoense* var. *quitoense*) durante el periodo de la investigación.

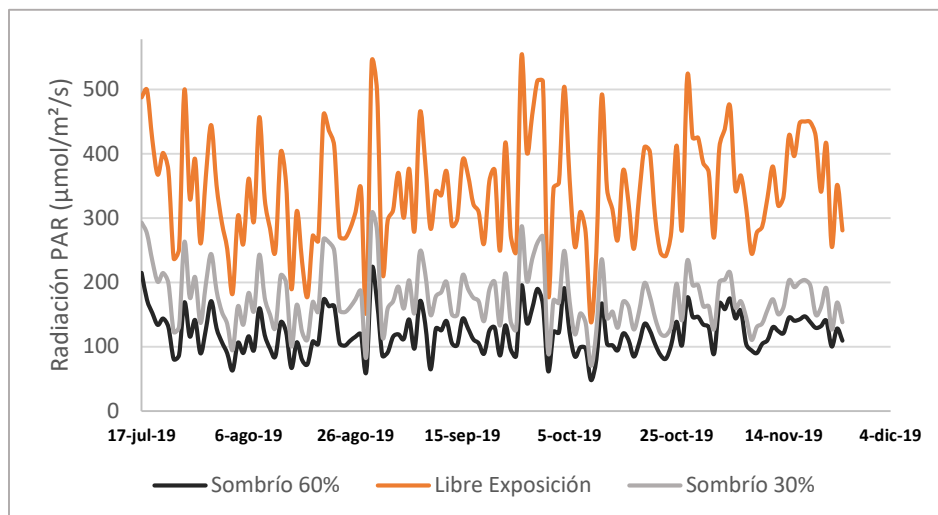


Figura 19. Promedio diario de la radiación PAR ($\mu\text{mol}/\text{m}^2/\text{s}$), en los tratamientos de libre exposición solar y sombrío del 30 % y del 60 %, al que fueron sometidas las plantas de lulo (*S. quitoense* var. *quitoense*) durante el periodo de la investigación.

En la figuras 22, 21 y 20 se presentan los registros de radiación PAR, temperatura del aire y humedad relativa promedio, para cada hora durante las 24 horas del día, determinados a partir de los datos registrados durante el periodo del estudio. En la zona experimental de las plantas a libre exposición solar, presentaron los mayores valores en cuanto a radiación y temperatura del aire y menor humedad relativa, siendo comparada con las plantas del tratamiento (T3) polisombra de 60%, dado que la polisombra genera un ambiente modificado.

De acuerdo con el comportamiento de la humedad relativa, en horas comprendidas entre la 5 pm y 6 am no se aprecian diferencias en cada ambiente puesto que en horas de la noche se presenta mayor humedad, mientras que entre las 7 am y 4 pm la humedad relativa tiende a ser mayor en las cámaras de las plantas bajo polisombra del 60 %.

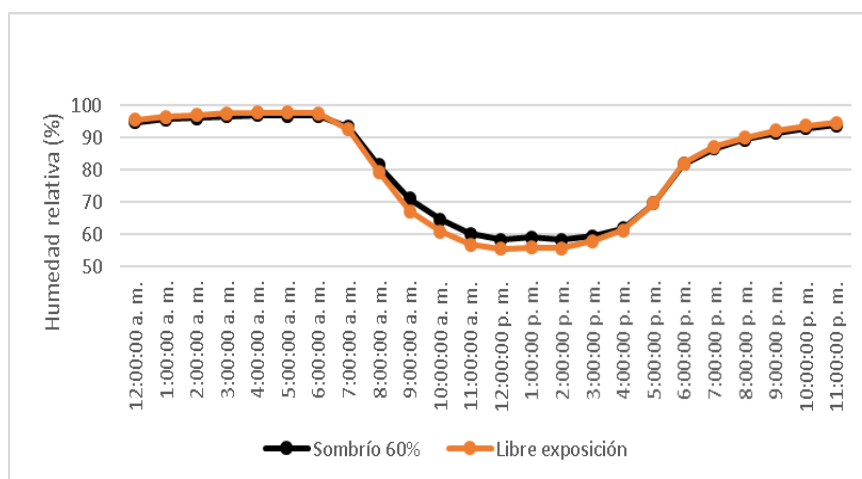


Figura 20. Comportamiento diario de la humedad relativa de los tratamientos de libre exposición solar y bajo polisombra de color negro del 60 %. Para cada hora del día los datos presentados corresponden al promedio, obtenido a partir de los registros diarios durante junio y noviembre de 2019.

Según los datos registrados del comportamiento de la temperatura del aire, los tratamientos presentaron un comportamiento homogéneo en horas comprendidas entre las 6:00 pm a 6:00 am; en horas del mediodía la temperatura del aire a libre exposición aumentó aproximadamente a 21 °C y en el ambiente de bajo sombrío aproximadamente a 20 °C, debido a que a estas horas se presenta la máxima radiación solar.

De acuerdo al registro que se llevó del comportamiento diario de la radiación PAR, muestran que los valores de la alta radiación diaria se ven reflejados en las plantas expuestas a libre exposición solar ya que no tienen barreras sintéticas que impidan la entrada de los rayos solares, mientras que bajo la polisombra de color negro de sombrío del 60 % se presentaron los menores niveles de radiación filtrada permitida por la polisombra, a su vez las plantas bajo sombrío del 30 %, se observan valores cercanos a las plantas bajo polisombra del 60 %.

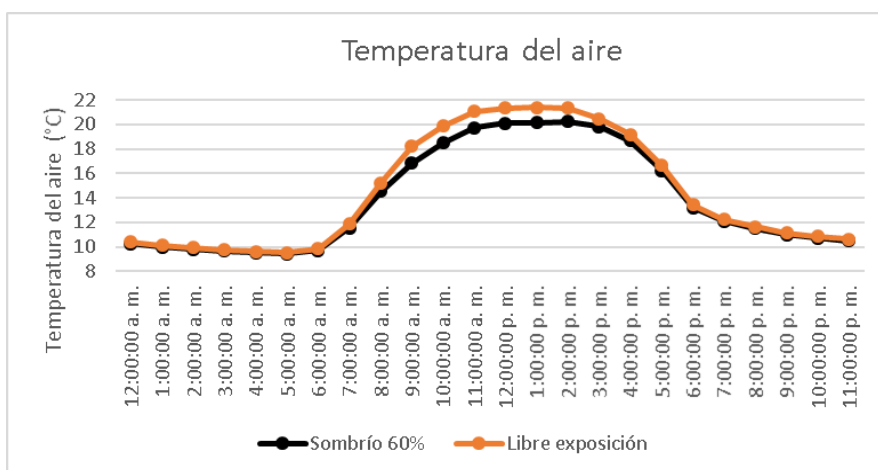


Figura 21. Comportamiento diario de la temperatura del aire en (°C), en tratamientos de libre exposición solar y bajo polisombra de color negro del 60 %. Para cada hora del día los datos presentados corresponden al promedio obtenido a partir de los registros diarios durante junio y noviembre de 2019.

