

Biología Nivel Medio

Efecto biofertilizante del porcentaje de materia orgánica constituida por los residuos de la cáscara de *Musa paradisiaca* sobre la longitud total y la biomasa fresca en el cultivo de *Phaseolus vulgaris* L.

¿Cuál es el efecto biofertilizante del porcentaje de materia orgánica (0, 2.5, 3.5, 4.5 y 5.5 %) constituida por los residuos de la cáscara de *Musa paradisiaca* sobre la longitud total y la biomasa fresca en el cultivo de *Phaseolus vulgaris* L.?

Cantidad de palabras: 3994

Índice

Introducción.....	4
Objetivos.....	5
General:	5
Específicos:.....	5
Hipótesis	6
Longitud total.	6
Biomasa fresca.....	6
Longitud total y biomasa fresca.....	6
Marco teórico.....	7
Antecedentes.....	7
Necesidades nutricionales del suelo para el cultivo de <i>P. vulgaris L.</i>	8
Propiedades funcionales de <i>Musa paradisiaca</i> como biofertilizante	8
Función de K en fertilizantes.....	9
Materiales y método	10
Materiales	10
Área de estudio	11
Procedimientos	12
Preparación de las cáscaras.....	12
Preparación y composición de los tratamientos.	12
Selección y tratamiento de la muestra	13
Diseño experimental	13
Método de recolección de datos	14
Tratamiento estadístico de los datos	15
Variables controladas y no controladas	16

Controladas.....	16
Variables no controladas.	17
Aspectos de seguridad, éticos y ambientales.....	18
Resultados y Discusión.....	19
Evaluación del método	29
Conclusiones.....	30
Recomendaciones para futuras investigaciones	31
Aplicaciones	31
Referencias	32
Apéndice A.....	39
Apéndice B- Tablas de datos brutos.....	41

Introducción

Frente al rápido aumento de la población mundial, el manejo de los residuos sólidos es un tema que preocupa a los distintos gobiernos. En Costa Rica, por ejemplo, un 55% de los desechos producidos anualmente, corresponden a residuos orgánicos (Ministerio de Salud, 2016). Por lo tanto, se ha fomentado la búsqueda de métodos de reciclaje alternativos para el tratamiento de dichos desechos. Aun así, el estudio sobre el uso de estos residuos como materia prima para biofertilizantes, es reducido. Sin embargo, este método podría ser de gran beneficio a los agricultores, ya que estos deben comprar fertilizantes químicos, que, en su mayoría, son costosos.

Por ello, siendo el banano uno de los cultivos de mayor producción en el país, los desechos que producen, como su cáscara, son un contaminante común en ciertos ambientes. A raíz de lo anterior, se propone evaluar el uso de las cáscaras de banano de la especie *Musa paradisiaca* como un biofertilizante que impulse el crecimiento de cultivos, tales como: *Phaseolus vulgaris*, *Zea mays* o *Manihot esculenta*, semillas de siembra común entre los productores independientes del país.

Las cáscaras de banano aportan potasio, fósforo y nitrógeno, nutrientes esenciales para el crecimiento de cualquier planta. Es por ello que surge la pregunta: ¿Cuál es el efecto biofertilizante del porcentaje de materia orgánica (0, 2.5, 3.5, 4.5 y 5.5 %) constituida por los residuos de la cáscara de *Musa paradisiaca* sobre la longitud total y la biomasa fresca en el cultivo de *Phaseolus vulgaris* L.?

Por lo tanto, la importancia de este trabajo recae en la posibilidad de ofrecer a los agricultores una alternativa de utilizar los residuos de cáscaras de banano para incrementar la productividad del cultivo del frijol. Similarmente, el ambiente se verá favorecido con la reducción

de estos residuos sólidos, implicando una disminución del impacto ecológico provocado por la acumulación de estas cáscaras.

Dicho lo anterior, las razones que justifican esta investigación es la ayuda a los agricultores de la zona de Guápiles, Pococí, Limón, al igual que la producción de nuevo conocimiento agrícola relevante sobre el uso cáscaras de banano como biofertilizante.

Objetivos

General:

Evaluar el efecto biofertilizante del porcentaje de materia orgánica constituida por los residuos de la cáscara de *Musa paradisiaca* sobre la longitud total de la plántula y la biomasa fresca en el cultivo de *Phaseolus vulgaris* L.

