

UNIVERSIDAD SAN FRANCISCO DE QUITO USFQ

Colegio de Ciencias Biológicas y Ambientales

**Efecto de diferentes espectros de luz en el desarrollo inicial de
naranjilla (*Solanum quitoense*)**

Natalie Carolina Barba Cáceres

Ingeniería en Procesos Biotecnológicos

Trabajo de fin de carrera presentado como requisito
para la obtención del título de
Ingeniera en Procesos Biotecnológicos

Quito, 4 de mayo de 2020

UNIVERSIDAD SAN FRANCISCO DE QUITO USFQ

Colegio de Ciencias Biológicas y Ambientales

HOJA DE CALIFICACIÓN DE TRABAJO DE FIN DE CARRERA

**Efecto de diferentes espectros de luz en el desarrollo inicial de naranjilla
(*Solanum quitoense*)**

Natalie Carolina Barba Cáceres

Nombre del profesor, Título académico

Sofía Carvalho, PhD

Quito, 4 de mayo de 2020

DERECHOS DE AUTOR

Por medio del presente documento certifico que he leído todas las Políticas y Manuales de la Universidad San Francisco de Quito USFQ, incluyendo la Política de Propiedad Intelectual USFQ, y estoy de acuerdo con su contenido, por lo que los derechos de propiedad intelectual del presente trabajo quedan sujetos a lo dispuesto en esas Políticas.

Asimismo, autorizo a la USFQ para que realice la digitalización y publicación de este trabajo en el repositorio virtual, de conformidad a lo dispuesto en el Art. 144 de la Ley Orgánica de Educación Superior.

Nombre y apellidos: Natalie Carolina Barba Cáceres

Código: 00130412

Cédula de identidad: 1718926676

Lugar y fecha: Quito, mayo de 2020

ACLARACIÓN PARA PUBLICACIÓN

Nota: El presente trabajo, en su totalidad o cualquiera de sus partes no debe ser considerado como una publicación, incluso a pesar de estar disponible sin restricciones a través de un repositorio institucional. Esta declaración se alinea con las prácticas y recomendaciones presentadas por el Committee on Publication Ethics COPE descritas por Barbour et al (2017) Discussion documento on best practice for issues around theses publishing, disponible en <http://bit.ly/COPETheses>.

UNPUBLISHED DOCUMENT

Note: The following capstone project is available through Universidad San Francisco de Quito USFQ institutional repository. Nonetheless, this project – in whole or in part. Should not be considered a publication. This statement follows the recommendations presented by the Committee on Publication Ethics COPE described by Barbour et al. (2017) Discussion document on best practice for issues around theses publishing available on <http://bit.ly/COPETheses>.

RESUMEN

La luz es sumamente relevante para el desarrollo de la vida vegetal. Diferentes espectros de luz tienen distintos efectos en la germinación y el crecimiento de las plantas. El objetivo de este proyecto es entender los efectos de diferentes espectros de luz en la naranjilla (*Solanum quitoense*) para posteriores aplicaciones en cultivos de interior en donde se pueda generar plantas de buena calidad en espacios cortos de tiempo. El trabajo experimental se realizó mediante el cultivo *in vitro* de semillas de naranjilla. Se evaluó parámetros de porcentaje de germinación, porcentaje de hipocotíleos, porcentaje de coloración verde y longitud de hipocotíleos. Se repartió las semillas de naranjilla en ambientes con luz roja, azul, rojo lejano, todas a $15 \mu\text{mol m}^{-2}\text{s}^{-1}$; y combinaciones de rojo y rojo lejano (proporciones R:RL=1:3 y 3:1); la luz blanca fluorescente se usó como control. Los experimentos realizados mostraron que en tres de los cuatro parámetros estudiados no hubo diferencias y en el parámetro de longitud de hipocotíleos las medias fueron estadísticamente diferentes. Una explicación para estas diferencias podrá ser el tiempo de exposición a los espectros de luz. Los parámetros de germinación de semillas, desarrollo de hipocotíleos y coloración verde fueron evaluados después de 48 horas en las diferentes condiciones por lo que podrá haber sido poco tiempo para obtener diferencias. Para la longitud de hipocotíleos el análisis fue realizado después de siete días en las diferentes condiciones. Este tiempo podrá haber sido suficiente para obtener diferencias. Otra explicación podrá ser que en la naranjilla los parámetros analizados responden de forma diferente a las condiciones probadas; o que no tienen el mismo desarrollo que ha sido descrito en otras especies en estudios similares. En el futuro se espera estudiar los efectos de combinaciones de luz roja y rojo lejano en el desarrollo de hipocotíleos, así como los efectos de azul, rojo y rojo lejano para el resto de parámetros. La utilización de diferentes espectros de luz en tiempos específicos del desarrollo de la naranjilla podrá contribuir para una producción *in vitro* más rápida de plantas de buena calidad comparado con la utilización exclusiva de luz blanca.

Palabras clave: naranjilla, espectro de luz, *in vitro*, *Solanum quitoense*, luz roja, luz azul, luz roja lejano, hipocotíleo, plántula.

ABSTRACT

Light is highly important for plant development. Different light spectra have specific effects on plant germination and growth. The goal of this project is to understand the effects of different light spectra in naranjilla (*Solanum quitoense*), for later applications in indoor growth conditions where high-quality plants can be generated in short periods of time. The experimental work was carried out with *in vitro* sowing of naranjilla seeds. The parameters percentage of germination, percentage of hypocotyls, percentage of green coloration and hypocotyl length were evaluated. Naranjilla seeds were distributed in controlled environments under red, blue, far-red light, all at $15 \mu\text{mol m}^{-2}\text{s}^{-1}$; and combinations of red and far-red light (ratios R:FR=1:3 and 3:1); fluorescent white light was used as control. The experiments showed that in three of the four parameters studied no differences were found, whereas in the hypocotyl length parameter the means were statistically different. An explanation for these differences may be the time of exposure to the light spectra. The parameters of seed germination, hypocotyl development and green coloration were evaluated after 48 hours in different conditions, which may have been a time too short to obtain differences. Hypocotyl length was analyzed after seven days under the different conditions. This time may have been sufficient to obtain differences. Another explanation could be that in naranjilla the analyzed parameters respond differently to the tested conditions; or that they do not have the same development that has been described in other species in similar studies. Future studies should focus on the effects of combinations of red and far-red light on hypocotyl development, as well as of blue, red and far-red on the other parameters. The usage of different light spectra during specific stages of naranjilla development can contribute to a faster *in vitro* production of high-quality plants compared to the exclusive usage of white light.

