



**UNIVERSIDAD NACIONAL DEL NORDESTE**  
FACULTAD DE CIENCIAS EXACTAS, NATURALES Y AGRIMENSURA  
Departamento de Biología | Departamento de Física

---

Trabajo Final de Graduación presentado en cumplimiento de los requisitos para  
alcanzar el TÍTULO de GRADO en LICENCIATURA EN CIENCIAS BIOLÓGICAS  
orientación GENÉTICA

DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE CÁMARA DE GERMINACIÓN Y VALIDACIÓN  
MEDIANTE EL ANÁLISIS DEL PODER GERMINATIVO DE *Ricinus communis* L.

Autor:

**CANDIA, MIGUEL ANGEL**

Director

Dr. Provasi, Patricio Federico

Co-Director

Ing. Marassi, Maria Antonia

---

Año 2023

Corrientes-Argentina

## DEDICATORIA

Agradezco a mi familia por haber permitido  
que todo esto sea posible.

A mi Director y Co-Directora por haber confiado que  
podría lograrlo.

A Torres Gómez, Mariela de ECOM Chaco S.A, y a Fernando Camara por  
las donaciones recibidas.

Y a todos los que siempre estuvieron cuando más lo necesité.

## Índice Analítico General

Resumen.....	5
I. Introducción.....	6
A. Objetivo e Hipótesis.....	8
B. Cámaras de germinación.....	8
C. Objeto de estudio para validación.....	9
1. Características de la germinación.....	10
II. Materiales y Métodos.....	11
A. Diseño, construcción, programación y calibración de la cámara.....	11
B. Validación de la cámara.....	12
III. Resultados.....	15
A. Diseño y construcción de una cámara de germinación automatizada y regulada por microcontroladores y sensores.....	15
B. Validación de la cámara por germinación y crecimiento de plántulas de <i>Ricinus communis</i> L.....	15
1. Germinación con luz Spread Style Full Spectrum.....	16
a. Relación entre longitud hipocótilo - longitud cotiledonar... 17	
b. Relación entre longitud hipocótilo - ancho cotiledonar..... 17	
c. Relación entre longitud hipocótilo - longitud hoja verdadera.....	18
2. Germinación con luz Roja.....	18
a. Relación entre longitud hipocótilo - longitud cotiledonar.... 19	
b. Relación entre longitud hipocótilo - ancho cotiledonar..... 19	
c. Relación entre longitud hipocótilo - longitud hoja verdadera.....	20
3. Germinación con luz Azul.....	21
a. Relación entre longitud hipocótilo - longitud cotiledonar.... 21	

b.	Relación entre longitud hipocótilo - ancho cotiledonar.....	21
c.	Relación entre longitud hipocótilo - longitud hoja verdadera.....	22
4.	Germinación en oscuridad.....	23
5.	Comparación del poder germinativo.....	23
IV.	Discusión y conclusión.....	24
A.	Diseño y construcción de una cámara de germinación automatizada y regulada por microcontroladores y sensores.....	24
B.	Validación de la cámara por germinación y crecimiento de plántulas de <i>Ricinus communis</i> L. ....	24
C.	Conclusión.....	26
V.	Referencias.....	27
VI.	Apéndice.....	31
VII.	Anexos.....	35

## Resumen

Las cámaras de germinación son instrumentos que permiten recrear, en forma artificial, un ambiente idóneo para la germinación de semillas, análogamente para las cámaras de crecimiento posterior de las plántulas, debido a que resulta poco frecuente encontrar cámaras en las que se puedan evaluar los dos procesos. El objetivo de este trabajo, es diseñar y construir una cámara portátil que permite controlar algunos parámetros atmosféricos (temperatura, iluminación, humedad, entre otros), y validarla con el desarrollo germinativo y crecimiento de las plántulas de *Ricinus communis* L.

Para ello, se diseñó una cámara manejada por microcontroladores y sensores las cuales pudieron monitorear y controlar los parámetros físicos óptimos para el desarrollo.

Se realizaron 4 tipos de ensayos con semillas de ricino previamente tratadas con  $\text{KNO}_3$  al 3% con 24 hs, para escarificarlas, y 50hs de frío entre 5-10°C, para romper la dormancia. Se mantuvieron constantes durante la germinación y posterior crecimiento de las plántulas los parámetros de humedad en el sustrato (70-100%), en la cámara (70-95%), y el rango de temperatura de la misma (20-30°C). Para el crecimiento de las plántulas se varió la calidad de la iluminación con LEDs (rojo de ~650 nm, azul de ~450 nm y spread style que contiene las 2 anteriores) a la intensidad 1000 lux, y en oscuridad. Las mediciones realizadas fueron el poder germinativo (PG), velocidad de crecimiento y de las plántulas, características morfológicas de las mismas, entre otras mediciones y análisis.

Los resultados demuestran que en LED Spread Style Full Spectrum, el PG fue de un 90%, con un período de germinación de 3-5 días. Con LED rojo el PG 56,67%, con un período de 6-9 días. En LED azul, un PG de 36.6%, en período de 7-11 días. Y en la oscuridad un PG de 20%, en un período de 9-12 días. De igual manera, las plántulas presentaron crecimiento normal con luz Spread Style, con etiolación en algunas de ellas, pero con desarrollo normal en los cotiledones; mientras que con la iluminación con LED rojo, los resultados de su desarrollo fueron la presencia de etiolación y reducción de las hojas embrionarias; y con iluminación LED azul, su desarrollo fue con reducción hipocotilar y cotiledonar.

Los resultados obtenidos demuestran que la cámara de germinación desarrollada presenta una alta eficiencia y estabilidad en el control de los factores a evaluar y su utilidad y practicidad como cámara de germinación y crecimiento portátil.

# I. Introducción

Para que la germinación sea posible, existen factores externos (físicos) que pueden condicionar inhibiendo o estimulando dicho proceso. Los factores físicos principales que pueden limitar los procesos germinativos, son los relacionados a las condiciones ambientales óptimas o mínimas necesarias para que las semillas (embriones) puedan germinar, tales como la temperatura, humedad, tipo de suelo, disponibilidad de nutrientes minerales y CO<sub>2</sub>, entre otros. Para que este proceso de germinación sea más eficiente es necesario conocer muy bien estos factores, y saberlos controlar, tanto durante la germinación de las semillas y desarrollo inicial de las plantas. Frente a las necesidades de poder conocer cuáles son los valores óptimos de los parámetros físicos como la temperatura (T), luminosidad (L), humedad relativa del ambiente (HRa) humedad relativa del suelo (HRs), etcétera, para el desarrollo vegetativo, y así poder acelerar los mismos permitiendo obtener una mayor velocidad de producción, es necesario poder cuantificar dichos valores y analizarlos experimentalmente [1,2]. Los avances en áreas biotecnológicas han permitido que las mediciones de dichos parámetros vayan haciéndose más precisas, y fiables, lo cual permite el desarrollo constante de nuevos descubrimientos. Existen diversos métodos de experimentación para el estudio de la germinación. Uno de ellos es el análisis de campo en cultivos forzados, semiforzados o protegidos, donde se somete a la semilla a factores ambientales propios del entorno natural y se pueden monitorear con sensores [3]. Otros, se realizan en el laboratorio, a partir de cámaras de germinación en donde se pueden controlar los parámetros físicos (previamente mencionados) y químicos (cómo ser el pH, concentración de iones), entre otros.

Para conseguir la germinación de semillas *ex-situ*, en laboratorio, es necesario lograr que las condiciones de la cámara donde se debe realizar dicho proceso sean óptimas para su germinación, siendo esencial recrear un ambiente idóneo donde las mismas puedan estar en condiciones similares a las naturales o bien en rangos que el investigador quiere evaluar. Los parámetros de las cámaras de germinación pueden variar ampliamente dependiendo de las condiciones ambientales que se quieran reproducir; sin embargo debido a la precisión de los sensores utilizados

siempre existe una pequeña variación en el control de las condiciones buscadas, lo que se denomina errores de medición. [4,5,6,7,8] Sin embargo, en el diseño del prototipo se previó este hecho y las magnitudes de las oscilaciones son pequeñas respecto de la magnitud controlada y se dan en un intervalo de tiempo casi despreciable respecto del tiempo total del experimento.

Entre los parámetros físicos más importantes para lograr la germinación figuran la temperatura, la humedad del sustrato en el germinador [9,10,11,12,13], y las concentraciones de  $O_2$  y  $CO_2$  las cuales condicionan la germinación. También afectan a la germinación algunos factores limitantes del suelo, como ser la disponibilidad de minerales, la concentración de dichos minerales, el potencial hídrico del suelo, entre otros. Del mismo modo, existen otros factores propios de la semilla que podrían afectar la germinación, como el tamaño, el estado de desarrollo del embrión, presencia de tegumentos duros, inhibidores, entre otros [14]. De forma que todos estos factores mencionados trabajan en conjunto para lograr la germinación apropiada del embrión, lo cual dará como resultados plántulas que muestran un buen vigor inicial, que, en general, llevará a un posterior buen crecimiento y desarrollo vegetal.

La estabilidad de estos parámetros y/o su rápida recuperación en el caso de existir alguna variación, es una consideración crítica en cualquier momento en que se desee imitar las condiciones óptimas de desarrollo. De forma que la realización de la germinación dentro de la cámara reduzca o elimine estas variaciones además de mantener constantes las variables más importantes para la germinación como la temperatura, humedad e iluminación [15,16].

Lo mencionado en el párrafo anterior, también aplica para las cámaras de crecimiento que, a la vez, normalmente conforman una unidad diferente a las de germinación. Además, el control de las variables físicas mencionadas anteriormente se realiza con sensores regulados por microcontroladores [17,18,19]. Del mismo modo, los dispositivos permiten la observación y monitoreo de las condiciones germinativas en la que se encuentra la semilla, y la respuesta de la semilla a estas condiciones. las cuales se comentarán en el apartado II A.

## I. A. Objetivo e hipótesis.

- 1) **Objetivo Principal:** Diseñar y construir una cámara de germinación que permita recrear condiciones favorables para la germinación de semillas y su experimentación.
- 2) **Objetivo Secundario:** Validar el funcionamiento de la cámara germinativa diseñada y construida, a través de la evaluación del efecto de los diferentes tipos de luz LED (Spread Style, Rojo y Azul) en la germinación de *R. communis* L.
- 3) **Hipótesis:** se espera que, a través de la manipulación precisa de las condiciones ambientales de la cámara, se observen cambios en el poder germinativo de *R. communis* L. a una temperatura estable y controlada [Temperatura (25-30°C)], y a un porcentaje de humedad [Humedad Relativa de Ambiente (cámara) (70-95%), Humedad Relativa del suelo (60-90%)] en un rango de acuerdo a las necesidades del objeto de análisis, y con control de calidad de luz [1000 lux] en los diferentes LED's [Azul, Rojo, y Spread Style Full Spectrum (Rojo-Azul)] y en oscuridad, los cuales, de esta forma, validen el funcionamiento de la cámara.

## I. B. Cámara de germinación.

Las cámaras de germinación, pueden ser de pequeña o gran escala. Es decir, pueden ser pequeñas como para ensayos con un “n” poblacional reducido, como pueden tomar grandes dimensiones. Así como describen algunas empresas, sus cámaras son un ambiente de una dimensión de varios metros aislado del exterior higrótermicamente (humedad y temperatura), en el cual se recrean las condiciones ideales para estimular el desarrollo de las plantas y acortar así el tiempo de germinación normalmente necesario para la semilla que se ha puesto a madurar en

ambiente no controlado. La función principal de una cámara de germinación, es la de recrear un ambiente óptimo para el proceso de germinación y/o desarrollo primario de las plántulas. Dentro de las características que necesita una cámara de germinación, es una presión apropiada para el desarrollo de las semillas, una temperatura, iluminación y humedad óptima que permita el desarrollo. Las cámaras de germinación cuentan con termostatos e higrómetros, que permiten calibrar tanto la temperatura interna de la cámara, como su humedad, entre otros sensores que permiten controlar otros parámetros ya sea, el pH del sustrato utilizado para el desarrollo, la concentraciones de gases, la intensidad lumínica, entre otras. También existen diversos medios de iluminación, ya sean por lámparas incandescentes, LED, tubos fluorescentes de diferentes tonalidades y potencias, que intentan recrear, el espectro lumínico en su ambiente natural u ofrecer características diferentes a un ambiente natural para que ocurra la germinación [22].

#### **I. C. Objeto de estudio para validación.**

Como objeto de estudio para la validación y prueba de la cámara se eligió, en el presente trabajo, a *Ricinus communis* L. debido a varios factores. Uno de los más importantes es que permite validar la calidad de luz en la germinadora dado sus requerimientos para la germinación y posterior desarrollo de las plántulas, además de su utilidad comercial con fines de producción de aceites y bio-combustible, aunque también presenta propiedades de uso medicinal, entre otras aplicaciones.

