

Diseño, construcción, modelado y control de un germinador magnético de semillas.

Ríos Garzon, Teodoro David
teodoro.rios@ustabuca.edu.co
Universidad Santo Tomás
Bucaramanga, Colombia

RESUMEN: Este trabajo tuvo como propósito desarrollar un germinador magnético que contribuya al crecimiento y desarrollo de las semillas. En este proyecto se diseñó, construyó y comprobó el funcionamiento de bobinas de Helmholtz con el objetivo de magnetizar semillas de tomate común (*Solanum lycopersicum*) para compararlas con el grupo control con las mismas semillas y condiciones iguales. Este trabajo observo el efecto del campo magnético con intensidad de 10 mT (comprobados a partir de un sensor de efecto Hall) durante 10 minutos sobre la germinación de semillas de tomate común. Igualmente se analizó y registro el incremento de biomasa en el grupo control y el grupo experimental. Obteniendo resultados positivos en la germinación. Con el objetivo de ampliar este proyecto, se ha propuesto implementar un controlador para la bobina de Helmholtz que permita ayudar a encontrar el campo magnético deseado.

PALABRAS CLAVE: Inducción magnética, controlador, densidad de campo magnético, bobinas de Helmholtz.

ABSTRACT: For the development of this project, Helmholtz coils were designed, built, and tested with the objective of magnetizing seeds of common tomato (*Solanum lycopersicum*) to compare them with the control group with the same seeds and qualities. The purpose of this work was to develop a magnetic germinator that contributes to the growth and development of seeds. The effect of a 10 mT magnetic field (verified from a Hall effect sensor) for 10 minutes on the germination of common tomato seeds was studied. Likewise, the increase in biomass was analyzed and recorded for the control and the experimental group obtaining positive results in germination. To expand this project, it has been proposed to implement a controller for the Helmholtz coil that allows to find the desired magnetic field.

KEYWORDS: Magnetic induction, controller, magnetic field, Helmholtz coils.

I. INTRODUCCIÓN

Los campos magnéticos existen de forma natural en nuestro entorno por lo que estamos acostumbrados a vivir con ellos. En la actualidad los campos magnéticos son de gran utilidad para diferentes estudios no solo físicos que han contribuido en el desarrollo de sistemas que utilicen los beneficios que otorgan. [1]

Más aún, el sector agrícola es fundamental en la vida del ser

humano, por lo que, si potenciamos sus procesos de germinación, crecimiento y reproducción, nosotros mismos seremos los únicos beneficiados en este proceso. Hoy en día la tasa de crecimiento poblacional aumenta cada vez más por lo que es necesario optimizar el sector agrícola para poder compensar el problema anteriormente planteado. [2]

Si permitimos que el campo magnético intervenga en la germinación de las semillas, se podrá mejorar notablemente el desarrollo de la planta. Esto se basa en estudios realizados en esta área a resolver. [3] En relación con lo anterior se puede postular que los campos magnéticos superiores al campo magnético de la tierra producen efectos en los organismos biológicos [4] por lo cual su utilización en la agricultura se ha incrementado paulatinamente desde el siglo XX ya que se comenzaron a realizar estudios tanto en organismos vivos como en el agua. [5] Respecto a lo que se ha reportado en algunos sistemas vivientes, se han obtenido resultados positivos de la exposición de semillas de arroz, cebada, tabaco, maíz, girasol, papa, tabaco, entre otros; cuando son inducidos a campos magnéticos. [6]

Ahora bien, su importancia radica en tratar ayudar a mejorar la germinación, crecimiento y la producción de alimentos derivados de las semillas [7], con el objetivo de generar ayuda en el sector agrícola y de esa manera poder equilibrar la fabricación de productos a partir de materia agrícola con la tasa de crecimiento poblacional, debido a que el aumentar la población exige una demanda de alimentos. [2]

Gracias a los químicos empleados para el desarrollo de cultivos ha impedido que el uso de campos magnéticos para mejorar el uso de semillas sea aplicado en la actualidad, llevando a que esta opción se halla visto descartada por los agricultores. [8]

Con base a lo anterior se pretende intervenir a las semillas con un campo magnético con el objetivo de evidenciar los efectos producidos en el crecimiento de las semillas y de esta forma, lograr un mayor impacto en el sector agrícola al reemplazar los productos químicos dañinos para la salud y el medio ambiente. [8]

En medio de hechos ya arraigados como la globalización, los tratados de libre comercio y la competitividad, se requiere de la ingeniería mecatrónica, especialmente en beneficio del sector agrícola, donde se debe, tecnificar el campo gracias a la inducción de semillas con campo magnético para establecer sistemas de producción sostenible, seguridad alimentaria y en

general, buscar la solución de las múltiples necesidades arraigadas en el proceso de crecimiento de las semillas, con la certeza, que no solo en la industria en especial la automotriz se requiere de los ingenieros mecatrónicos, sino también en distintos sectores económicos, como el agrícola y así optimizar los recursos naturales con la tecnología local apropiada, gracias a la articulación de diferentes ramas de la ingeniería que fortalecen este proceso. [9]

II. BOBINAS DE HELMHOLTZ

Para construir el diseño de Helmholtz se requiere de alambre de cobre, en este caso calibre 24. En muchas ocasiones interesa disponer de un campo magnético uniforme en una zona del espacio. [10] Uno de los montajes más empleados para conseguirlo son las llamadas bobinas de Helmholtz: se hace circular la misma corriente y en el mismo sentido por dos bobinas iguales y coaxiales situadas en planos paralelos, separados una distancia igual al radio de las espiras [11]; como se muestra en la figura 1.

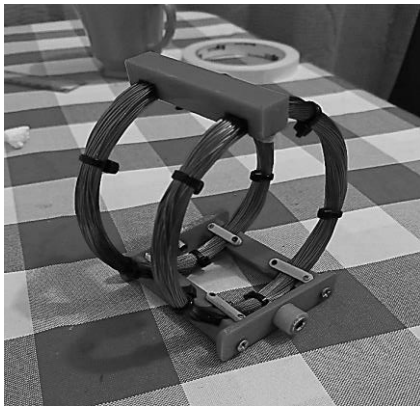


FIGURA 1. Bobina de Helmholtz, compuesta por dos bobinas planas e idénticas. Autor.

En los experimentos se usaron dos bobinas de $N = 187$ vueltas y radio medio $R = 4$ cm, con sus centros separados una distancia igual al radio. El campo magnético en el centro de estas bobinas se puede hallar gracias a la siguiente ecuación [10]:

$$B = \frac{\mu_0 NI}{2R} \quad (1)$$

Donde $\mu_0 = 4\pi \times 10^{-7}$ es la permeabilidad del vacío e I la corriente que transita por las bobinas conectadas en serie. Para conseguir un campo constante de 10 mT se hizo circular una corriente 3.4 A. [11]

III. SENSOR DE EFECTO HALL

Los sensores de efecto Hall son dispositivos de estado sólido los cuales forman un circuito eléctrico, que, al pasar a través de un campo magnético, el voltaje entre sus terminales varía dependiendo del valor absoluto de densidad de flujo [12] Para poder simular un magnetómetro puede usarse un sensor de efecto hall comercial. [13] En nuestro caso usamos el sensor

UGN3503, de respuesta de voltaje lineal para campos magnéticos $B < 900$ G. [14]

De acuerdo con el *datasheet* del sensor, estos modelos de sensores tienen una sensibilidad de 1.3 mV/G cuando se opera a una línea de tensión continua de 5V. El sensor posee una cara rotulada especialmente, que es la superficie que debe ubicarse perpendicularmente a la dirección del campo magnético que quiere medirse. El sensor tiene la configuración mostrada en la Figura 2. [14]