Key words: naranjilla, light spectra, *in vitro*, *Solanum quitoense*, red light, blue light, far red light, hypocotyl, seedling

TABLA DE CONTENIDOS

1. INTRODUCCIÓN.....	10
2. METODOS.....	13
2.1 Medio de cultivo.....	13
2.2 Obtención de semillas.....	13
2.3 Siembra de semillas.....	13
2.4 Sincronización de semillas e inducción de germinación.....	13
2.5 Condiciones de luz.....	14
2.6 Conteo de resultados.....	14
2.7 Medición de longitud de hipocótilos.....	15
2.8 Análisis estadístico.....	15
3. RESULTADOS.....	16
4. DISCUSIÓN.....	20
5. CONCLUSIONES.....	23
6. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	24
7. ANEXO A: FIGURAS.....	26

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1: Parámetros evaluados	14
-------------------------------------	----

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1: Porcentaje de Germinación de semillas.....	16
Figura 2: Porcentaje de Desarrollo de Hipocotíleos.....	17
Figura 3: Porcentaje de Coloración verde.....	18
Figura 4: Porcentaje de Longitud de Hipocotíleos.....	19
Figura 5: ANOVA Longitud de Hipocotíleos.....	19
Figura A1: ANOVA Germinación de semillas.....	26
Figura A2: ANOVA Desarrollo de Hipocotíleos.....	26
Figura A3: ANOVA Coloración verde.....	27

1. INTRODUCCIÓN

La naranjilla (*Solanum quitoense*) es una fruta perteneciente a la familia de las Solanáceas originaria de la cordillera de los Andes de Colombia, Ecuador y Perú. Esta planta llega hasta los 3 metros de altura, y su vida fructífera empieza a los diez meses dando frutos todo el año. Su raíz principal llega a los 50 cm., el tallo es robusto, semileñoso con ramas en forma alternativa, sus hojas son grandes y ovaladas de color verde oscuro. La flor es color blanca y morada, en racimos hasta de 12 flores. El fruto es anaranjado por fuera y verde por dentro, de forma globosa entre 2 y 6 cm siendo su pulpa el 90% de su masa total, el contenido restante está entre la corteza y las semillas. Las semillas son de tamaño muy pequeño, de color amarillo (Cajamarca, 2010).

La fruta es la parte de la naranjilla con mayor interés en esta investigación, la pulpa es de color verde con gran cantidad de semillas, aromática con sabor que se balancea entre dulce y ácido. Además, tiene gran contenido de proteínas, minerales y vitaminas como vitamina A, B1, B2 y C. El cultivo se realiza principalmente en la Amazonia de la zona ya mencionada, sin embargo, la planta no es muy conocida en otros países debido a su poca difusión interna, por lo que su consumo es casi exclusivamente nacional (Andrade, Chong, & Espinel, 2009). Por esta razón existe gran potencial de rentabilidad a nivel económico y futuras ganancias de importaciones hacia países como Estados Unidos, Brasil y Alemania. Para lograr esto son necesarios estudios con esta planta para obtener protocolos de cultivo que aumenten la productividad y generen plantas de buena calidad (Silva, y otros, 2016).

La luz es esencial para que las plantas cumplan su ciclo de vida. El espectro de luz puede ser dividido en 5 partes: luz UV entre 200 - 400 nm, luz azul entre 400 - 510 nm, luz amarilla y verde entre 510 - 610 nm, luz naranja a roja entre 610 - 700 nm y rojo lejano entre 700 - 780 nm (Folta & Carvalho, 2015). Cada uno de estos espectros tiene diferentes efectos en las plantas y en momentos específicos de su desarrollo, estos efectos están dados por fotorreceptores que son moléculas que se activan a

través de longitudes de onda específicas (Meisel, Urbina, & Pinto, 2011), dependiendo de los espectros, proteínas como fitocromos, criptocromos, clorofila y fototropinas que son fotorreceptores van a variar su cantidad producida. El desarrollo de estos fotorreceptores está estrechamente ligado a la genética y el ambiente en que las plántulas se desarrollan, ya que se activan diferentes foto pigmentos que escanean este ambiente y trabajan dependiendo de lo que obtienen a su alrededor. Adicionalmente estos efectos van cambiando según la fase de desarrollo en la que se encuentre el organismo (Folta & Carvalho, 2015). La luz azul tiene acción fotosintética, efecto en el tiempo de floración, fototropismo, movimientos de cloroplastos, estimulación de síntesis de clorofila y carotenos, (Meisel, Urbina, & Pinto, 2011) inhibición de elongación de hipocotíleos estimulación de expansión de cotiledones curvación fototrópica, entre otros (Caierra & Pinto, 2011). La luz verde amarilla no tiene mucha repercusión en la fotosíntesis, aunque si tiene control sobre apertura de estomas y fototropismo (California Lightworks, 2020). La luz roja y rojo lejano también tiene acción fotosintética, además, de inducir la germinación, tiene incidencia en el tiempo de floración y la elongación celular (Meisel, Urbina, & Pinto, 2011).

El uso de luces LED, diodo semiconductor emisor de luz (Real Academia Española, 2020), para generar ambientes de espectros de luz específicos se ha hecho hace al menos cuatro décadas (SABATER, 1977). Se ha logrado usar luces LED para cambiar diversas variables como niveles de carotenos y de GL (glucosinolato) en plántulas de col morada, además de la longitud de hipocotíleos, contenido nutraceútico y la acumulación de los diferentes pigmentos, y metabolitos involucrados en el desarrollo de esta especie (Carvalho & Folta, 2014). En lechuga se ha estudiado los efectos en la germinación con espectros de luz roja y rojo lejano (Meisel, Urbina, & Pinto, 2011), en la salvia roja el desarrollo completo desde su germinación hasta la floración (Gómez, 2014) o como Bures, Urrestarazu & Kotiranta (2018) que estudiaron tomate, algas, cannabis, entre otras plantas, desde el la germinación hasta llegar a plántulas junto con su contenido de fitocromos y clorofila. Los cambios en las condiciones de luz inducen expresión génica y alteraciones morfológicas, fisiológicas y

metabólicas esto, esto posibilita que las plantas respondan y se adapten a variaciones en las condiciones ambientales. Esta es una gran ventaja que se puede aprovechar para varios estudios futuros al variar los espectros de luz para entender los efectos que causan en las plantas (Folta & Carvalho, 2015). Con esto en un futuro se puede predecir los cambios o desarrollos de esta planta y evitar otras técnicas de laboratorio más caras o difíciles de desarrollar.

El objetivo de esta investigación es entender los efectos de diferentes espectros de luz (roja, azul, rojo lejano, y combinaciones de roja y rojo lejano) en la naranjilla en condiciones *in vitro*. Esta información podrá ser transferida para futuras aplicaciones en cultivos de interior en donde se pueda generar plantas de buena calidad en espacios cortos de tiempo.

2. METODOS

2.1 Medio de cultivo

El medio de cultivo utilizado fue el medio MS, a pH 5,8 (Murashige & Skoog, 1962). Este medio contiene “elementos principales”, “elementos menores”, “elementos orgánicos”, Fe-EDTA y sacarosa. El medio fue autoclavado por 15 minutos a 121°C y luego colocado en cajas petri de vidrio.

2.2 Obtención de semillas

Para este proceso se consiguió la fruta de un supermercado cercano a la universidad. Se sacó la pulpa de la fruta con una cuchara, con un cernidor se separó las semillas. Con cuidado se lavó las semillas con abundante agua corriente para eliminar toda la pulpa a su alrededor y se las colocó sobre periódico para dejarlas secar durante dos días.

2.3 Siembra de semillas

Se requiere un paso inicial de desinfección de semillas. Primero se colocó en alcohol al 70% por cinco minutos, después en cloro al 2,5% más Tween-20 por 15 minutos. Se siguió con seis lavados con agua destilada estéril de alrededor de 100ml cada una. A continuación, las semillas fueron colocadas en el medio de cultivo descrito anteriormente. Se sembraron 16 semillas por caja petri en dos filas en un total de tres a cuatro cajas petri por condición.