Como para parámetros de referencia y para poder realizar los ensayos de la cámara se determinaron los requerimientos germinativos del *Ricinus communis* (Ricino, Higuera, Mamona, o Tártago), el cual se caracteriza por poseer fotoblasticidad negativa durante su germinación a temperaturas inferiores a 20°C, por ende, la luz roja debería inhibir/ralentizar su proceso germinativo. Además, el mismo no presentar fotoblasticidad a  $T > 20^{\circ}\text{C}$ , y  $\text{HRa} > 65\%$  [23,24,25,26,27]. Por consiguiente, la luz no “influiría” en la germinación de la semilla y, subsecuentemente, en el desarrollo de la plántula; pudiéndose ver beneficiada de otros factores como la temperatura y humedad ambiental para la germinación. Lo

que lo hace un buen sujeto para estudiar la eficiencia, estabilidad de la cámara propuesta.

#### I. B. 1. Características de la germinación

La germinación es el proceso por el cual, se rompe la latencia del embrión para que el mismo pueda, a posteriori, desarrollarse en una plántula. Dicho proceso, se ve afectado por factores intrínsecos (presencia o ausencia de endosperma, estado del desarrollo del embrión, presencia de tegumentos duros, fitohormonas, características genéticas, entre otros); como también factores extrínsecos, ya sean, físicos (por ejemplo, temperatura, humedad, contenido de gases, calidad de la luz), químicos (presencia de iones, presencia de sustancias tóxicas o metales pesados, entre otros), las cuales, pueden beneficiar o desfavorecer un desarrollo óptimo [28,29,30,31,32,33]. Muchas plantas presentan un umbral en el cual el proceso germinativo resulta ser mejor que en otros rangos, o bien, comparando entre diversos rangos del mismo parámetros, resultan tener diferentes efectos, ya sea estimulando o inhibiendo el proceso. Como se mencionó anteriormente, la luz es un factor indispensable para muchas plantas durante su desarrollo germinativo (fotoblásticas positivas), mientras que otras plantas, no necesitan luz (no fotoblásticas) para que el mismo ocurra, o bien, la luz puede inhibir la germinación (fotoblásticas negativas) [34,35,36].

Del mismo modo, la temperatura y la humedad relativa juegan un papel importante durante la germinación de las semillas. Heriberto Mendoza, et al. [34] menciona que para *R. communis* L. “la temperatura óptima para la germinación de las semillas están entre 20°C y 26°C, Sin embargo, puede germinar con 15 a 18°C aunque el tiempo de emergencia se alarga”. Del mismo modo, menciona que durante su crecimiento vegetativo “la higuera necesita mucha luz. El tiempo nublado o fotoperíodos cortos de menos de 12 horas, usualmente retardan en gran medida el crecimiento”.

## **II. Materiales y Métodos**

En el presente trabajo se distinguen 2 (dos) partes esenciales. En primer lugar el diseño, construcción, programación y calibración de la cámara de germinación y crecimiento posterior. En segundo lugar, validación de la cámara mediante la evaluación de la germinación y posterior crecimiento con *Ricinus communis* L.

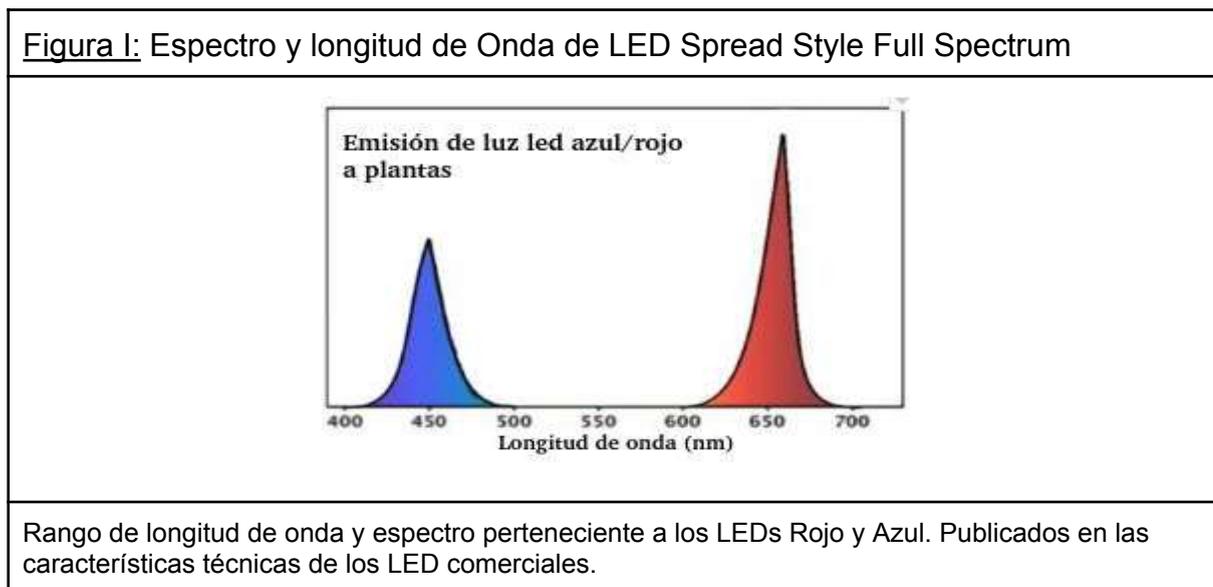
### **II. A. Diseño, construcción, programación y calibración de la cámara**

En el presente trabajo, nos centramos en sistemas de iluminación LED de diferentes tonalidades de color (Rojo, Azul y Spead Style Full Spectrum), principalmente para poder observar la respuesta de la germinación de *R. communis* a los diferentes rangos de luz, en los cuales podría perjudicar/beneficiar la germinación. De esta forma, se buscó reproducir algunos resultados experimentales con ricino realizado por otros investigadores, y así, validar el buen funcionamiento de la cámara y del mismo modo, realizar un experimento propio, manteniendo constante algunas variables (temperatura y humedad), y estudiar de este modo la influencia de los cambios en la luminosidad en el proceso germinativo.

Los procesos de la cámara están supervisados por un microcontrolador, el cual dirigen sensores como temperatura, humedad ambiental y humedad del suelo, además de los sistemas de calefacción, humidificación, iluminación y aireación positiva o negativa (ventilación y extracción del aire), que se encienden o apagan de acuerdo a los valores acusados por los sensores y a las condiciones ambientales a reproducir preestablecidas en el microcontrolador.

Además, se realizó la calibración de las variables y varios ensayos sucesivos que permitieron analizar los valores obtenidos por los sensores de la misma, y el control que se quería establecer en los parámetros, ya sea, la temperatura, humedad de la cámara, y humedad del sustrato, las cuales se mantenían dentro de un rango apropiados para la germinación del objeto de estudio. La iluminancia de la cámara, sin embargo, fue el parámetro que se fue modificando en los distintos ensayos, realizando cambios en base a la longitud de onda emitida. En este contexto se optó

por realizar ensayos con luces LEDs COB (Chip-on-Board) rojas (de 600 a 700 nm), azul (de 400 a 500 nm), y tipo Spread Style Full Spectrum (que contiene los 2 anteriores pertenecientes al azul y rojo, respectivamente como se aprecia en la Figura I obtenida de **International Carnivorous Plant Society** [37]), y también se realizó un ensayo en oscuridad, para observar y comparar si la luz tenía una incidencia favorable en la germinación del *Ricinus communis* L. a temperaturas superiores a 20°C como se sugería en ref [20,34].



En la sección correspondiente al diseño y construcción de la cámara de germinación del presente trabajo, se mencionará características de algunos componentes utilizados, pero no se mostrarán fotografías, ni imágenes de la cámara, debido a que se desea ponerla a consideración en el Instituto Nacional de Propiedad Industrial (INPI), con lo que ambas acciones resultan incompatibles; sin embargo, si se mostrarán las gráficas los valores obtenidos de los sensores.

## **II. B. Validación de la cámara**

La segunda parte, consistió en la validación de la cámara, en ella se analizaron variables de crecimiento de las plántulas y de germinación que se mencionan a posteriori. Como primera etapa de la validación se usaron diversos tipos de luz en cuanto a su longitud de onda, evaluando y regulando los demás parámetros. A ellos,

se los caracterizó en 4 tipos de ensayos: (1) con luz LED Spread Style Full Spectrum; (2) con luz LED Roja; (3) con luz LED Azul; y (4) sin luz [38]. Los otros factores como la humedad ambiental [HRa] y del sustrato [HRs], junto con el parámetro de temperatura interna de la incubadora, se mantuvieron “constantes”, del mismo modo que la aireación/ventilación de la cámara.

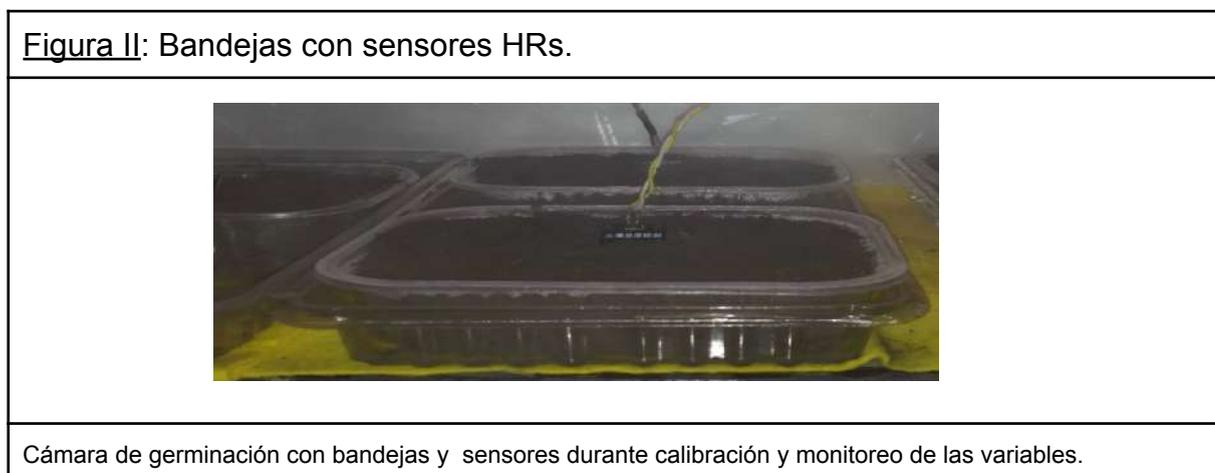
Los parámetros equiparados entre todos los ensayos fueron: (A) la temperatura, que se mantuvo en el rango de los 25-30°C. (B) La HRa que fue de un ~95%, y no inferior al 70%. (C) la HRs que se mantuvo en el rango de 65-90% de las cuales se presentaban 3 sensores que permitían medir la humedad relativa, a los cuales denominaremos HRS1, HRS2 y HRS3. (D) la intensidad lumínica utilizada para los ensayos fué de ~ 1000 lux en LED's de 50W en cada caso durante unas 8 hs diarias. La intensidad de los respectivos LED's se cotejaron con los sensores de luz de un celular ZTE Blade A5 a partir de la aplicación (LUX), el cual funciona como un luxómetro.

Para promover la germinación, previamente se realizó un proceso de estratificación (escarificado + bajas temperaturas) de las semillas de *Ricinus communis* L. La misma consistió en tratar a las semillas en una solución de 3% de KNO<sub>3</sub> (nitrato de potasio) en agua destilada, y se embebieron las semillas en la solución por 24 hs. Posteriormente, se las llevó a la heladera entre 5°C-10°C durante 50 hs. Luego, se colocaron 10 semillas por bandeja en 3 bandejas respectivamente donde se encontraba el sustrato de tierra orgánica, y se agregó 200 ml de agua a cada una de ellas permitiendo que el sustrato utilizado presente una capacidad de campo óptima para el desarrollo de las semillas. Del mismo modo, se programó al microcontrolador de la cámara para que la humedad relativa del sustrato esté entre 70% y 90%. Lo propio se hizo con la humedad relativa del ambiente para que no fuera inferior al 50%. La temperatura de la cámara, se graduó en un rango de 25-30°C. Y la iluminación se produjo a partir de luz LED's de diversos colores, mencionado previamente, y a una intensidad de luz o iluminación de ~ 1000 lux, en un período de 8 hs luz y 16 hs de oscuridad. Del mismo modo, se realizó un ensayo en oscuridad total, donde se mantuvieron todos los otros parámetros, pero sin incidencia lumínica. Todos los ensayos se realizaron en un período de 12 días, en los cuales se analizó

el número de días que tardó en germinar el ricino, en cada calidad de luz, del mismo modo que su poder germinativo final (PG). y el posterior crecimiento de las plántulas

Con relación al sustrato utilizado, se utilizó tierra 100 g y 150 g de abono de la marca Cité Jardín la cual tiene un pH entre 6,5-8,5, porcentaje de materia orgánica (MO%) mayor al 20%, la relación carbono/nitrógeno (C/N) es entre 10-15, y la conductividad eléctrica (ds/m) es entre 1.1-4. A esa mezcla, se le agregó además 50 g de arena fina en cada bandeja, en cada experimento. Posterior a la germinación y finalización de cada ensayo, se midió la longitud de la emergencia del hipocótilo (LH), el promedio de la longitud de las hojas embrionarias (LC), el promedio del ancho de las hojas embrionarias (AC) y la longitud de brotes de hoja verdadera (LHV) al cabo de 12 días. Del mismo modo, se realizaron las mediciones con calibre y análisis de correlación lineal entre los diversos valores medidos de cada plántula, en cada experimento, los cuales se han representado en los Figura [VIII-XX] que estarán en el apartado **Anexos** realizado con el programa GNU PLOT (basado en línea de comandos).