Específicos:

- Determinar las necesidades nutricionales que requiere la planta de *Phaseolus vulgaris* L.
- Explicar las propiedades funcionales de la cáscara de *Musa paradisiaca* como biofertilizante para el suelo.
- Analizar si la longitud de las raíces y la biomasa fresca de las plantas de *Phaseolus vulgaris* L. presentan variaciones entre los distintos porcentajes de materia orgánica constituida por los residuos de la cáscara de *Musa paradisiaca*.
- Evaluar que la cáscara de *Musa paradisiaca* favorece el crecimiento de la planta de *Phaseolus vulgaris* L.

Hipótesis

Longitud total.

Nula (H_0): El porcentaje de materia orgánica constituida por los residuos de la cáscara de *Musa paradisiaca* **no** tiene efecto sobre la longitud total de la plántula de *Phaseolus vulgaris* L.

Alternativa (H_1): El porcentaje de materia orgánica constituida por los residuos de la cáscara de *Musa paradisiaca* **sí** tiene efecto sobre la longitud total de la plántula de *Phaseolus vulgaris* L.

Biomasa fresca.

Nula (H_0): El porcentaje de materia orgánica constituida por los residuos de la cáscara de *Musa paradisiaca* **no** tiene efecto sobre la biomasa fresca de *Phaseolus vulgaris* L.

Alternativa (H_1): El porcentaje de materia orgánica constituida por los residuos de la cáscara de *Musa paradisiaca* **sí** tiene efecto sobre la biomasa fresca de *Phaseolus vulgaris* L.

Longitud total y biomasa fresca.

Nula (H_0) El porcentaje de materia orgánica constituida por los residuos de la cáscara de *Musa paradisiaca* **no** tiene efecto sobre la longitud total y la biomasa fresca de *Phaseolus vulgaris* L.

Alternativa (H_1): El porcentaje de materia orgánica constituida por los residuos de la cáscara de *Musa paradisiaca* **sí** tiene efecto sobre la longitud total y la biomasa fresca de *Phaseolus vulgaris* L.

Marco teórico

Antecedentes

En el 2018, Wazir, Gul, y Hussain, estudiaron el efecto de distintos biofertilizantes sobre el crecimiento de la papa y el guisante. Encontraron que **las cáscaras de banano** son efectivas como biofertilizante para estos cultivos. Lo anterior, es una prueba inicial sobre el uso sustentable de residuos orgánicos como fertilizantes. Aun así, el estudio no contempla distintos niveles de concentración, ni la especie de banano de utilizado, representando una oportunidad de investigación para este trabajo.

Asimismo, Chantal, et al. (2019), estudiaron el efecto de fertilizantes potásicos sobre el crecimiento del frijol (*Phaseolus vulgaris*), concluyendo que el potasio (K) en cantidades moderadas, potencia la altura del frijol y la longitud de la raíz. Lo anterior, resalta las necesidades potásicas del frijol, las cuales podrían ser solventadas con las propiedades inherentes de las cáscaras de banano.

Por otro lado, Mego (2018) estudió el efecto que se obtuvo del uso de la cáscara de banano *Musa balbisiana* como biofertilizante en el cultivo de *Vigna unguiculata* (frijol chichayo). En su método, el aplicó las cáscaras directamente al suelo, y esperó 2 semanas para su posterior uso, y concluyó que las cáscaras no presentaban un efecto biofertilizante en ese cultivo. Cabe señalar que las especies de ambas plantas utilizadas por Mego difieren de las utilizadas en esta investigación. Aun así, debido a la escasez de investigación sobre este tema, esta fuente es una referencia valiosa para el trabajo.

Necesidades nutricionales del suelo para el cultivo de *P. vulgaris* L

Phaseolus vulgaris, conocido comúnmente como frijol, es una planta anual originaria de Mesoamérica que presenta un sistema radical desarrollado y de crecimiento rápido, además de presentar una semilla con forma generalmente globosa; es una planta termófila, y, por lo tanto, requiere temperaturas entre 15 °C y 27 °C para un desarrollo vegetativo óptimo (FAO, 2018; Mateus, 2020; Sistema Nacional de Vigilancia y Monitoreo de plagas [SINAVIMO], s.f.). Asimismo, este cultivo demanda una gran cantidad de nitrógeno (N) y potasio (K) para su desarrollo (FAO, s.f.; Hernández, 2009), por lo que los agricultores deben comprar fertilizantes químicos que suplan estas necesidades.