2.4 Sincronización de semillas e inducción de germinación

Después de sembrar las semillas, las cajas petri fueron envueltas en aluminio y puestas en oscuridad por 24 horas. Se quitó el aluminio y se aplicó un pulso de luz blanca artificial por dos horas. Las siguientes 24 horas se volvió a colocar las cajas petri en oscuridad con aluminio. Luego se colocó en un cuarto de cultivo a $23 \pm 1^\circ\text{C}$ con 16 horas de fotoperiodo en diferentes condiciones de luz durante 15 días. Una de las condiciones fue el frío que consistió en tomar 2 cajas petri apenas

sembradas y envueltas en aluminio, y ponerlas en un refrigerador a 4°C durante las primeras 24 horas. Después se unieron al mismo protocolo desde el pulso de luz blanca artificial.

2.5 Condiciones de luz

En el cuarto de cultivo se colocaron las placas petri en luz blanca a $15 \mu\text{mol m}^{-2}\text{s}^{-1}$ durante siete días. Después se repartieron por igual las cajas petri en los diferentes espectros de luz. Luz blanca (B) a $15 \mu\text{mol m}^{-2}\text{s}^{-1}$ (B15), $50 \mu\text{mol m}^{-2}\text{s}^{-1}$ (B50), y $15 \mu\text{mol m}^{-2}\text{s}^{-1}$ con 24 horas a 4°C (BF); azul (A, 450 nm), rojo (R, 660 nm), rojo lejano (RL, 735 nm) a $15 \mu\text{mol m}^{-2}\text{s}^{-1}$; y combinaciones de rojo y rojo lejano R:RL=1:3 (5 y $15,7 \mu\text{mol m}^{-2}\text{s}^{-1}$, respectivamente) y R:RL=3:1 (10 y $3,5 \mu\text{mol m}^{-2}\text{s}^{-1}$, respectivamente). Permanecieron siete días y se procedió al análisis de diferentes parámetros fisiológicos. La Tabla 1 muestra las condiciones usadas en el cuarto de cultivo en cajas de madera con diferentes espectros de luz LED y se especifica la intensidad de luz de cada condición.

Tabla 1: Condiciones usadas en el cuarto de cultivo *in vitro* para el desarrollo inicial de plántulas de naranjilla

Parámetros evaluados
Blanco $50 \mu\text{mol m}^{-2}\text{s}^{-1}$
Blanco $15 \mu\text{mol m}^{-2}\text{s}^{-1}$
Blanco $15 \mu\text{mol m}^{-2}\text{s}^{-1}$
Rojo $15 \mu\text{mol m}^{-2}\text{s}^{-1}$
Azul $15 \mu\text{mol m}^{-2}\text{s}^{-1}$
Rojo Lejano $15 \mu\text{mol m}^{-2}\text{s}^{-1}$
R:RL=5:15,7 $\mu\text{mol m}^{-2}\text{s}^{-1}$
R:RL=10:3,5 $\mu\text{mol m}^{-2}\text{s}^{-1}$

2.6 Conteo de resultados

Para la obtención de resultados se observó todos los días los cambios durante los 14 días dichos previamente. El primer día que se observó germinación en cualquiera de las placas petri, se comenzó a contar el total de semillas germinadas en todas las placas. De la misma manera se registró la formación de hipocotíleos y la aparición de coloración verde.

2.7 Medición de longitud de hipocotíleos

Para esta parte del proceso se utilizó el programa “ImageJ” (Sánchez, 2014) con el cual se analizó imágenes de las plántulas fotografiadas junto a una regla. Estas imágenes se cargaron, se configuró la escala de del programa para que reconociera la escala de la regla de cada una de estas imágenes. Se continuó al escoger la línea segmentada y con ella delinear todos los hipocotíleos de la cada una de las cajas de cada condición. Al terminar de delinear se obtuvo la longitud en centímetros de todas las plántulas.

2.8 Análisis estadístico

El análisis se realizó con el programa Minitab. Se inició con los resultados de germinación de semillas, se colocaron en la plantilla y luego se hizo un análisis ANOVA de un solo factor con un α de 0,05. Se seleccionó los datos de respuesta, en comparaciones se seleccionó Tukey, en gráficas se seleccionó tres en uno y en almacenamiento residuos. Luego se obtuvo los valores de las medias, desviación estándar, los valores p, las comparaciones de Tukey, las gráficas, entre otros. Para los otros parámetros de desarrollo de hipocotíleos, coloración verde y longitud de hipocotíleos se siguió el mismo procedimiento descrito para la germinación.

3. RESULTADOS

La Figura 1 muestra los resultados de germinación obtenidos de los experimentos en el noveno día desde que se colocó en el cuarto de cultivo. Los Resultados del control (B50 y B15) muestran que las semillas germinan en luz B. Las combinaciones de R y RL son bastante similares a las de luz B entre 67% y 77%. Mientras que la luz R, A y RL tuvieron resultados semejantes entre ellos, pero menores a las combinaciones de R con RL y de luz B con un porcentaje entre 52% y 55%.

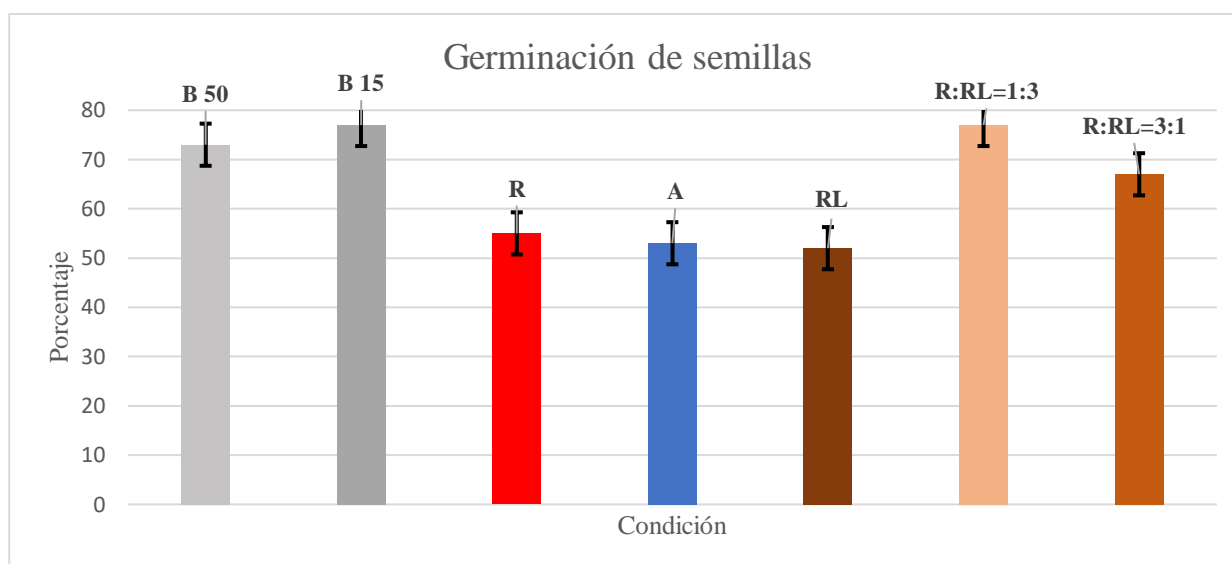


Figura 1: Porcentaje de semillas germinadas en las diferentes condiciones, B 50, B 15, R, A, RL, R:RL=1:3, R:RL=3:1 con $n=3$. Día 9, las barras de error indican el alejamiento de los datos a la media.