En la siguiente imagen se puede observar la cámara de germinación, y las bandejas donde se han realizado las germinaciones. La misma cuenta con sensores de HRs regulados y monitoreados por los microcontroladores [Figura II]. Durante el experimento final, cada bandeja fue debidamente rotulada, con sus sensores respectivamente programados.



### **III. Resultados**

#### **III. A. Diseño y construcción de una cámara de germinación automatizada y regulada por microcontroladores y sensores.**

La cámara funciona bajo parámetros preestablecidos, de los cuales, se realizaron algunos gráficos del funcionamiento de la cámara a partir de los datos de los parámetros obtenidos en tiempo real durante el funcionamiento de la misma y en lapsos de 5 min. Bajo la programación de los microcontroladores, y los datos arrojados de los sensores, se puede mencionar, que la cámara presentó en todo el ensayo un rango de temperatura de 25-30°C con una precisión de  $\pm 2^\circ\text{C}$ . La HRa rondaba entre los 70-95% con una precisión de  $\pm 3\%$ . Y la HRs, rondaba en el 70-90% con una precisión de  $\pm 3\%$ . De los mismos se han realizado diversas gráficas Figura (III, IV, V, VI, VII) las cuales corresponden a la HRa (Humedad Relativa ambiental) [%], Temperatura ambiente [ $^\circ\text{C}$ ] y HRS1, HRS2 y HRS3, las cuales corresponden a los valores obtenidos de las HRs (Humedad Relativa del Suelo) en cada recipiente por los sensores de humedad, los cuales se realizaron durante el período de 12 días. Las mismas estarán en el apartado **Anexos**.

En cada ensayo se realizó un monitoreo de la germinación de cada bandeja. Del mismo modo, los valores obtenidos a partir de la medición de cada plántula, se realizó un análisis de correlación lineal entre los diversos valores medidos de cada plántula, de cada bandeja en los diversos experimentos, los cuales se han representado en las Figura [VIII-XX] que estarán en el apartado **Anexos**.

#### **III. B. Validación de la cámara por germinación y crecimiento de plántulas de *Ricinus communis* L.**

Los ensayos realizados fueron de germinación y crecimiento de plántulas bajo la luz Spread Style (violeta-blanco), ROJA, AZUL y Oscuridad manteniendo el resto de los parámetros constantes. La representación gráfica de las medidas obtenidas/tomadas

en cada experimento, se han realizado a partir de tomas de datos en cada uno de los ensayos, y se elaboraron tablas que luego se volcaron en los gráficos mencionados, donde se asentaron las mediciones de LC, AC, LH, y LHV, de cada ensayo, las cuales están representadas en las Tablas [I, V, X] que se encuentra en la sección Apéndice, acompañado de sus cálculos de correlación entre las variables LC, AC, y LHV, con la variable LH para poder analizar si el crecimiento del hipocótilo (LH), presenta una correlación con el ancho (AC) y largo de los cotiledones (LC), y la longitud de las primeras hojas verdaderas (LHV) en desarrollarse hasta el día 12 desde el comienzo de la germinación, las cuales se encontrarán en el Apéndice, junto a la representación gráfica de los mismos para cada ensayo correspondiente a las Figuras [IX, X, XI] LED Spread Style Full Spectrum; las Figuras [XIII, XIV, XV] LED Rojo; y las Figuras [XVII, XVIII, XIX] LED Azul. Del mismo modo, se obtuvieron valores de la media, mediana, desvío estándar, coeficiente de correlación y sus modelos, entre otros valores de cada uno de los parámetros (LH, AC, LC, LHV) en cada uno de los experimentos (ver Apéndice).

### **III. B. 1. Germinación con luz Spread Style Full Spectrum**

El primero de los experimentos (Exp.A) se obtuvo una germinación total entre los días 3-5, con un poder germinativo (PG) del 90 %. En la Figura VIII se observó que no presentó resistencia durante la apertura cotiledonar, se observaron cotiledones bien desarrollados y algunas otras características como una gran elongación hipocotilar, lográndose observar etiolación en la misma.

De las germinaciones se obtuvieron valores de las mediciones de Ricino. que se recolectaron en la Tabla I que se encuentra en el Apéndice. De los valores medidos se calcularon la media, mediana, desvío estándar, modelo de ajuste lineal, y su coeficiente de correlación lineal para las Figuras IX, X, XI, las cuales se encuentran en la sección Anexos.

### III. B. 1. a. Relación entre longitud del hipocótilo - longitud cotiledonar

Los valores de la Figura IX, corresponden a la relación entre LH x LC. Se obtuvo una correlación lineal entre la LH y LC es de ( $r = 0.41$ ) y un modelo de ajuste ( $y = 0.1961x + 0.6994$ ), con lo que se puede afirmar que existe una correlación lineal positiva relativamente baja entre LH y LC, cuando se utiliza la iluminación Indoor spread style. De los valores obtenidos de la medición de la longitud hipocotilar (LH) y de la longitud de la hoja cotiledonar (LC) representados en la Tabla I. Se calculó el promedio y mediana de LH y LC, junto a su modelo de ajuste de correlación lineal, obteniendo los siguientes valores representados en la Tabla II A (Apéndice) y Tabla II B.

Tabla II B: Valores de LH-LC de la germinación de Ricino en luz led Spread Style Full Spectrum			
	LH (cm)	LC (cm)	r
Promedio	17.22	4.07	0.41
Mediana	16.9	4.1	

Tabla de valores del promedio y mediana de LH-LC en luz Spread Style Full Spectrum en un período 12 días desde la siembra.

### III. B. 1. b. Relación entre longitud del hipocótilo - ancho cotiledonar

Del mismo modo que para LH x LC, se realizó un gráfico con LH x AC representado en la Figura X, y se obtuvo su respectiva correlación y un ajuste de correlación. En ella se observa un valor de correlación lineal entre la LH y AC ( $r = 0.29$ ) y su modelo de ajuste ( $y = 0.1352x + 0.5529$ ) que marca una baja correlación lineal entre LH y AC cuando se utiliza la luz Indoor. Del mismo, se obtuvieron valores del promedio y la mediana de la longitud hipocotilar (LH) y el ancho de la hoja cotiledonar (AC) representados en la Tabla III A (Apéndice) y Tabla III B.

Tabla III B: Valores de LH-AC de la germinación de Ricino en luz led Spread Style Full Spectrum			
	LH (cm)	AC (cm)	r
Promedio	17.22	2.76	0.29
Mediana	16.9	2.82	
Tabla de valores del promedio y mediana de LH-AC en luz Spread Style Full Spectrum en un período 12 días desde la siembra.			

### III. B. 1. c. Relación entre longitud del hipocótilo - longitud de la hoja verdadera

Como último para el ensayo con LED Spread Style Full Spectrum, la Fig. XI, se realizó una representación gráfica entre LH y LHV, y del mismo modo, se calculó su índice de correlación y el modelo de ajuste de dichos valores obtenidos.

En este último caso el valor de correlación obtenido entre la LH y LHV ( $r = 0.13$ ), que marca una muy baja correlación lineal positiva entre LH y LHV. y con un modelo de ajuste ( $y = 0.03719x + 0.4832$ ) cuando se utiliza la luz Indoor Spread Style. En este caso, de los valores obtenidos de los respectivos promedios y sus medianas representadas en la Tabla IV A (Apéndice) y Tabla IV B.

Tabla IV B: Valores de LH-LHV de la germinación de Ricino en luz led Spread Style Full Spectrum			
	LH (cm)	LHV (cm)	r
Promedio	17.22	1.12	0.13
Mediana	16.9	1.1	
Tabla de valores del promedio y mediana de LH-LHV en luz Spread Style Full Spectrum en un período 12 días desde la siembra.			

### III. B. 2. Germinación con luz LED Roja

El segundo experimento (Exp.B), se realizó en base a germinación bajo luz led

ROJA, en el cual se pudo observar un poder germinativo (PG) de un 56.7% en un período de 6-9 días representada en la Figura XII (presente en la sección Anexos). Es decir que hubo una reducción en el poder germinativo de *R. communis* L. del 33.3% respecto del experimento A.

Los valores obtenidos de las mediciones del *R. communis* L, bajo la luz Roja se presentaron en la Tabla [V] la que se encuentra en la sección Apéndices, al igual que las Tablas [VI; VII; VIII] donde se encuentran los cálculos de la media, mediana, desvío estándar, modelo de ajuste lineal, y su coeficiente de correlación lineal para los Figuras [XIII, XIV, XV] (presente en la sección Anexos) de los cuales se mencionan sólo la media y mediana en esta sección.

### III. B. 2. a. Relación entre longitud del hipocótilo - longitud cotiledonar

La Figura XIII, corresponde a la relación entre LH x LC para el cultivo de *R. communis* L. bajo luz led Roja. Presentó una correlación lineal positiva media-alta ( $r = 0.79$ ), y se realizó un modelo de ajuste ( $y = 0.1288x + 0.9786$ ). Del mismo, se obtuvieron valores de la media de la longitud hipocotilar (LH) y el ancho de la hoja cotiledonar (LC), entre ellos se obtuvieron como promedio de cada uno, y sus respectivas medianas representados en la Tabla VI A (Apéndice) y Tabla VI B.

Tabla VI B: Valores de LH-LC de la germinación de Ricino en luz LED Roja			
	LH (cm)	LC (cm)	CL
Promedio	16.46	3.09	0.79
Mediana	19.4	2.96	
Tabla de valores del promedio y mediana de LH-LC en luz LED Roja en un período 12 días desde la siembra.			

### III. B. 2. b. Relación entre longitud del hipocótilo - ancho cotiledonar

Del mismo modo, se graficó con relación a las variables LH x AC medidos del cultivo de *R. communis* L. bajo luz LED roja representado en la Figura XIV. En este caso se observa un valor de correlación lineal positiva ( $r = 0.7887$ ) relativamente alta con el

experimento ROJO entre la LH y AC, del mismo modo se realizó un modelo de ajuste ( $y = 0.08943x + 0.4386$ ). Del mismo, se obtuvieron valores de la media de la longitud hipocotilar (LH) y el ancho de la hoja cotiledonar (AC) y sus respectivas mediana representados en la Tabla VII A (Apéndice) y Tabla VII B.

Tabla VII B: Valores de LH-AC de la germinación de Ricino en luz LED Roja			
	LH (cm)	AC (cm)	CL
Promedio	16.46	1.91	0.7887
Mediana	19.4	2.04	
Tabla de valores del promedio y mediana de LH-AC en luz LED Roja en un período 12 días desde la siembra.			

### III. B. 2. c. Relación entre longitud del hipocótilo - longitud de la hoja verdadera

Se analizan los resultados de LH x LHV que se representan en la Figura XV. En este caso, el valor de correlación lineal entre la LH y LHV ( $r = 0.7341$ ), de forma que la correlación es y positiva media-alta cuando se ilumina la cámara con luz roja, y su modelo de ajuste lineal ( $y = 0.03805x + 0.1075$ ), siendo del mismo modo que las anteriores. Del mismo modo, se obtuvieron valores de la media de la longitud hipocotilar (LH) y la longitud de los primeros brotes de las hojas verdaderas (LHV), entre ellos se obtuvieron como promedio de cada uno, y sus respectivas medianas representados en la Tabla VIII A (Apéndice) y Tabla VIII B.

Tabla VIII B: Valores de LH-LHV de la germinación de Ricino en luz LED Roja			
	LH (cm)	LHV (cm)	CL
Promedio	16.46	0.73	0.7341
Mediana	19.4	0.70	
Tabla de valores del promedio y mediana de LH-LHV en luz LED Roja en un período 12 días desde la siembra.			

### III. B. 3. Germinación con luz LED Azul

El tercer experimento (Exp.C), se realizó en base a germinación bajo la luz LED AZUL, en el que se pudo observar un poder germinativo (PG) de un 36.6% en un período de 7-11 días, que en comparación con la luz Indoor Spread Style resultó un 53,4% menor de PG, y en comparación con el experimento con la luz Roja un 20% inferior. En la Figura XVI (Anexos) se puede observar la fotografía del Exp. C, bajo luz Azul a aproximadamente 1000 lux donde se observa la emergencia de las plántulas.

Los valores obtenidos de las mediciones del *R. communis* L, bajo la luz LED AZUL se presentaron en la Tabla [IX] ver en la sección Apéndices, al igual que las Tablas [XB, XIB, XIIB] donde se encuentran los cálculos de la media, mediana, desvío estándar, modelo de ajuste lineal, y su coeficiente de correlación lineal para los Figuras [XVII, XVIII, XIX] (presente en la sección Anexos) de los cuales se mencionan sólo la media y mediana en esta sección.