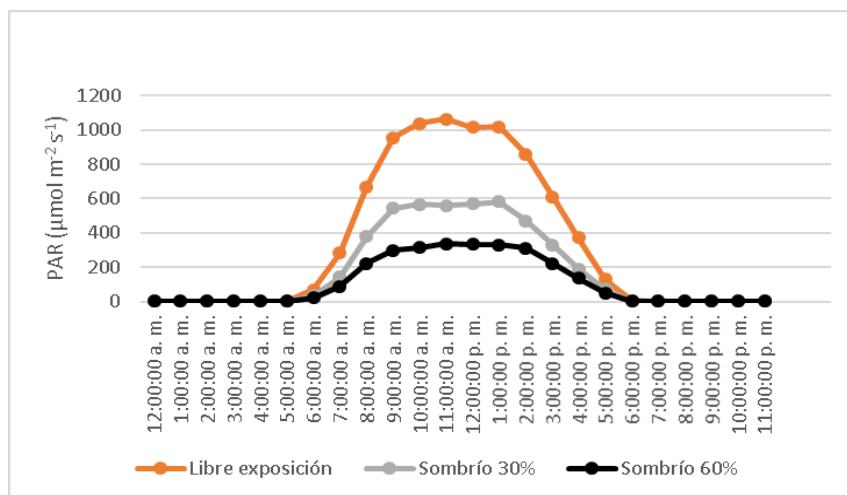


Figura 22. Comportamiento diario de la radiación PAR, en plantas de lulo (*Solanum quitoense* var. *quitoense*) sometidas a diferentes niveles de intensidad lumínica, en los tratamientos de libre exposición solar y bajo polisombra de color negro, sombrío del 30 y 60 %. Los datos presentados corresponden al promedio obtenido de los registros diarios durante junio y noviembre de 2019.

5.2. Morfología y crecimiento de las plantas

De acuerdo a los datos obtenidos con respecto a la longitud del tallo principal (Figura 23), se puede observar que las plantas de lulo sin espinas del tratamiento de libre exposición solar presentaron mayor altura en su tallo principal que fue del 17,2 %. En los tallos de las plantas de lulo en el tratamiento bajo sombrío del 30% es de 7,2 %, siendo estos más largos que en las plantas bajo sombrío del 60%. Para el día 107 DDT que fue al final del proyecto, se presentó un comportamiento diferente, según las barras de error y la estadística descriptiva ejecutada durante la primera fase de desarrollo vegetativo de las plantas de lulo. Esto debido a la acumulación de fotoasimilados canalizados en los órganos encargados de la fotosíntesis (hojas) y posteriormente traslocados a los órganos de demanda en esta fase (tallo) (Medina et al, 2008).

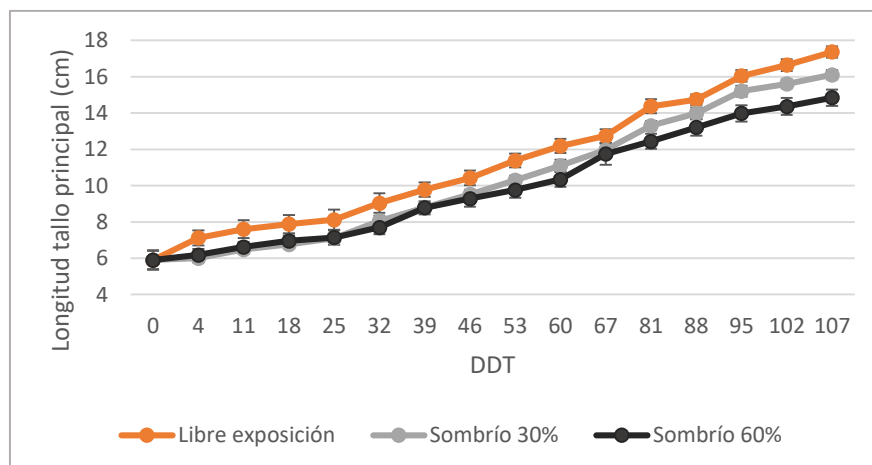


Figura 23. Longitud del tallo principal de plantas de lulo (*Solanum quitoense* var. *quitoense*) durante su etapa vegetativa, sometidas a diferentes niveles de intensidad lumínica: libre exposición, polisombra negra del 30 % y polisombra negra del 60 %. Los datos presentados corresponde al promedio y las barras al error estándar (n=5). DDT: días después de iniciados los tratamientos.

Según el registro del diámetro del tallo, se presentaron tallos del 16 % más delgados en las plantas de lulo bajo sombrío del 60% (T3) para el día 107 DDT, frente al tratamiento de plantas de lulo a libre exposición que presentó tallos más gruesos, siendo el 12 % tallos más delgados en tratamiento bajo sombrío del 30 % frente al tratamiento de plantas de libre exposición solar. Las diferencias entre los tratamientos se empezaron a observar después del día 18 DDT. Además no se encontraron diferencias tan marcadas en las plantas de lulo bajo sombrío 30% (T2) y las plantas expuestas a libre exposición solar (T1) en la mayor parte de datos registrados, solo al final del proyecto para el día 107 DDT el comportamiento entre tratamientos, según datos de estadística descriptiva, promedios y barras de error, fue diferente.

