


Mejoras en el proceso de producción del cultivo de *Phaseolus Vulgaris* L. en Invernaderos Improvements in the production process of growing *Phaseolus Vulgaris* L. in Greenhouses

R. A. Montaña-Hernández ^a, U. A. Díaz-Contreras ^{a*}, S.B. Ramírez-Reyna ^a, G.E. Anaya-Fuentes ^a

A. Islas-Raymundo ^b

^a Área Académica de Ingeniería y Arquitectura, Universidad Autónoma del Estado de Hidalgo, 42084, Pachuca, Hidalgo, México.

^b Área de Ingeniería en agrobiotecnología, Tecnológico de Mineral de la Reforma, 42186, Hidalgo, México.

Resumen

La producción de cultivos en invernaderos se ha visto afectada a lo largo del tiempo, derivado de los factores ambientales que han ido evolucionando, junto con ello la erosión del suelo, estas variables cambian la manera en la que se produce las plantas. Esta investigación consiste en la aplicación de distintos tipos de abonos para la identificación del rendimiento y desarrollo del cultivo de *Phaseolus vulgaris* L. a nivel invernadero. Con el fin de observar cuál beneficia la producción a dicho cultivo, tomando en cuenta desde la siembra hasta la presencia de las vainas. Se aplicó composta orgánica, composta química y fertilizante comercial. Para determinar que tratamiento aporta un incremento en los nutrientes para el desarrollo. Finalmente se pretende utilizar estos recursos para el mejoramiento de las estructuras y fertilización de suelo a través de la incorporación de nutrientes, promoviendo prácticas agrícolas más sostenibles y respetuosas con el medio ambiente.

Palabras Clave: Composta, Déficit, Nutrientes, Fertilización, Vaina

Abstract

The production of crops in greenhouses has been affected over time, derived from the environmental factors that have been evolving, along with soil erosion, these variables change the way in which plants are produced. This research consisted of the application of different types of fertilizers to identify the performance and development of the *Phaseolus vulgaris* L crop at the greenhouse level. In order to observe which benefits the production of said crop, taking into account from sowing to the presence of the pods. Organic compost, chemical compost and commercial fertilizer were applied. To determine which treatment provides an increase in nutrients for development. finally, it is intended to use these resources to improve soil structures and fertilization through the incorporation of nutrients, promoting more sustainable and environmentally friendly agricultural practices.

Keywords: Compost, Deficit, Nutrients, Fertilization, Pods

1. Introducción

El sector agropecuario es fundamental para la economía mexicana, siendo el suelo un componente crucial para la producción de alimentos. Sin embargo, la degradación del suelo debido a malas prácticas agrícolas, como el uso excesivo de fertilizantes y pesticidas químicos, afecta significativamente la producción. Optimizar los sistemas de producción en entornos controlados, como invernaderos, se convierte en una prioridad para maximizar el rendimiento y la calidad de los cultivos. En este contexto, el cultivo de frijol

(*Phaseolus vulgaris* L.) emerge como una fuente vital de proteínas y nutrientes esenciales en la dieta humana.

En México, el rendimiento promedio de *Phaseolus vulgaris* L. es de 0.8 ton/ha y sólo siete estados tienen un rendimiento mayor a una ton/ha (1.5 ton/ha promedio). Estos son: Morelos, Nayarit, Michoacán, Sinaloa, Sonora, Baja California Sur y Colima. (Flores, 2016).

Investigaciones recientes evalúan la efectividad de distintos tipos de fertilizantes en invernaderos para mejorar la producción de *Phaseolus vulgaris* L. Por ejemplo, se analiza el uso de composta orgánica, composta química y fertilizantes

*Autor para la correspondencia: di360516@uaeh.edu.mx

Correo electrónico: mo435578@uaeh.edu.mx (Rolando Alli Montaña-Hernandez), di360516@uaeh.edu.mx (Ulises Adriel Díaz-Contreras), sramirez@uaeh.edu.mx (Sergio Blas Ramírez-Reyna), ganaya@uaeh.edu.mx (Gustavo Erick Anaya-fuentes), a02003962@utmit.edu.mx (Ailin Islas-Raymundo).

comerciales para determinar su impacto en el rendimiento y desarrollo del cultivo. Un estudio realizado por (Smith and Jones, 2020) encuentra que la composta química a una concentración de 20 ton/ha es el tratamiento más eficiente, mejorando significativamente la productividad de las plantas. Asimismo, (García *et al.*, 2019) demuestran que el uso de fertilizantes orgánicos no solo mejora la calidad del suelo, sino que también incrementa el rendimiento de los cultivos en un 15%.

La elección de los tipos de abonos, ya sean químicos u orgánicos, es una decisión crucial en la producción de frijol en invernadero. Los abonos químicos, compuestos por nutrientes sintéticos, se adoptan por su capacidad para proporcionar nutrientes de manera rápida y controlada. Por otro lado, los abonos orgánicos, derivados de materiales naturales como composta, estiércol y residuos vegetales, ofrecen una alternativa sostenible y respetuosa con el medio ambiente, promoviendo la salud del suelo y la biodiversidad microbiana (López et al., 2018).

Recientemente, el análisis multivariado se ha utilizado para estimar la divergencia genética, porque reduce el número de variables necesarias y simplifica el proceso de obtención de la distancia genética. (Da Silva *et al.*, 2017)

Este artículo se enfoca en analizar el impacto de diferentes tipos de abonos en la producción de *Phaseolus vulgaris* L. en invernaderos, proporcionando información valiosa para agricultores y tomadores de decisiones con el objetivo de optimizar la producción de vainas de frijol de manera eficiente, sostenible y rentable.

2. Problemática

La producción del cultivo *Phaseolus Vulgaris* L., comúnmente conocida como frijol o judía, hoy en día presenta diversas problemáticas en su producción en invernadero, entre ellas la utilización de distintos tipos de fertilizante para su crecimiento, recordando que la producción en invernadero es lineal, por lo que cualquier retraso o dificultad puede suponer una gran pérdida en la cosecha y en las ganancias.

La elección del fertilizante es crucial, ya que un desequilibrio en los nutrientes puede llevar a deficiencias o toxicidades que afecten negativamente el crecimiento de la planta. Es vital asegurar que las plantas reciban un suministro constante y equilibrado de nitrógeno, fósforo, potasio, y micronutrientes esenciales.

En la actualidad, la mayoría de las zonas aptas para la agricultura presentan problemas de salinización, ya sea por la condición natural del suelo o por acción antrópica (Quintana Blanco, 2016).

Los productores de *Phaseolus Vulgaris* L en Durango han manifestado la necesidad de incrementar el tamaño de la semilla, debido a que el valor registrado en dicha variedad (< 35 g por 100 semillas) reduce su aceptación en el mercado nacional e internacional (Rosales *et al.*, 2019)

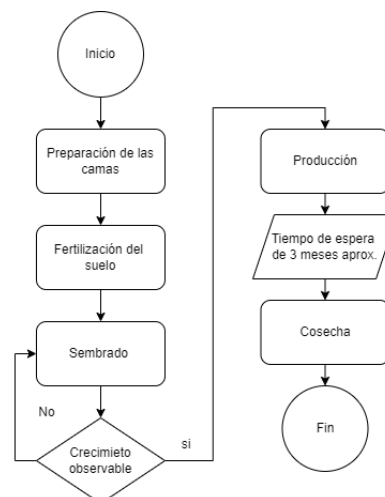


Figura 1: Diagrama del proceso del cultivo de *Phaseolus Vulgaris* L, Autoría propia.

Es por ello que el estudio se enfoca en analizar la parte de la fertilización del suelo, el cual tiene un impacto directo en la producción y la cosecha (Figura 1), junto con ello comparar el impacto de distintos tipos de abonos en el rendimiento y la calidad. Se examinan variables clave como el crecimiento vegetativo. A través de este análisis, se busca proporcionar información valiosa para los agricultores y tomadores de decisiones, con el objetivo de optimizar la producción de las vainas de frijol de manera eficiente, sostenible y rentable en sistemas de invernadero.