La Figura A1 (Anexo A) muestra el análisis ANOVA realizado en Minitab de la germinación. El análisis indica que no hay diferencias significativas. La gráfica de residuos nos dice que se cumplen todos los supuestos de mínimos ordinarios (Soporte de Minitab 18, 2019).

En la Figura 2 se muestra el porcentaje de semillas que desarrollaron hipocótilos en el noveno día desde que se colocó en el cuarto de cultivo. Se observa que la combinación de luz R y RL de 1:3 generó un mayor número de hipocótilos (64%), mientras que la luz con menor número de hipocótilos fue la A con 33%. El resto de condiciones mostraron resultados similares, de 40% a 50%.

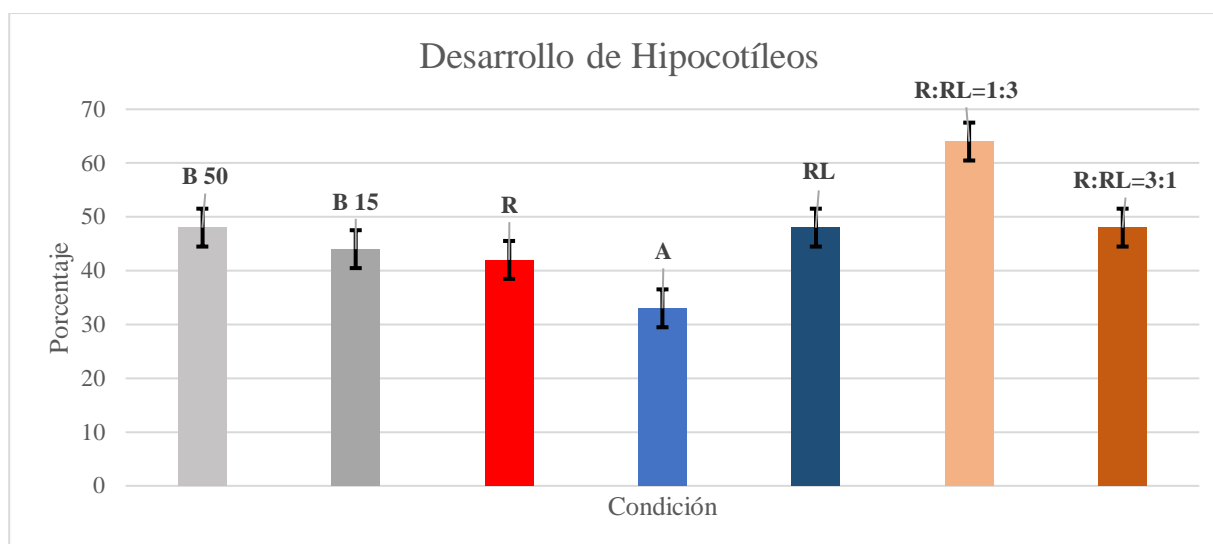


Figura 2: Porcentaje de hipocotíleos en las diferentes condiciones, B 50, B 15, R, A, RL, R:RL=1:3, R:RL=3:1 con $n=3$. Día 9, las barras de error indican el alejamiento de los datos a la media.

La Figura A2 (Anexo A) muestra el análisis ANOVA realizado en Minitab del desarrollo de hipocotíleos. El análisis indica que no hay diferencias significativas entre las varias condiciones de luz. La gráfica de residuos nos dice que se cumplen todos los supuestos de mínimos ordinarios (Soporte de Minitab 18, 2019).

La Figura 3 muestra los resultados promedio de la evaluación visual del desarrollo de coloración verde en el noveno día desde que se colocó las semillas en el cuarto de cultivo. La luz R y luz RL tuvieron los resultados más altos, la combinación R:RL=1:3 resultó en 53% de coloración verde mientras que la combinación R:RL=3:1 generó 39,1%. La luz B tuvo los resultados intermedios con porcentajes entre 31% y 35% sin embargo, la luz R, luz A y luz RL fueron los resultados más bajos entre 27% y 28%.

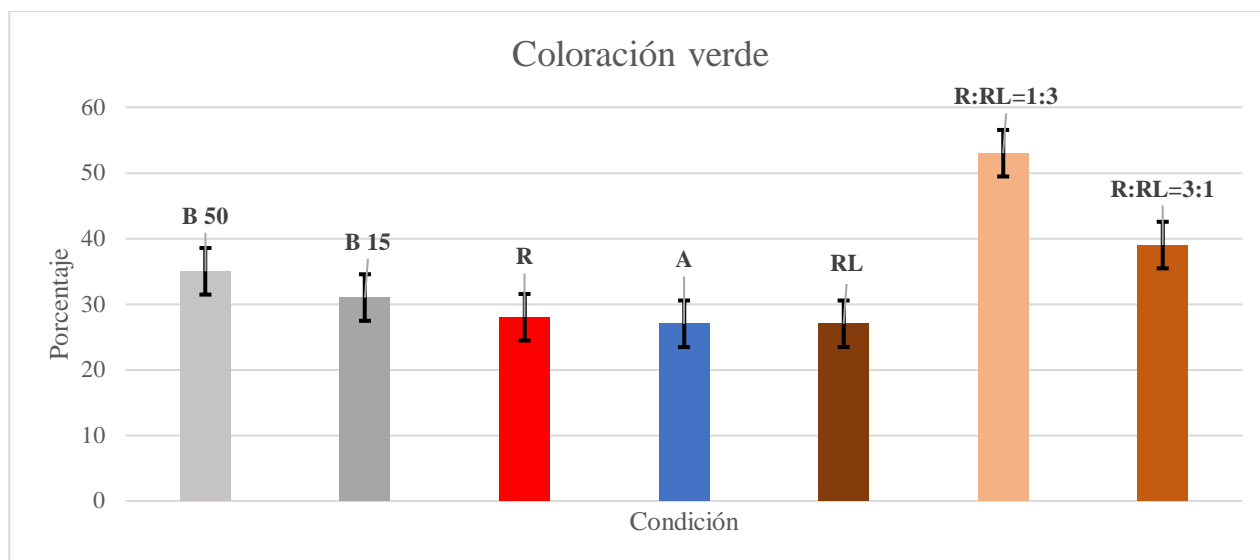


Figura 3: Porcentaje de la evaluación visual del desarrollo de coloración verde, B 50, B 15, R, A, RL, R:RL=1:3, R:RL=3:1 con $n=4$. Día 9, las barras de error indican el alejamiento de los datos a la media.

La Figura A3 (Anexo A) muestra el análisis ANOVA realizado en Minitab de visualización del desarrollo de coloración verde. El análisis indica que no hay diferencias significativas. La gráfica de residuos nos dice que se cumplen todos los supuestos de mínimos ordinarios (Soporte de Minitab 18, 2019).