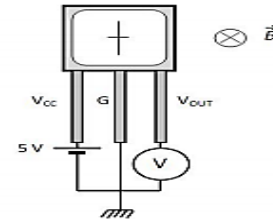


FIGURA 2. Datasheet del sensor UGN3503. [14]

Un dato para tener en cuenta es que el sensor bajo especificaciones del *datasheet*, el sensor cuando se le deja suministrar corriente esta entrega un valor de $V_0 = 2.5V$. Por lo que, para obtener el valor del campo magnético con el dispositivo, debemos restarle ese valor, entonces la evacuación para calcular el campo magnético quedaría en la ecuación dos.

$$B_n = \left(\frac{V_{OUT} * 5}{1024} - V_0 \right) * S * 1000 \quad (2)$$

En donde V_{out} es el voltaje de leído a través del sensor, los valores matemáticos que le preceden son constantes necesarias para la interpretación de los datos por parte de Arduino. S es un valor sacado del *datasheet* para la conversión de los datos de unidades de Gauss a Tesla, este valor es $S = 0,0758$ T/V. Al multiplicarlo por 1000 se convierte el dato a que está en unidades de Tesla a mili tesla. La ecuación tres permite eliminar el error generado por las propiedades del sensor.

$$B_s = \frac{L * B_n}{w} \quad (3)$$

El valor de las variables de la ecuación tres son $L = 90$ y $w = 185.32342$, estos valores encontrados al hacer varias mediciones con las bobinas de Helmholtz que a partir de la ecuación ya se conocía un valor de campo magnético. La ecuación cuatro permite asegurar que los datos no sean atípicos.

$$B_{real} = \frac{B_n}{B_s} \quad (4)$$

Finalmente, para eliminar el ruido que se encuentra en el ambiente se utiliza la ecuación cinco, en donde el valor de B será la magnitud de campo magnético.

$$B = \frac{B_n}{B_{real}} \quad (5)$$

Para tomar las mediciones de campo magnético se hace pasar el sensor a través de un lado del par de las bobinas, sobre el eje de simetría hasta llegar al centro donde se encuentra la

concentración de campo magnético deseada, tal como se muestra en la figura 3 tomada del artículo “Experimentos con el sensor de efecto Hall”.

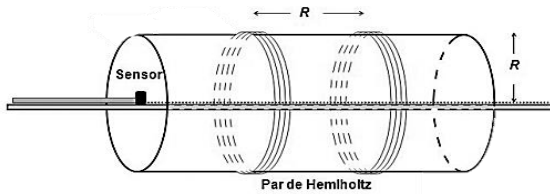


FIGURA 3. Esquema del experimento del sensor y las bobinas de Helmholtz. [12]

IV. MÉTODOS Y MATERIALES

El Proyecto se llevó a cabo en la Universidad Santo Tomas, sede Bucaramanga, en el laboratorio de electrónica donde se utilizaron distintos componentes electrónicos como la fuente dual para inducir una corriente de 3A que circularía a través de las bobinas de Helmholtz para generar un campo magnético uniforme entre las bobinas. A su vez, se utilizaron las fuentes para incitar las bobinas con el objetivo de encontrar un desfase en la corriente que indicara en primera medida que las bobinas estaban produciendo un campo magnético, como se puede apreciar en la figura 4.

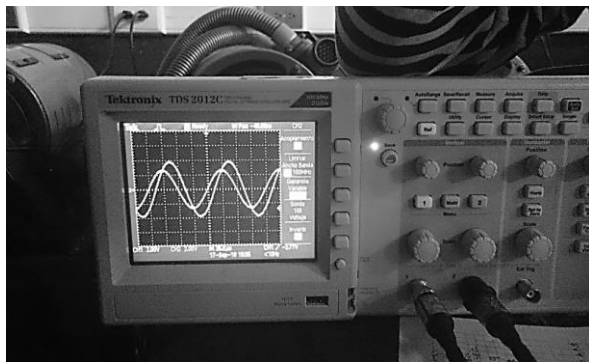


FIGURA 4. Osciloscopio que muestra el atraso de la corriente por parte de las bobinas.

Se utilizaron semillas para los ensayos de *Solanum lycopersicum*, que fueron suministradas por SÁENZ SETY, donde en sus especificaciones demostraba una pureza del 99% de las semillas y un 85% de germinación.

La estructura fue diseñada en SolidWorks y se imprimió en la impresora 3D de la universidad Santo Tomas en PLA.

Las bobinas fueron diseñadas cada una con 94 vueltas con un diámetro de 8 cm para que a través de ellas transcurriera una corriente 3.4 A con el objetivo de que produzcan 10 mT. Las semillas se sometieron durante 10 minutos en corriente continua a este campo, por recomendaciones de Torres [15]. Allí se propuso esta combinación para tener un potenciamiento en la germinación y crecimiento de las semillas, a su vez como el campo magnético en corriente alterna no brindaba los mejores resultados y como a partir de 10 mT las semillas de tomate se ven positivamente afectadas, en relación al tiempo

ella recomienda tiempos iguales o mayores a 10 minutos, sin embargo, los resultados no tenían mayor efecto en las plantas por lo que optamos por utilizar los 10 minutos por el sobrecalentamiento que produce circular corriente en las bobinas por mayor tiempo.

Cuando las semillas fueron sometidas se plantaron dos por bolsa para garantizar la germinación. Para poder evidenciar el funcionamiento del campo magnético en las semillas se separaron en dos grupos. El grupo experimental compuesto de 50 semillas que fueron afectadas por el campo magnético y un grupo control que fueron sembradas sin el efecto de este campo. Puesto que ambos grupos necesitaban estar en condiciones normales se diseñó un sistema de control que ayudaría en el crecimiento de las semillas indicándonos el momento donde necesitaban ser regadas las plantas, a su vez al estar en época invernal el tomate se ve poco favorecido por lo que fue necesario de integrar un sensor de temperatura que ayudara a guardar las plantas del frio dentro de la casa de uno de los integrantes donde ellas germinaron y crecieron durante el proyecto. Para conseguir esto, se usaron cuatro sensores de humedad del suelo HL69, un sensor de campo magnético UNG3505 y un sensor de humedad y temperatura DHT11, los cuales se pueden apreciar en la figura 5.

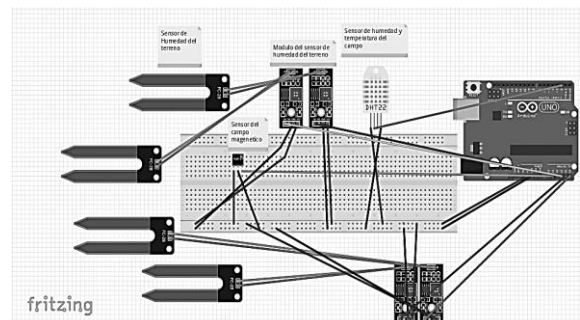


FIGURA 5. Representación gráfica del circuito montado.

Se registraron los datos obtenidos de ambos grupos para su comparación, como lo fueron el tiempo de germinación, grosor del tallo y altura de la planta.

Se realizó un análisis estadístico para hallar promedio de datos y desviación estándar, también se generó un histograma de datos y campana de Gauss de todos los datos obtenidos para ambos grupos.

V. INTERFAZ GRAFICA DE USUARIO

La interfaz gráfica fue desarrollada empleando el software LabVIEW el cual es programando mediante diagramas de bloques. La función de la interfaz es realizar un control y monitoreo sencillo del campo generado, la temperatura y humedad de los grupos, así como establecer una comunicación serial entre la computadora, el programa de Excel y el microcontrolador quien ejecuta las instrucciones.