Propiedades funcionales de *Musa paradisiaca* como biofertilizante

Musa paradisiaca, comúnmente llamado plátano, es una planta herbácea-perenne producida en países tropicales y subtropicales. Además, su cultivo alcanza un 15% de la producción mundial de frutas (Vargas et al., 2018). Por lo tanto, debemos considerar **el manejo de los desechos** que se generan durante su producción y consumo. Actualmente, han surgido estudios que exploran diversos usos de los residuos de *Musa paradisiaca*, como: elaboración de plásticos biodegradables (García y Sánchez, 2021; Marlon et al. 2021), absorbente de arsénico y plomo en aguas (Brito y Vera, 2018; Chalco, 2018; Monsalve y Pairazaman, 2020), y, como biofertilizante para distintos cultivos (Haji et al., 2020; Ultra et al., 2005).

Las cáscaras de *M. paradisiaca* tienen propiedades químicas que las hacen funcionales como fertilizante. Por ejemplo, este desecho biodegradable contiene altas cantidades de N, fósforo (P) y, principalmente, K, macronutrientes necesarios en el **crecimiento radical** (Shin, 2014; Vinicio et al., 2002) y la **biomasa** de la planta (Hernández et al., 2009). Entiéndase por biomasa “la fracción biodegradable de los productos (...) agrarias (incluidas las de origen

vegetal)”(Herguedas y Taranco, 2012, p. 4). En general, se observa que la cáscara de *M. paradisiaca* representa una opción ecológica para potenciar la presencia de potasio en los cultivos.

Función de K en fertilizantes

K es un macronutriente crucial para el crecimiento de las plantas. Marschner (Marschner, 2011) indica que "la deficiencia de potasio redujo significativamente la turgencia, el tamaño de las células y el área foliar en las hojas en expansión de las plantas de frijol" (p.183), por lo que la expansión celular en plantas está relacionada con la concentración de K. Asimismo, varios estudios (Cedeño, 2017; Chantal et al., 2019; Dreyer, 2021; Hernández et al., 2009; Mustaqim et al., 2018; Shin, 2014; Vitra, 2020; Wang et al., 2013) señalan su papel como inhibidor de diferentes enfermedades en plantas. A pesar de su importante papel para el cultivo, “la disponibilidad de potasio suele ser limitada en los campos agrícolas y, por tanto, el rendimiento y la calidad de las cosechas se ven reducidos” (Shin, 2014, p. 575), en consecuencia, surge una demanda en el uso de fertilizantes con potasio para mitigar los efectos de la insuficiencia de K.

Materiales y método

Materiales

- 5 cubetas con las dimensiones 37.6 cm (± 0.1 cm) de alto, y ± 32.0 cm (± 0.1 cm) de diámetro.
- 2 kg (± 0.1 kg) de cáscara de banano *Musa paradisiaca*
- 15 kg (± 0.1 kg) de tierra.
- 1 atomizador de 1 L (± 0.1 L)
- 1 balanza electrónica (± 0.01 g) Rybakov®.
- 1 balanza electrónica (± 1.0 g)
- 1000 semillas de *Phaseolus vulgaris L.*
- 30 L de agua desionizada.
- 5 bandejas para almácigos con 250 hoyos de
- 1 procesador de alimentos marca BLACK+DECKER, modelo #FP1700B, con dimensiones: 10.7 x 17.3 x 7.48 pulgadas.
- 1 recipiente hermético de vidrio
- 1 regla de 30cm (± 0.1 cm)
- 1 cuchillo y 1 tabla de cortar
- 2 bolsas de plástico con las dimensiones:
- 9 x 4m (± 0.1 m) Sarán al 80% de porosidad
- 3x6m (± 0.1 m) plástico polietileno transparente; 0,15 mm de espesor; 70-75% de luminosidad
- Marcador permanente

Área de estudio

La presente una **investigación experimental** con un enfoque **cuantitativo**, se realizó en el distrito de Guápiles, perteneciente al cantón de Pococí, ubicado en la provincia de Limón, Costa Rica. Guápiles se halla ubicado a unos 268 msnm, en las coordenadas 10°13'08.3"N y 83°47'49.2"W. Asimismo, presenta un clima tropical húmedo con temperaturas que oscilan entre 22 °C a 31°C¹, y precipitaciones que van desde los 3500 a más de 4500 mm al año (Molina et al., 2001) el cual es apto para la siembra de *P. vulgaris*.