En la Figura 4 se observa los resultados obtenidos de la longitud de hipocótilos en el día 14 desde que se colocó las semillas en el cuarto de cultivo. Los hipocótilos más largos fueron los de luz R con un promedio de 4,84 cm, el resultado más bajo fue el de luz A con 1,76 cm. La luz B tuvo un resultado intermedio de 3,81 cm de promedio, mientras que la luz BF que tuvo las primeras 24 horas de oscuridad a 4°C tuvo un promedio de 2,23 cm.

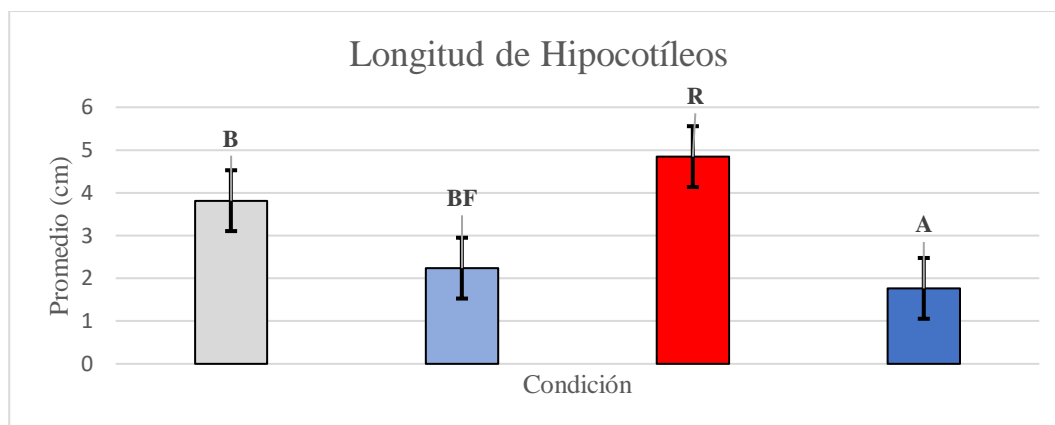


Figura 4: Longitud de hipocotíleos en centímetros, B 15, BF, R, A con $n=10$. Día 14, las barras de error indican el alejamiento de los datos a la media.

La Figura 5 muestra el análisis ANOVA realizado en Minitab de longitud de hipocotíleos obteniendo sus medias, desviaciones estándar, desviación estándar agrupada de 0,8 visualizaciones. Un valor $p=0,00$ por lo que las medias no son estadísticamente iguales. El método Tukey comprueba que los factores corresponden a dos grupos “A” y “B” por lo que son estadísticamente diferentes entre grupos. La grafica de residuos nos dice que se cumplen todos los supuestos de mínimos ordinarios (Soporte de Minitab 18, 2019).

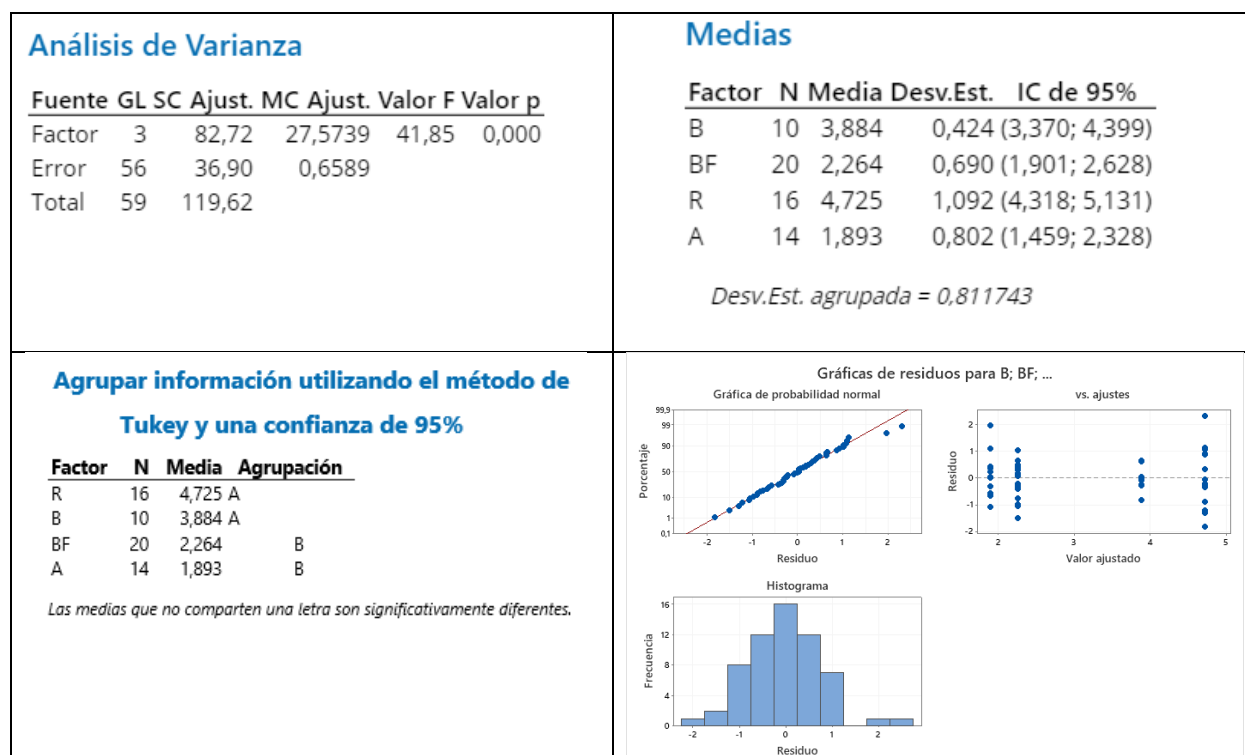


Figura 5: Análisis ANOVA de longitud de hipocotíleos en diferentes condiciones de luz, su valor p , medias, desviaciones estándar, agrupación y comprobación de residuos.

4. DISCUSIÓN

Para el análisis de los efectos de diferentes espectros de luz sobre la naranjilla se realizó ANOVA para analizar los datos obtenidos a nivel estadístico. Un primer análisis de promedios de porcentaje de germinación de semillas mediante la Figura 1 sugiere que las condiciones control junto con las combinaciones R:RL=1:3, R:RL=3:1 son semejantes, mientras que otro grupo se formó con R, A y RL. Sin embargo, el análisis ANOVA en la Figura A1 muestra un valor $p=0,584$ y el método de Tukey agrupa a todas las condiciones en un solo grupo. Esto implica que todas las medias son estadísticamente iguales, por lo que, no hay diferencia entre las condiciones probadas y ningún espectro de luz generó diferencias en la tasa de germinación de las semillas de naranjilla.

El mismo análisis se realizó para el porcentaje de hipocotíleos obtenidos en las diferentes condiciones. La Figura 2 sugería diferencias dando a entender que los espectros de luz habían generado diferentes resultados. No obstante, el análisis ANOVA (Figura A2) da un valor $p=0,533$ y el método de Tukey agrupa a todas las condiciones en el mismo grupo con lo cual se comprueba que todas las medias son iguales y no hay diferencias significativas entre ellas. Es decir, todos los espectros de luz tuvieron el mismo efecto en el porcentaje de hipocotíleos obtenidos.