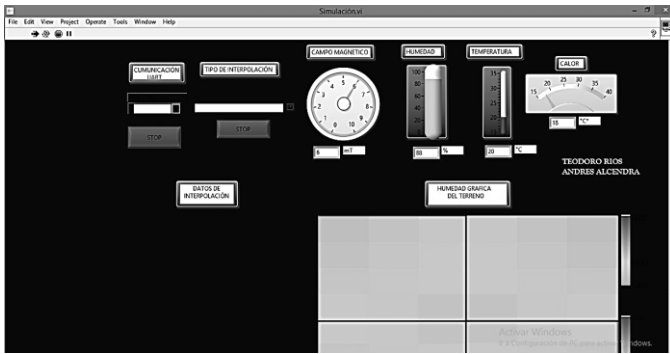


FIGURA 6. Interfaz Gráfica para el control y monitoreo de las bobinas y los grupos de plantas.

Como se observa en la figura 5 la interfaz gráfica está constituida por un panel que activa la comunicación por puerto serial. En la parte superior derecha podemos observar los parámetros que permiten la observación del estado de las plantas y del campo magnético en las bobinas. Finalmente, en la parte inferior se encuentra la humedad de todo el grupo de plantas representado gráficamente, para lograr esto último se hizo una aproximación de los datos a partir del uso de la interpolación lineal, cuadrática y cúbica.

VI. MODELO DEL GERMINADOR MAGNÉTICO

Para modelar el germinador magnético fue necesario registrar valores de campo magnético generados en el interior de las bobinas a través del sensor de efecto hall; se tomaron muestras del funcionamiento de la bobina entregándole valores ascendentes de voltajes desde 0 V hasta 12 V y en descenso hasta llegar al voltaje de 0, con esto se registraron valores de campo magnético en mT para diferentes cambios en el voltaje. El montaje para esas mediciones se aprecia en la figura 7.

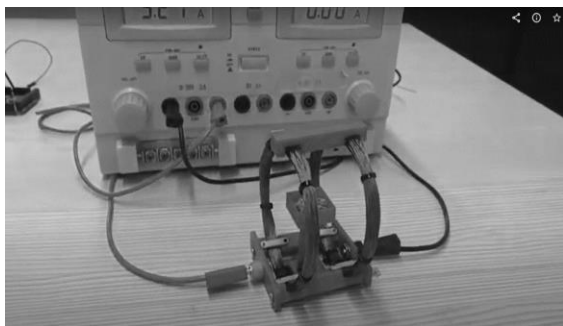


Figura 7. Toma de datos de la bobina de Helmholtz.

Los datos obtenidos se registraron en una tabla de Excel que se puede observar en la Tabla 1, en donde la columna de la izquierda tiene los valores de voltaje suministrado a la bobina, mientras que la columna de la derecha se registraron los datos obtenidos del sensor de efecto hall para los valores de voltajes suministrados a las bobinas en unidades de mili tesla. De los datos podemos obtener que tienen una respuesta lineal tanto de ascenso como de descenso.

VOLTAJE (V)	CAMPO MAGNETICO (mt)
0	0
1	0,3
2	0,52
3	1,03
4	1,27
5	1,37
6	1,6
7	1,82
8	2,05
9	2,2
10	2,56
11	2,74
12	2,81
11	2,67
10	2,59
9	2,43
8	2,16
7	2,01
6	1,75
5	1,49
4	1,21
3	1,08
2	0,78
1	0,45
0	0

Tabla 1. Datos medidos con el sensor de efecto Hall.

Una vez obtenido los datos del germinador magnético se pueden llevar al System identification, una herramienta de Matlab que permite modelar los sistemas a través de los valores de entrada y de salida del sistema tal como se observa en la figura 7, mientras que en la figura 8 se aprecia la salida del germinador en la gráfica superior donde las unidades del eje Y son en mT, mientras que la gráfica inferior es la entrada del germinado en términos del voltaje en el eje Y, además los tiempos de muestreo se establecieron en 1 segundo, ya que aunque el cambio de voltaje era manual y por perilla, la planta respondía de forma inmediata al cambio de voltaje.

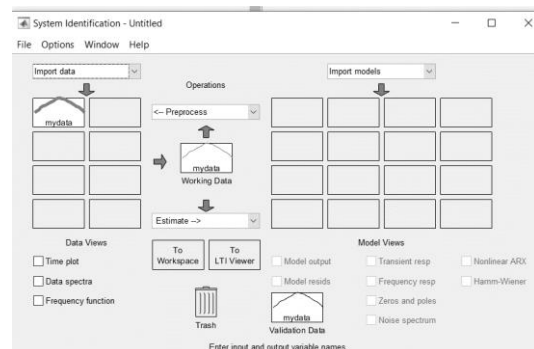


Figura 7. System identification.

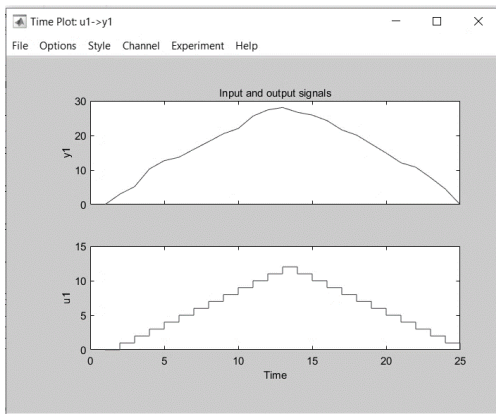


Figura 8. Entradas y salidas de germinador magnético.

Con la misma herramienta podemos estimar el modelo de la planta con los datos previamente suministrados, este se puede conseguir a través de función de transferencia, espacio de estados, modelo del proceso, entre otros, para este caso en particular se decidió usar modelo del proceso, porque es más práctico para estimar el modelo de las plantas con respuestas lineales. Una vez decidido el método, debemos estimar la planta en base al número de polos, zeros, delay o integradores que esta pueda tener con el objetivo de comprobar cual combinación de esas cuatro se ajusta mejor a la planta que corresponde al germinador magnético. En la figura 9, podemos ver los resultados obtenidos con cada combinación, en donde P simboliza polos, el número a su derecha el número de estos, el D, el delay, y la Z los zeros; para este proceso se decidió solo ingresarle un zero, ya que con se obtuvo la respuesta deseada, y a su vez, se implementó un delay en todas, porque las respuestas sin el mismo directamente eran alejadas de lo deseado

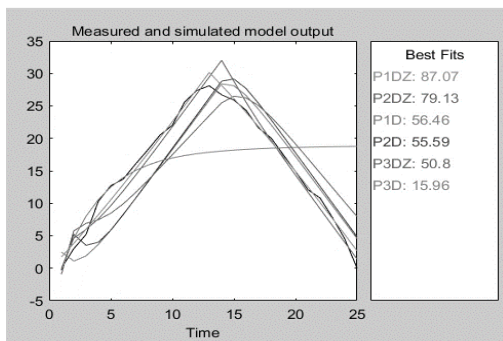


Figura 9. Estimación del modelo del germinador.

De la imagen anterior podemos obtener que el modelo con 1 polo, 1 delay, y 1 zero es la que más se acerca al modelo real del germinador, ya que, tiene una similitud con la respuesta original de 87.07%, y a su vez, es la más acertada de las demás interacciones, por lo que, este es el escogido para este proyecto.

Al exportar el modelo escogido al entorno de trabajo de Matlab, se aprecia en la figura 10 la función de transferencia que corresponde al modelo junto a los valores de las variables que corresponden a la función. Una vez asignado los valores,

obtenemos la función de transferencia en termino de las misma; esta representación se presenta en la figura 11, en la que podemos apreciar una igualdad en el número de polos y zeros, por lo que, podemos afirmar que es un sistema de retraso mínimo, además de que, al tener el polo en el lado izquierdo, se puede establecer que el sistema es estable, lo que se puede comprobar visualmente en la figura 13.

```
ans =
Process model with transfer function:
      1+Tz*s
G(s) = Kp * ----- * exp(-Td*s)
      1+Tp1*s

      Kp = 2.7668
      Tp1 = 9.7922
      Td = 0
      Tz = 8.0626

Name: P1DZ
Parameterization:
{'P1DZ'}
Number of free coefficients: 4
Use "getpvec", "getcov" for parameters and their uncertainties

Status:
Estimated using PROCEST on time domain data "mydata".
Fit to estimation data: 87.07%
FPE: 1.851, MSE: 1.234
```

Figura 10. Adquisición de la función de transferencia.

```
Tf =

From input "u1" to output "y1":
22.31 s + 2.767
-----
9.792 s + 1

Name: P1DZ
Continuous-time transfer function.
```

Figura 11. Función de transferencia.