#### III. B. 3. a. Relación entre longitud del hipocótilo - longitud cotiledonar

La Figura XVII, corresponde a los valores obtenidos para LH y LC en el experimento con luz Azul. La correlación obtenida en este caso entre LH y LC es la más alta de los 3 experimentos, en contraste con el PG, y presenta una correlación lineal positiva de ( $r = 0.91$ ), y su modelo de ajuste lineal ( $y = 0.2756x + 0.6827$ ), y los cálculos del promedio y la mediana representados en la Tabla X A (Apéndice) y Tabla X B.

Tabla X B: Valores de LH-LC de la germinación de Ricino en luz LED Azul			
	LH (cm)	LC (cm)	r
Promedio	6.689	2.526	0.91
Mediana	5.21	2.68	

Tabla de valores del promedio y mediana de LH-LC en luz LED Azul en un período 12 días desde la siembra.

#### III. B. 2. b. Relación entre longitud del hipocótilo - ancho cotiledonar

En la Figura XVIII, se obtiene una correlación lineal positiva de ( $r = 0.835$ ) y su modelo de ajuste lineal ( $y = 0.1733 x + 0.1987$ ), y los cálculos del promedio y la mediana representados en la Tabla XI A (Apéndice) y Tabla XI B.

Tabla XIB: Valores de LH-AC de la germinación de Ricino en luz LED Azul			
	LH (cm)	AC (cm)	r
Promedio	6.689	2.526	0.835
Mediana	5.21	2.68	
Tabla de valores del promedio y mediana de LH-AC en luz LED Azul en un período 12 días desde la siembra.			

### III. B. 2. c. Relación entre longitud del hipocótilo - longitud de la hoja verdadera

Y para el caso de LH y de LHV en el experimento con luz Azul se obtuvieron los resultados mostrados en la Figura XIX.

En este caso, el valor de correlación lineal entre la LH y LHV ( $r = 0.95$ ), de forma que la correlación es y positiva alta cuando se ilumina la cámara con luz LED azul, y su modelo de ajuste lineal ( $y = 0.1018 x + 0.04294$ ), siendo del mismo modo que las anteriores, y los cálculos del promedio y la mediana representados en la Tabla XII A (Apéndice) y Tabla XII B.

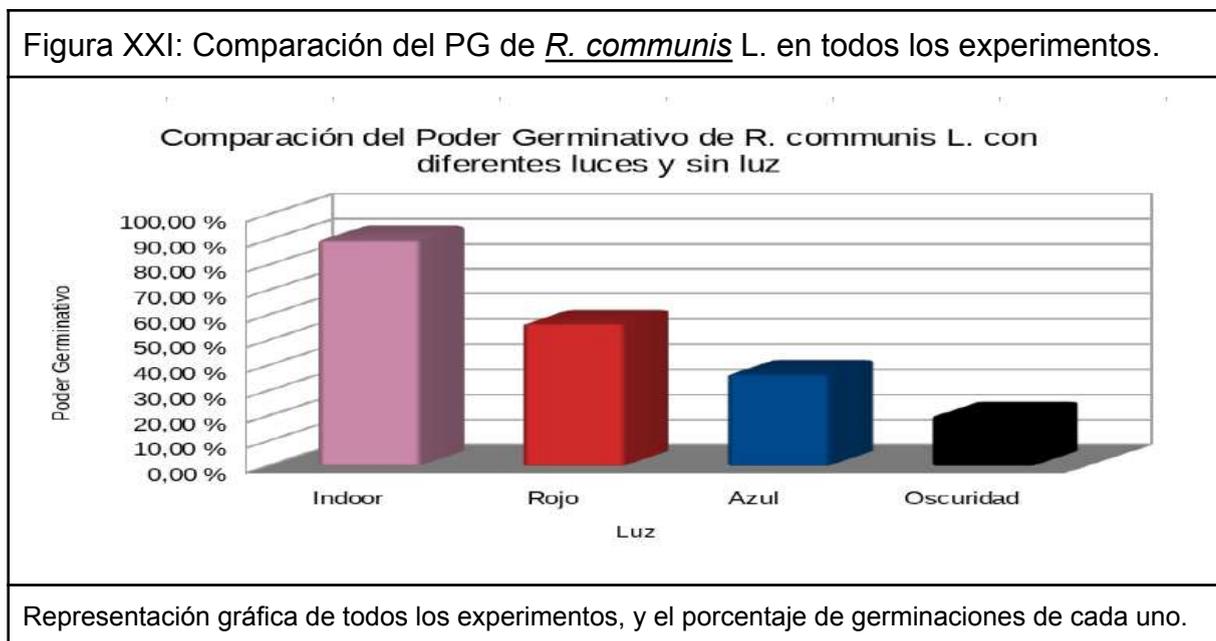
Tabla XII B: Valores de LH-LHV de la germinación de Ricino en luz LED Azul			
	LH (cm)	LHV (cm)	r
Promedio	6.689	0.73	0.95
Mediana	5.21	0.7	
Tabla de valores del promedio y mediana de LH-LHV en luz LED Azul en un período 12 días desde la siembra.			

### III. B. 4. Germinación en oscuridad

En el experimento en Oscuridad (Exp. D), a 12 días de germinación y manteniendo los mismos parámetros constantes (Temp, HRa, y HRs) que en los experimentos anteriores, se pudieron obtener algunos valores solamente, ya que no hubo apertura de los cotiledones ya que el tegmen del embrión no permitió que las hojas embrionarias puedan abrirse como se ve en la Figura XX (Anexos) que se encuentra en la sección Anexos. Así como se puede observar en la Figura XX (Anexos), la plántula presentó etiolación debido a su desarrollo en la oscuridad, y la germinación ha demorado de 9 a 11 días, con un PG de un 20%.

### III. B. 5. Comparación del poder germinativo

Concluyendo, se puede observar la Figura [XXI] donde se muestra la comparación del poder germinativo (PG) de todos los experimentos realizados.



## **IV. Discusión y Conclusión**

### **Diseño y construcción de una cámara de germinación automatizada y regulada por microcontroladores y sensores.**

Los valores obtenidos en la cámara de germinación muestran que se respetaron los rangos de valores ordenados en el programa, los cuales pudieron ser medidos y observados. Uno de los parámetros que respondió con mayor precisión al rango de oscilación programado, fue el de la HRa, la cual se puede destacar en todos los experimentos. Otros de los parámetros que mantuvo mayor constancia, fue la temperatura ambiental, que como se puede observar, respondieron exitosamente en los rangos programados en los 12 días de cada experimento. Si bien la HRs también estuvo dentro de los límites programados, hubo que reemplazar los sensores de humedad del suelo para cada ensayo debido a la oxidación y deterioro que presentaban. El reemplazo se realizó por otros de la misma marca y modelo para no obtener un sesgo en la medición de la humedad del suelo. En las luces LED's de los diversos colores, se obtuvo una constancia bastante similar en las oscilaciones de la cantidad de luz. Siendo la luz azul, la más sensible a cambios en la tensión, pero variando entre 200-400 lux, lo que se corrigió con la utilización de un estabilizador de tensión. El dispositivo que se construyó cuenta con varias ventajas, como ser su pequeño tamaño que lo vuelve portátil y muchos de los elementos son reutilizables, es decir es sencillo de someter a los procedimientos necesarios de limpieza y esterilización una vez finalizado un experimento y previo al siguiente. Se puede concluir que, la cámara cuenta con características propias que permiten tener ventajas como su ergonomía y portabilidad, ya que puede ajustarse a pequeños lugares. Además posee múltiples utilidades en estudios de germinación y aclimatado comparándola con la propuesta por Downs [22].

### **Validación de la cámara por germinación y crecimiento de plántulas de *Ricinus communis* L.**

En la etapa de validación de la cámara de germinación, los parámetros a controlar (temperatura, humedad relativa ambiental y humedad del suelo) respondieron bien a los rangos establecidos, y durante los experimentos de germinación y crecimiento realizados con *R. communis* L., ha permitido el desarrollo del mismo sin inconvenientes, en relación con los presentados por los trabajos [21,27,29,34,38]. Esto nos permite validar de esta forma el funcionamiento adecuado de la cámara dentro de los parámetros establecidos en los códigos programados en el microcontrolador. De igual manera, la respuesta de los sensores es adecuada y con una precisión bastante superior a lo necesario para el proceso de germinación del *Ricinus communis* L.

Se puede mencionar que, los experimentos A, B, y D, bajo las condiciones experimentales programadas para la germinación de *R. communis* L., se observaron etiolaciones en las plántulas, con una elongación máxima de 22 cm aproximadamente, dado la respuesta a las distintas calidades de luz [38]. Mientras que en el experimento C, la elongación hipocotilar fué marcadamente menor, teniendo una elongación de aproximadamente 13 cm. En todos los casos con luz, hubo apertura cotiledonar, con excepción del Exp. D, que fueron en la oscuridad.

El mayor poder germinativo se presentó en las luz LED Spread Style Full Spectrum (90%). Y los mayores índices de correlación en el crecimiento de las plántulas se observaron en LED's Azules, con 83,5% en LH-AC, a un 91% en LH-LC, y 95% en LH-LHV.

Comparando los valores obtenidos con los de otros autores [21,25,28,29,31,36], se puede decir que la cámara validó esos resultados presentados por ellos. También se puede mencionar que si bien, existen evidencias de que *R. communis* L. presenta una germinación óptima a valores de temperatura entre 20 - 26°C, y a temperaturas inferiores entre 15-18°C, en la presente experimentación también se puede observar que, a temperaturas 5°C superiores al rango óptimo de 26°C, también presenta un poder germinativo alto, posterior a un proceso de estratificación con KNO<sub>3</sub> (nitrato de potasio), presentando los valores más altos de germinación (90%) con la luz indoor Spread Style (violeta-blanco) durante 8 horas diarias de luz, germinando entre los días 3-5 desde el comienzo del experimento.

## **Conclusión**

Estos resultados permiten validar el funcionamiento de la cámara con condiciones tan exigentes para la germinación como es la calidad de luz requerida para algunas especies, así como los parámetros generales de temperatura y HR del aire y humedad de suelo. Esta cámara también permite evaluar estos parámetros en el posterior crecimiento temprano de las plántulas y su efecto en la morfogénesis (tipo de formas que adquiere la plántula en función de los factores externos como la luz) de las mismas, dándose por verdadera la hipótesis propuesta al inicio de este trabajo final de graduación

## Referencias

- [1] Soares Severino, L., & Souza Gondim, D. T. M. (2007). El cultivo de la higuera.
- [2] Córdoba Gaona, O. D. J. (2013). *Comportamiento ecofisiológico de variedades de higuera (Ricinus communis L.) para la producción sostenible de aceite y biodiesel en diferentes agroecosistemas colombianos* (Disertación Doctoral).
- [3] Urbano Terron, P. (2010) "Tratado de Fitotecnia General".. 2<sup>da</sup> Edición. Ediciones Mundi-Prensa. Madrid, España. 121 p.
- [4] Tite Pilaguano, D. S. (2020). "Diseño y construcción de un sistema automático para controlar el microclima en una cámara de germinación y enraizamiento". Tesis. Escuela Superior Politécnica de Chimborazo. Riobamba.
- [5] Schwenger, N. F., et. al. (2006). "MRI-Compatible Incubation Chamber for Cell Culture Experiments". J. Magnetic Resonance Imaging 23, 70-76.
- [6] Metsälä, O., Kreutzer, J., et. al. (2018). "Transportable system enabling multiple irradiation studies under simultaneous hypoxia in vitro" Radiation Oncology 13, 220 p(1-11) 4/6
- [7] Mathupala, S. P., et. al. (2016). "A Lab Assembled Microcontroller-Based Sensor Module for Continuous Oxygen Measurement in Portable Hypoxia Chambers". J. Plos One, 01489230, 1-14 pp.
- [8] Curto, L., et.al. (2016). "Calibración de datos observados de contenido de agua en el suelo con sensores capacitivos". *Meteorologica*, 41(2), 49-63 pp.  
[http://www.scielo.org.ar/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S1850-468X2016000200003&lng=es&tlng=es](http://www.scielo.org.ar/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1850-468X2016000200003&lng=es&tlng=es).
- [9] Reyes-Bautista, Z., et. al. (2005). "Efecto de la luz, temperatura y tamaño de semilla en la germinación de Nolina". Revista Chapingo Serie Ciencias Forestales y del Ambiente 11(2): 99-104 pp.
- [10] Rossetti, S. (2014). "Análisis de factores que afectan la germinación de semillas de panicum coloratum". Trabajo Final de Ingeniería en Producción Agropecuaria. Facultad de Ciencias Agrarias. Universidad Católica Argentina