3. Materiales

Con el objetivo de mejorar la productividad y la calidad de las vainas, se investigan diversas estrategias de tratamiento del suelo, enfocándose en tres tipos principales: composta orgánica y química, así como el uso de fertilizantes convencionales.

Estos tratamientos representan enfoques distintos con el propósito de mejora de la fertilidad del suelo y la provisión de nutrientes esenciales para el crecimiento de las plantas.

La calidad de una semilla recibida como materia prima en una planta de acondicionamiento es vital para mantener buenos rendimientos durante el proceso (Luna, 2020).

3.1. Composta orgánica

La composta utilizada para este tratamiento proviene de estiércol bobino, de la cuenca lechera, ubicada en Tizayuca, Hidalgo.

La composición del estiércol permite realizar el composteo sin la necesidad de agregar otros insumos externos, se muestra el contenido nutrimental del tratamiento (Tabla1).

Contenido de la composta orgánica	Porcentaje (%)
Materia seca	51.52
Cenizas	31.13
Humedad	48.48
Materia Orgánica	20.4
Sodio	0.32
Azufre	0.003

Magnesio	0.64
Calcio	1.18
Potasio (K ₂ O)	2.48
Fósforo (P ₂ O ₅)	3.38
Nitrógeno	0.763

Tabla 1: *Contenido nutrimental de la composta orgánica, Autoría propia.*

3.2. Fertilizante comercial

Para este tratamiento se utiliza fertilizante genérico de origen comercial, por lo que el contenido nutrimental no varía en el mercado, cabe mencionar que su contenido es totalmente sintético. Este fertilizante cuenta con los siguientes componentes nutrimentales (Tabla 2).

Contenido del fertilizante comercial	En gramos (g)
Urea	750
DAP (Fosforo, Potasio)	750
Potasio	288

Tabla 2: *Contenido nutrimental del fertilizante, Autoría propia.*

3.3. Composta química

Esta composta proviene de la planta tratadora de aguas residuales de Atotonilco, Hidalgo, su nombre deriva por la presencia de elementos químicos, los cuales no son tan comunes de encontrar en el suelo.

Según la NOM-004-SEMARNAT-2002 (Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales., 2003), estos elementos no representan un riesgo significativo para alterar el equilibrio del ecosistema, ya que se encuentran por debajo de los límites permisibles. A pesar de su alta calidad nutrimental, sanitaria y sin problemas de metales pesados, a la fecha se encuentra confinados y sin aprovechamiento 2,000,000 de m³ de composta química (Tabla 3).

Contenido de la composta química	Parte por millón (ppm)
Fierro (Fe)	161.00
Magnesio (Mg)	794.00
Potasio (K)	767.00
Calcio (Ca)	2,749.00
Zinc (Zn)	147.00
Manganeso (Mn)	45.10
Cobre (Cu)	12.70
Boro (B)	3.28

Tabla 3: *Contenido nutrimental de la composta química, Autoría propia.*

4. Metodología

Mediante la aplicación de técnicas agrícolas se busca maximizar la productividad del cultivo *Phaseolus Vulgaris* L, asegurando las mejores condiciones para su desarrollo.

4.1. Muestreo del suelo

Antes de administrar cualquier nutriente, es crucial realizar un análisis del suelo para determinar tanto las deficiencias como los excesos de nutrientes presentes. Esto permite una

aplicación precisa, evita la sobreutilización, reduce los riesgos ambientales asociados a la contaminación y optimiza los costos de producción.

En base a lo anterior, para una buena producción los cultivos deben de extraer del suelo los nutrientes esenciales como Nitrógeno (N), Fosforo (P), Potasio (K), Calcio (Ca), Azufre (S), Magnesio (Mg) en mayores cantidades que el resto de los elementos nutritivos como los son: Zinc (Zn), Manganeso (Mn), Hierro (Fe), Cobre (Cu) y Boro (B). Para ello, se tomaron nueve submuestras del suelo del invernadero, de forma cuadrangular de acuerdo a la NOM-021-SEMARNAT-2000 (Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales, 2000), este estudio se realiza por un servicio externo donde se determina un análisis de fertilidad completa, cuantificándose los siguientes nutrientes: pH a 8.52, conductividad eléctrica de 0.633 dS/m⁴, materia orgánica 2.50%, (N) al 0.13%, (S) 395 mg/kg, (P) 70 mg/kg, (B) 0.13 mg/kg, (Fe) 24 mg/kg, (Cu) 0.3 mg/kg, (Zn) 1.5 mg/kg, (Mn) 2.7 mg/kg, (K) 4.24 mol/kg, (Ca) 4.87 mol/kg, (Mg) 6.41 mol/kg, (Na) 2.08 mol/kg, dando como resultado una fertilidad óptima.

4.2. Distribución de las camas

Se realizaron tres surcos de un metro de ancho por cinco metros de largo de manera horizontal, un surco representa una repetición de los tratamientos por aplicar, dejando un canal de separación de treinta centímetros de ancho (Figura 2). Posteriormente, se divide cada surco en diez camas, quedando con una medida de cincuenta centímetros de ancho por un metro de largo. Es decir, se realizan treinta camas en total, las cuales representan una tonelada por hectárea (ton/ha).

Para el sistema de riego, se coloca una manguera por goteo, con una separación de veinte centímetros entre agujeros, con la capacidad de proporcionar un litro de agua por hora a cada cama.

Figura 2: *Representación de la cama y sistema de riego, Autoría propia.*

4.3. Preparación del suelo

Se realizaron tres tratamientos y el testigo, para cada experimento dejando tres repeticiones, con el fin de obtener un mayor punto de comparación, confiabilidad en los resultados y disminución de errores, estos tratamientos fueron colocados en las camas previamente realizadas.

La fertilización en el cultivo de *P. vulgaris* L. y en la mayoría de los cultivos, es un factor determinante para la planta, y se debe planificar bajo un análisis físico-químico del suelo previo a la siembra (García J, 2020)

I. Testigo absoluto

En el caso del testigo absoluto solo cuenta con los nutrientes presentes en el suelo del invernadero.

En este tratamiento se representan camas a una tonelada por hectárea (Tabla 4).

Tratamiento	Camas
1 ton/ha	6

Tabla 4: Colocación del testigo absoluto, Autoría propia.

II. Fertilizante comercial

Para el fertilizante comercial, solo se aplican 18 gramos en cada cama (Tabla 5).

Tratamiento	Camas	Fertilizante comercial (g)
1 ton/ha	6	18

Tabla 5: Concentración aplicada del fertilizante, Autoría propia.

III. Composta orgánica

Se realizaron tres concentraciones diferentes en las cuales se colocaron a distintas camas, se toma en cuenta que para una tonelada se agregan 0.1 kilogramos (kg) de composta por hectárea (Tabla 6).

Tratamiento	Camas	Composta (Kg)
5 ton/ha	3	0.500
10 ton/ha	3	1.000
15 ton/ha	3	1.500

Tabla 6: Concentraciones aplicadas de la composta orgánica, Autoría propia.

IV. Composta química

Al igual que el tratamiento anterior, se realizaron tres concentraciones diferentes en las cuales se colocaron a distintas camas, se toma en cuenta que para una tonelada se agregan 0.032 kilogramos (kg) de composta por hectárea (Tabla 7).

Tratamiento	Camas	Composición química (Kg)
20 ton/ha	3	0.640
40 ton/ha	3	1.280
60 ton/ ha	3	1.960

Tabla 7: Concentraciones aplicadas de la composta química, Autoría propia.