Para sustentar lo anteriormente planteado se graficó la función de transferencia ante una entrada escalón para verificar el comportamiento del sistema como lo podemos apreciar en la figura 12; la respuesta no tiene sobre picos, ni oscilaciones, tiene un tiempo de establecimiento de aproximadamente 60 segundos. Aun así, tiene un offset de 2, por lo que en la siguiente sección (control), se buscara eliminar este offset del sistema y mejor el tiempo de establecimiento, sin perjudicar la robustez de esta.

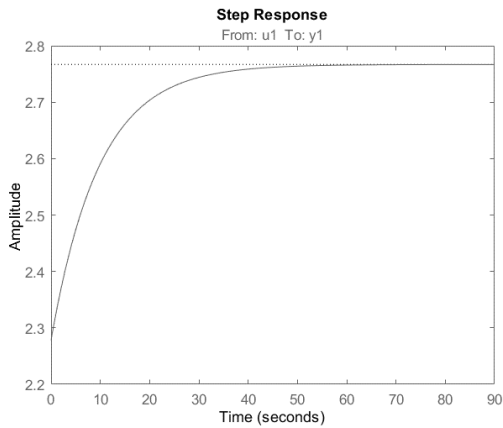


Figura 12. Respuesta del sistema ante una entrada escalón.

Como se había sustentado al obtener la función de transferencia, el sistema es estable, pero es más fácil validar esta información con el lugar geométrico de las raíces de la figura 13, donde vemos a detalle la ubicación de los polos y zeros del sistema ubicados en el lado izquierdo de la gráfica, lo que indica que el sistema es estable.

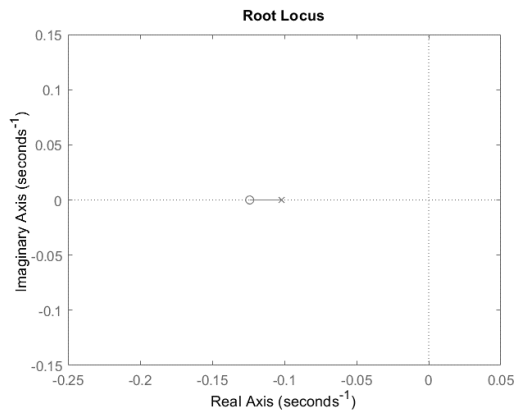


Figura 13. Lugar geométrico de las raíces del sistema.

VII. CONTROL DEL GERMINADOR

Se decidió partir de un controlador PD, ya que es el práctico y útil al momento de empezar a probar controladores; para ello se variaron las constantes de K_p y K_d de forma interactiva hasta encontrar una respuesta aceptable del sistema. Sin embargo, no se consiguió, como se puede verificar en la figura 14, en donde la respuesta del sistema que es la señal azul no es capaz de seguir la referencia, además de eso tiene sobre picos negativos más agresivos entre más crece la variable K_d , por lo que, un controlador PD no es ideal para este sistema.

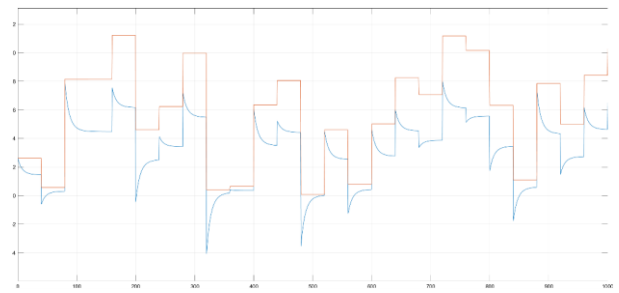


Figura 14. Respuesta del controlador PD, para un $K_p=0.5$ y $K_d=7$.

Como la variable K_d debe ser pequeña se asumió que partería en cero, por lo que, un controlador PI, sería posiblemente el que mejor encaje con el sistema ya que no posee un componente derivativo. La respuesta obtenida fue mucho mejor que la obtenida en el PD, tal como se puede observar en la figura 15, en la que nuevamente la señal naranja es la referencia y la azul la respuesta del sistema con el controlador. De esta figura se puede extraer que tiene un leve sobre pico. Al ser tan pequeño y rápido, el sistema no se vería afectado, ya que como también se puede apreciar tiene un tiempo de establecimiento demasiado pequeño, por lo que la señal se estabiliza y llega a la referencia con mucha rapidez y sin oscilaciones. Cabe mencionar que entre más pequeña fuera la constante K_p de cero, mejor era la respuesta, puesto que el sobre impulso era mucho menor, al mismo tiempo la variable K_i respondía de la misma forma, en términos de la velocidad y la estabilidad del sistema, ya que la componente integral está estrechamente relacionada con estas variables y el error en estado estacionario.

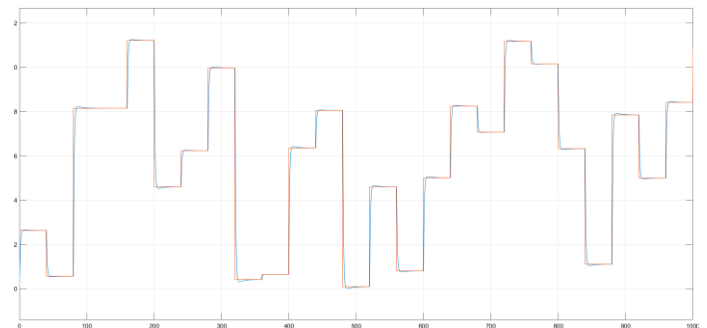


Figura 15. Respuesta del controlador PI, para un $K_p: 0.01$ y $K_i=0.5$

Ahora bien, implementar un controlador PID no era necesario para el caso particular de este germinador de semillas, puesto que la variable derivativa sería idóneamente cero, lo que en efectos prácticos lo convertiría en un PI, incluso la respuesta de este con las variables utilizadas en el controlador PI, nos devuelve la misma respuesta de la figura 15.

Luego de implementar los controladores antes mencionados, se vio viable utilizar un controlador por espacios de estado para el germinador magnético que sea más robusto. Para ello es necesario convertir la función de transferencia de la figura 11 en espacio de estado, como podemos apreciar en la figura 16.

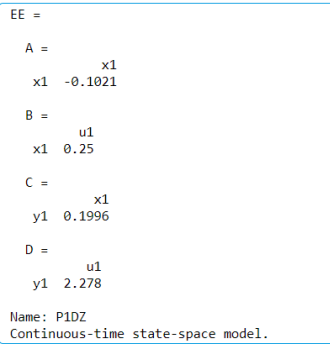


Figura 16. Representación de espacios de estado del germinador magnético.