- [11] Otegui M. B., et. al. (2005). "Efecto de la temperatura y la luz en la germinación de semillas de *Paspalum guenoarum*". *Revista Brasileira de Sementes*, 27(1):190-194 pp.
- [12] Caroca, R., et. al. (2016). "Efecto de la temperatura sobre la germinación de cuatro genotipos de maní (*Arachis hypogaea* L.)". *Chilean J. Agric. Anim. Sci., ex Agro-Ciencia* 32(2): 94-101 pp.
- [13] Román Palacios, R. (2000). "Efecto de iones y otros factores físicos sobre la germinación de semillas". *Revista de la Sociedad Química de México*, 44(3): 233-236 pp.
- [14] Villamil, J. M. P., García, F. P. (1998). "*Germinación de semillas*". Ministerio de Agricultura, Pesca y Alimentación.
- [15] Vukasinovic, J., Glezer, A. (2010). Centimeter-scale, integrated diagnostics incubator for biological culturing; WO2008005998A2, US7855070B2, US20100151571A1,
- [16] Ellins, C, Denkin, T., Love, W, Reimann-Philipp, U, Small-Howard, A., Marin, L, Velez, J., Cordero, C. (2017). Integrated incubation, cultivation and curing system and controls for optimizing and enhancing plant growth, development and performance of plant-based medical therapies. US20170094920A1
- [17] Takano, A., et. al. (2014). "On-chip multi-gas incubation for microfluidic cell cultures under hypoxia". *Biomicrofluidics* 8, 061101 (1-4).
- [18] Urquijo, R. R., Marinelli, M. J. (2018). "Sistema de monitoreo de una cámara de germinación hidropónica con IoT basado en Raspberry Pi". XLVII Jornadas Argentinas de Informática e Investigación Operativa (47 JAIO) IV Simposio Argentino de Grandes Datos.
- [19] Paniagua-Pardo, G.; et. al. (2015). "Efecto de la luz led de alta intensidad sobre la germinación y el crecimiento de plántulas de brócoli". *Polibotánica* Núm. 40, 199-212 pp.
- [20] Paulo R. Ribeiro, Leo A.J. Willems, Marie-Chantal Mutimawurugo, Luzimar G. Fernandez, Renato D. de Castro, Wilco Ligterink, Henk W.M. Hilhorst. (2015). "Metabolite profiling of *Ricinus communis* germination at different temperatures provides new insights into thermo-mediated requirements for successful seedling establishment". *Plant Science*. Volume 239. Pages 180-191, ISSN 0168-9452, <https://doi.org/10.1016/j.plantsci.2015.08.002>.
- [21] Magalhães Andrade, A. M. (1983). "Fatores que afetam a germinação de *Ricinus Communis* L.". Tesis. 84f. Dissertação (mestrado) - Universidade Estadual de Campinas, Instituto de Biologia,

Campinas, [SP. Disponible em:  
<<http://www.repositorio.unicamp.br/handle/REPOSIP/315323>>.

- [22] Downs, R.J. (1980). "Phytotrons". *Bot. Rev* 46, 447–489. <https://doi.org/10.1007/BF02860534>
- [23] Cárdenas Ruiz, P. (2020). "Rangos de conductividad eléctrica para el análisis del poder germinativo de semillas provenientes de la colección de higuierilla (*Ricinus communis* L.)". Trabajo de titulación previo a la obtención del Título de Ingeniero Agrónomo. Carrera de Ingeniería Agronómica. Quito: UCE. 94 p.
- [24] Valdés-Rodríguez, O. A., et. al. (2018). "Efecto de peso y talla de semilla sobre plántulas de *Moringa* y *Ricinus*". *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas* 9(7): 99-104 pp.
- [25] Mongiello C. (2015). "Ricino". *Revista Boletín Biológica* 34(9). 40-46.
- [26] Escoto-García, T., et. al. (2013). "Manejo, estudio y evaluación del *Ricinus communis* L. con vista a su aprovechamiento integral en papel corrugado, pseudopapel de corteza y extractos de hojas". *Revista Latinoamericana de Recursos Naturales* 9 (1). 115-123 pp.
- [27] Lim, T.K. (2012). "Ricinus communis". *Edible Medicinal And Non-Medicinal Plants*. Lim. T.K. (Ed.). Aust Capital Terr, Australia. Springer Netherlands. 978-94-007-1764-0. 484-502 pp.
- [28] Vibrans, H. (2009). "Ricinus communis". *Malezas de México*. <http://www.conabio.gob.mx/malezasdemexico/euphorbiaceae/ricinuscommunis/fichas/ficha.htm>
- [29] González Ávila, A., et.al. (2011). "*Guía para cultivar Higuierilla (Ricinus communis L.) en Jalisco*". Folleto Técnico Núm. 1.
- [30] Osorno, G. G. A. (1986). "Algunos aspectos de la higuierilla en Colombia". Seminario. Universidad Nacional de Colombia. Medellín. 70 p.
- [31] Correa, J. (1974). "El proceso de germinación". *Obtenido de [https://repository.agrosavia.co/bitstream/handle/20.500, 12324, 30666](https://repository.agrosavia.co/bitstream/handle/20.500.12324.30666)*.
- [32] Alzugaray, C., et.al. (2007). "Factores bióticos y abióticos que afectan la calidad de la semilla de *Schinopsis balansae* Engl. y *Anpidosperma quebracho-blanco* Schltdl". *Rev. Iberoam. Micol.* 24.: 142-147 pp.

- [33] Bączek-Kwinta, R. (2022). "An Interplay of Light and Smoke Compounds in Photoblastic Seeds". *Plants* 11.
- [34] Lindow-López, L., et.al. (2018). "Effects of alternating temperature on cactus seeds with a positive photoblastic response". *Journal of Arid Environments* 148.: 74-77 pp.
- [35] Guerrero, Pablo C., et. al. (2011). "Positive photoblastic response of seed germination in Eriosyce subgen: Neoporteria (Britton & Rose) Helmut Walter (Cactaceae)". *Gayana Botanica* 68.: 110-113 pp.
- [36] Mendoza, H. y Reyes, S. (1985). "Guía del cultivo de Higuierilla". Instituto Nacional de Investigaciones Agropecuarias. Estación experimental Portoviejo. Ecuador. Boletín de Divulgación 37. <https://books.google.com.ar/books?id=jrEzAQAAMAAJ>
- [37] Brittnacher, J. (2014). International Carnivorous Plant Society. Recuperado de [www.carnivorousplants.org](http://www.carnivorousplants.org)
- [38] Kigel, J. y Schwartz, A. (1981). "Cooperative effects of blue and red light in the inhibition of hypocotyl elongation of de-etiolated castor bean". *21(1)*, 83–88. doi:10.1016/0304-4211(81)90072-9

## V. Apéndices

**Tabla I:** LUZ INDOOR

Experimento	Datos de Germinación de Ricinus communis sp.																				
	Recipiente I (RI)						Recipiente II (R II)						Recipiente III (R III)						Poder Germinativo		
	LC	AC	LH	LHV	LC	AC	LH	LHV	LC	AC	LH	LHV	LC	AC	LH	LHV	RI	RII	RIII		
1	4,10	3,10	16,30	1,10	5,60	3,16	18,10	1,50	5,10	3,48	17,60	1,20	5,10	3,48	17,60	1,20	90,00 %	80,00 %	100,00 %		
2	4,76	3,20	16,10	1,10	4,10	2,20	14,60	1,18	4,20	2,60	20,70	0,60	4,20	2,60	20,70	0,60					
3	4,82	3,32	20,20	1,33	3,40	2,00	13,60	0,00	4,20	2,76	16,70	0,90	4,20	2,76	16,70	0,90					
4	3,74	2,84	17,10	0,90	1,50	0,90	14,40	2,20	4,20	2,80	19,10	1,10	4,20	2,80	19,10	1,10					
5	4,80	3,71	16,90	0,63	3,85	2,10	19,40	0,66	4,10	2,50	14,90	0,90	4,10	2,50	14,90	0,90					
6	3,71	2,10	16,20	0,70	3,00	5,80	18,20	1,81	5,20	3,26	18,70	1,80	5,20	3,26	18,70	1,80					
7	3,95	2,60	16,40	0,90	3,70	2,50	17,90	0,90	2,85	3,70	15,00	0,90	2,85	3,70	15,00	0,90					
8	5,74	3,42	18,90	2,30	4,18	3,37	16,80	1,87	4,37	2,90	16,90	1,16	4,37	2,90	16,90	1,16					
9	3,60	2,90	19,60	1,00					3,40	1,90	18,40	0,60	3,40	1,90	18,40	0,60					
10									3,90	2,66	16,30	1,10	3,90	2,66	16,30	1,10					

PG = 90%

Recipientes y valores de PG de cada recipiente y PG total de un 90%.

**Tabla V:** LUZ ROJO

Experimento	Datos de Germinación de Ricinus communis sp.																				
	Recipiente I (RI)						Recipiente II (R II)						Recipiente III (R III)						Poder Germinativo		
	LC	AC	LH	LHV	LC	AC	LH	LHV	LC	AC	LH	LHV	LC	AC	LH	LHV	RI	RII	RIII		
1	2,96	2,04	21,7	0,6	4	2,5	22,6	0,8	3,43	2,26	21,5	0,7	3,43	2,26	21,5	0,7	70,00 %	40,00 %	70,00 %		
2	1,85	0,97	2,43	0,2	4,2	2,7	19,7	1,05	2,02	1,3	11,7	0,41	2,02	1,3	11,7	0,41					
3	2,87	2	20,3	0,64	2,21	1,14	14,2	0,9	4,12	2,42	18,1	0,94	4,12	2,42	18,1	0,94					
4	2,06	1,54	10,9	0,4	2,64	1,34	19,4	1,2	4,13	2,45	19,8	0,87	4,13	2,45	19,8	0,87					
5	2,1	1,01	9,1	0,54					3,58	2,07	18,9	0,67	3,58	2,07	18,9	0,67					
6	1,6	0,98	5,3	0,3					4,5	2,8	23,5	1,45	4,5	2,8	23,5	1,45					
7	3,73	2,27	20,1	0,76					4,8	3,2	18,3	0,99	4,8	3,2	18,3	0,99					
8																					
9																					
10																					

PG = 56,7%

Recipientes y valores de PG de cada recipiente y PG total de un 60%

**Tabla IX:** LUZ AZUL

Experimento	Datos de Germinación de Ricinus communis sp.																				
	Recipiente I (RI)						Recipiente II (R II)						Recipiente III (R III)						Poder Germinativo		
	LC	AC	LH	LHV	LC	AC	LH	LHV	LC	AC	LH	LHV	LC	AC	LH	LHV	RI	RII	RIII		
1	0,89	1,68	3,62	0,42	2,60	4,16	12,45	1,39	1,46	2,71	8,75	0,88	1,46	2,71	8,75	0,88	20,00 %	40,00 %	50,00 %		
2	0,96	1,69	4,01	0,46	2,49	3,94	9,30	1,14	1,13	2,68	8,27	0,76	1,13	2,68	8,27	0,76					
3					1,23	2,78	8,80	0,76	1,03	1,93	5,21	0,60	1,03	1,93	5,21	0,60					
4					0,98	1,79	4,10	0,48	0,92	1,67	3,90	0,39	0,92	1,67	3,90	0,39					
5									1,25	2,76	5,17	0,68	1,25	2,76	5,17	0,68					
6																					
7																					
8																					
9																					
10																					