4.4. Siembra

La siembra se lleva a cabo el 14 de febrero de 2024, utilizando la técnica de hoyo en hilera. Se realiza un hoyo de cinco centímetros de profundidad con una separación de diez centímetros entre cada hoyo, colocando así doce semillas en cada cama, dando como resultado un total de trecientas sesenta semillas sembradas en las treinta camas (Figura 3).

En la Tabla 8 se muestra la asignación de los tratamientos por cama a su concentración aplicada, esta colocación representa una repetición realizada en un surco, por lo que se realizara la misma asignación para las demás repeticiones (2 más).

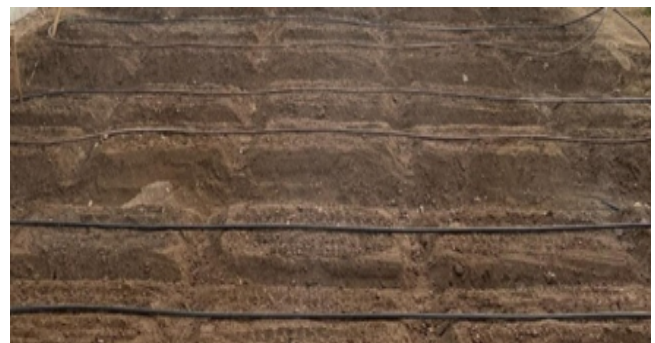


Figura 3: Siembra realizada, Autoría propia.

I. Control de humedad.

Una parte importante en el sistema de riego, es controlar el nivel de humedad, considerando que la manguera tiene la capacidad de regar un litro de agua durante una hora, un exceso de agua podría causar un estrés hídrico al cultivo, por lo cual se opta por regar cada tercer día durante cinco minutos.

II. Registro de la temperatura.

Se llevó a cabo el registro de la temperatura con la ayuda de un termómetro digital, realizándose simultáneamente al riego, cada tercer día.

5. Análisis estadístico

Treinta y cuatro días después de la siembra se observa una germinación notoria (Figura 4), las cuales dan un resultado de 164 plantas germinadas las cuales corresponden a 48 de composta química, 47 de composta orgánica, 35 de fertilizante comercial y 34 de Testigo absoluto.

Colocación de los tratamientos				
Cama 1	Cama 2	Cama 3	Cama 4	Cama 5
C. Química 1.96 Kg (60 ton/ha)	C. Química 1.28 Kg (40 ton/ha)	C. Química 1.28 Kg (40 ton/ha)	Fertilizante (0.18g)	Testigo absoluto
Cama 6	Cama 7	Cama 8	Cama 9	Cama 10
C. Orgánica 1.5 kg (15 ton/ha)	C. Orgánica 1.0 Kg (10 ton/ha)	C. Orgánica 0.5 Kg (5 ton/ha)	Fertilizante (18g)	Testigo absoluto

Tabla 8: Colocación de los tratamientos, Autoría propia.



Figura 4: Primeros brotes de germinación, Autoría propia.

5.1. Desarrollo y crecimiento de la planta.

Inicia su desarrollo desde el comienzo de la germinación, a los 3 o 7 días después ya cuenta con un sistema radicular primaria y secundaria las cuales van creciendo hacia abajo y horizontalmente (Aguilar, 2004). Catorce días después de la germinación se comienzan a medir los cotiledones, y con ello el inicio del registro.



Figura 5: Observación de los cotiledones, Autoría propia.

I. Testigo absoluto

Para realizar un cultivo con éxito, es necesario tener en cuenta algunos aspectos:

a) Tiempo de crecimiento

A medida que transcurre el tiempo, es necesario mantener un registro del crecimiento, por lo que se llevan a cabo tres mediciones a los 35, 41 y 48 días después de la siembra (Figura 6), estas mediciones se realizan de manera individual en cada planta utilizando un flexómetro.

Por cada registro, se toman en cuenta todas las plantas obtenidas en cada cama, dando como resultado total los siguientes datos: iniciando con el día 35 se registra una media de 19.02 cm y una desviación estándar de 6.51 cm, para el día 41 una media de 26.51 cm y una desviación estándar de 6.60 cm, y por último el día 48 una media de 35.73 cm y una desviación estándar de 6.22 cm.

El día 48 se tiene el mayor promedio y el rango más amplio, lo que indica un mayor crecimiento en general y una mayor variabilidad en los datos, el registro del día 35 tiene el menor promedio y la menor variabilidad, indicando un crecimiento más bajo y una consistencia relativamente mayor en los datos.

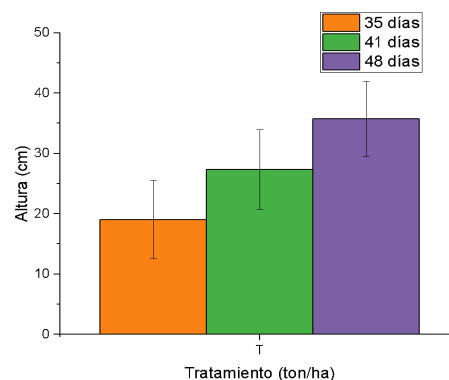


Figura 6 Gráfica del crecimiento de la planta en el Testigo absoluto, Autoría propia.

b) Altura de las plantas

Este proceso permite comprender el desarrollo del cultivo, para ello, se lleva a cabo el registro de la altura máxima de las plantas en su punto de maduración, el cual es el 01 de abril de 2024 (Figura 7), en la gráfica se puede identificar una altura máxima de 46 centímetros, mientras que la altura mínima registrada fue de 21 centímetros.



Figura 7: Gráfica de altura máxima del testigo absoluto, Autoría propia.

c) Número de vainas por tratamiento.

Una vez que se identifican los primeros brotes de las vainas, se realiza el registro quince días después, lo que permite realizar un seguimiento y evaluar el rendimiento de la siembra.

Para lograr obtener la cantidad de las vainas cultivadas, se realiza el conteo individual de cada una de ellas, dando como resultado para el cultivo donde se aplica el testigo absoluto un número total de 178 vainas.

d) Dimensiones de los vainas.

Para este punto se toma en cuenta la altura de las vainas junto con el grosor, con el propósito de obtener detalles sobre la estructura de las vainas recolectadas, lo que permite una descripción más precisa sobre su forma.

Se caracteriza por ser una vaina plana o cilíndrica de 4 a 20 cm de longitud, puede ser recta o ligeramente encorvada de color verde, amarilla o blanca, con 3 a 7 semillas por vaina (De Souza, 2016).

La altura de las vainas se registra con un vernier digital, tomándose veinte muestras aleatorias del tratamiento del testigo absoluto (Figura 8), estos datos fueron registrados en milímetros (mm). En la gráfica de la Figura 8 se muestra los resultados obtenidos de las mediciones realizadas, de las cuales se puede extraer la siguiente información: Una media de 98.38 mm, Mediana de 88.69 mm, Rango de 19.39 mm, Una varianza de 27.31 mm², y por último una desviación estándar de 5.23 mm

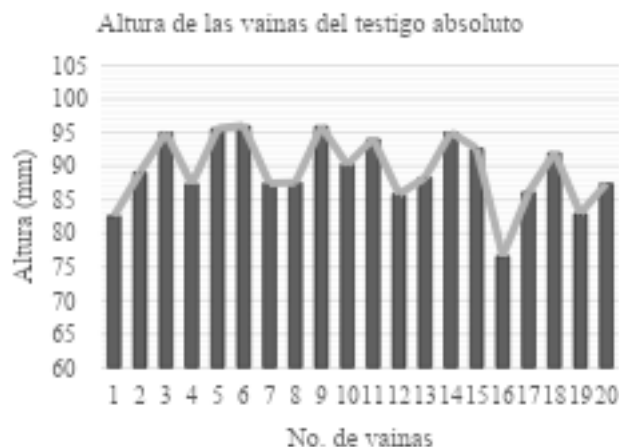


Figura 8: Gráfica de la altura de las vainas en mm.