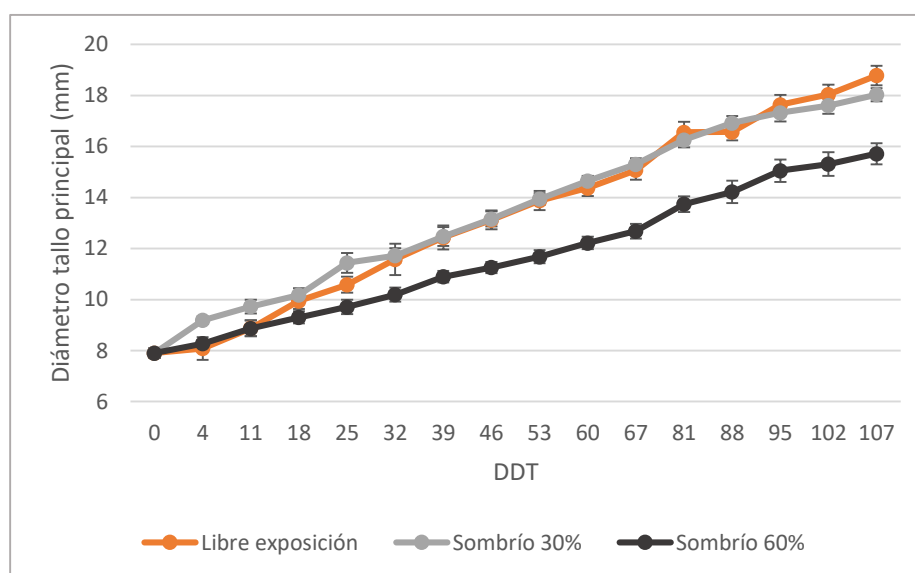


Figura 24. Diámetro del tallo principal de plantas de lulo (*Solanum quitoense* var. *quitoense*) durante su etapa vegetativa, sometidas a diferentes niveles de intensidad lumínica: libre exposición, polisombra negra del 30 % y polisombra negra del 60 %. Los datos presentados corresponde al promedio y las barras del error al error estándar (n=5). DDT: días después de iniciados los tratamientos.

En cuanto al número de hojas promedio acumulado por planta se observan diferencias entre aquellas expuestas a libre exposición solar, presentando un 8 % más de hojas que las plantas bajo algún tipo de sombrío. Esta situación se presentó notoriamente hacia el final de la etapa vegetativa, entre los 95 y 107 DDT (Figura 25). También se presentó un mayor número de hojas vivas en tratamiento de plantas expuestas a libre exposición solar desde los 95 DDT en comparación a los tratamientos de sombrío del 30 y 60 %, los cuales no presentaron diferencias entre sí.

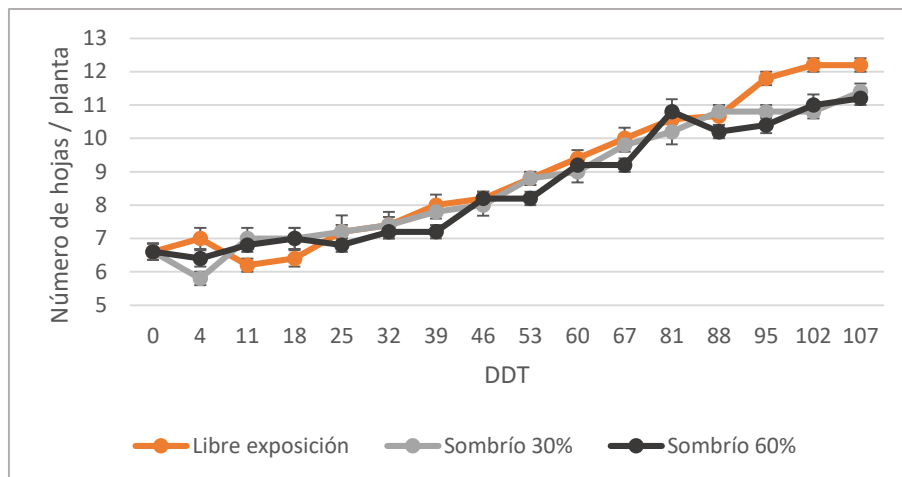


Figura 25. Número total de hojas por planta de lulo (*Solanum quitoense* var. *quitoense*) durante su etapa vegetativa, sometidas a diferentes niveles de intensidad lumínica: libre exposición, polisombra negra del 30 % y polisombra negra del 60 %. Los datos presentados corresponde al promedio y las barras del error al error estándar (n=5). DDT: días después de iniciados los tratamientos.

Basados en el promedio de la estadística descriptiva y las barras de error se observó que el promedio de hojas adheridas a la planta fue mayor para el final del proyecto en el grupo de plantas expuestas a libre exposición solar, siendo un 13,5 % superior a las plantas bajo sombrío del 60 % y 10,8 % mayor que en las plantas bajo sombrío del 30 %.

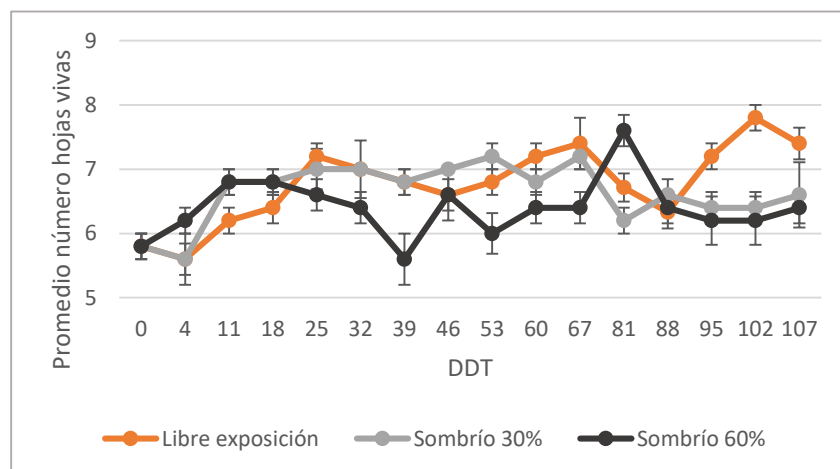


Figura 26. Número de hojas vivas en plantas de lulo (*Solanum quitoense* var. *quitoense*) durante su etapa vegetativa, sometidas a diferentes niveles de intensidad lumínica bajo tratamientos de libre exposición, polisombra negra del 30 % y polisombra negra del 60 %. Los datos presentados corresponde al promedio y las barras del error correspondientes al error estándar (n=5). DDT: días después de iniciados los tratamientos.

De acuerdo con los datos del tamaño medio de la hoja, para el día 107 DDT en el tratamiento de libre exposición solar las hojas fueron un 17,7 % más grandes si se comparan con las de las plantas bajo sombrío del 60 % y 8 % más grandes que aquellas bajo sombrío del 30 % (Figura 27).