Se construyó un invernadero de 2,50m de altura, 3,0m de largo y 2,60m de ancho (figura 2). Las paredes norte, este y sur se cubrieron con sarán, el cual es una malla “que protege de efectos causados por (...) climas variados, (...) es utilizada en la agricultura para la protección de cultivos”

(Mazariegos, 2019). Asimismo, se colocó una cubierta de plástico polietileno para la exposición a luz solar, ya que es necesario para el crecimiento de la plántula. Finalmente, el gradiente de concentración se encuentra en dirección este-oeste.

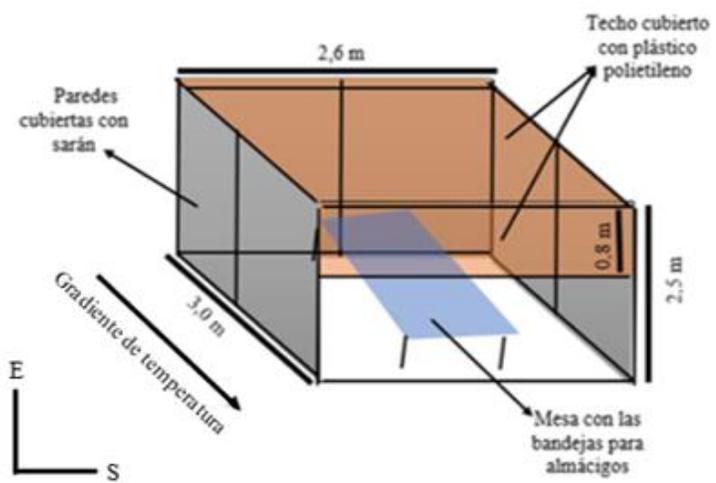


Figura 2. Diagrama de invernadero utilizado para la siembra de las semillas *Phaseolus vulgaris* L.

¹ Los datos de temperatura de obtuvieron de <https://es.weatherspark.com/y/16161/Clima-promedio-en-Gu%C3%A1piles-Costa-Rica-durante-todo-el-a%C3%B1o>

Procedimientos

Se realizó un plan piloto inicial para comprobar la efectividad del método, al igual que la estructura del invernadero. Se sembraron 50 semillas de *Phaseolus vulgaris* L. en bandejas de germinación y se utilizaron 5 tratamientos a base de trozos de cáscara de *M. paradisiaca*. Se obtuvo que los trozos eran muy grandes para las bandejas, y la humedad de las cáscaras provocó la propagación de un hongo. Se realizaron los ajustes pertinentes al método, y, a continuación, se presentan los procedimientos utilizados:

Preparación de las cáscaras.

Las cáscaras de *M. paradisiaca* fueron cortadas en trozos de $\approx 5,0 \times 4,0$ cm (± 0.1 cm) utilizando un cuchillo y tabla de corte. Luego, sobre bolsas plásticas, se tendieron al sol para realizar el método de secado (véase Apéndice). El tiempo de exposición al sol fue de 8hrs (inicio de 9 AM-5 PM). Se realizó un secado al sol con el propósito de disminuir la humedad de las cáscaras (Hussein et al., 2019; Mustaqim et al., 2018). Posteriormente, se trituran en el procesador de alimentos, y se almacenan en un recipiente hermético.

Preparación y composición de los tratamientos.

Con una balanza, se rellenaron 5 cubetas con 3.0 kg (± 0.1 kg) de tierra obtenida del área de estudio, rotulando cada cubeta del T1 al T5. Después, se mezclaron las cáscaras en cada cubeta, de acuerdo con los niveles especificados, tal como lo muestra la tabla 1. Se seleccionaron dichos niveles debido a que, según Molina et.al (2001) los porcentajes de K de la zona de estudio (5.10%), **no supe las necesidades del suelo agrícola**. Por lo tanto, se eligió un rango que evite generar un desbalance en el ecosistema de la zona, pero fomente el crecimiento de los cultivos.