Una vez obtenido la representación de espacios de estado del modelo se decidió el tipo de control para hallar las K del sistema, para el caso particular de este proyecto se decidió usar el control LQR, ya que permite encontrar las K del sistema de forma práctica, basado en un sistema de compensación y sacrificio. Para ello se requiere una matriz hermética positiva del mismo tamaño de la matriz A del sistema, por lo que solo sería una matriz de [1x1], donde se asignó un valor de 1, ya que si el numero crecía se volvía más inestable y si disminuía la respuesta era muy brusca; al mismo tiempo el LQR, requiere de una constante que determina la importancia relativa del error y el cose de esta energía, en este caso se asignó un valor de 0.01, porque entre más pequeño la respuesta era más precisa, pero demasiado brusca, mientras que un valor grande generaba oscilaciones en el sistema. Al tener estas dos variables, se llevan al comando de LQR de Matlab que devuelve un vector con estas K, pero al tener solo un estado, el valor de K es unitario y corresponde a 9.5999, este valor permitirá realizar el control de espacio de estado que se puede evidenciar en la figura 17.

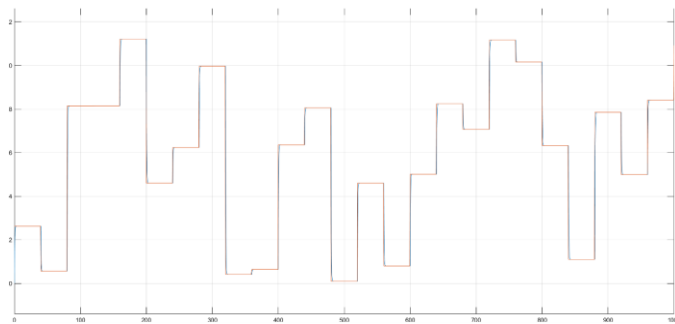


Figura 17. Respuesta del controlador de espacios de estado LQR, para una K de 9.5999.

De la imagen anterior podemos destacar que la respuesta es muy parecida a la de referencia, siguiendo el juego de colores de la figura 15 y 14. En esta ocasión no hay sobre picos como se tenía en el controlador PI, pero al mismo tiempo tenemos ligeramente el mismo tiempo de establecimiento, incluso parcialmente más rápido que este último. Finalmente se puede establecer que el controlador de espacios de estado tiene un mejor desempeño y respuesta para el germinador magnético.

VIII. RESULTADOS

Las semillas comenzaron a germinar a las 14 horas después de haber sido sembradas en comparación con la primera del grupo control que lo hizo en 5 días. La distribución de cantidad de plantas germinadas para el grupo experimental se muestra en la figura 7 y del grupo control en la figura 8.



FIGURA 7. Número de plantas germinadas en la cantidad día después de la siembra del grupo experimental.

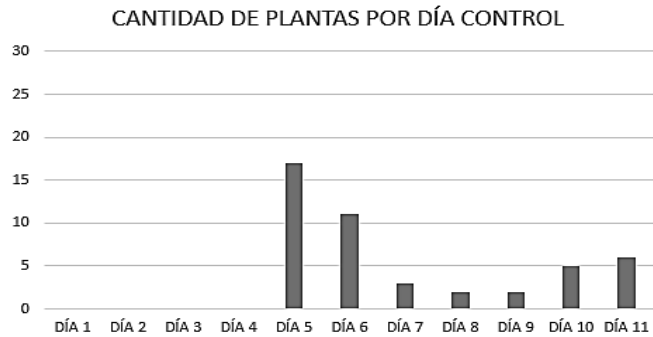


FIGURA 8. Número de plantas germinadas en la cantidad día después de la siembra del grupo control.

$$\%E = \frac{GE - GC}{GE} * 100 \quad (5)$$

La ecuación 5 representa el porcentaje de efectividad que tuvo uno de los indicadores del proyecto, la cual consiste en comprender un estimado de las ganancias obtenidas con respecto al grupo contrincante, donde GE representa los valores obtenidos del grupo experimental y GC las del grupo control.

Los datos de la figura 7 representan el grupo experimental y los datos de la figura 8 los del grupo control. Podemos comparar y evidenciar como en el grupo experimental crecieron mayor cantidad de plantas en comparación con el tiempo. Estos resultados arrojan un porcentaje de efectividad calculada con la ecuación 5; de un 41% a favor del grupo experimental en el día 5 donde hubo la mayor germinación de semilla por parte ambos grupos. Es dable indicar también que en grupo experimental crecieron todas las semillas mientras que el grupo control crecieron 46 de 50 lo que le brinda al grupo control un porcentaje de efectividad del 96%.

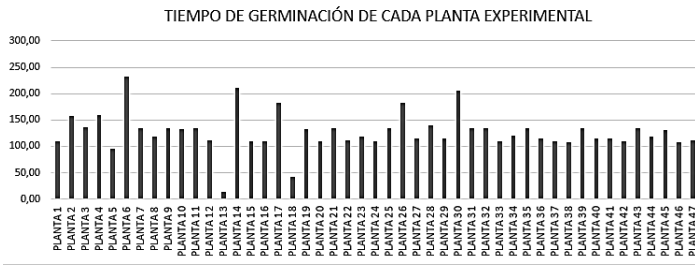


FIGURA 9. Cantidad de tiempo individualmente de cada planta del grupo experimental

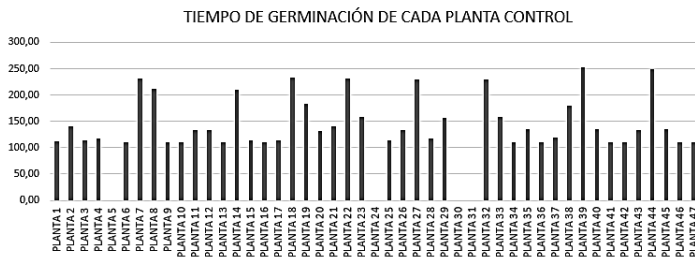


FIGURA 10. Cantidad de tiempo individualmente de cada planta del grupo control

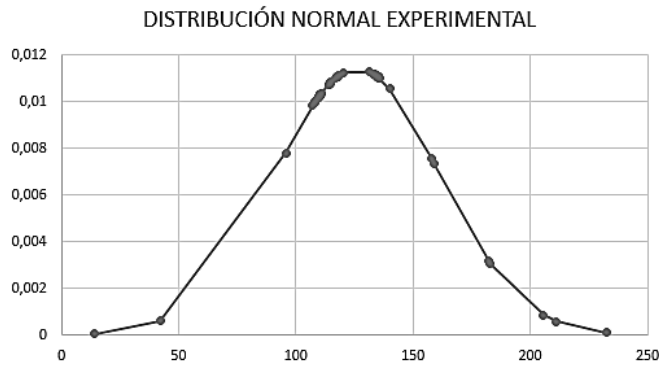


FIGURA 11. Campana de Gauss de los datos obtenidos por el tiempo de germinación de cada planta del grupo experimental.

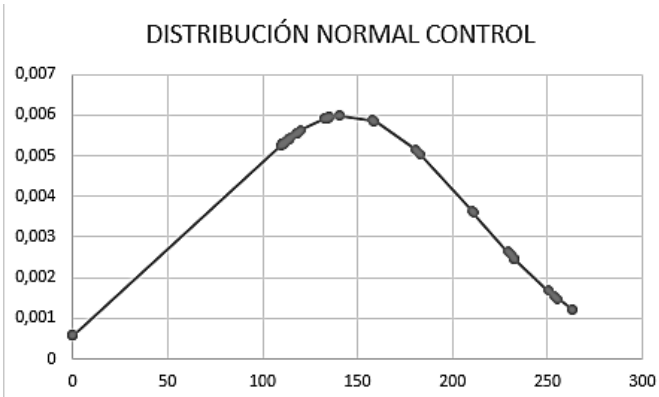


FIGURA 12. Campana de Gauss de los datos obtenidos por el tiempo de germinación de cada planta del grupo control.

Se tomaron medidas del grosor del tallo con la ayuda de un pie de rey en milímetros, en un promedio de 10 días entre medidas a cada planta.