PG = 36,6%

Recipientes y valores de PG de cada recipiente y PG total de un 36,6%

<b>Tabla II A: LH-LC (INDOOR)</b>	<b>Tabla III A: LH-AC (INDOOR)</b>	<b>Tabla IV A: LH-LHV (INDOOR)</b>
<p>FILE: INDOOR LH-LC</p> <p>Records: 27 Out of range: 0 Invalid: 0 Header records: 0 Blank: 0 Data Blocks: 1</p> <p>* COLUMNS: Mean: 17.2222 4.0767 Std Dev: 1.7976 0.8610 Samp StdDev: 1.8318 0.8774 Skewness: -0.0383 -0.5409 Kurtosis: 2.3028 4.3628 Avg Dev: 1.4914 0.6163 Sum: 465.0000 110.0700 Sum Sq.: 8095.5800 468.7361</p> <p>Mean Err.: 0.3459 0.1657 Std Dev Err.: 0.2446 0.1172 Skewness Err.: 0.4714 0.4714 Kurtosis Err.: 0.9428 0.9428</p> <p>Min: 13.6000 [ 0] - 1.5000 [ 1] Max: 20.7000 [26] - 5.7400 [21] Quartile: 16.2000 3.7000 Median: 16.9000 4.1000 Quartile: 18.7000 4.7600</p> <p>Lin Mod: <math>y = 0.1961x + 0.6994</math> Slope: 0.1961 +- 0.0874 Intercept: 0.6994 +- 1.513 Correlation: <math>r = 0.4094</math> Sum xy: 1913</p>	<p>FILE: INDOOR LH-AC</p> <p>Records: 27 Out of range: 0 Invalid: 0 Header records: 0 Blank: 0 Data Blocks: 1</p> <p>* COLUMNS: Mean: 17.2222 2.7685 Std Dev: 1.7976 0.6309 Samp StdDev: 1.8318 0.6434 Skewness: -0.0383 -0.8419 Kurtosis: 2.3028 3.8725 Avg Dev: 1.4914 0.4924 Sum: 465.0000 71.9800 Sum Sq.: 8095.5800 209.6222</p> <p>Mean Err.: 0.3459 0.1237 Std Dev Err.: 0.2446 0.0875 Skewness Err.: 0.4714 0.4804 Kurtosis Err.: 0.9428 0.9608</p> <p>Mini: 13.6000 [ 0] - 0.9000 [ 1] Max: 20.7000 [25] - 3.7100 [13] Quartile: 16.2000 2.5000 Median: 16.9000 2.8200 Quartile: 18.7000 3.2600</p> <p>Lin Mod: <math>y = 0.1352x + 0.5529</math> Slope: 0.1352 +- 0.08984 Intercept: 0.5529 +- 1.556 Correlation: <math>r = 0.22881</math> Sum xy: 1351</p>	<p>FILE: INDOOR LH-LHV</p> <p>Records: 27 Out of range: 0 Invalid: 0 Header records: 0 Blank: 0 Data Blocks: 1</p> <p>* COLUMNS: Mean: 17.2222 1.1237 Std Dev: 1.7976 0.5088 Samp StdDev: 1.8318 0.5185 Skewness: -0.0383 0.5382 Kurtosis: 2.3028 3.2708 Avg Dev: 1.4914 0.3787 Sum: 465.0000 30.3400 Sum Sq.: 8095.5800 41.0824</p> <p>Mean Err.: 0.3459 0.0979 Std Dev Err.: 0.2446 0.0692 Skewness Err.: 0.4714 0.4714 Kurtosis Err.: 0.9428 0.9428</p> <p>Min: 13.6000 [ 0] - 0.0000 [ 0] Max: 20.7000 [26] - 2.3000 [21] Quartile: 16.2000 0.9000 Median: 16.9000 1.1000 Quartile: 18.7000 1.3300</p> <p>Lin Mod: <math>y = 0.03719x + 0.4832</math> Slope: 0.03719 +- 0.05612 Intercept: 0.4832 +- 0.9717 Correlation: <math>r = 0.1314</math> Sum xy: 525.8</p>
Tabla de valores muestreados de LH-LC en luz INDOOR en un período 12 días desde la siembra.	Tabla de valores muestreados de LH-AC en luz INDOOR en un período 12 días desde la siembra.	Tabla de valores muestreados de LH-LHV en luz INDOOR en un período 12 días desde la siembra.

<b>Tabla VI A: LH-LC (ROJO)</b>	<b>Tabla VII A: LH-AC (ROJO)</b>	<b>Tabla VIII A: LH-LHV (ROJO)</b>
<p>FILE: ROJO LH-LC</p> <p>Records: 17 Out of range: 0 Invalid: 0 Header records: 0 Blank: 0 Data Blocks: 1</p> <p>* COLUMNS: Mean: 16.4665 3.0988 Std Dev: 6.1111 0.9942 Samp StdDev: 6.2992 1.0248 Skewness: -0.9545 0.1039 Kurtosis: 2.7031 1.6484 Avg Dev: 5.2552 0.8917 Sum: 279.9300 52.6800 Sum Sq.: 5244.3349 180.0498</p> <p>Mean Err.: 1.4822 0.2411 Std Dev Err.: 1.0480 0.1705 Skewness Err.: 0.5941 0.5941 Kurtosis Err.: 1.1882 1.1882</p> <p>Min: 2.4300 [ 0] 1.6000 [ 1] Max: 23.5000 [16] 4.8000 [ 6] Quartile: 11.7000 2.1000 Median: 19.4000 2.9600 Quartile: 20.3000 4.0000</p> <p>Lin Mod: <math>y = 0.1288 x + 0.9786</math> Slope: 0.1288 +- 0.02568 Intercept: 0.9786 +- 0.451 Correlation: <math>r = 0.7914</math> Sum xy: 949.2</p>	<p>FILE: ROJO LH-AC</p> <p>Records: 17 Out of range: 0 Invalid: 0 Header records: 0 Blank: 0 Data Blocks: 1</p> <p>* COLUMNS: Mean: 16.4665 1.9112 Std Dev: 6.1111 0.6930 Samp StdDev: 6.2992 0.7143 Skewness: -0.9545 0.0470 Kurtosis: 2.7031 1.8153 Avg Dev: 5.2552 0.6092 Sum: 279.9300 32.4900 Sum Sq.: 5244.3349 70.2573</p> <p>Mean Err.: 1.4822 0.1681 Std Dev Err.: 1.0480 0.1188 Skewness Err.: 0.5941 0.5941 Kurtosis Err.: 1.1882 1.1882</p> <p>Min: 2.4300 [ 0] 0.9000 [ 1] Max: 23.5000 [16] 3.2000 [ 6] Quartile: 11.7000 1.3000 Median: 19.4000 2.0400 Quartile: 20.3000 2.4500</p> <p>Lin Mod: <math>y = 0.08943 x + 0.4386</math> Slope: 0.08943 +- 0.018 Intercept: 0.4386 +- 0.3162 Correlation: <math>r = 0.7887</math> Sum xy: 591.8</p>	<p>FILE: ROJO LH-LHV</p> <p>Records: 17 Out of range: 0 Invalid: 0 Header records: 0 Blank: 0 Data Blocks: 1</p> <p>* COLUMNS: Mean: 16.4665 0.7341 Std Dev: 6.1111 0.3168 Sample StdDev: 6.2992 0.3265 Skewness: -0.9545 0.3835 Kurtosis: 2.7031 2.7298 Avg Dev: 5.2552 0.2526 Sum: 279.9300 12.4800 Sum Sq.: 5244.3349 10.8678</p> <p>Mean Err.: 1.4822 0.0768 Std Dev Err.: 1.0480 0.0543 Skewness Err.: 0.5941 0.5941 Kurtosis Err.: 1.1882 1.1882</p> <p>Min: 2.4300 [ 0] 0.2000 [ 0] Max: 23.5000 [16] 1.4500 [16] Quartile: 11.7000 0.5400 Median: 19.4000 0.7000 Quartile: 20.3000 0.9000</p> <p>Lin Mod: <math>y = 0.03805 x + 0.1075</math> Slope: 0.03805 +- 0.009089 Intercept: 0.1075 +- 0.1596 Correlation: <math>r = 0.7341</math> Sum xy: 229.7</p>
Tabla de valores muestreados de LH-LC en luz ROJA en un período 12 días desde la siembra.	Tabla de valores muestreados de LH-AC en luz ROJA en un período 12 días desde la siembra.	Tabla de valores muestreados de LH-LHV en luz ROJA en un período 12 días desde la siembra.

<b>Tabla X A: LH-LC (AZUL)</b>	<b>Tabla XI A: LH-AC (AZUL)</b>	<b>Tabla XII A: LH-LHV (AZUL)</b>
<p>FILE: AZUL LH-LC</p> <p>Records: 11 Out of range: 0 Invalid: 0 Header records: 0 Blank: 0 Data Blocks: 1</p> <p>* COLUMNS: Mean: 6.6891 2.5264 Std Dev: 2.8088 0.8469 Samp StdDev: 2.9459 0.8883 Skewness: 0.5627 0.7172 Kurtosis: 2.1147 2.3119 Avg Dev: 2.5681 0.7040 Sum: 73.5800 27.7900 Sum Sq.: 578.9654 78.0981</p> <p>Mean Err.: 0.8469 0.2554 Std Dev Err.: 0.5988 0.1806 Skewness Err.: 0.7385 0.7385 Kurtosis Err.: 1.4771 1.4771</p> <p>Min: 3.6200 [ 0] 1.6700 [ 9] Max: 12.4500 [ 2] 4.1600 [ 2] Quartile: 4.0100 1.6900 Median: 5.2100 2.6800 Quartile: 8.8000 2.7800</p> <p>Lin Mod: <math>y = 0.2756x + 0.6827</math> Slope: 0.2756 +- 0.04076 Intercept: 0.6827 +- 0.2957 Correlation: <math>r = 0.9141</math> Sum xy: 209.8</p>	<p>FILE: AZUL LH-AC</p> <p>Records: 11 Out of range: 0 Invalid: 0 Header records: 0 Blank: 0 Data Blocks: 1</p> <p>* COLUMNS: Mean: 6.6891 1.3582 Std Dev: 2.8088 0.5826 Samp StdDev: 2.9459 0.6111 Skewness: 0.5627 1.3841 Kurtosis: 2.1147 3.2852 Avg Dev: 2.5681 0.4501 Sum: 73.5800 14.9400 Sum Sq.: 578.9654 24.0254</p> <p>Mean Err.: 0.8469 0.1757 Std Dev Err.: 0.5988 0.1242 Skewness Err.: 0.7385 0.7385 Kurtosis Err.: 1.4771 1.4771</p> <p>Min: 3.6200 [ 0] 0.8900 [ 0] Max: 12.4500 [ 2] 2.6000 [ 2] Quartile: 4.0100 0.9600 Median: 5.2100 1.1300 Quartile: 8.8000 1.4600</p> <p>Lin Mod: <math>y = 0.1733x + 0.1987</math> Slope: 0.1733 +- 0.03798 Intercept: 0.1987 +- 0.2756 Correlation: <math>r = 0.8356</math> Sum xy: 115</p>	<p>FILE: AZUL LH-LHV</p> <p>Records: 11 Out of range: 0 Invalid: 0 Header records: 0 Blank: 0 Data Blocks: 1</p> <p>* COLUMNS: Mean: 6.6891 0.7236 Std Dev: 2.8088 0.3006 Samp StdDev: 2.9459 0.3153 Skewness: 0.5627 0.9106 Kurtosis: 2.1147 2.8644 Avg Dev: 2.5681 0.2385 Sum: 73.5800 7.9600 Sum Sq.: 578.9654 6.7542</p> <p>Mean Err.: 0.8469 0.0906 Std Dev Err.: 0.5988 0.0641 Skewness Err.: 0.7385 0.7385 Kurtosis Err.: 1.4771 1.4771</p> <p>Min: 3.6200 [ 0] 0.3900 [ 9] Max: 12.4500 [ 2] 1.3900 [ 2] Quartile: 4.0100 0.4600 Median: 5.2100 0.6800 Quartile: 8.8000 0.8800</p> <p>Lin Mod: <math>y = 0.1018x + 0.04294</math> Slope: 0.1018 +- 0.01105 Intercept: 0.04294 +- 0.08017 Correlation: <math>r = 0.9508</math> Sum xy: 62.08</p>
Tabla de valores muestreados de LH-LC en luz AZUL en un período 12 días desde la siembra.	Tabla de valores muestreados de LH-AC en luz AZUL en un período 12 días desde la siembra.	Tabla de valores muestreados de LH-LHV en luz AZUL en un período 12 días desde la siembra.

## VI. ANEXOS

<p><b>Figura III: Humedad Relativa Ambiental</b></p>	<p><b>Figura IV: Temperatura Ambiental en °C</b></p>
<p>Representación de la HRA a lo largo de 12 días consecutivos.</p>	<p>Representación de la Temp °C a lo largo de 12 días consecutivos.</p>

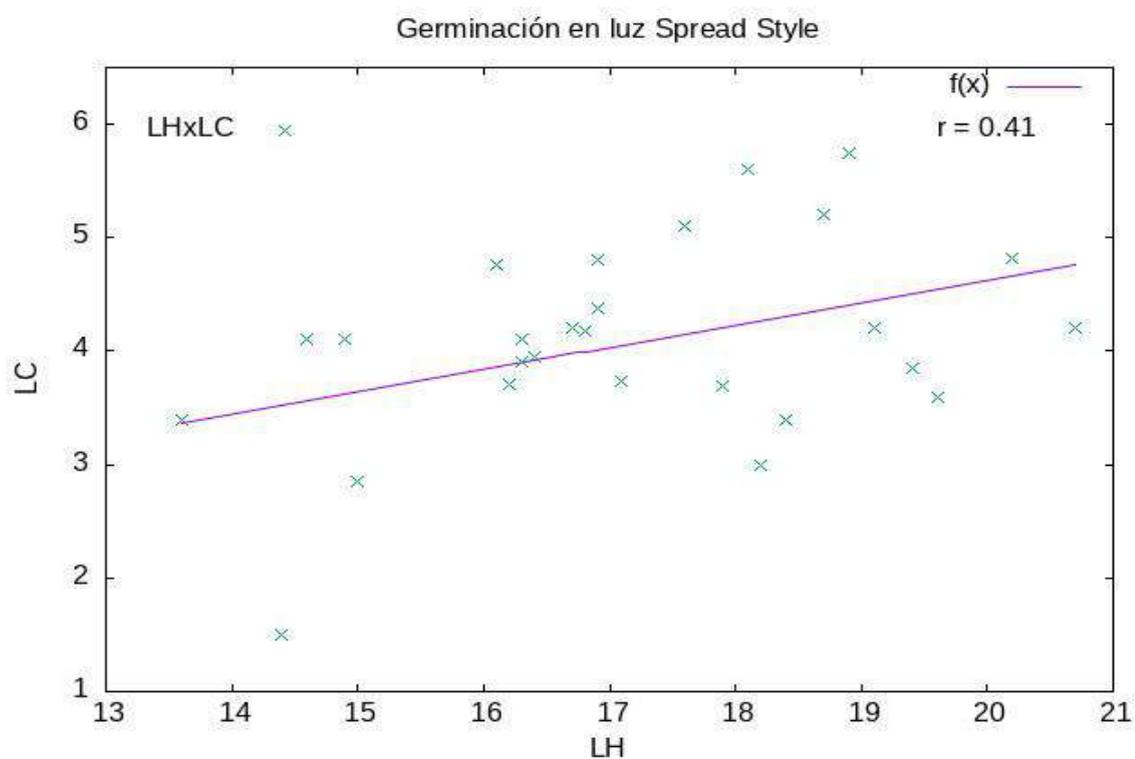
<p><b>Figura V: HRS1</b></p>	<p><b>Figura VI: HRS2</b></p>	<p><b>Figura VII: HRS3</b></p>
<p>Representación de la HRS1 a lo largo de 12 días consecutivos.</p>	<p>Representación de la HRS2 a lo largo de 12 días consecutivos.</p>	<p>Representación de la HRS3 a lo largo de 12 días consecutivos.</p>