Siguiendo con el grosor, el cual se obtiene de la misma manera que la altura, utilizando un vernier digital, se analizan las mismas veinte muestras recolectadas anteriormente (Figura 9)

En la gráfica de la Figura 9 se muestra los resultados obtenidos de las mediciones realizadas, de las cuales se puede extraer la siguiente información: Una media de 5.34 mm, mediana de 5.18 mm, rango de 3.19 mm y una desviación estándar de 0.82 mm.



Figura 9: Gráfica de la anchura de las vainas del testigo absoluto en mm, Autoría propia.

e) Peso de las vainas

Finalmente, se lleva a cabo el registro de las mediciones de los pesos. Para ello, se retoman las veinte muestras recolectadas anteriormente (Figura 14).

Con ello, se obtienen los siguientes resultados: una media de 8.49 gr, una mediana de 8.25 gr, un rango de 5.48 gr, una varianza de 2.83 gr y una desviación estándar de 1.68 gr.



Figura 9: Gráfica del peso de las vainas del testigo absoluto en gramos, Autoría propia.

II. Fertilizante comercial

Siguiendo con la recolección de los datos, se volvieron a tomar en cuenta los factores anteriormente indicados, ahora enfocados en el tratamiento del fertilizante comercial.

a) Tiempo de crecimiento

Se toma en cuenta lo realizado en el registro del crecimiento del testigo absoluto, es por ello que se llevan a cabo tres mediciones, las cuales se registran 35, 41 y 48 días después de la siembra (Figura 10).

Por cada registro, se consideran todas las plantas obtenidas en cada cama, dando como resultado total los siguientes datos: para el día 35 se registra una media de 30.65 cm y una desviación estándar de 5.01 cm, para el día 41 se obtiene una media de 22.77 cm y una desviación estándar de 4.89 cm, y para el día 48 una media de 39.08 cm y una desviación estándar de 5.29 cm.

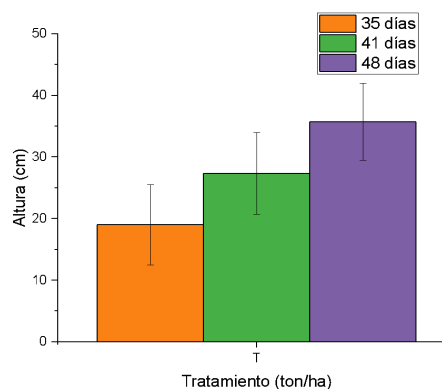


Figura 10: Gráfica del crecimiento de la planta en el Fertilizante comercial, Autoría propia.

b) Altura de las plantas

Siguiendo el mismo proceso del testigo absoluto, se lleva a cabo el registro de la altura máxima de las plantas en su punto de maduración (Figura 11). En la gráfica, se puede identificar una altura máxima de 49 cm, mientras que la altura mínima registrada es de 25 cm, dando un rango de 24 cm de diferencia entre la planta con más altura y la más pequeña, lo que indica una notable variación.



Figura 11: Gráfica de la altura máxima del fertilizante o, Autoría propia.

c) Número de vainas por tratamiento

Una vez que se identifican los primeros brotes de las vainas, se realiza el registro quince días después, lo que permite realizar un seguimiento y evaluar el rendimiento de la siembra.

Para obtener la cantidad de vainas cultivadas, se realiza el conteo individual de cada una de ellas, lo cual arroja como resultado un número total de 284 vainas en el cultivo donde se aplica el fertilizante.

d) Dimensiones de los vainas

Se tomaron veinte muestras aleatorias del tratamiento del fertilizante comercial (Figura 12).

En la gráfica se muestra los resultados obtenidos de las mediciones realizadas por vaina, de las cuales se puede extraer la siguiente información: Una media de 108.34 mm, mediana de 108.04 mm, rango de 16.61 mm y una desviación estándar de 5.35 mm.

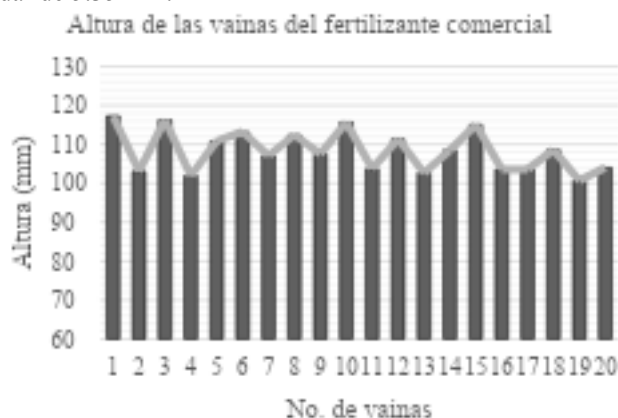


Figura 12: Gráfica de la altura de las vainas del fertilizante en mm, Autoría propia.

Se analizaron las mismas veinte muestras recolectadas anteriormente (Figura 13).

En la gráfica se muestra los resultados obtenidos de las mediciones realizadas, de las cuales se puede extraer la siguiente información: Una media de 5.83 mm, mediana de 5.99 mm, rango de 2.43 mm y una desviación estándar de 0.76 mm.

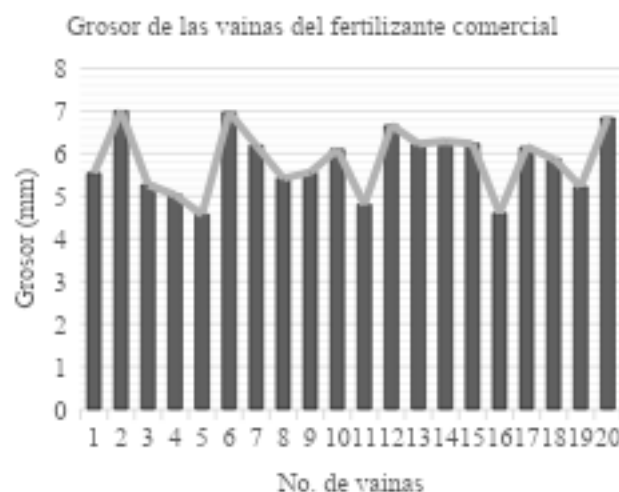


Figura 13: Gráfica del grosor de las vainas del fertilizante en mm, Autoría propia.

e) Peso de las vainas

Se realiza el registro de las mediciones de los pesos, retomando las veinte muestras recolectadas anteriormente (Figura 14).

Se obtienen los siguientes resultados: la media es de 8.49 gr, la mediana es de 8.25 gr, el rango es de 5.48 gr y la desviación estándar es de 1.68 gr.



Figura 14: Gráfica del peso de las vainas del fertilizante comercial en gramos, Autoría propia.

III. Composta orgánica

Continuando con la recolección de los datos, se volvieron a tomar en cuenta los factores anteriormente indicados, ahora enfocados en el tratamiento de la composta orgánica.

a) Tiempo de crecimiento.

Realizando el proceso anteriormente explicado en los tratamientos anteriores, se llevaron a cabo las tres mediciones correspondientes a los días 35, 41 y 48 después de la siembra (Figura 15).

Para la composta orgánica se dividieron las mediciones por tratamiento, por cada registro se tomaron en cuenta todas las

plantas obtenidas en cada cama, dando como resultado total, los siguientes datos:

Iniciando con el tratamiento de 5 ton/ha, en el día 35 se registra una media de 23.22 cm y una desviación estándar de 5.68 cm. Para el día 41 se obtiene una media de 29.55 cm y una desviación estándar de 5.77 cm. Mientras que en el día 48 se observa una media de 37 cm y una desviación estándar de 5.13 cm.