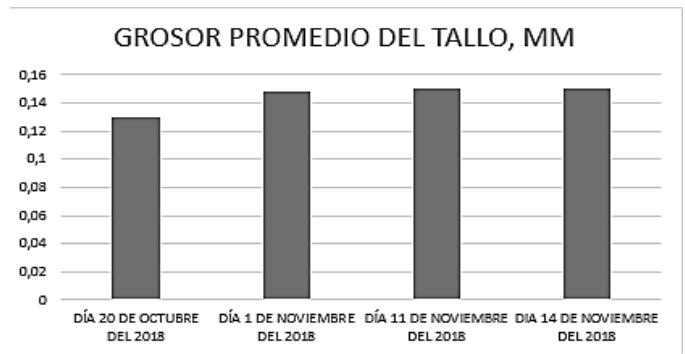


FIGURA 13. Histograma del promedio de datos del grosor de las plantas del grupo experimental.

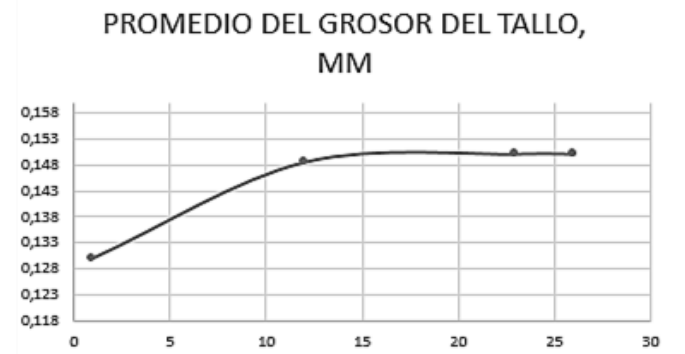


FIGURA 14. Representación gráfica del promedio de crecimiento del grosor del tallo del grupo experimental.

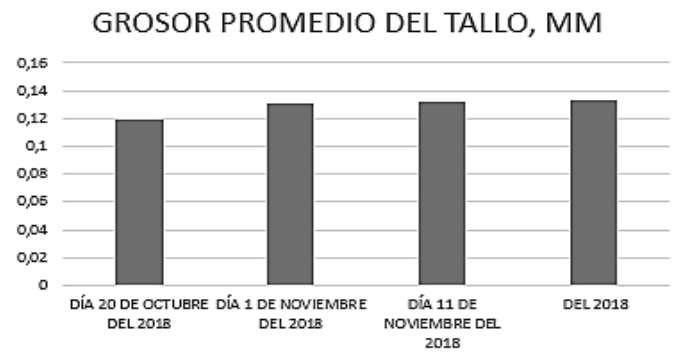


FIGURA 15. Histograma del promedio de datos del grosor de las plantas del grupo control.

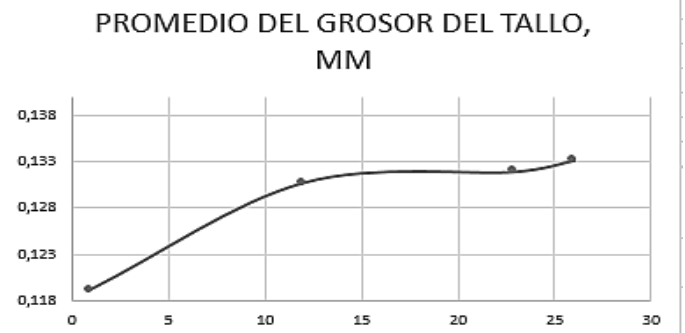


FIGURA 16. Representación del promedio de datos del grupo control.

Del grupo de datos anterior se puede destacar que el promedio de tallos del grupo experimental es levemente

superior en menos tiempo que el de control. Es justo indicar que la planta con el tallo más grueso se encuentra el grupo de control con 2 mm de ancho, siguiéndole muy de cerca el grupo experimental con 1.95 mm de ancho.

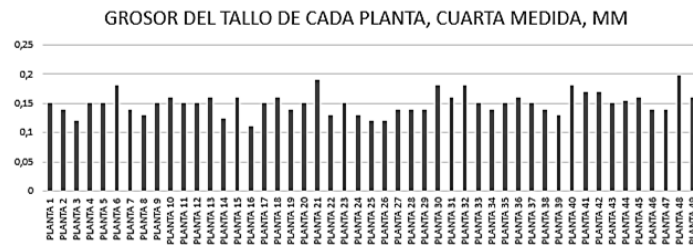


FIGURA 17. Valor individual de cada planta en milímetros del grupo experimental.

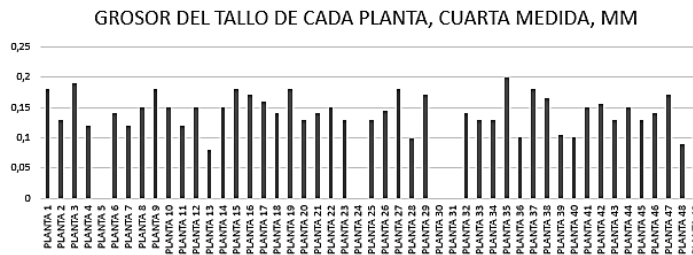


FIGURA 18. Valor individual de cada planta en milímetros del grupo control.

Como se puede evidenciar en las figuras 17 y 18, sus valores representan la última medición; del día 14 de noviembre del 2018, con la que se puede presentar un comportamiento como el de la gráfica 14 y 16.

GRAFICA DE LA DISTRIBUCIÓN NORMAL

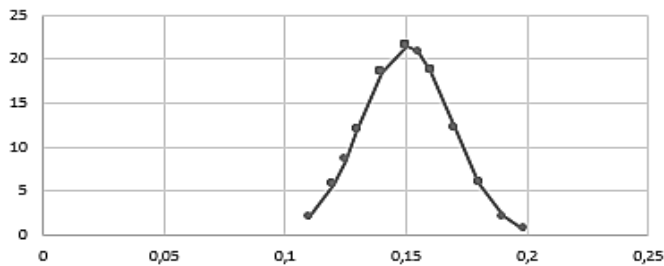


FIGURA 19. Campana de Gauss de la última medición obtenida a partir de los datos medidos del grupo experimental.

DISTRIBUCIÓN NORMAL

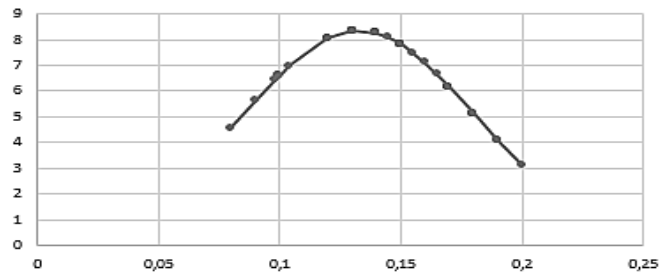


FIGURA 20. Campana de Gauss de la última medición obtenida a partir de los datos medidos del grupo experimental.

A su vez se tomó una segunda medida con un pie de rey, esta medida fue el alto de la planta en centímetros en un promedio de 10 días, registradas en Excel para ambos grupos.

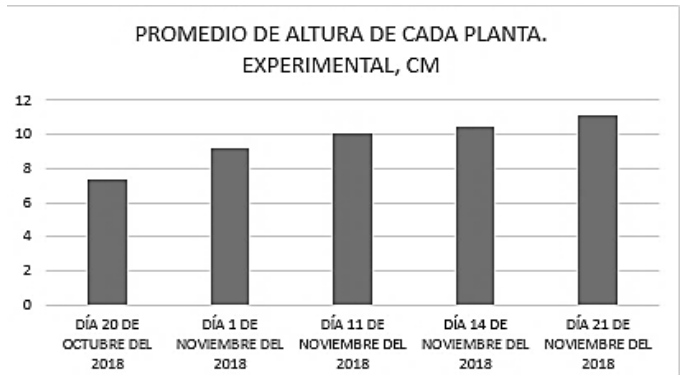


FIGURA 21. Histograma del promedio de la altura de cada planta del grupo experimental expresada en centímetros.