Figura VIII: Germinación de *R. communis* L. en luz Spread Style Full Spectrum



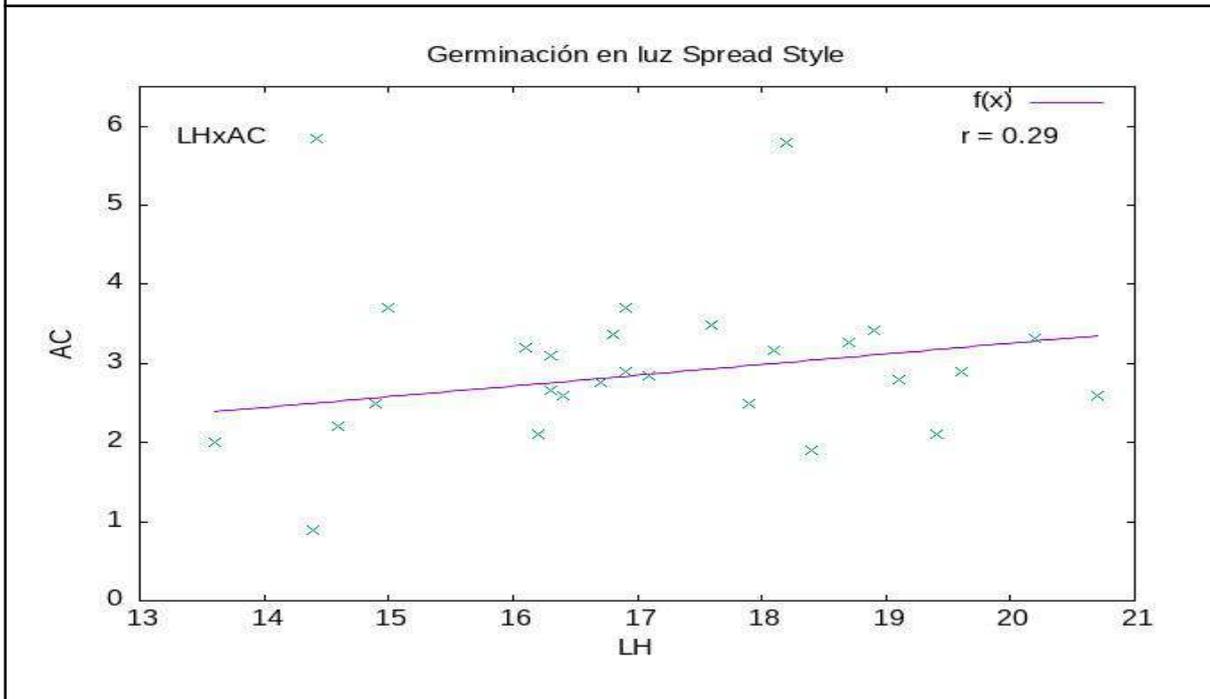
Fotografía de *Ricinus communis* L. en sus respectivas bandejas bajo luces LED Spread Style Full Spectrum a ~1000 lux,

Figura IX: Relación LH-LC realizado en Cámara de germinación con luz Spread Style



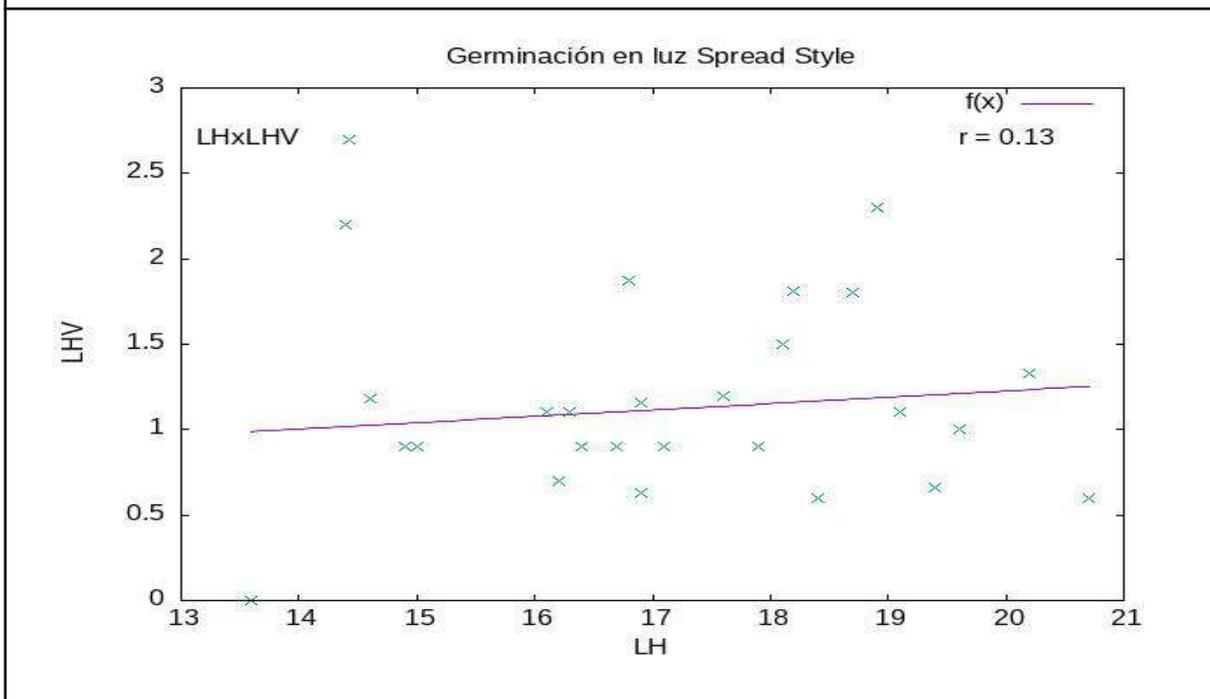
Representación de la relación entre LH y LC, y su análisis de coeficiente de correlación lineal.

Figura X: Relación LH-AC realizado en Cámara de germinación con luz Spread Style



Representación de la relación entre LH y AC y su análisis de coeficiente de correlación lineal.

Figura XI: Relación LH-LHV realizado en Cámara de germinación con luz Spread Style



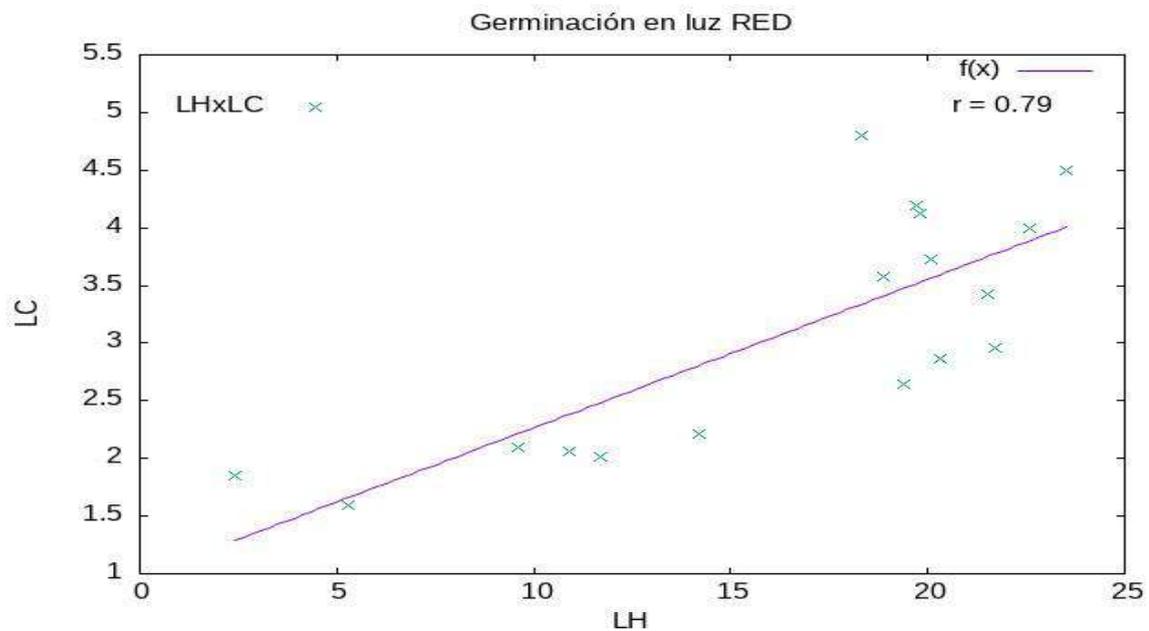
Representación de la relación entre LH y LHV, y su análisis de coeficiente de correlación lineal.

Figura XII: Germinación de *R. communis* L. en luz LED Roja



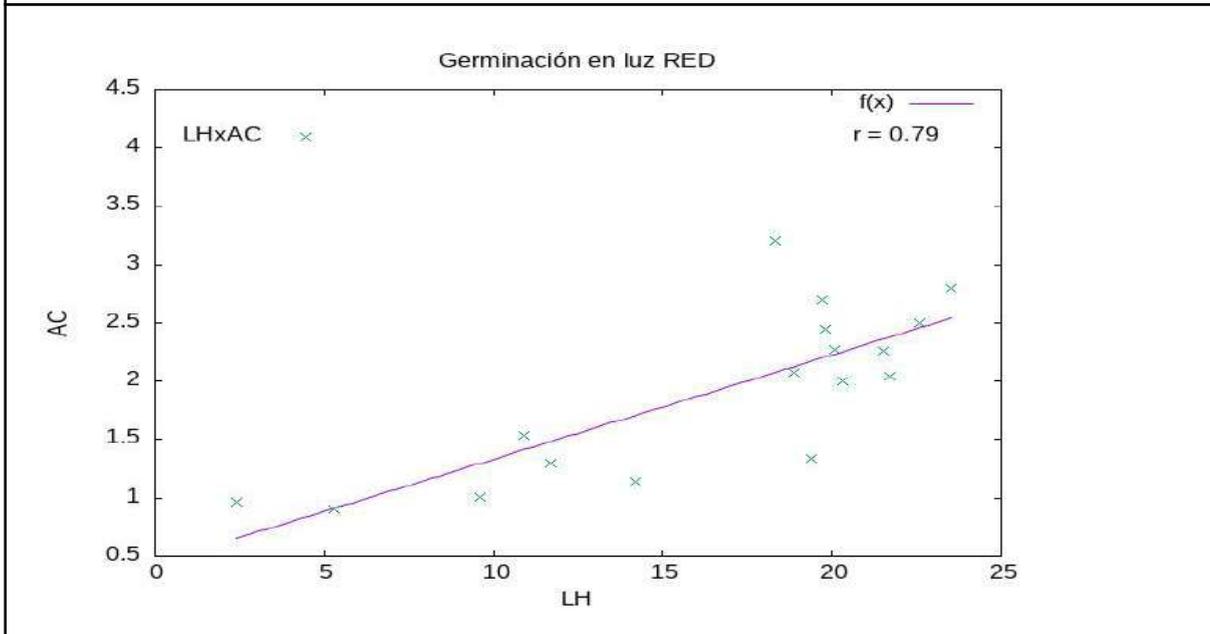
Fotografía de *Ricinus communis* L. en sus respectivas bandejas bajo luces LED's rojas a ~1000 lux,