Tabla 1

Composición y preparación de los diferentes tratamientos según la materia orgánica constituida por los residuos de la cáscara de *Musa paradisiaca* empleado en este estudio

Tratamiento (%)	Composición
T1 (Control; 0%)	0 g \pm 0.01 g de cáscaras mezcladas en 3kg \pm 0.1 kg de tierra.
T2 (2.5%)	75 g \pm 0.01 g de cáscaras mezcladas en 3kg \pm 0.1 kg de tierra.
T3 (3.5%)	105 g \pm 0.01 g de cáscaras mezcladas en 3kg \pm 0.1 kg de tierra.
T4 (4.5)	135 g \pm 0.01 g de cáscaras mezcladas en 3kg \pm 0.1 kg de tierra.
T5 (5.5%)	165 g \pm 0.01 g de cáscaras mezcladas en 3kg \pm 0.1 kg de tierra.

Selección y tratamiento de la muestra

Se utilizaron 1000 semillas de *Phaseolus vulgaris* L. con el propósito de tener una mayor representatividad muestral. Los criterios para la selección de las semillas son: a) seleccionar semillas completas, b) descartar semillas que tuviesen alguna marca de plaga o daños por el sol, y c) seleccionar semillas que tengan un tamaño estándar (1.5-2 cm \pm 0.1 de longitud). Luego, se dejaron reposar en agua destilada por 12 hrs, para aumentar la tasa de germinación (Mun et al., 2019).

Diseño experimental

Las semillas fueron distribuidas mediante un Diseño de Bloques Completamente Aleatorio (DBCA), ya que “Este diseño es utilizado cuando el (...) invernadero (...) presentan una fuente de variabilidad conocida, factible de evaluar y de deducir el error experimental” (Gabriel et al., 2017). En esta ocasión, la fuente de variabilidad fue la gradiente de temperatura.

Las 1000 semillas fueron distribuidas en los 5 tratamientos de estudio, con 5 repeticiones; cada repetición tenía 40 semillas en total. Se sembraron en bandejas de germinación, siendo una semilla por agujero. **La experimentación duró 7 días.**

Se realizó un muestreo aleatorio simple, donde se usaron 2 bolsas (A y B): Cada una con 5 papelitos; A indica el tratamiento (T1, T2, T3...), y B, indica la posición dentro del bloque que se esté organizando (1°, 2°, 3°...). Se selecciona un papelito al azar en ambas bolsas, y se coloca el respectivo tratamiento y posición dentro del bloque. Además, debido a que “Los tratamientos se alojan al azar en forma independiente **dentro de cada bloque** [negritas añadidas]”(Gabriel et al., 2017) , este proceso se repite en los 5 bloques. Por ejemplo, si se están distribuyendo los tratamientos del Bloque IV, y de la bolsa A obtuvimos “T5”, y de la bolsa B: “2°”, significa que en la 2° posición del Bloque IV se utilizará el tratamiento T5.

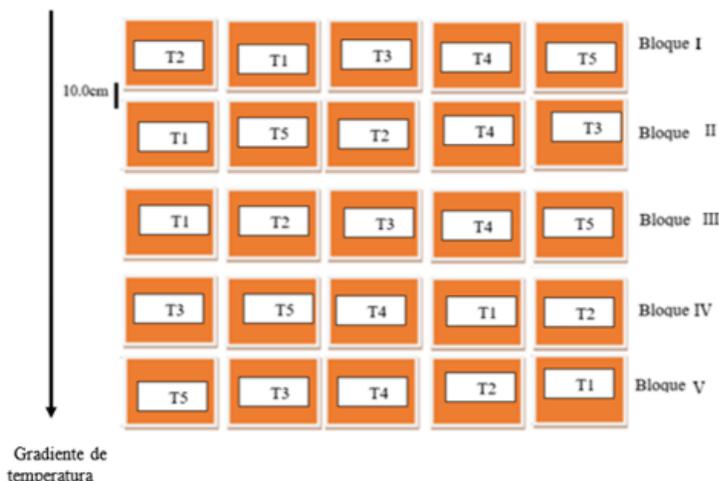


Figura 1. Diagrama de distribución de tratamientos mediante un Diseño de Bloques Completamente Aleatorio

Método de recolección de datos

Tras 7 días de germinación, y considerando el efecto borde, se midieron solo las plántulas del centro de la bandeja de germinación, por lo que se registraron 16 de las 40 sembradas. Se mide con una regla 30.0cm ±0.1 cm la longitud total de la plántula, y, para medir la biomasa fresca, se utilizó una balanza electrónica ±0.01g. Los datos fueron anotados en Excel.