Siguiendo con el tratamiento de 10 ton/ha, en el día 35 se registra una media de 22.83 cm y una desviación estándar de 4.08 cm. Para el día 41 se obtiene una media de 29.83 cm y una desviación estándar de 3.41 cm. En el día 48, se observa una media de 36.22 cm y una desviación estándar de 3.09 cm.

Y por último se realiza el registro del tratamiento de 15 ton/ha. En el día 35 se registra una media de 22.94 cm y una desviación estándar de 4.25 cm. Para el día 41 se obtiene una media de 29.05 cm y una desviación estándar de 4.13 cm. En el día 48, se observa una media de 36.05 cm y una desviación estándar de 3.17 cm.

En la Figura 14 se muestra la comparación gráfica donde se observa cómo cambia la desviación estándar en todos los tratamientos, destacándose más en la composta de 5 ton/ha. Por otro lado, las concentraciones de 10 y 15 ton/ha se mantienen constantes.

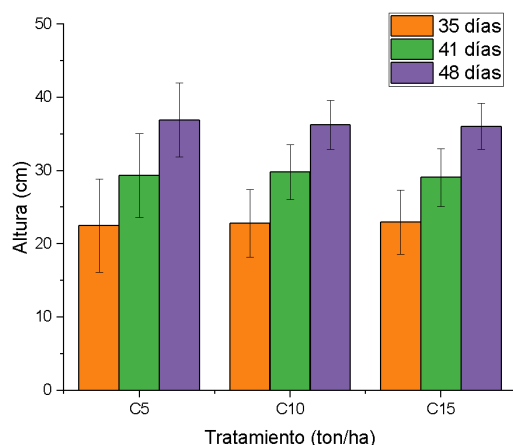


Figura 15: Gráfica del crecimiento de las plantas con composta orgánica dividida por concentraciones, Autoría propia.

b) Altura de las plantas

Siguiendo el mismo proceso realizado en los tratamientos anteriores, se lleva a cabo el registro de la altura máxima de las plantas en su punto de maduración. En la Figura 16 se observa el registro de las tres diferentes concentraciones, mostrando la altura máxima y mínima para cada uno de los tratamientos. Para el tratamiento de 5 ton/ha, se registra una altura máxima de 42 cm y una altura mínima de 28 cm; para el tratamiento de 10 ton/ha, se registra una altura máxima de 41 cm y una altura mínima de 31 cm; y para el tratamiento de 15 ton/ha, se registra una altura máxima de 40 cm y una altura mínima de 30 cm.

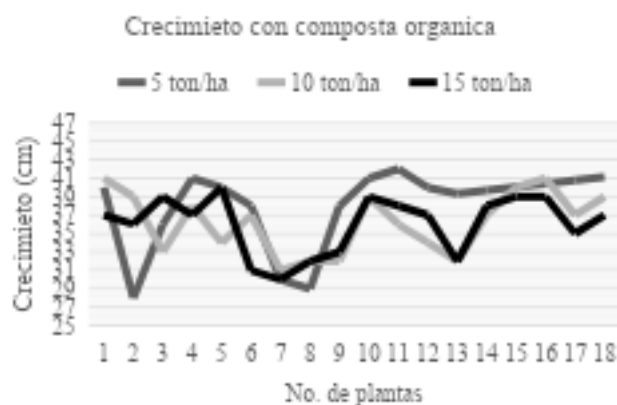


Figura 16: Gráfica de la altura máxima de la composta orgánica, Autoría propia.

c) Número de vainas por tratamiento

Para obtener la cantidad de vainas cultivadas, se realiza el conteo individual de cada una de las concentraciones aplicadas, dando como resultado los siguientes datos:

Para el cultivo donde se aplica una concentración de 5 ton/ha se registra un número total de 183 vainas.

En el cultivo con una concentración de 10 ton/ha se registra un número total de 188 vainas.

En el cultivo con una concentración de 15 ton/ha se registra un número total de 187 vainas.

d) Dimensiones de los vainas

En la Figura 17 se muestran los resultados obtenidos de las mediciones realizadas por vaina, de las cuales se puede extraer la siguiente información de cada una de las concentraciones aplicadas: Para la concentración de 5 ton/ha se obtuvo una media de 97.94 mm, mediana de 100.01 mm, rango de 31.24 mm y una desviación estándar de 7.70 mm. Siguiendo con la concentración de 10 ton/ha se obtiene una media de 109.89 mm, mediana de 110.20 mm, rango de 19.38 mm y una desviación estándar de 5.63 mm. Finalmente, la concentración de 15 ton/ha se obtuvo una media de 101.47 mm, mediana de 101.06 mm, rango de 23.09 mm y una desviación estándar de 6.80 mm.

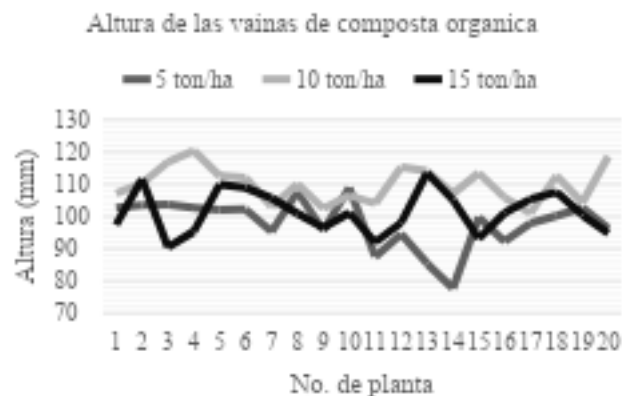


Figura 17: Gráfica de la altura de las vainas con las concentraciones de composta orgánica en mm, Autoría propia.

En cuanto al grosor, se muestran los resultados obtenidos de las mediciones realizadas, de los cuales se puede extraer la siguiente información: Para la concentración de 5 ton/ha se registra una media de 5.12 mm, mediana de 4.92 mm, rango de 3.29 mm y una desviación estándar de 1.05 mm. En la concentración de 10 ton/ha se registra una media de 5.94 mm, mediana de 5.86 mm, rango de 2.14 mm y una desviación estándar de 0.70 mm. En la concentración de 15 ton/ha se registra una media de 6.04 mm, una mediana de 6.17 mm, un rango de 2.14 mm y una desviación estándar de 0.66 mm.

Grosor de las vainas de la composta orgánica

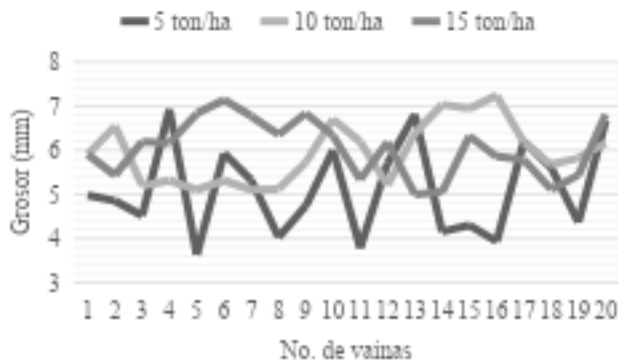


Figura 18: Gráfica del grosor de las vainas con las concentraciones de composta orgánica en mm, Autoría propia.

e) Peso de las vainas

Se lleva a cabo el registro de las mediciones de los pesos individuales de cada una de las vainas (Figura 19). Con ello, se obtienen los siguientes resultados: iniciando con la concentración de 5 ton/ha, la media es de 5.99 gr, la mediana es de 5.86 gr, el rango es de 6.95 gr y desviación estándar es de 2.28 gr. Continuando con la concentración de 10 ton/ha, la media es de 9.22 gr, la mediana es de 8.81 gr, el rango es de 8.01 gr y la desviación estándar es de 1.21 gr. Con la concentración de 15 ton/ha, la media es de 7.73 gr, la mediana es de 7.88 gr, el rango es de 11.70 gr y la desviación estándar es de 2.49 gr.