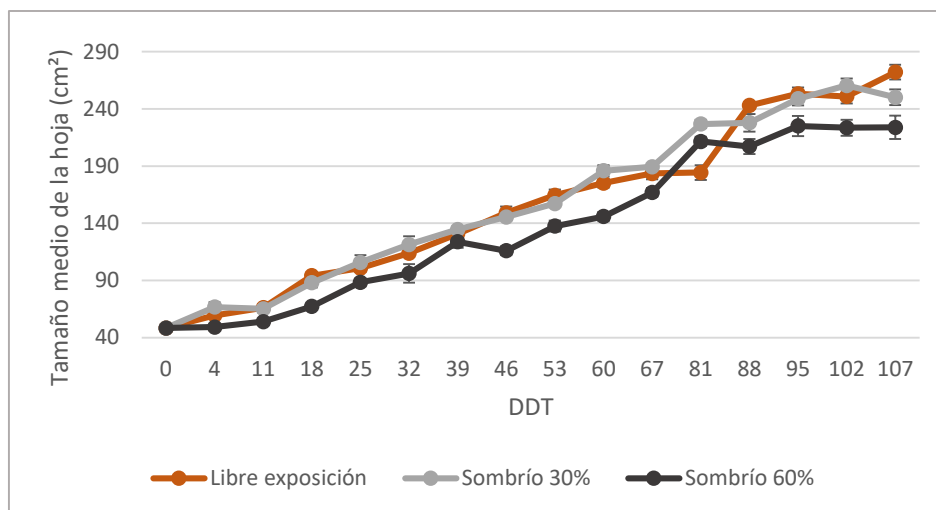


Figura 27. Tamaño medio de la hoja en plantas de lulo (*Solanum quitoense* var. *quitoense*), durante su etapa vegetativa, sometidas a diferentes niveles de intensidad lumínica, en tratamientos a libre exposición solar, polisombra negra del 30 % y polisombra negra del 60 %. Los datos presentados corresponde al promedio y las barras del error correspondientes al error estándar (n=5). DDT: días después de iniciados los tratamientos.

Respecto al comportamiento del área foliar verde se presentó un comportamiento homogéneo al inicio del proyecto desde el día 0 a 11 DDT entre los tratamientos evaluados. Entre los 18 y 67 DDT el comportamiento entre los tratamientos de libre exposición y de sombrío bajo, el área foliar fue superior frente al sombrío más intenso. Desde los 95 a los 107 DDT, en el tratamiento de plantas de lulo a libre exposición solar se presentó la mayor área foliar acumulada, que fue superior en un 29,3 % si se compara con el grupo de plantas de lulo bajo sombrío del 60 %, y del 18,49 % con el tratamiento bajo sombrío del 30 % (Figura 28).

Al analizar los datos de la morfología y el crecimiento de las variables evaluadas en las plantas de lulo en los diferentes tratamientos, las plantas expuestas a libre exposición solar, presentaron mayor altura del tallo principal, diámetro del tallo, número de hojas, área foliar por planta, tamaño medio de la hoja y un incremento del agua al momento del riego diario, según lo afirma (Cruz et al., 2007) la biomasa acumulada mediante el proceso de la fotosíntesis en las plantas de lulo son distribuidas en los órganos de la estructura de la planta según sean sus necesidades que presente en cada una de las fases del cultivo semilla, vegetativa, floración, fructificación y producción.

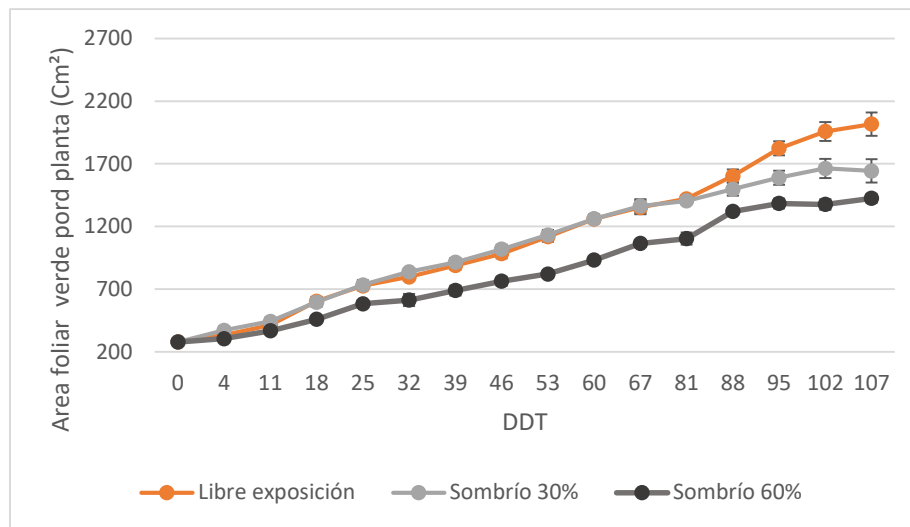


Figura 28. Área foliar verde por planta de lulo (*S. quitoense* var. *quitoense*), durante su etapa vegetativa, sometidas a diferentes niveles de intensidad lumínica, en tratamientos a libre exposición solar, polisombra negra del 30 % y polisombra negra del 60 %. Los datos presentados corresponde al promedio y las barras del error correspondientes al error estándar (n=5). DDT: días después de iniciados los tratamientos.

El comportamiento de la biomasa acumulada para el día 107 DDT (Figura 29), en las plantas de lulo sin espinas expuestas a diferentes niveles de radiación solar en tratamientos bajo libre exposición solar, fue superior a la alcanzada por las plantas bajo sombrío. Estas plantas producen y translocan una mayor cantidad de fotoasimilados, en donde el tratamiento de libre exposición solar presento una biomasa superior en un 41 % a la presentada por las plantas bajo sombrío moderado del 60 % y con diferencia en las plantas bajo sombrío del 30 % de 17,7%, esto es debido a la etapa de desarrollo que se encuentre, la materia seca acumulada se distribuye de manera diferente en cada uno de los órganos de la planta, al realizar esta distribución de la materia seca entre varias partes de la planta se conoce como equilibrio funcional (Medina et al., 2008).