Tratamiento estadístico de los datos

Mediante el software estadístico InfoStat ® y SPSS versión 25, con un $\alpha= 0.05\%$, elegido arbitrariamente; se realizó la prueba de rachas ($p>0.05$) para comprobar el supuesto de aleatoriedad, al igual que la prueba Kolmogórov-Smirnov ($p>0.05$) para comprobar el supuesto de normalidad. Luego, se realizó la prueba de Levene ($p>0.05$) para verificar el supuesto de homocedasticidad de los datos, al igual que la prueba Box para comprobar la homocedasticidad entre las matrices de covarianzas de las variables. El diseño experimental aleatorio se usó para cumplir con el supuesto de interdependencia de los datos. Todo lo anterior, para realizar el análisis múltiple de varianza (MANOVA), el cuál busca “evaluar hipótesis concernientes a la varianza de los desempeños grupales en dos o más variables dependientes cuantitativas” (Dallas, 2000, como se citó en Avendaño, Avendaño, Cruz y Cárdena, 2014). Posteriormente, se realizó la Prueba Post Hoc Games-Howell, puesto que al haber “determinado que existen diferencias entre las medias, (...) post hoc permiten determinar qué medias difieren” (Scientific European Federation Osteopaths, 2019, p. 1). Finalmente, se realizan Q-Q Plot, diagramas de dispersión, gráficos de barras, y box plot para observar el comportamiento de los datos.

Variables controladas y no controladas

Controladas.

Tabla 2

Razón de control, método y plan de emergencia para las variables controladas.

Variable	Razón de control	Método de control	Plan de emergencia
Profundidad de siembra (cm)	La semilla puede estar presionada por la tierra y no se da la germinación.	Utilizando una regla, se midió de la superficie del sustrato una profundidad de 2.0 cm \pm 0.1 cm	Si la plántula germina de manera adecuada, a pesar de sembrarse a mayor o menor profundidad, se debe evaluar si es o no descartada como dato.
Tipo de semilla	Asegurar que las semillas sean de la misma procedencia para aumentar la fiabilidad del trabajo	Se seleccionaron semillas de la misma procedencia.	Los datos no serán fiables y se deberá repetir el tratamiento o replantar la pregunta de investigación.
Distancia entre cada bandeja de germinación (cm)	Separar las bandejas puede evitar la propagación de enfermedades u hongos entre los tratamientos.	Utilizando una regla se separan las bandejas a una distancia de 10.0 cm (\pm 0.1 cm) entre ellas.	Si existe una propagación de hongos en varios tratamientos, se debe evaluar su procedencia y determinar si se vuelve a realizar el experimento, o si serán incluidos en el análisis de datos como muestras perdidas.
Tipo de agua utilizada	El agua no esterilizada puede contener macro y micro elementos que alteren los resultados, poniendo en duda la replicabilidad del experimento.	Se utilizó agua desionizada porque no contiene ni micro ni macroelementos que puedan alterar la composición de las semillas.	Se debe realizar un estudio de agua, o realizar una investigación sobre los componentes presentes en el agua y mencionarlo en el trabajo.
Aireación	La transpiración de las plantas aumenta la humedad del invernadero, lo que podría causar una proliferación de hongos mediante esporas (como <i>P. aphanidermatum</i> , <i>U. phaseoli</i>)	No se cubre la parte oeste del invernadero con sarán	Retirar el plástico de polietileno del techo por unos minutos para que el vapor acumulado sea liberado, luego volver a colocarlo en su lugar.

Tabla 3

Razón de control, método y plan de emergencia para las variables controladas. Continuación.

Variable	Razón de control	Método de control	Plan de emergencia
Velocidad del viento (km/h)	El viento puede transportar microorganismos, propagar enfermedades que afecten el cultivo.	Uso de sarán en las paredes para reducir la velocidad del viento.	Si se dio la propagación de una enfermedad, se debe evaluar si anular el experimento, o utilizar esos resultados.

Variables no controladas.

Tabla 4

Razón de no control y posibles efectos de las variables no controladas sobre el experimento.