Peso de las vainas del fertilizante comercial

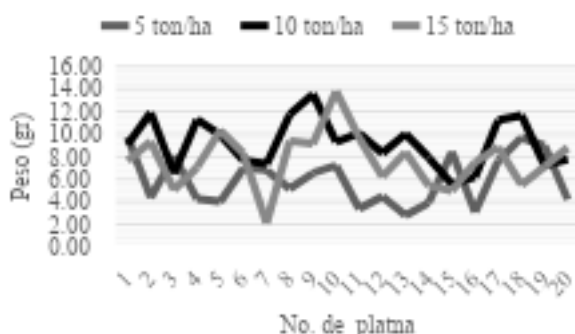


Figura 19: Gráfica del peso de las vainas con la composta orgánica en gramos, Autoría propia.

IV. Composta química

Continuando con la recolección de los datos, se volvieron a tomar en cuenta los factores anteriormente indicados, ahora enfocados en el tratamiento de la composta química.

a) Tiempo de crecimiento

Realizando el proceso anteriormente explicado en los tratamientos anteriores, se llevan a cabo las tres mediciones correspondientes a los días 35, 41 y 48 después de la siembra (Figura 20). Iniciando con el tratamiento de 20 ton/ha, en el día 35 se registra una media de 28.70 cm y una desviación estándar de 1.36 cm. Para el día 41, se obtiene una media de 37.80 cm y una desviación estándar de 1.19 cm. Además, en el día 48, la media es de 50.80 cm y la desviación estándar es de 2.84 cm. Siguiendo con el tratamiento de 40 ton/ha, en el día 35 se registra una media de 28.20 cm y una desviación estándar de 1.91 cm. Para el día 41, la media es de 34 cm y la desviación estándar es de 3.34 cm. También, en el día 48, la media es de 43.90 cm y la desviación estándar es de 2.37 cm. Por último, se lleva a cabo el registro del tratamiento de 60 ton/ha. En el día 35, la media es de 26.80 cm y la desviación estándar es de 1.81 cm. Para el día 41, la media es de 34 cm y la desviación estándar es de 3.13 cm. Finalmente, en el día 48, la media es de 36.5 cm y la desviación estándar es de 1.80 cm.

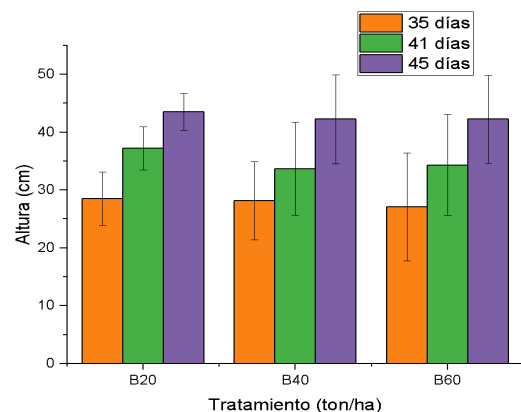


Figura 20: Gráfica del crecimiento de las plantas con composta química dividida por concentraciones, Autoría propia.

b) Altura de las plantas

Siguiendo el mismo proceso realizado en los tratamientos anteriores, en la Figura 21 se puede identificar el registro de las tres diferentes concentraciones. Para el tratamiento de 20 ton/ha se registra una altura máxima de 55 cm y una altura mínima de 46 cm. En el caso del tratamiento de 40 ton/ha, se obtiene una altura máxima de 46 cm y una altura mínima de 40 cm. Para el tratamiento de 60 ton/ha, se registra una altura máxima de 39 cm y una altura mínima de 34 cm.

Crecimiento con composta química

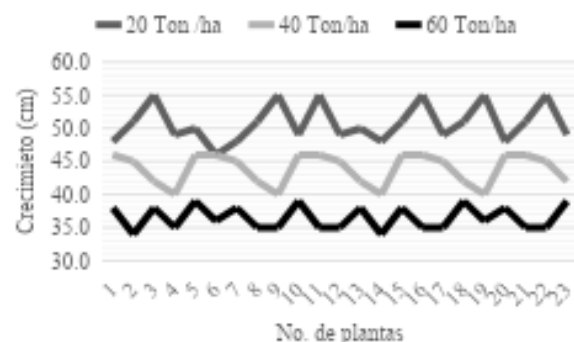


Figura 21: Gráfica de la altura máxima de la composta química dividida en concentraciones o, Autoría propia.

c) Número de vainas por tratamiento

Para lograr obtener la cantidad de las vainas cultivadas, se realiza el conteo individual de cada una de las concentraciones aplicadas, dando como resultado los siguientes datos: para el cultivo donde se aplicó una concentración de 20 ton/ha se registró un número total de 320 vainas. Siguiendo con el cultivo donde se aplicó una concentración de 40 ton/ha se registró un número total de 210 vainas. Para el cultivo donde se aplicó una concentración de 60 ton/ha se registró un número total de 110 vainas.

d) Dimensiones de los vainas

En la Figura 22 se muestran los resultados obtenidos de las mediciones realizadas por vaina. De cada una de las concentraciones aplicadas, se obtuvo la siguiente información: Para la concentración de 20 ton/ha, la media es de 122.67 mm, la mediana es de 123.17 mm, el rango es de 23.65 mm y la desviación estándar es de 6.89 mm. Para la concentración de 40 ton/ha, la media es de 117.90 mm, la mediana es de 118.38 mm, el rango es de 37.39 mm y la desviación estándar es de 9.69 mm. Para la concentración de 60 ton/ha, la media es de 100.57 mm, la mediana es de 99.36 mm, el rango es de 28.68 mm y la desviación estándar es de 7.83 mm.

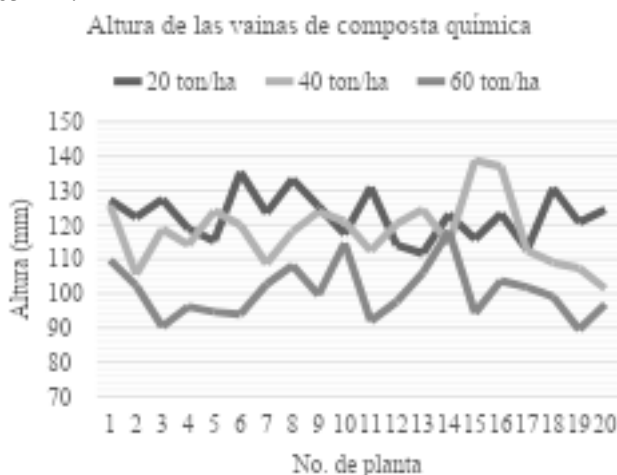


Figura 22: Gráfica de la altura de las vainas con las concentraciones de composta química en mm, Autoría propia

Siguiendo con el grosor, el cual se obtuvo de la misma manera que la altura, en la Figura 23 se muestran los resultados obtenidos de las mediciones realizadas, de las cuales se puede extraer la siguiente información: Para la concentración de 20 ton/ha se registra una media de 6.84 mm, una mediana de 6.72 mm, un rango de 2.16 mm y una desviación estándar de 0.56 mm. Continuando con la concentración de 40 ton/ha, se registra una media de 6.18 mm, una mediana de 6.07 mm, un rango de 2.06 mm y una desviación estándar de 0.56 mm. Para la concentración de 60 ton/ha, se registra una media de 5.58 mm, una mediana de 5.57 mm, un rango de 3.66 mm y una desviación estándar de 1.08 mm.