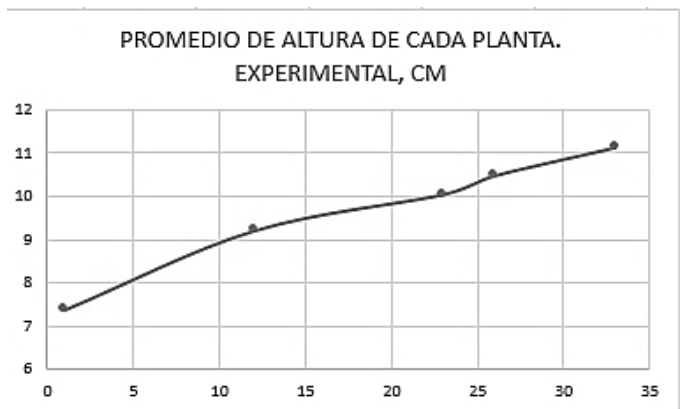


FIGURA 22. Representación gráfica de los valores promedios de la altura de cada planta en comparación con los días transcurridos entre medidas del grupo experimental.

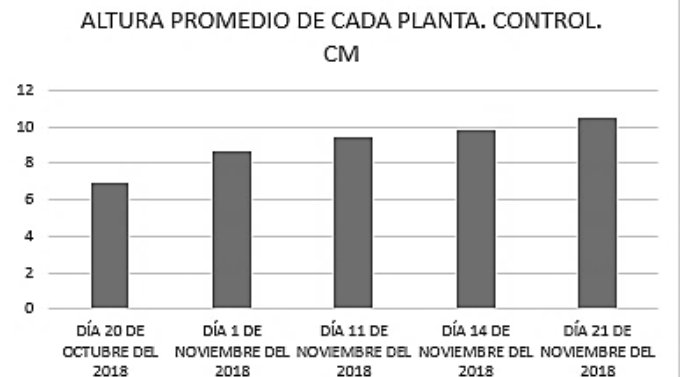


FIGURA 23. Histograma del promedio de la altura de cada planta del grupo control expresada en centímetros.

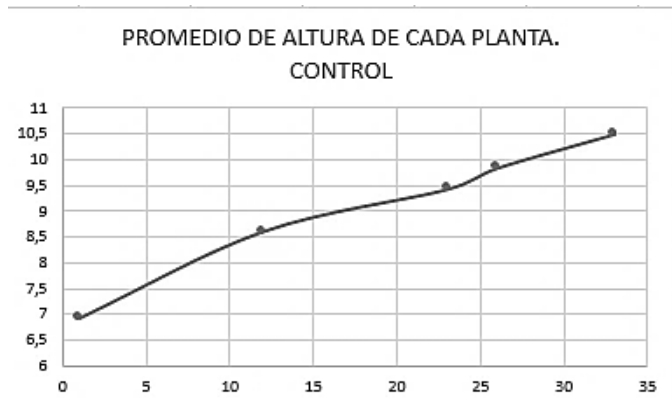


FIGURA 24. Representación gráfica de la altura promedio del grupo control.

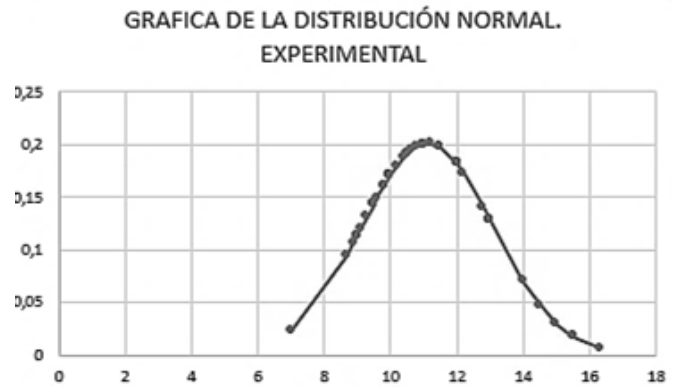


FIGURA 27. Campana de Gauss de las alturas de cada planta del grupo experimental.

Al analizar las figuras 21 y 23 nos refleja como el crecimiento promedio del grupo experimental es mucho mayor que el grupo control, sin embargo, en las gráficas posteriores a estas podemos observar un crecimiento casi similar en ambos grupos bajo las mismas condiciones. Es importante destacar que la planta más grande se encuentra en el grupo experimental con 16.3 centímetros, por otro lado, la planta más grande del grupo control fue de 14.4 centímetros. Lo que nos brinda un porcentaje de efectividad del experimento del 13%, al implementar la ecuación 5.

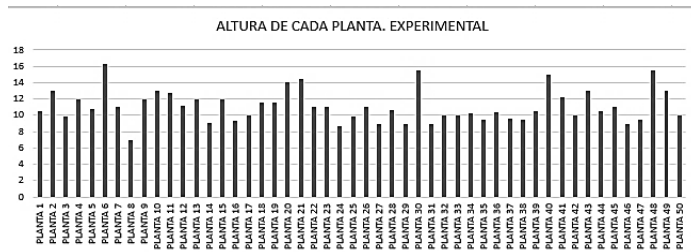


FIGURA 25. Altura de cada planta del grupo experimental del 21 de noviembre del 2018.

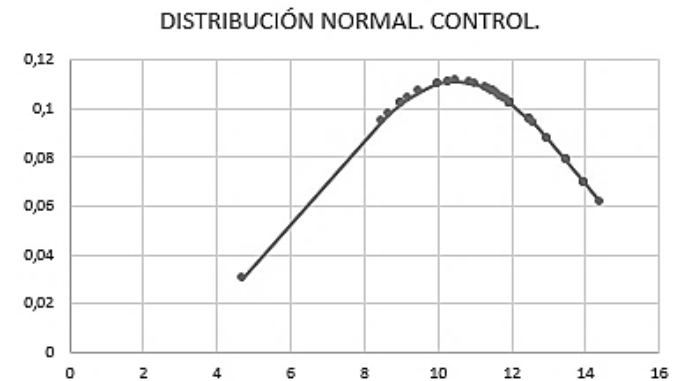


FIGURA 28. Campana de Gauss de las alturas de cada planta del grupo control.

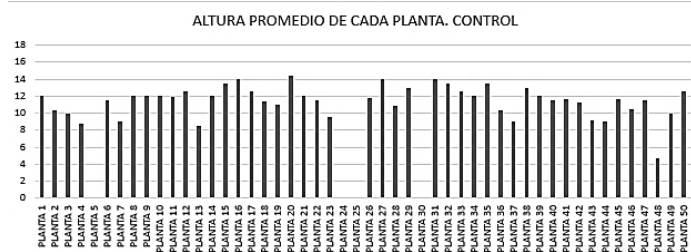


FIGURA 26. Altura de cada planta del grupo control del 21 de noviembre del 2018.

Lo que la gráfica 25 ya nos dejaba ver es un comportamiento uniforme que al llevarse a una distribución normal apoyo positivamente ese planteamiento con la gráfica 27. Por otro lado, vemos como el comportamiento del crecimiento de la altura de la planta con la figura 26 tiene desniveles y es poco homogénea, lo que al llevarse a una representación de la distribución normal solo nos muestra una gráfica totalmente desproporcional.