Variable	Razón de no control	Posibles efectos
Cambios climáticos	El área presenta un clima tropical muy húmedo, con variaciones en temperatura, precipitaciones, humedad, y radiación solar; variables difíciles de controlar.	Las lluvias constantes aumentan la humedad. Asimismo, la radiación solar afectaría la tasa de fotosíntesis de las semillas.
Humedad del aire (%)	No se contaba con los instrumentos necesarios para medir dicha variable dentro del invernadero, y tampoco para controlarla.	Esta variable indica a las estomas de las plantas si abrirse o cerrarse, por lo que influye en el crecimiento de la planta.
Nutrientes y microorganismos del suelo	No hubo análisis de suelo, por lo que no se conoce con certeza las condiciones de este.	Desconocer el estado del suelo interfiere con la replicabilidad de la investigación, al igual que puede influir en los resultados de los tratamientos.

Aspectos de seguridad, éticos y ambientales

Tabla 5

Aspectos de seguridad, éticos y ambientales.

Aspectos	Riesgos	Precaución	Plan de emergencia
Seguridad	Precaución a la hora de recolectar la tierra; un animal puede aparecer, y representar un factor de riesgo.	Utilizar botas altas, ropa que cubra la piel. Asimismo, contar con un botiquín de emergencias.	Se realizan los primeros auxilios, se comunican con los servicios de emergencia.
	Movimientos repetitivos puede producir alguna lesión	Calentar el cuerpo con ejercicios para realizar una actividad repetitiva.	Solicitar servicios de emergencia si la situación lo requiere
Ambientales	El desecho de recursos plásticos al finalizar la experimentación	Las bandejas de germinación se deben reciclar, donar o almacenar para un futuro experimento.	Reducir impacto ambiental, mediante el correcto despojamiento de materiales.
	Los desechos orgánicos (DO) deben descartarse adecuadamente.	Usarse como materia para compostaje	Los DO utilizados son muy poco nocivos, pero aún se debe desechar de manera adecuada y segura.
Éticos	La manipulación consciente de los tratamientos, y de los resultados.	No alterar deliberadamente el experimento, y seguir los horarios establecidos para la medición de variables.	Si sucede un imprevisto, se debe comunicar al supervisor y aclarar en el trabajo
	Inadecuada manipulación de instrumentos.	Manipular con cuidado cada instrumento.	Si un instrumento deja de funcionar, se debe conseguir un remplazo de calidad, o proponer otras variables dependientes que no requieren dicho instrumento

Resultados y Discusión

En base a los resultados de la tabla 6, obtenemos que el tratamiento que presentó la mayor **longitud total** fue T2, con una media de 6.5 cm, seguido por T1 y T3, mientras que los tratamientos que en promedio presentaron menor longitud total fueron T4, y, por último, T5. Cabe resaltar que la figura 3 nos muestra un solapamiento entre las barras de error de los tratamientos, lo que sugiere que no existen diferencias estadísticas entre tratamientos. Asimismo, encontramos que todas las desviaciones estándar, al ser superiores a 2.5, nos presentan cierta variabilidad entre las mismas muestras (tabla 6), lo cuál debe ser considerado en la evaluación. Por otro lado, el tratamiento con menor error estándar, y, por ende, con la mayor confiabilidad en sus datos, fue T5 (tabla 6). Mientras que T3 presenta el mayor alcance intercuartílico.

Tabla 6

Resumen de los estadísticos descriptivos para las variables longitud total (cm) y biomasa fresca (g) según cada nivel de tratamiento.

VD	Tratamiento	N	Media	DE	EE	CV	Mínimo	Máximo
Longitud Total	T1 (control)	80	6.386	3.17	0.35	49.63	0.9	16.5
	T2	80	6.501	3.74	0.42	57.55	0.5	14.4
	T3	80	6.019	3.54	0.40	58.89	0.5	15.4
	T4	80	5.315	4.26	0.48	80.16	0.2	14.7
	T5	80	4.837	2.74	0.31	56.54	0.8	12.0
Biomasa fresca	T1 (control)	80	0.739	0.24	0.03	32.19	0.26	1.28
	T2	80	0.699	0.26	0.03	36.66	0.27	1.42
	T3	80	0.670	0.28	0.03	41.48	0.27	1.53
	T4	80	0.718	0.34	0.04	47.37	0.17	1.56
	T5	80	0.621	0.22	0.02	34.70	0.16	1.32

VD: Variable dependiente; DE: Desviación estándar; EE: Error estándar; CV: Coeficiente de variación