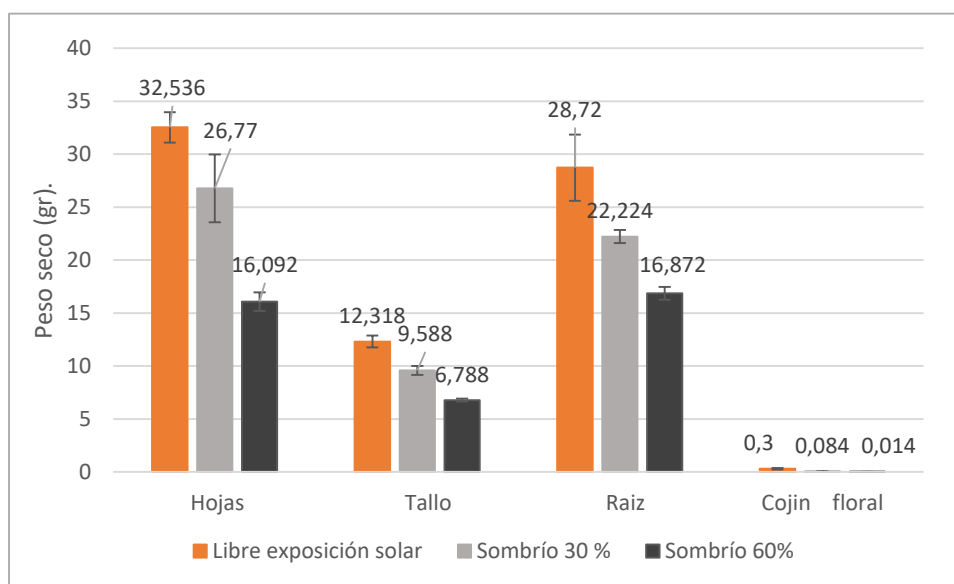


Figura 29. Biomasa acumulada por órganos a los 107 DDT en plantas de lulo (*Solanum quitoense* var. *quitoense*) durante su etapa vegetativa, sometidas a diferentes niveles de intensidad lumínica, bajo los tratamientos de libre exposición, polisombra negra del 30 % y polisombra negra del 60 %. Los datos presentados corresponde al promedio y las barras del error correspondientes al error estándar (n=5).

5.3. Contenido relativo de clorofila

En la Figura 30, se presentan los resultados obtenidos para el contenido de clorofila en plantas de lulo. No se encontró una tendencia clara al comparar entre los tratamientos, de manera que el contenido relativo de clorofila pareció no verse afectado por el nivel de sombrío. Se encontraron diferencias en el tiempo, desde los 0 a 25 DDT las plantas de cada tratamiento presentaron la tendencia aumentar el contenido de clorofila. Entre los 25 a 67 DDT el contenido se mantuvo y luego disminuyó progresivamente hasta los 88 DDT. Hacia el final de la etapa vegetativa, entre los días 88 a los 107 DDT se mantuvo relativamente estable. Los mayores contenidos de clorofila se presentaron entre los 25 y los 60 DDT, en todos los tratamientos.

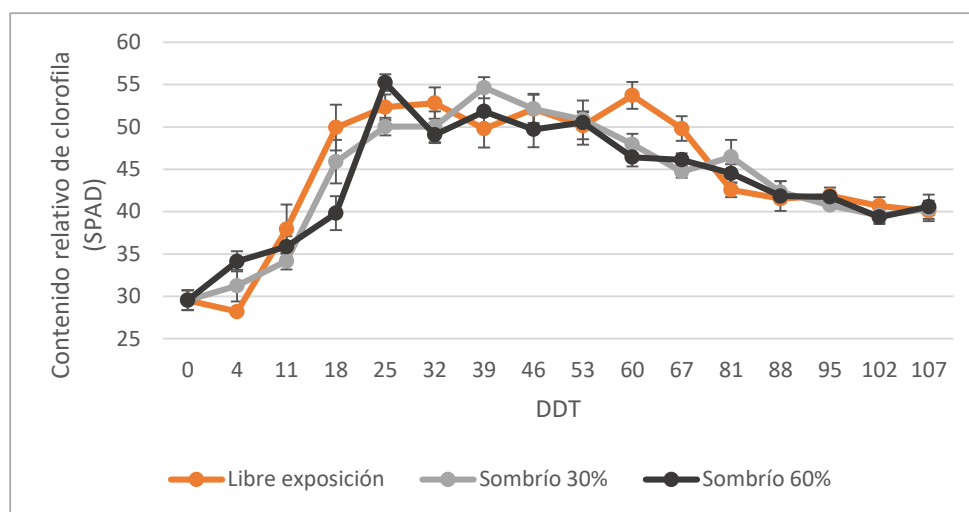


Figura 30. Contenido relativo de clorofila en hojas de plantas de lulo (*S. quitoense* var. *quitoense*), durante su etapa vegetativa, sometidas a diferentes niveles de intensidad lumínica: libre exposición, polisombra negra del 30 % y polisombra negra del 60 %. Los datos presentados corresponde al promedio y las barras del error al error estándar (n=5). DDT: días después de iniciados los tratamientos.

5.4 Potencial hídrico de la hoja

Los resultados obtenidos para el potencial hídrico de la hoja, tomado a las 06:00 am y a las 12:00 pm, se presentan para un día soleado (Figura 31 A) y uno nublado (Figura 31 B). Los datos obtenidos muestran que el potencial hídrico de las hojas fue superior en las primeras horas de la mañana y descendiendo al medio día en todos los tratamientos evaluados para las dos condiciones del día nublado y soleado. Las plantas expuestas a libre exposición solar presentaron el menor potencial hídrico de las hojas, en comparación con los tratamientos bajo sombrío, lo que lleva a una mayor pérdida de agua durante la mañana debido a que se presenta una mayor transpiración de la hoja. Por otra parte, las plantas de lulo bajo sombrío presentaron un mayor potencial hídrico al medio día en las hojas, el potencial hídrico de las plantas bajo sombra a primeras horas de la mañana en días soleados, fue superior a las de libre exposición.

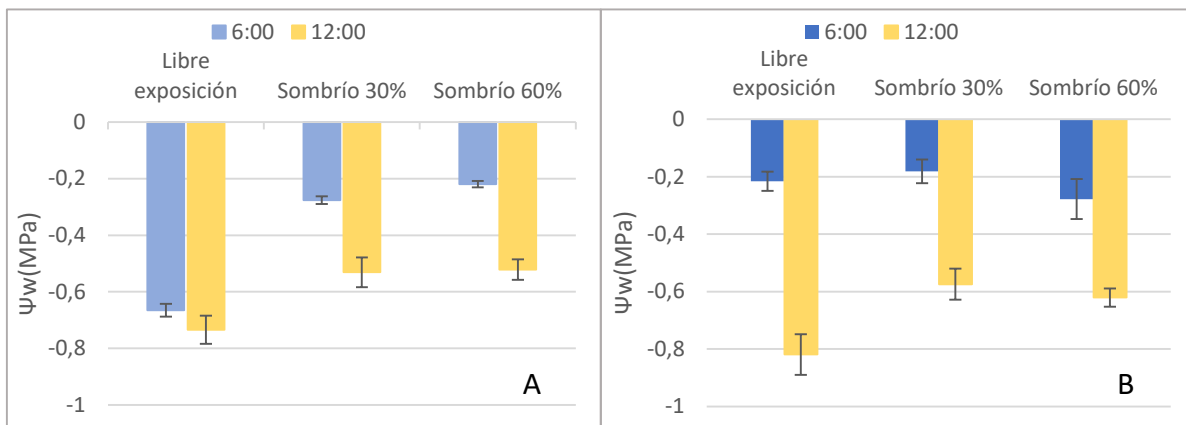


Figura 31. Potencial hídrico de la hoja de lulo (*S. quitoense* var. *quitoense*), durante su etapa vegetativa, sometidas a de niveles de intensidad lumínica en tratamientos de libre exposición solar, polisombra negra del 30 % y polisombra negra del 60 %, en horas de la mañana 06:00 am y 12:00 pm, durante un día soleado (A) y un día nublado (B). Los datos presentados corresponden al promedio y las barras del error al error estándar (n=3).