Esta misma tendencia se encontró en la Figura 3 que parecía indicar una diferencia para la evaluación visual del desarrollo de coloración verde, en este caso los espectros de luz combinada (R:RL=1:3, R:RL=3:1) parecían favorecer a esta coloración. El análisis ANOVA también demostró con un valor $p=0,707$ y una sola agrupación del método de Tukey en la Figura A3 todas las medias son iguales estadísticamente por lo que los espectros de luz tampoco influyeron diferencialmente para el desarrollo de coloración verde.

En la Figura 4 donde se mide la longitud de hipocotíleos sugiere que existe diferencias entre los resultados obtenidos, siendo R los números más altos y A los menores. Esto se comprobó en la Figura 5 con el análisis ANOVA el obtener un valor $p=0,000$ y en el método Tukey, al generar dos

grupos. Siendo el grupo A las condiciones R y B, y el grupo B las condiciones BF y A. Esto implica que las medias obtenidas no son estadísticamente iguales y que en este caso los espectros de luz tuvieron un efecto diferencial en la longitud de hipocotíleos, siendo R y B los mejores espectros para obtener longitudes más largas.

La bibliografía indica que las plantas obtienen información de la luz y así modula su crecimiento y desarrollo (Universidad Autónoma de Madrid, s.f.). Las luces R y RL induce la germinación, además de elongación celular en col morada (Carvalho & Folta, 2014). Combinaciones de R y RL resultan en mejores resultados de germinación y desarrollo en lechuga comparadas con otros espectros de luz, también se reportan altas tasas de germinación en brócoli, pero el mismo estudio dice que esta combinación de espectros rojo y rojo lejano disminuye el alargamiento de hipocotíleos (Paniagua, y otros, 2015). La luz A influye en el desarrollo de la morfogénesis en lechuga que se mide por la presencia de altas cantidades de clorofila A, clorofila B, fototropinas, entre otras (Meisel, Urbina, & Pinto, 2011). A pesar de eso, los resultados obtenidos en este trabajo no muestran diferencias significativas para tres de los cuatro espectros estudiados. Se presume que esto debió suceder por el uso de datos que no completaron el tiempo de desarrollo previsto en el protocolo, es decir, obtener resultados el día 14 y de ellos generar conclusiones. Este fue el caso de la longitud de hipocotíleos que estuvieron siete días en luz blanca a $15 \mu\text{mol m}^{-2}\text{s}^{-1}$ y siete días en los diferentes espectros de luz, sin embargo, esto no sucedió en los otros parámetros de germinación de semillas, hipocotíleos y coloración verde. Estos parámetros fueron analizados con datos tomados el día nueve de estancia en el cuarto de cultivo, por lo cual, estuvieron siete días en luz blanca a $15 \mu\text{mol m}^{-2}\text{s}^{-1}$ y 48 horas en los diferentes espectros de luz. Por esta diferencia de tiempo es posible que estos tres parámetros (germinación de semillas, hipocotíleos y coloración verde) no hayan tenido diferencias significativas ya que las 48 horas de los diferentes espectros no fueron suficientes. Los siete días que el parámetro de longitud si recibió posiblemente fueron suficientes para generar diferencias significativas y que contrasta con las luz A que según (Folta & Carvalho, 2015) inhibe la longitud

de hipocotíleos. Otra posible razón es que los parámetros estudiados tengan diferentes resultados en la naranjilla, debido a que la bibliografía consultada es en otras especies de plantas como en la lechuga que dice que la luz R promueve la germinación (Meisel, Urbina, & Pinto, 2011), además de que no se tienen estudios similares para esta fruta.

Debido a la cuarentena obligatoria por el SARS-CoV-2 la toma de resultados y realización de más experimentos se suspendió. De otro forma se hubiera seguido con el rastreo de los diferentes parámetros y se hubiera conseguido resultados más prometedores y concisos al lograr llegar hasta el día 14 en todos los experimentos. En futuros experimentos se debería repetir las condiciones y parámetros estudiados en este trabajo para probar que los diferentes espectros de luz tienen diferentes efectos en la longitud de hipocotíleos, también para conocer más sobre los otros tres parámetros que no pudieron completar su ciclo de estudio. El estudio de estos espectros de luz es sumamente importante para conocer el efecto de cada uno de ellos, en los diferentes momentos del desarrollo la naranjilla. Las combinaciones de espectros de luz roja y rojo lejano son muy interesantes, ya que sus efectos son muy favorables en el parámetro de germinación en otras plantas como lechuga o brócoli por lo cual, los efectos en otros parámetros no son claros todavía. Por esta razón estudios futuros deberían incorporar en sus experimentos combinaciones de estos espectros y variaciones de intensidad de luz.

5. CONCLUSIONES

La naranjilla (*Solanum quitoense*) es una planta con gran interés comercial dentro y fuera de Ecuador. Su producción a gran escala con una buena calidad de la fruta junto con alta cantidad de nutrientes y características organolépticas sumamente apetecibles generaría grandes beneficios para el país. Mediante cultivo *in vitro* de semillas de naranjilla se realizó el estudio de diferentes espectros de luz para averiguar su efecto diferencial, al analizar la cantidad de semillas germinadas, el desarrollo de hipocotíleos, el establecimiento de color verde y la longitud de hipocotíleos. Los espectros de luz fueron: Blanco (B15) y (B50), rojo (R), azul (A), rojo lejano (RL), R:RL=1:3 y R:RL=3:1. Los 3 primeros parámetros se analizaron con datos tomados el noveno día desde que se colocó las cajas petri en el cuarto de cultivo, el último parámetro de longitud de hipocotíleos fue realizado con datos del día 14. Los resultados estadísticos de ANOVA mostraron que los 3 primeros parámetros no tuvieron diferencias significativas en sus medias, por lo que los diferentes espectros no tuvieron efectos diferenciales en el desarrollo. No obstante, la longitud de hipocotíleos en el análisis ANOVA tuvo resultados con diferencias significativas. De esta manera se comprueba que diferentes espectros de luz tienen diferentes efectos en el crecimiento de hipocotíleos. Se presume que la falta de diferencias notables se dio por el día en el que se tomaron los resultados usados. Por esta razón se recomienda seguir con más estudios sobre los efectos de diferentes espectros de luz en la naranjilla, especialmente con combinaciones de luz R y RL, además se sugiere el uso de datos a partir del día 14 de colocarlos en el cuarto de cultivo. Estos resultados podrían indicar cuáles son los mejores espectros de luz, en términos de tipo de luz y de intensidad de cada longitud de onda, para etapas específicas del desarrollo de la naranjilla. Se podrá lograr así el cultivo de plantas con excelentes cualidades organolépticas en un tiempo reducido.

6. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Andrade, F., Chong, L., & Espinel, R. (2009). *Exportación de naranjilla en conserva hacia los estados unidos y su efecto en la economía ecuatoriana*. Recuperado el 15 de 4 de 2020, de ESPOL: <https://www.dspace.espol.edu.ec/handle/123456789/463>
- Bures, S., Urrestarazu, M., & Kotiranta, S. (01 de 2018). *Iluminación artificial en agricultura*. Recuperado el 30 de 4 de 2020, de Researchgate: https://www.researchgate.net/publication/322821562_ILUMINACION_ARTIFICIAL_EN_HORTICULTURA
- Caiera, F., & Pinto, J. (2011). Crecimiento de Plantas de Remolacha (*Beta vulgaris* L. var. Crosby Egipcia) Bajo Coberturas de Color. *Red de Revistas Científicas de América Latina, el Caribe, España y Portugal*, 6081-6091. Recuperado el 18 de 4 de 2020, de <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=179922664005>
- Cajamarca, M. (2010). *Validación de Componentes Tecnológicos para el Manejo Integrado de Plagas en el Cultivo de Naranjilla*. Recuperado el 17 de 4 de 2020, de Universidad Estatal de Bolívar: <http://sipco.ica.gov.co:8080/bitstream/123456789/16928/2/Ortiz2010.pdf>
- California Lightworks. (2020). *Espectro de luz y crecimiento de plantas*. Recuperado el 21 de 4 de 2020, de https://www.californialightworks.com.ar/espectro-de-luz-y-crecimiento-de-plantas_4_22582_2327_1.html
- Carvalho, S., & Folta, K. (2014). Sequential light programs shape kale (*Brassica napus*) sprout appearance and alter metabolic and nutrient content. *Horticulture Research*. doi:10.1038/hortres.2014.8
- Folta, K. M., & Carvalho, S. (9 de 2015). Photoreceptors and Control of Horticultural Plant Traits. *HORTSCIENCE*, 50(9). Recuperado el 15 de 4 de 2020
- Gómez, F. J. (11 de 8 de 2014). *Efecto de la calidad espectral sobre el desarrollo vegetal de Salvia splendens variedad Vista Red and White*. Recuperado el 28 de 4 de 2020, de Tecnología en Marcha: <https://dialnet.unirioja.es/descarga/articulo/5109195.pdf>.
- Meisel, L., Urbina, D., & Pinto, M. (2011). Fotorreceptores y Respuestas de Plantas a Señales Lumínicas. *Ediciones Universidad de la Serena*, 1-10. Recuperado el 15 de 4 de 2020, de <http://exa.unne.edu.ar/biologia/fisiologia.vegetal/Fotorreceptores%20y%20Respuestas%20de%20Plantas%20a%20Se%C3%B1ales%20Lum%C3%ADnicas.pdf>
- Murashige, T., & Skoog, F. (1962). A Revised Medium for Rapid Growth and Bio Assays with Tobacco Tissue Cultures. En *Physiologia Plantarum* (Vol. 15, págs. 473-481).

- Paniagua, G., Hernández, C., Rico, F., Domínguez, F. A., Martínez, E., & Martínez, C. L. (2015). *Efecto de la luz led de alta intensidad sobre la germinación y el crecimiento de plántulas de brócoli (Brassica oleracea L.)*. Recuperado el 2 de 5 de 2020, de SCIELO: http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1405-27682015000200013
- Real Academia Española. (2020). *Led*. Recuperado el 21 de 4 de 2020, de <https://dle.rae.es/led>
- SABATER, F. (1977). *La luz como factor ambiental para las plantas*. Recuperado el 2 de 5 de 2020, de Universidad de Murcia: <http://revistas.um.es/analesumciencias/article/viewFile/102821/97751>.
- Sánchez, D. (2014). *Análisis del software ImageJ para el análisis científico de imágenes*. Recuperado el 2 de 5 de 2020, de Archivo Digital UPM: <http://oa.upm.es/33069/>
- Silva, W., Gómez, P., Viera, W., Sotomayor, A., Viteri, P., & Ron, L. (2016). *Selección de líneas promisorias de Naranja para mejorar la calidad de la Fruta*. Recuperado el 15 de 4 de 2020, de Repositorio INIAP: <https://repositorio.iniap.gob.ec/bitstream/41000/4837/1/iniapscR2016v3p23.pdf>
- Soporte de Minitab 18. (2019). *Gráficas de residuos incluidas en Minitab*. Recuperado el 21 de 4 de 2020, de <https://support.minitab.com/es-mx/minitab/18/help-and-how-to/modeling-statistics/regression/supporting-topics/residuals-and-residual-plots/residual-plots-in-minitab/>
- Universidad Autónoma de Madrid. (s.f.). *TEMA 21: Fotomorfogénesis*. Recuperado el 30 de 04 de 2020, de <https://www.studocu.com/es/document/universidad-autonoma-de-madrid/fisiologia-vegetal/apuntes/tema-21-fotomorfogenesis/2436113/view>

7. ANEXO A: FIGURAS

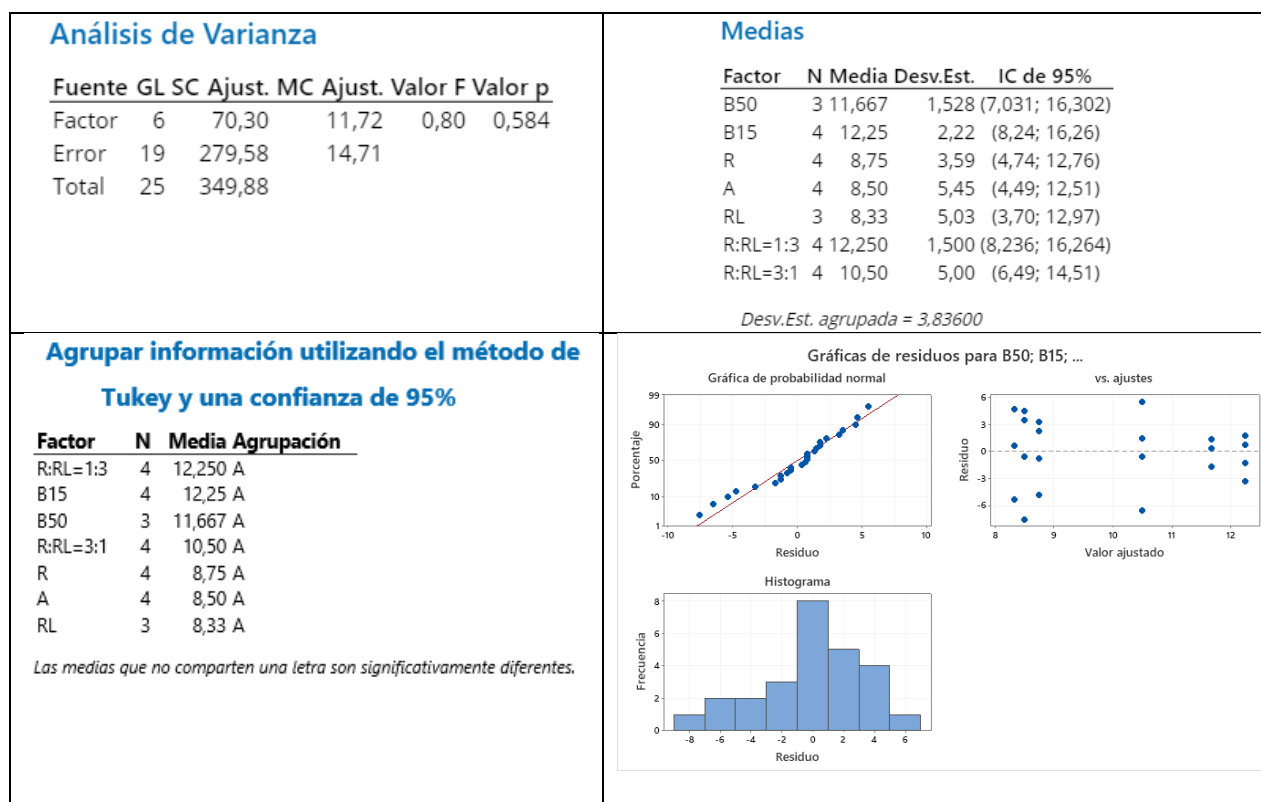


Figura A1: Análisis ANOVA de porcentaje de germinación de semillas en diferentes tipos de luz con su valor p , medias, desviaciones estándar, agrupación y comprobación de residuos.