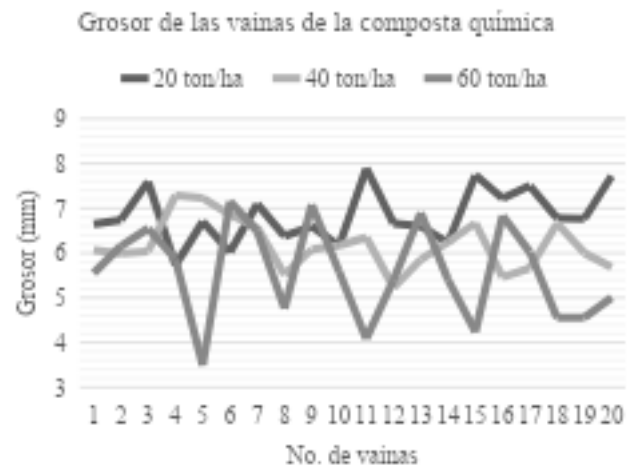


Figura 23: Gráfica del grosor de las vainas con las concentraciones de composta química en mm, Autoría propia

e) Peso de las vainas

Se lleva a cabo el registro de las mediciones de los pesos individuales de cada una de las vainas con la ayuda de una báscula, para ello se retoman las veinte muestras recolectadas anteriormente (Figura 24). Con ello se obtienen los siguientes resultados: iniciando con la concentración de 20 ton/ha con una media de 10.22 gr, una mediana de 10.17 gr, un rango de 10.09 gr y una desviación estándar de 2.77 gr. Siguiendo con la concentración de 40 ton/ha con una media de 12.20 gr, una mediana de 11.85 gr, un rango de 7.18 gr y una desviación estándar de 2.29 gr. Con la concentración de 60 ton/ha con una media de 7.83 gr, una mediana de 7.40 gr, un rango de 7.48 gr y una desviación estándar de 2.11 gr.

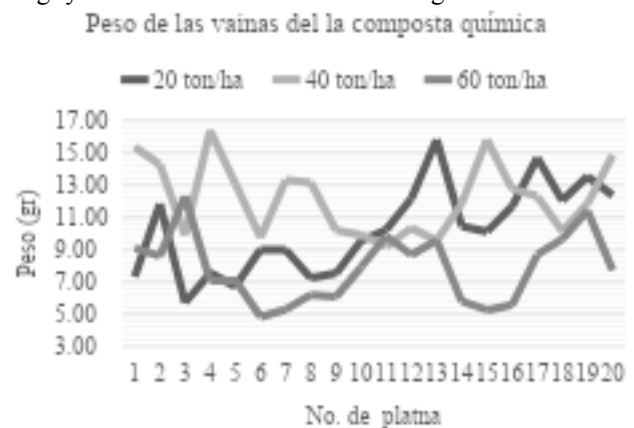


Figura 24: Gráfica del peso de las vainas con la composta química en gramos, Autoría propia

6. Comparación de los resultados

Esta fase permite identificar patrones y tendencias; además, también ayuda a evaluar la efectividad de diferentes enfoques y métodos aplicados. No solo busca resaltar similitudes y diferencias, sino también profundizar en la comprensión de las posibles aplicaciones en su producción en masa.

Una vez identificados los resultados individuales de cada tratamiento aplicado, se procede a realizar su comparación, enfocada en dos tipos de escenarios en prospectiva (Recordando que estos son narrativas o representaciones de

posibles futuros que se construyen a partir de diferentes combinaciones de variables).

Se contempla el escenario optimista el cual toma en cuenta el caso que todo salga mejor de lo que se espera y condiciones que favorecen el mejor resultado posible, mientras que el otro escenario que se utiliza es el pesimista el cual se basa en las condiciones que conducen al peor resultado posible. En este escenario los factores se desarrollan de manera desfavorable y nos muestran los casos en los que no se cumplen los objetivos planteados.

1.1. Registro de la temperatura

La medición de la temperatura ayuda a determinar las condiciones en las que se lleva a cabo el experimento, registrando la siguiente información: una media de 33.60 °C, mientras que la temperatura que más frecuentemente que se registra en el invernadero es de 34 °C. Esto indica que, aunque la temperatura promedio es 33.60 °C, el valor de 34 °C es el más comúnmente observado. Finalmente, un rango de 5°C indica que hay una variación relativamente moderada en las temperaturas registradas.

El rendimiento se relaciona, de manera positiva, con la temperatura del aire en la fase de crecimiento de emergencia a floración y de manera negativa durante la fase de floración a cosecha (Maquieira L *et al.*, 2021).



Figura 25: Registro de temperatura en el invernadero, Autoría propia.

1.2. Desarrollo vegetativo

Este punto se refiere al crecimiento y desarrollo de la parte no reproductiva de una planta, como lo es la altura.

Iniciando con de los resultados obtenidos de la medición de altura máxima, se compara los mejores resultados obtenidos de cada tratamiento, en el caso de la composta organiza y química, se selecciona la concentración con mejores resultados, podemos observar que los resultados de los tratamientos fueron los siguientes: Iniciando con la composta química con una concentración de 20 ton/ha se registró una altura de 55 cm, siguiendo con el tratamiento del fertilizante se registró una altura de 49 cm, y por último el tratamiento de la composta organiza con una concentración de 5 ton/ha se registró una altura de 42 cm.

Estos resultados se comparan contra el testigo absoluto el cual obtuvo un resultado de 46 cm, recordando que para este tratamiento no se le añade ningún tipo de abono para su crecimiento, sirviendo como indicador para medir el nivel de mejora. Con la composta química con una concentración de 20 ton/ha se identifica una diferencia de 9 cm, mostrando una mejora del 20%. Mientras que para el fertilizante la diferencia es de 3 cm, lo que indica un crecimiento del 7% y por último

la composta orgánica refleja una diferencia de -3 cm, es decir, tiene una deficiencia del 9% en comparación al testigo absoluto.

Ahora se puede identificar el mejoramiento del proceso del crecimiento vegetativo en base a los porcentajes obtenidos de la comparación del testigo absoluto y los diferentes tratamientos aplicados, mostrando como el mejor resultado la composta química con una concentración de 20 ton/ha, dando una mejora el 20%, indicando ser el escenario más optimista, mientras que el peor resultados obtenido fue el de la composta orgánica con una concentración de 5 ton/ha, mostrando una pérdida del 9%, siendo este el escenario pesimista.

1.3. Calidad de las vainas

Para este punto se realiza la comparación de los mejores resultados obtenidos de las vainas recolectadas en cada tratamiento contra los obtenidos del testigo absoluto el cual nos sirve como indicador.

I. Número de vainas recolectadas

Iniciado con el número de vainas recolectadas en el testigo absoluto fueron de 178 vainas en total, mientras que para el fertilizante fue de 284 vainas dando una mejora del 60%. Para la composta orgánica y química se tomó en cuenta la concentración con mejores resultados, para la composta orgánica fue 10 ton/ha obtenido 188 vainas mostrando una mejora del 6% y para la composta química fue de 320 vainas indicando un aumento del 80% siendo este el escenario optimista, mientras que el tratamiento de las 10 ton/ha con un 6% de aumento se muestra como el escenario pesimista.

II. Altura de las vainas

Para la altura de las vainas se compara el promedio obtenido de las mediciones de cada tratamiento (Los resultados se registran en milímetros), utilizando como indicador el resultado obtenido en el tratamiento del testigo absoluto.

Iniciando con tratamiento anteriormente mencionado, se muestra un promedio de 89.38 mm, el fertilizante obtuvo un promedio de 108.34 mm lo que muestra una mejora del 21%.

Para las compostas orgánicas y químicas se selecciona la concentración con los mejores resultados. Para la composta orgánica con una concentración de 10 ton/ha se obtiene un promedio de 119.89 mm, lo que indica una mejora del 23% y para la composta química con una concentración de 20 ton/ha se obtiene un promedio de 122.67 mm siendo este el mejor resultado con una mejora del 37% en comparación de los demás tratamiento, posicionándose como el escenario optimista para, mientras que el fertilizante fue el que obtuvo los resultados más bajos que los demás tratamientos con abonos aplicados, siendo este el escenario pesimista.