5.5 Conductancia estomática

Los resultados de la conductancia estomática para un día soleado se presentan en la (figura 32) y para un día nublado en la Figura 33. En la Figura 32 se observa que la conductancia estomática a la 9:00 am fue superior en las plantas de lulo bajo sombra del 60 %, seguidas de libre exposición y sombra del 30 %. Hacia las 11:00 am se presentó un cierre estomático, que sugiere un posible evento de depresión del medio día, que se presentó en todos los tratamientos. Hacia la 1:00 pm, nuevamente aumentó la apertura estomática, siendo mayor en las plantas a libre exposición, seguidas de aquellas bajo sombrío del 60 %, mientras que fue menor en aquellas bajo sombra del 30 %. Hacia las 3:00 pm, la apertura estomática disminuyó por efecto de las reducción de la radiación PAR, siendo mayor en las plantas a libre exposición.

En un día nublado (Figura 33), no se registraron eventos de depresión del medio día en ninguno de los tratamientos. La apertura estomática aumenta después de las 9:00 am y hacia las 11:00 am, especialmente para las plantas a libre exposición solar, y se mantiene relativamente constante incluso hasta las 3:00 pm. No se distinguieron diferencias en la apertura estomática para las plantas bajo sombrío del 30 y 60 % en un día nublado, es por esta razón que al dar desarrollo a este objetivo de este estudio, al comparando la conductancia estomática con el potencial hídrico de la hoja, por ello se induce que según la temperatura del ambiente y la velocidad del viento genera cierre estomático que evita la pérdida de agua por transpiración y vapor de agua desde el interior de las hojas hacia el exterior por difusión (Azcón-Bieto y Talón, 2008).

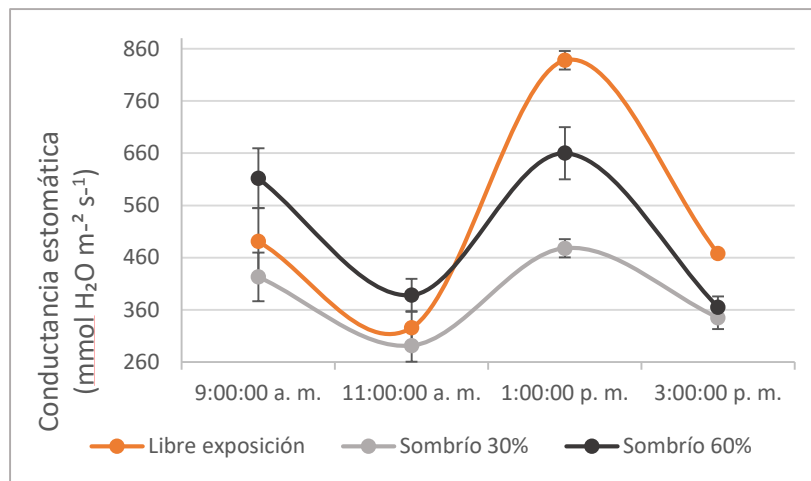


Figura 32. Comportamiento de la conductancia estomática a diferentes horas del día (9:00 am, 11:00 am, 1:00 pm y 3:00 pm), medida en hojas de lulo (*Solanum quitoense* var. *quitoense*), durante su etapa vegetativa, sometidas a diferentes de niveles de intensidad lumínica en tratamiento a libre exposición solar, polisombra negra del 30 % y polisombra negra del 60 %, en un día soleado. Los datos presentados corresponden al promedio y las barras del error al error estándar (n=5).

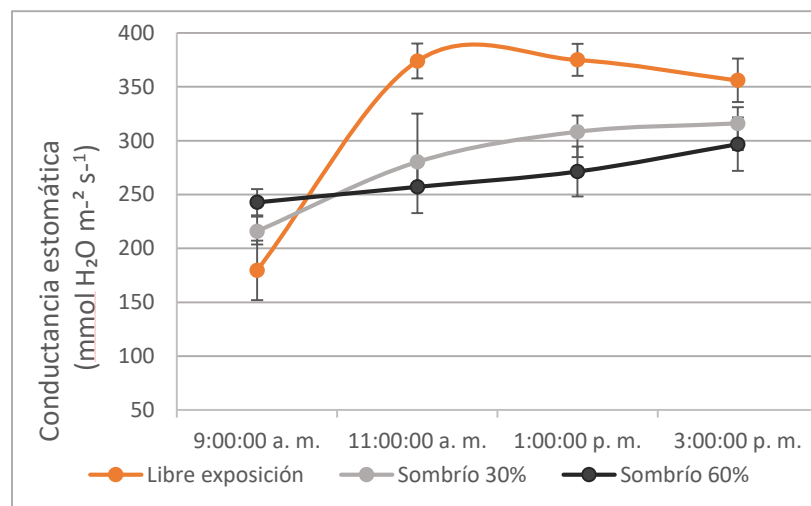


Figura 33. Comportamiento de la conductancia estomática a diferentes horas del día (9:00 am, 11:00 am, 1:00 pm y 3:00 pm), medida en hojas de lulo (*Solanum quitoense* var. *quitoense*), durante su etapa vegetativa, sometidas a niveles de intensidad lumínica en tratamientos de libre exposición solar, polisombra negra del 30 % y polisombra negra del 60 %, en un día nublado. Los datos presentados corresponden al promedio y las barras del error al error estándar (n=5).

5.3. Humedad volumétrica del sustrato y volumen de irrigación

Los resultados de la humedad volumétrica del sustrato, medida antes del riego de las plantas de lulo en los tratamientos de libre exposición solar, sombrío 30 y 60 %, se muestran en la figura 34.

Las plantas bajo sombrío del 60 % presentaron la menor demanda de agua, debido quizá a la menor transpiración que presentaron, y que se refleja en una mayor humedad del sustrato, medida siempre antes de cada riego (figura 35).