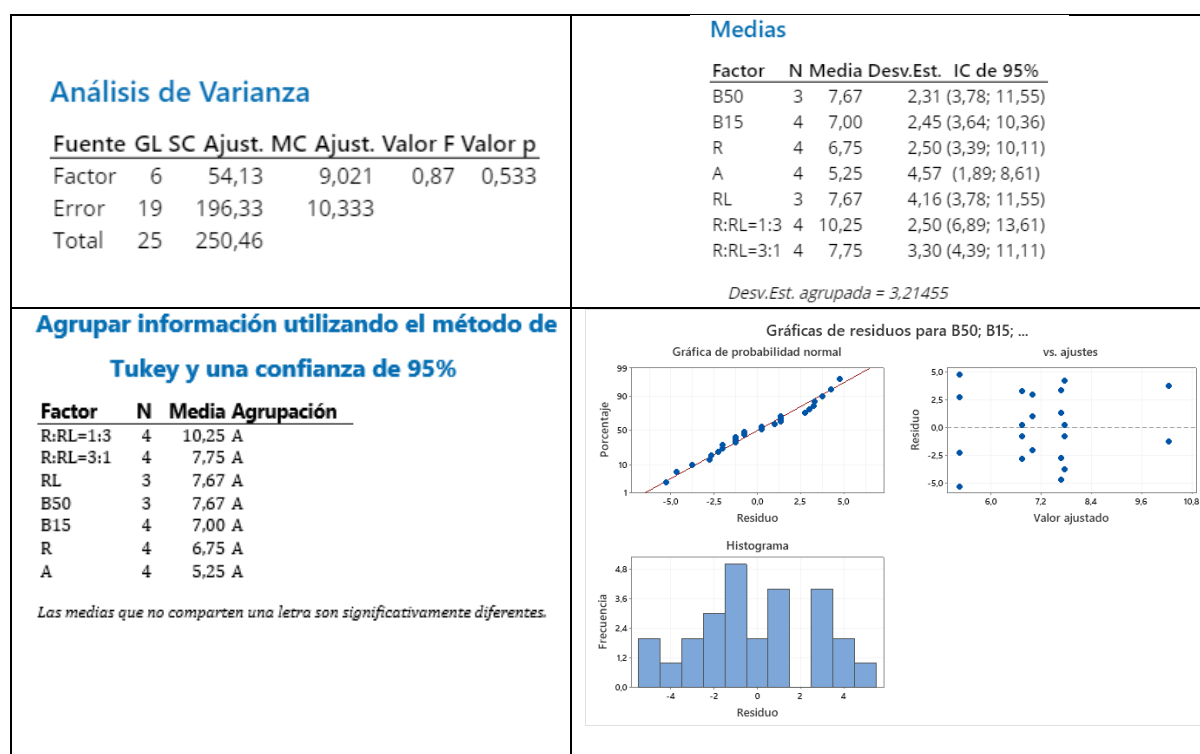


Figura A2: Análisis ANOVA de porcentaje de hipocotíleos en varias condiciones de luz con su valor p , medias, desviaciones estándar, agrupación y comprobación de residuos.

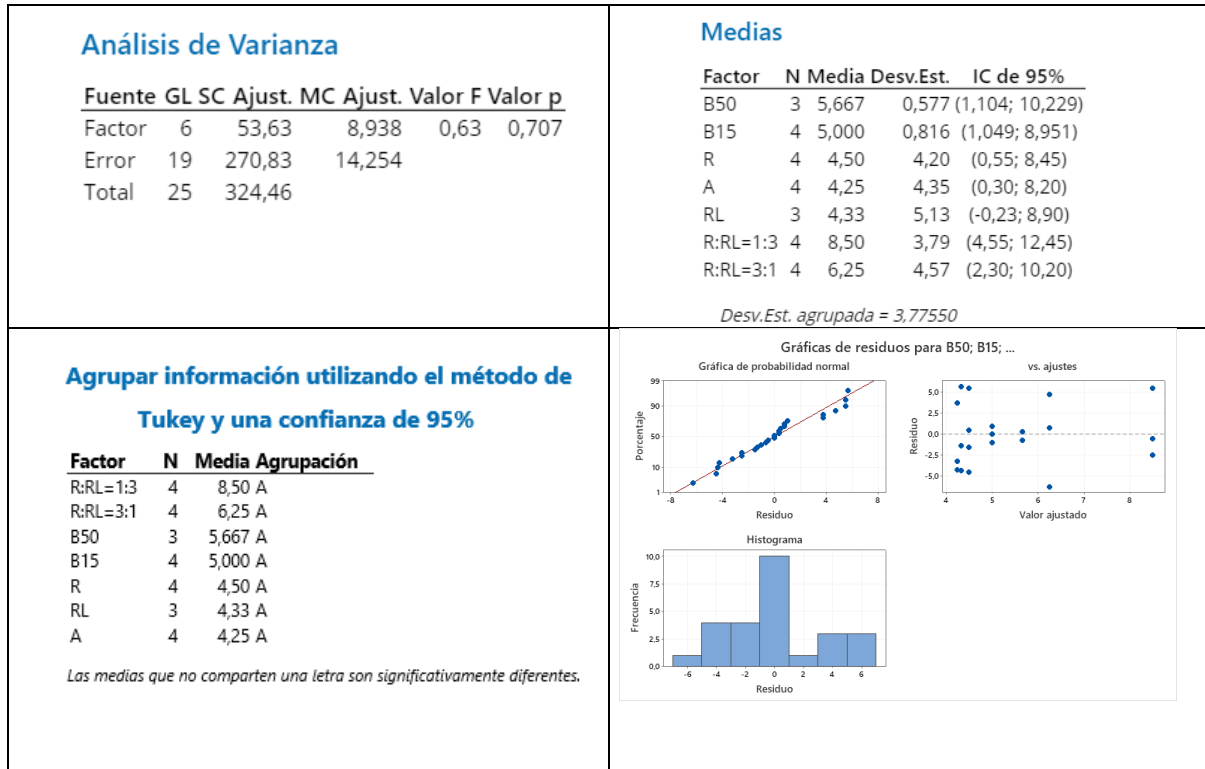


Figura A3: Análisis ANOVA de porcentaje de evaluación visual del desarrollo de coloración verde en diferentes condiciones de luz con su valor p , medias, desviaciones estándar, agrupación y comprobación de residuos.