Figura XIII: Relación LH-LC realizado en Cámara de germinación con luz Rojo



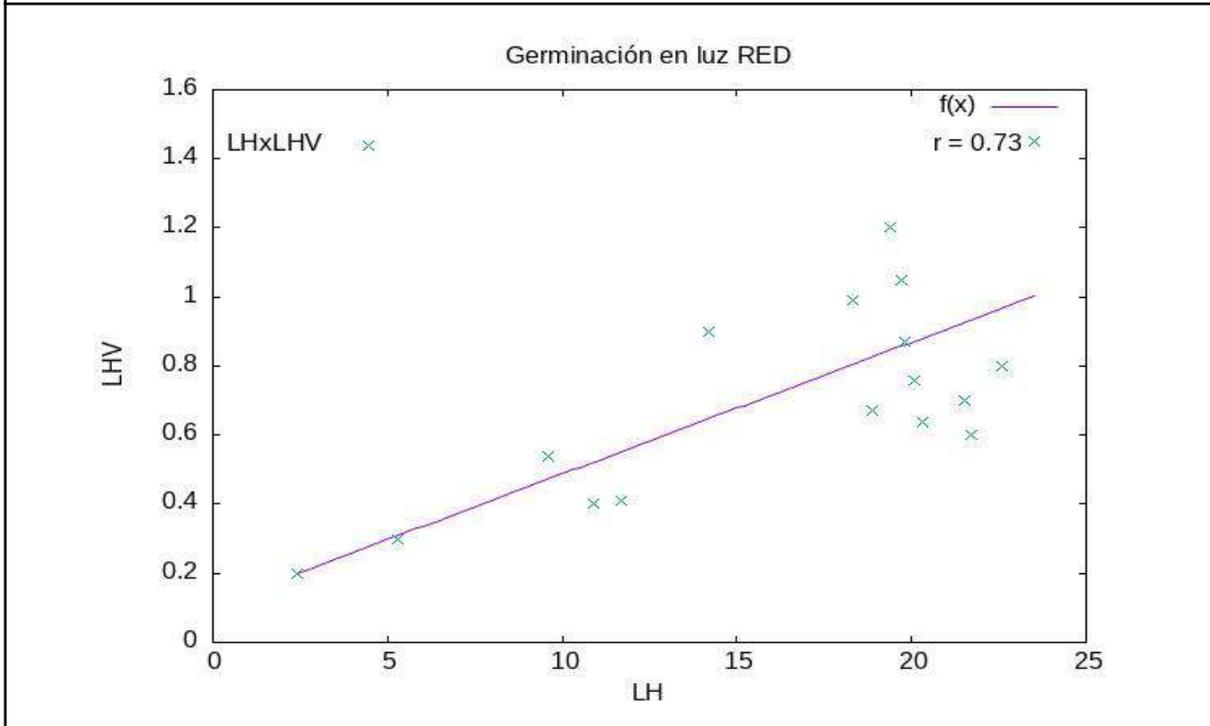
Representación de la relación entre LH y LC, y su análisis de coeficiente de correlación lineal.

Figura XIV: Relación LH-AC realizado en Cámara de germinación con luz Rojo.



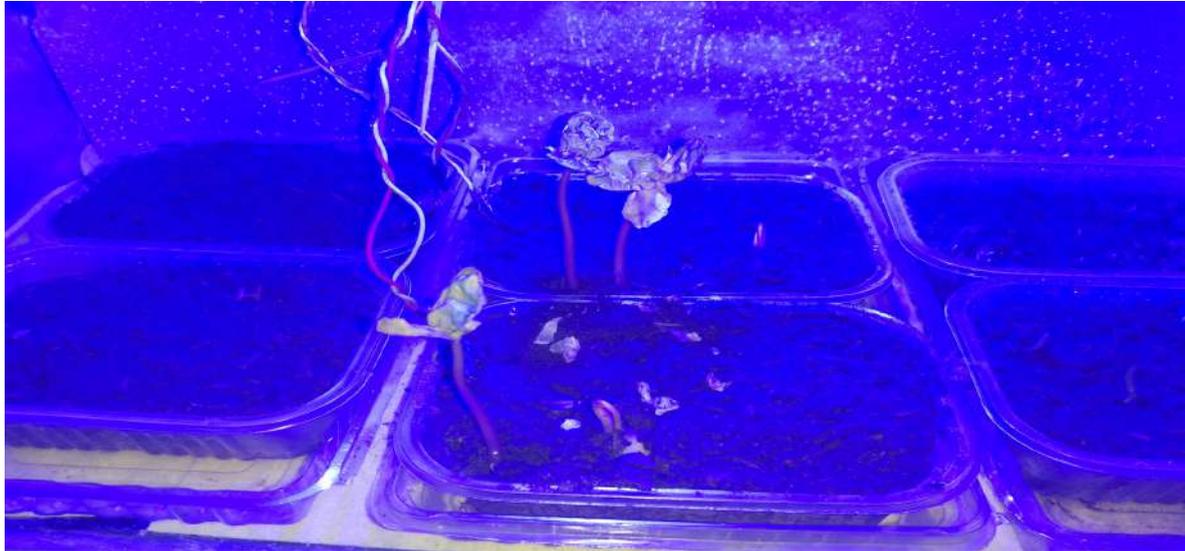
Representación de relación entre LH y AC, y su análisis de coeficiente de correlación lineal.

Figura XV: Relación LH-LHV realizado en Cámara de germinación con luz Rojo



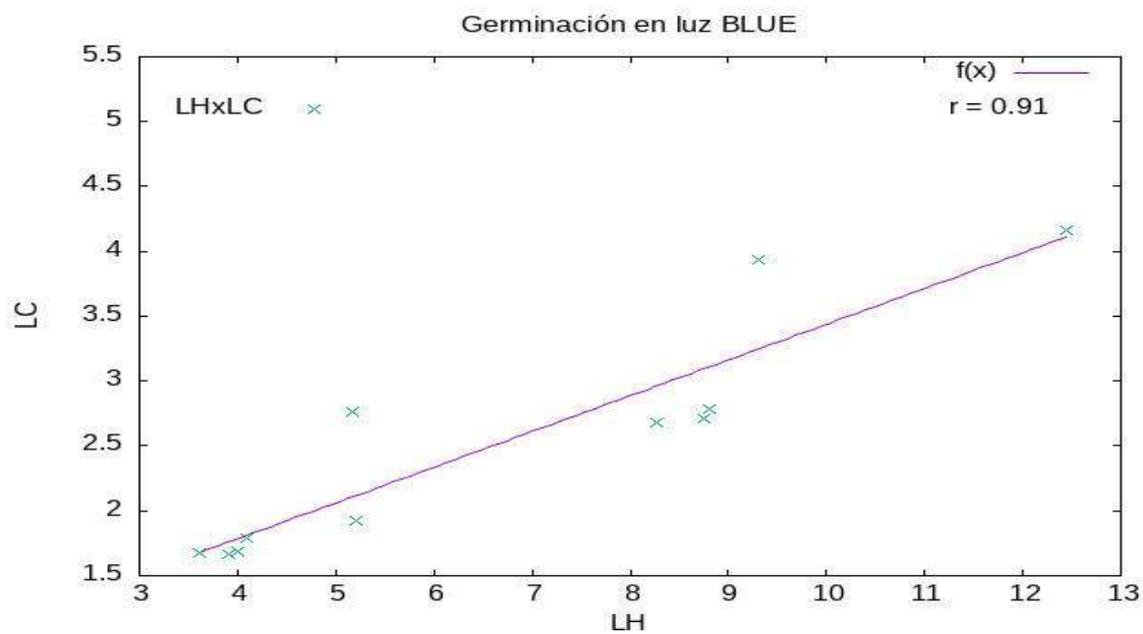
Representación de relación entre LH y LHV, y su análisis de coeficiente de correlación lineal.

Figura XVI: Germinación de *R. communis* L. en luz LED Azul



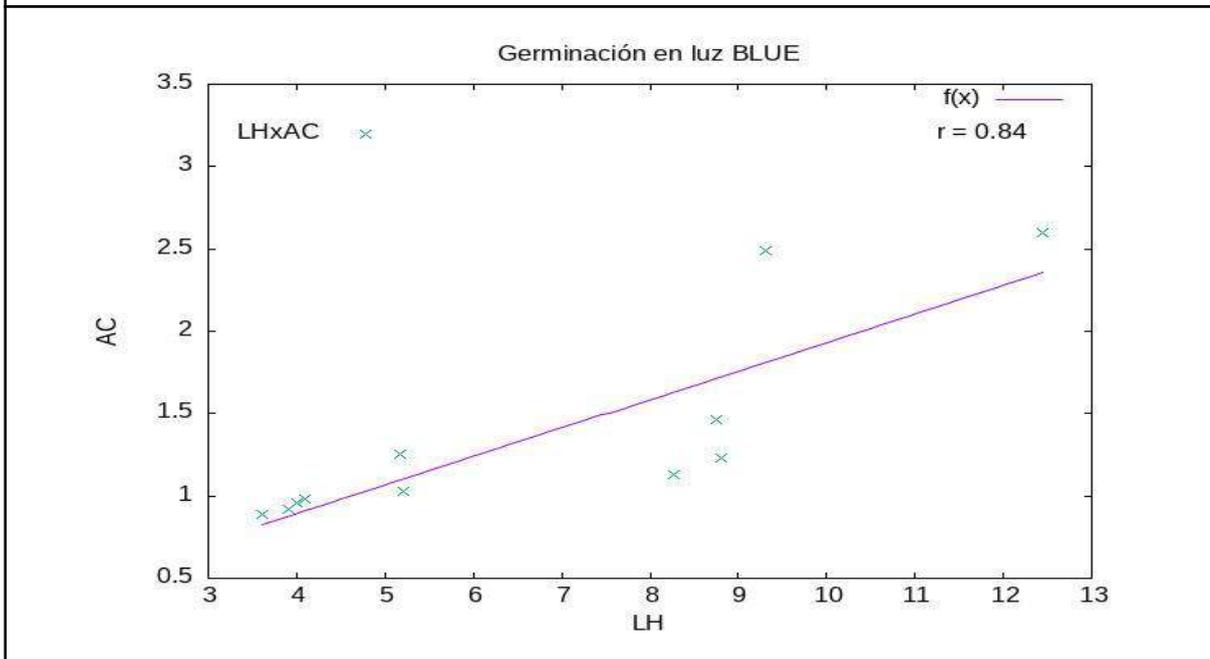
Fotografía de *Ricinus communis* L., en sus respectivas bandejas bajo luces LED's azules a ~1000 lux,

Gráfico XVII: Relación LH-LC realizado en Cámara de germinación con luz Azul



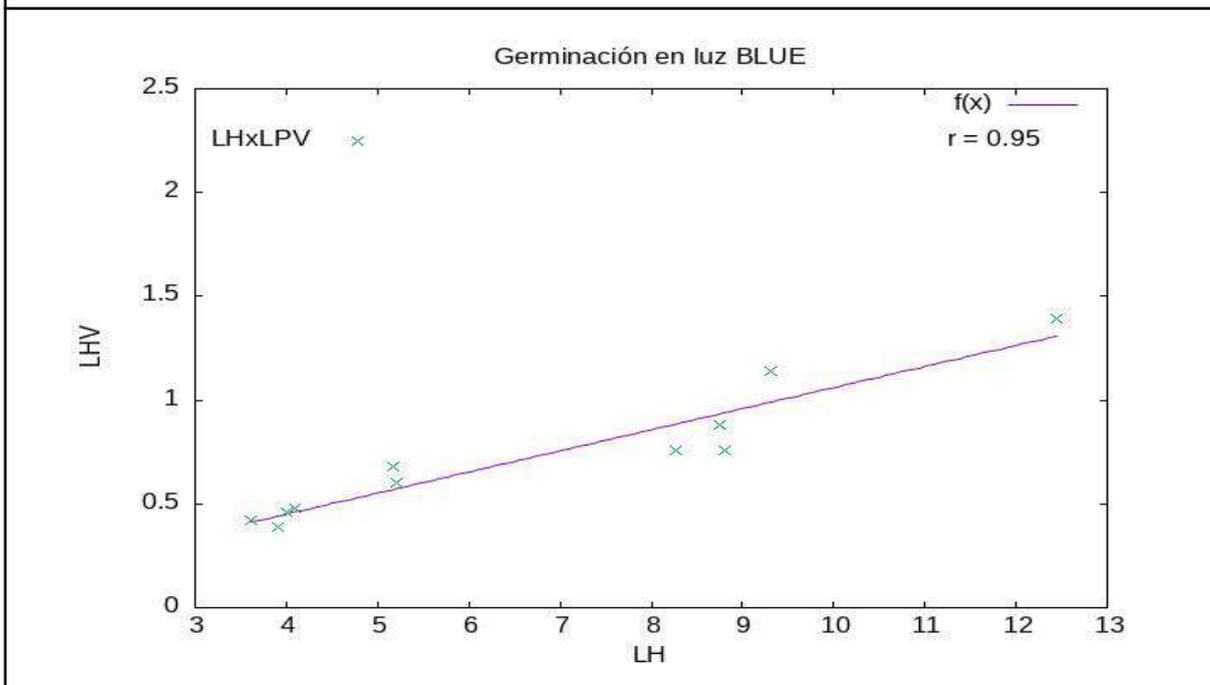
Representación de la relación entre LH y LC, y su análisis de coeficiente de correlación lineal.

Figura XVIII: Relación LH-AC realizado en Cámara de germinación con luz Azul.



Representación de la relación entre LH y AC, y su análisis de coeficiente de correlación lineal.

Gráfico XIX: Relación LH-LHV realizado en Cámara de germinación con luz Azul



Representación de la relación entre LH y LHV, y su análisis de coeficiente de correlación lineal.

Figura XX: Germinación de *R. communis* L. en oscuridad



Fotografía de germinación y desarrollo de *Ricinus communis* L. en oscuridad.