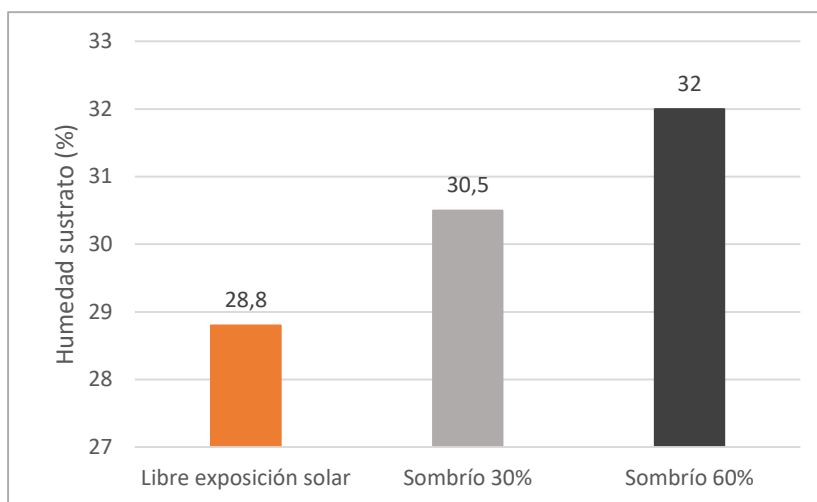


Figura 34. Comportamiento promedio de la humedad volumétrica del sustrato, antes del riego, en plantas de lulo (*S. quitoense* var. *quitoense*), durante su etapa vegetativa, sometidas a diferentes niveles de intensidad lumínica en tratamiento a libre exposición solar, sombrío del 30 % y sombrío del 60 %.

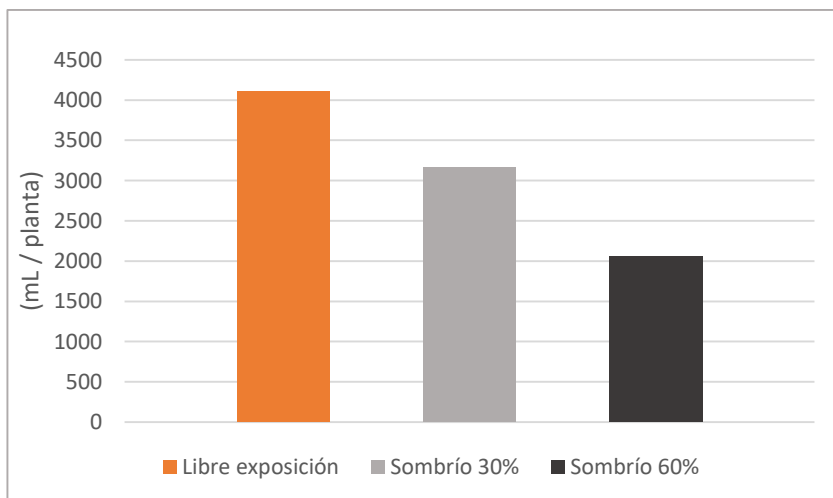


Figura 35. Volumen de riego (L) acumulado por planta de lulo (*S. quitoense* var. *quitoense*), durante su etapa vegetativa, sometidas a diferentes niveles de intensidad lumínica en tratamiento a libre exposición solar, polisombra negra del 30 % y polisombra negra del 60 %, durante el tiempo transcurrido el proyecto (107 DDT).

Una planta de lulo a libre exposición solar exigió un volumen de riego acumulado durante el tiempo de duración del experimento de aproximadamente 4 L, mientras que una planta bajo sombrío del 30 % tuvo menor consumo de agua, cercano a los 3 L y una planta bajo sombrío del 60 % demandó cerca de 2 L. Las plantas de lulo expuestas radiación directa y factores ambientales directos exigen mayor demanda de agua y a su vez pierde rápidamente humedad en el sustrato del contenedor debido a que estas realizan en mayor el proceso de la fotosíntesis, a su vez pierden agua por transpiración, debido a su mayor área foliar, genera una mayor absorción de agua y hace que el sustrato pierda humedad. Medina et al. (2006), manifiesta que para el proceso de la fotosíntesis es necesaria el agua, ya que al reducir el potencial hídrico en la plantas (hojas) genera inhibición inmediata durante el proceso de la fotosíntesis.

6. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

- Las plantas de lulo sin espinas mantenidas a libre exposición solar en la Sabana de Bogotá, presentaron un mejor crecimiento y desarrollo durante su etapa vegetativa, reflejado en mayor longitud y diámetro del tallo principal, mayor número de hojas, tamaño medio de hoja y área foliar y mayor biomasa en cada uno de sus órganos, en comparación a aquellas bajo sombrío. Sin embargo, aquellas bajo el sombrío más moderado, es decir, bajo la malla negra del 30 %, presentaron un crecimiento superior que aquellas bajo la polisombra del 60 %.
- El nivel de exposición a la radiación solar no mostró efecto sobre el contenido relativo de clorofila en las plantas de lulo sin espinas.
- Las plantas de lulo bajo sombrío presentaron mayor potencial hídrico de la hoja, menor apertura estomática y requirieron menor volumen de irrigación, que aquellas a libre exposición, las cuales tuvieron menor humedad volumétrica del sustrato, relacionado con un mayor consumo de agua de riego, mayor apertura estomática y menor potencial hídrico de la hoja.
- La implementación del sistema de sombrío moderado en plantas de lulo con polisombra negra del 30 % en las condiciones de la Sabana de Bogotá, al disminuir la radiación y modificar el microclima, puede disminuir los requerimientos hídricos, además puede ser una alternativa viable para la producción del lulo, pero es necesario realizar investigaciones para desarrollar innovaciones tecnológicas en cuanto a la implementación del sombrío y detallar el estudio hacia el funcionamiento del aparato fotosintético.
- Se recomienda la implementación de polisombra negra con un porcentaje de retención lumínica del 30 %, al momento de la siembra del cultivo de lulo en la fase vegetativa, debido a que se obtiene plantas con mejores características morfológicas, resistentes a las

condiciones ambientales, contribuye a un uso más eficiente del recurso hídrico. Se recomienda continuar la investigación en las siguientes etapas de desarrollo las plantas de lulo.

- Se recomienda realizar investigaciones del comportamiento de las plantas de lulo en cada una de las etapas de la ontogenia del cultivo, con la utilización de polisombra con capacidad de retención solar del 30 % ya que con los resultados obtenidos ya que se obtuvo un mayor crecimiento y desarrollo en las plantas lulo, comparadas con las plantas bajo sombrío del 60%.