III. Grosor de las Vainas

Continuando con el grosor de las vainas, y de igual manera utilizando el tratamiento del testigo absoluto como indicador para medir la mejora de las vainas, los datos se obtienen en milímetros para reducir el margen de error que pudiera existir.

El testigo absoluto registra un promedio de 5.34 mm de grosor, El fertilizante indica un promedio de 5.83 mm dando una mejora del 9%. Siguiendo con las compostas orgánicas y químicas, se seleccionan las concentraciones con mejores resultados, La composta orgánica con una concentración de

15 ton/ha muestra un promedio de 6.04 mm mostrando un 13% de mejora, y por último la composta química con una concentración de 20 ton/ha tiene un promedio de 6.84 mm con una mejora del 28% siendo este el mejor resultado obtenido en comparación a los demás tratamientos, posicionándose como el escenario optimista, mientras que el escenario pesimista se lo lleva el fertilizante con una mejora de solo el 9%.

IV. Peso de las vainas

Se realiza la comparación de los datos obtenidos del peso de las vainas (estos datos se recolectan en gramos), comenzando con el promedio obtenido del testigo absoluto con 6.24 gr, el fertilizante muestra un promedio de 8.49 gr con una mejora del 36%. Para la composta se toman en cuenta los mejores resultados de cada concentración, la composta orgánica con una concentración de 10 ton/ha se registra un promedio de 9.22 gr con una mejora del 48%, la composta química con una concentración de 20 ton/ha muestra un promedio de 12.20 gr con una mejora del 95% siendo este el mejor resultado en comparación a los demás tratamientos, mostrándose como el escenario optimista, mientras que el resultado más bajo fue el fertilizante con tan solo una mejora del 36% mostrándose como el escenario pesimista.

2. Conclusiones

Los aspectos que analiza en esta investigación muestran que la adición de abonos resulta ser benéfico para la producción y desarrollo del cultivo de *Phaseolus vulgaris* L. sin embargo lograr identificar las concentraciones ideales es un gran reto, ya que cada aplicación puede tener reacciones distintas a las esperadas.

Por lo que se refiere al uso de la composta orgánica y composta química, se hace ver como una herramienta esencial para optimizar la producción en el área de la agricultura, siempre y cuando se controle la cantidad aplicada y los factores externos como lo es la temperatura y la frecuencia de riego. Con ello se identifica un patrón en el tratamiento de la composta química a una concentración de 20 ton/ha con respeto a la calidad de las vainas, ya que, en los tres factores analizados, muestra los mejores resultados en base los promedios obtenidos, ya que en comparación al testigo absoluto muestran una mejora considerable.

Estos resultados sugieren que la composta química posee propiedades que contribuyen significativamente al crecimiento y la productividad de las plantas en un corto periodo de tiempo, ya que con la misma duración de periodo los demás tratamientos no logran destacar de la misma manera que lo hizo la composta química a 20 ton/ha.

Recalcando que con la misma cantidad de agua se obtuvieron mejores resultados.

Sin embargo, se tiene que llevar un control de las dosis aplicadas, ya que se demuestra que un exceso de nutrientes puede traer efectos contrarios a los que se buscan.

Teniendo en cuenta lo anterior, se establece que la composta química a una concentración de 20 ton/ha es el tratamiento más eficiente en el experimento ya que arroja excelentes resultados a comparación de los demás. El testigo absoluto fue el indicador para demostrar la mejora del

proceso y a pesar que suelo del invernadero contara con los nutrientes necesarios, sus niveles de germinación y desarrollo de la planta fueron inferiores, por lo que se aplicara la composta química con la concentración mencionada para futuras siembras.

Referencias

- Aguilar, O. M., Riva, O., & Peltzer, E. (2004). *Analysis of Rhizobium elti and of its Symbiosis with Phaseolus vulgaris Supports Coevolution in Centers of Host Diversification*. Proceedings of The National Academy of Sciences of the United States of America, PNAS, 1101(37), 13548-13553. <https://doi.org/10.1073/pnas.0405321101>.
- Da Silva F. A., A. M. Corrêa, P. E. Teodoro, K. V. Lopes and C. C. G. Corrêa (2017). *Genetic divergence in the common bean (Phaseolus vulgaris L.) in the Cerrado-Pantanal ecotone*. Genetics and Molecular Research 16:gmr16019570, <https://doi.org/10.4238/gmr16019570>
- De Souza, E. M., Bassani, V. L., Sperotto, R. A., & Granada, C. E. (2016). *Inoculation of Ne Rhizobial Isolates Improve Nutrient Uptake and Growth of Bean (Phaseolus vulgaris) and Arugula (Eruca sativa)*. J Sci Food Agric, 96, 3446-3453.
- Flores, M. L. (2016). *El cultivo del frijol en México*. Revista Digital Universitaria. Vol. 16, No. 2. <https://www.revista.unam.mx/vol.16/num2/art09/>
- García, J. N. M. (2020). *El cultivo de frijol (Phaseolus vulgaris L.) como un modelo de producción agrícola en la vereda Mercadillo del municipio de Guavatá*. Universidad de La Salle Facultad de Ciencias Agropecuarias Ingeniería agronómica. https://ciencia.lasalle.edu.co/cgi/viewcontent.cgi?article=1163&context=ingenieria_agronomica.
- García, P., Hernández, M., & Ruiz, J. (2019). *Efecto de los fertilizantes orgánicos en el rendimiento de Phaseolus vulgaris L.* Journal of Agricultural Research, 12(3), 45-58.
- Lopez, A., Méndez, R., & Ortega, F. (2018). *Impacto de los abonos orgánicos en la salud del suelo y biodiversidad microbiana*. Revista de Agroecología, 10(2), 22-35.
- Luna, C. A. M. (2020). *Evaluación de calidad física y fisiológica de dos variedades de frijol (Phaseolus vulgaris L.) cosechadas en las épocas de primera y postrera*. Escuela Agrícola Panamericana, Zamorano Honduras. <https://bdigital.zamorano.edu/server/api/core/bitstreams/706cfa5-7a3d-47a6-920a-4146fed123bc/content>
- Maqueira-López, L. A., Roján-Herrera, O., Solano-Flores, J., Santana-Ges, I. M., & Fernández-Márquez, D. (2021). *Productividad del frijol (Phaseolus vulgaris L.). Parte I. Rendimiento en función de variables meteorológicas*. Cultivos tropicales, 42(3). http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0258-59362021000300007.
- Quintana Blanco, W. A., Universidad Pedagógica y Tecnológica de Colombia, Pinzón Sandoval, E. H., Torres, D. F. (2016). *Evaluación del crecimiento de frijol (Phaseolus vulgaris L.) cv. Ica Cerinza, bajo estrés salino*. Revista Udc Actualidad & Divulgación Científica, 19(1), 87–95. <https://doi.org/10.31910/rudca.v19.n1.2016.113>
- Rosales S., Flores G., Cynthia A., Ortiz-Sánchez. (2019). *Rendimiento y calidad de grano en líneas mejoradas de frijol cultivadas bajo riego en durango, México*. Fitotec. Mex. Vol. 42, 8. <https://revfitotecnia.mx/index.php/RFM/article/view/12/5>
- Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales (SEMARNAT). (2000). NOM-021-SEMARNAT-2000: Que establece las especificaciones de fertilidad, salinidad y clasificación de suelos. Estudio, muestreo y análisis. Diario Oficial de la Federación.
- Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales (SEMARNAT). (2002). NOM-004-SEMARNAT-2002: Protección ambiental - Lodos y biosólidos - Especificaciones y límites máximos permisibles de contaminantes para su aprovechamiento y disposición final. Diario Oficial de la Federación.
- Smith, J., & Jones, K. (2020). *Evaluación de la composta química en la producción de Phaseolus vulgaris L. en invernaderos*. Sciences Review, 15(1), 12-25