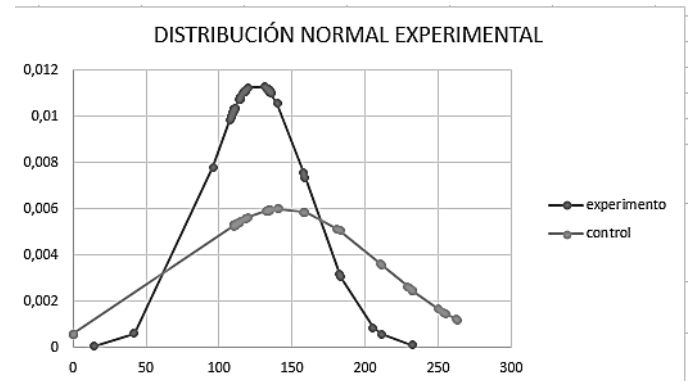


FIGURA 29. Comparación de las distribuciones normales de cada grupo con respecto al tiempo de germinación en horas.

GRAFICA DE LA DISTRIBUCIÓN NORMAL

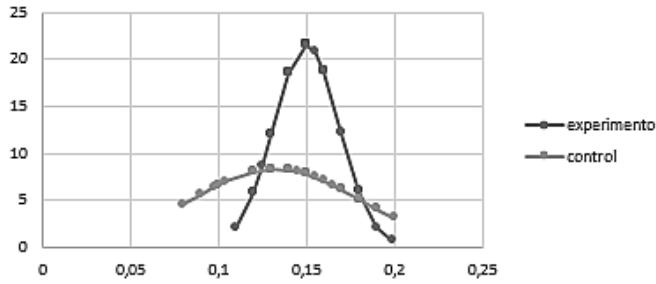


FIGURA 29. Comparación de las distribuciones normales de ambos grupos en relación con el grosor de su tallo.

GRAFICA DE LA DISTRIBUCIÓN NORMAL. EXPERIMENTAL

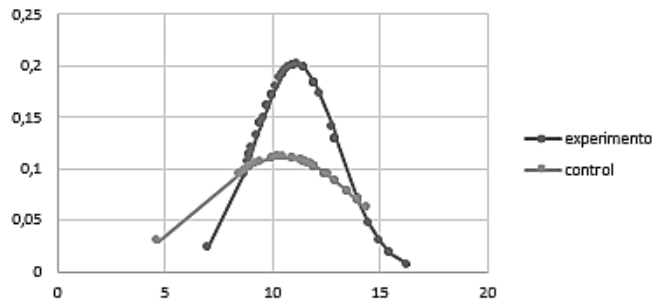


FIGURA 30. Comparación de las distribuciones normales en ambos grupos en relación con la altura de la planta.



FIGURA 31. Resultados obtenidos en la germinación de las plantas en comparación con ambos grupos.

IX. CONCLUSIONES

Cuando las semillas se ven afectas por un campo magnético superior al de la tierra éstas se ven afectadas en su desarrollo. No todas las semillas cumplen los mismos patrones de crecimiento e incluso entre la misma especie es difícil

mantener una homogeneidad en la germinación y crecimiento de la plata, puesto que ellas son extremadamente sensibles a cambios de humedad y temperatura.

Los resultados obtenidos en la germinación se pueden apreciar en la figura 31 donde el grupo experimental tuvo la mayor cantidad de germinación en el día cinco en comparación con el otro grupo para el mismo día. En la primera comparativa de histogramas se puede comprobar la cantidad de días necesarios para que el grupo control diera la primera planta en comparación del grupo experimental, finalmente la misma grafica nos indica que todas las plantas germinaron del grupo experimental ya que el grupo control solo pudo germinar el 92% de las plantas.

La comparación usada en las figuras 28, 29 y 30 nos muestran como el grupo experimental muestra un comportamiento más uniforme en relación con el grupo control el cual tiene un comportamiento valores a típicos y aleatorios. Lo que indica que el campo magnético no solo afecta el germinación y crecimiento como se puede apreciar en las figuras anteriores a las mencionadas, si no también que permite tener valores menos aleatorios al momento de su germinación y desarrollo, lo que permite tener un control de estas plantas y facilitar sus estudios.

X. BIBLIOGRAFÍA

- [1] INSST, «Gobierno de España,» Instituto nacional de seguridad y salud en el trabajo, [En línea]. Available: <https://www.insst.es/-/que-fuentes-originan-campos-electromagneticos->. [Último acceso: 29 10 2021].
- [2] M. M. Carrejo, «Biblioteca Digital Univalle,» 2013. [En línea]. Available: <https://bibliotecadigital.univalle.edu.co/bitstream/handle/10893/7756/semillas%20aji.pdf?sequence=1&isAllowed=y>. [Último acceso: 29 10 2021].
- [3] Phirke P.S.; Patil M.N.; Umbarkar S.P.; Dudhe Y.H.; Post Harvest Technology Scheme (ICAR),Akola (India, «The application of magnetic treatment to seeds: methods and responses.,» *Seed Science and Technology (Switzerland)*, vol. 24, nº 2, 1996.
- [4] C. P. V. C. L. S. L. A. C. A. D. R. O. A. S. Y.Fung Boix, «Efecto de la aplicación de un campo magnético sobre la germinación in vitro de semillas de Rosmarinus officinalis L.,» *Biotechnologia vegetal* , vol. X, nº 2, pp. 105-111, 2010.
- [5] P. R., *Efecto del tratamiento magnético del agua de riego sobre el desarrollo del cultivo de Pepino (Cucumis sativum L) y la incidencia de plagas y enfermedades.*, Santiago de Cuba. Cuba: Forum Nacional de Electromagnetismo Aplicado., 1993.
- [6] M. y. M. Carbonell, «Influencia de campos magnéticos estacionarios de 125 mT en la germinación de semillas de girasol,» *Eidenar*, vol. 3, nº 1, pp. 34-39, 2005.
- [7] A. G, «Effect of magnetic field on carboxydimutase,» *Nature 202*, pp. 452-454, 1964.
- [8] K. O. Coto, «Universidad de costa rica,» 22 7 2015. [En línea]. Available:

- <https://www.ucr.ac.cr/noticias/2015/07/22/promueven-alternativas-para-reducir-uso-de-plaguicidas.html>. [Último acceso: 29 10 2021].
- [9] M. E. A. J. C. MV, «Simulation of germination of rice (*Oryza Sativa* L.) by a stati magnetic field,» *Electro Magnetobiol*, vol. 19, pp. 121-128, 2000.
- [10] E. F. y. C. R. P. Andrés F. Restrepo, «METODOLOGÍA DE DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DE UN SISTEMA PARA GENERACIÓN DE CAMPOS MAGNÉTICOS UNIFORMES CON BOBINAS HELMHOLTZ CUADRADA TRI-AXIAL,» *Inf. Tecnol*, vol. 25, nº 2, 2014.
- [11] W. G. Fano, R. Alonso y G. Quintana, «El Campo Magnético Generado por las Bobinas de Helmholtz y sus Aplicaciones a Calibración de Sondas,» *Elektron: ciencia y tecnología en la electrónica de hoy en día*, vol. 1, nº 2, pp. 91-96, 2017.
- [12] .. L. P. B. E. R. R. O. F. E. E. R. Javier I. Atorino, «Experimentos con un sensor de efecto Hall,» *Lat. Am. J. Phys. Educ*, vol. 3, nº 3, 2009.
- [13] J. M. Gonzalez Alfaro, «Universidad Pedagógica Nacional. Biblioteca Central,» 2016. [En línea]. Available: <http://repository.pedagogica.edu.co/bitstream/handle/20.500.12209/2023/TE-19736.pdf?sequence=1&isAllowed=y>. [Último acceso: 29 10 2021].
- [14] I. Allegro MicroSystems, «DatasheetCatalog.com,» 1985. [En línea]. Available: <http://pdf.datasheetcatalog.com/datasheet/allegromicrosystems/3503.pdf>. [Último acceso: 29 10 2021].
- [15] J. E. D. y. P. A. C. C. Torres, «Efecto de campos magnéticos en la germinación de semillas de arroz (*Oryza sativa* L) y tomate,» *Agronomía Colombiana*, vol. 26, nº 2, pp. 177-185, 2008.