7. BIBLIOGRAFÍA

Acosta O, Pérez A y Vaillant F. 2009. Chemical characterization, antioxidant properties, and volatile constituents of naranjilla (*Solanum quitoense* Lam.). Cultivated in Costa Rica. Arch. Latinoam. Nutr. 59 (1): 88-94p.

Agronet, 2017. 22-LULO_2017.pdf. Consultado 7-Nov-2019 de http://www.agronet.gov.co/Documents/22-LULO_2017.pdf

Angulo R. 2006. Lulo: el Cultivo. Bogotá, Colombia. 100 p.

Angulo R. 2008. Lulo el cultivo. Universidad Jorge Tadeo Lozano. Bogotá.

Álvarez A, Boche S. 1999. Modelos matemáticos para describir crecimientos doble sigmoideos en frutos de un nectarín tardío (cv. Sun Grand). Agro Sur. 27(1):21-28.

Ardila G. 2015. Efecto de la poda de formación y del número de tallos y racimos sobre la producción y calidad de frutos de lulo (*Solanum quitoense* var. *septentrionale*). Tesis, Universidad Nacional de Colombia, Facultad Ciencias Agrarias. Bogotá, D.C., 107p.

Azcón-Bieto J y Talón M. 2008. Fundamentos de Fisiología Vegetal. Interamericana-McGraw-Hill. Primera edición. Barcelona. 522p.

Bernal J, Córdoba O, Franco G, Londoño Rodríguez J y Guevara N. 1999. Cultivo de lulo (*Solanum quitoense* Lam.).

Bernal J y Franco G. 2017. Cultivo de Lulo bajo la implementación de buenas prácticas agrícolas-BPA. Secretaría de agricultura y desarrollo rural de Antioquia. Medellín. 5-170.

Bonet, J. y Cárdenas, J. 2012. Cap. 4.12. Lulo (*Solanum quitoense* Lam.). En: Manual para el cultivo de frutales en el trópico Fischer, G. (ed.). Editorial Produmedios, Bogotá.

Cámara de Comercio de Bogotá. 2015. Manual lulo. Bogotá. 56 p.

Carrasco L. 2009. Efecto de la Radiación Ultravioleta-B en plantas. Departamento de química, Facultad Ciencias, Chile. Vol., 27. 59-76.

Casierra F. 2007. Fotoinhibición: Respuesta Fisiológica de los vegetales al estrés por exceso de luz. Revista Colombiana de Ciencias Hortícolas. Vol. 1.114-123 p.

Cruz P, Acosta K, Cure J y Rodríguez D. 2007. Desarrollo y fenología del lulo (*Solanum quitoense* var. *septrionale*) bajo polisombra desde la siembra hasta primera fructificación. Agronomía Colombiana. vol, 25(2).p 288-298.

Quinchia F y Cabrera C. 2006. Manual técnico cultivo de lulo (*Solanum quitoense* L) en el departamento del Huila. Primera ed. 34p.

Fischer G y Pérez C. 2014. Efecto de la radiación solar en la calidad de los productos hortícolas. Memoria congreso Internacional de hortalizas en el trópico: la oleicultura Colombiana, nuevos retos para enfrentar los tratados de libre comercio. Bogotá. 2-15.

Flórez S, Miranda D y Chaves B. 2008. Dinámica de nutrientes en la fase vegetativa del lulo (*Solanum quitoense* Lam.), en respuesta a salinidad con NaCl. Agronomía Colombiana. Vol. 26:205-216.

Gómez F, Rejo L, García J. y Cadena J. 2014. Lulo *Solanum quitoense* Lam. Como cultivo novedoso en el paisaje agroecosistémico mexicano. Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas Pub. Esp. Núm. 9. p. 1741-1753.

Hunt R. 2003. Growth analysis, individual plants. En: Thomas B, Murphy DJ, Murray D, editores. Encyclopedia of applied plant sciences. Londres, Inglaterra: Academic Press. 579-588.

Medina C, Martínez E, Lobo M, López J y Riaño N. 2006. Comportamiento bioquímico y del intercambio gaseoso del lulo (*Solanum quitoense* Lam.) a plena exposición solar en el bosque húmedo montano bajo del oriente Antioqueño Colombiano. Rev. Fac. Nal. Agr. Medellín 59(1), 3123-3146.

Medina C, Lobo M y Martínez E. 2009. Revisión del estado del conocimiento sobre la función productiva del lulo (*Solanum quitoense* Lam.) en Colombia. Corpoica Ciencia. Tecnología. Agropecuaria. 10(2), 167-179.

Melgarejo L. 2010. Experimentos en Fisiología vegetal. 1 ed. Goth's. Bogotá. 277p.

Molina M. 2018. Respuesta fenotípica de las plantas de lulo (*Solanum quitoense septrionale*) a la inducción de la mutación genética con triflutarina. (Trabajo de investigación). Ingeniería Agronómica. Universidad de Ciencias Aplicadas y Ambientales. Bogotá. 44p.

Morillo A, Rodríguez A y Morillo Y. 2019. Caracterización morfológica del lulo (*Solanum quitoense* Lam.) en el municipio de Pachavita, Boyacá. Acta Biol. Colomb. 2019; 24(2):291-298. DOI: <http://dx.doi.org/10.15446/abc.v24n2.75832>

Ochoa L, Balaguera H, Ardila G, Pinzón E y Álvarez J. 2016. Crecimiento y desarrollo del lulo (*Solanum quitoense* Lam.) en el municipio de San Antonio del Tequendama (Colombia). Corpoica Ciencia y tecnología Agropecuaria. 17(3):347-359.

Rueda E. 2008. Estudios funcionales de los factores de transcripción de girasol de tipo HD-Zip en desarrollo vegetal y la adaptación al medio ambiente. Catedra de biología celular y molecular, Facultad de Bioquímica y Ciencias Biológicas. Universidad Nacional del Litoral. Argentina.

Taiz L. y Zeiger E. 2010. Plant physiology. 3a ed. Sinauer Associates, Sunderland, Massachusetts. 536 p.

Vargas A. 2002. Reconocimiento de enfermedades con énfasis en la producción algodonosa de lulo (*Esclerotinia sclerotiorum*) en el Valle de Tenza, municipio de Chivor. Revista U.D.C.A. Actualidad & Divulgación Científica. 5 (1): 52-59.

Yin Y, Li S, Liao W, Lu Q, Wen X y Lu C. 2010. Photosystem II photochemistry, photoinhibition, and the xanthophyll cycle in heat-stressed rice leaves. Journal of plant physiology 167, 959-966.