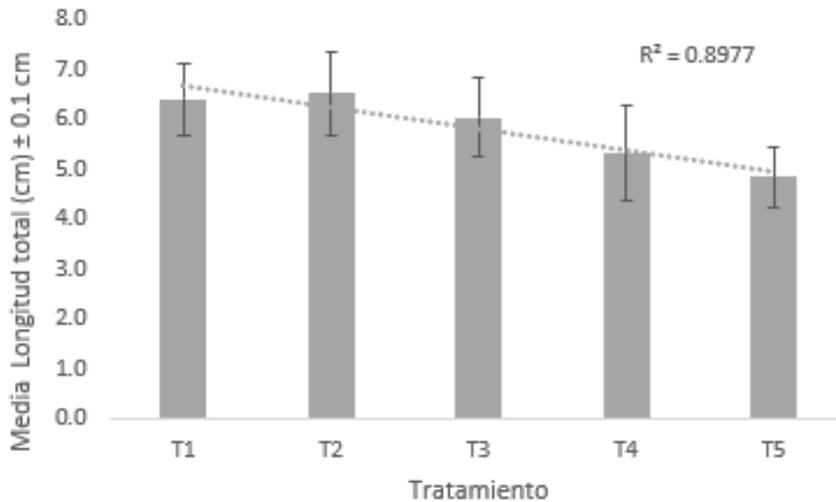


Figura 3. Media de longitud total con barras representan el Error Estándar.

Aun así, no se esperaba que, al aumentar los niveles de concentración de MO, la longitud total de las plántulas disminuyera (figura 3). Sin embargo, los resultados se podrían explicar a partir del exceso de K en el suelo, puesto que, si existe un exceso de K en los tratamientos con materia orgánica de la cáscara de *M. paradisiaca*, estos “pueden causar antagonismos que lleven a deficiencias de otros nutrientes como el magnesio (Mg) o el calcio” (Vitra, 2020, p. 2). Así que, si K, como regulador natural de la planta, acaparara los conductos de transporte, la planta no crece adecuadamente, debido a deficiencias de Mg (Guo et al., 2015).

Por otro lado, los resultados comparados con el control (T1) presentan medias similares (Figura 4; tabla 6), esto se podría explicar al suponer que la tierra utilizada, al estar cerca de un volcán, contiene naturalmente cantidades importantes de K. Similarmente, hay reportes que indican que la fertilización potásica en suelo volcánico, no tiene efecto sobre el crecimiento de frijol (IICA-RED y SICTA-COSUDE, 2008). Por lo tanto, los resultados sustentan estos reportes. Lo anterior, es similar a los resultados de Celestin et al. (2020), donde las plántulas alcanzan un

punto donde no absorben más K, regulando su crecimiento. Esta semejanza se refleja en la dispersión de los datos en la figura 8.

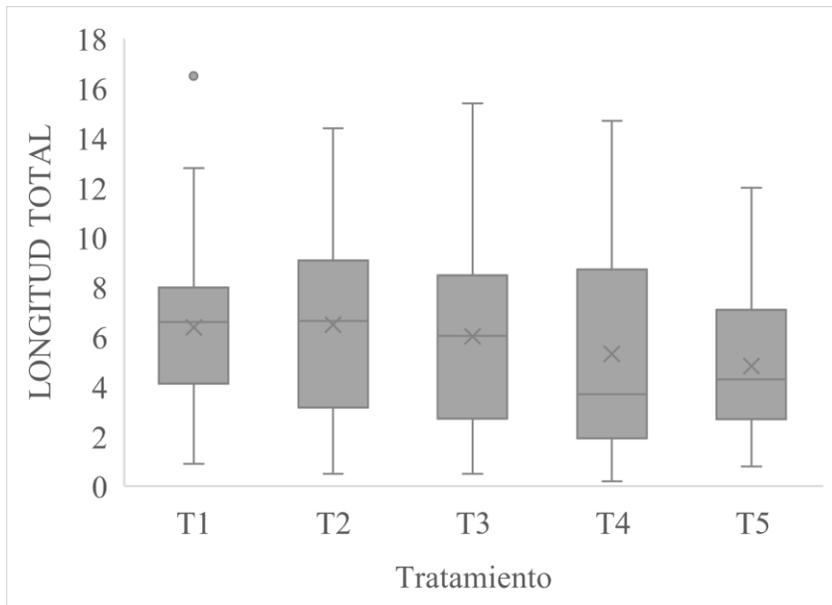


Figura 4. Gráfica Box-plot que muestra la distribución de los datos y los valores atípicos de la variable longitud total.

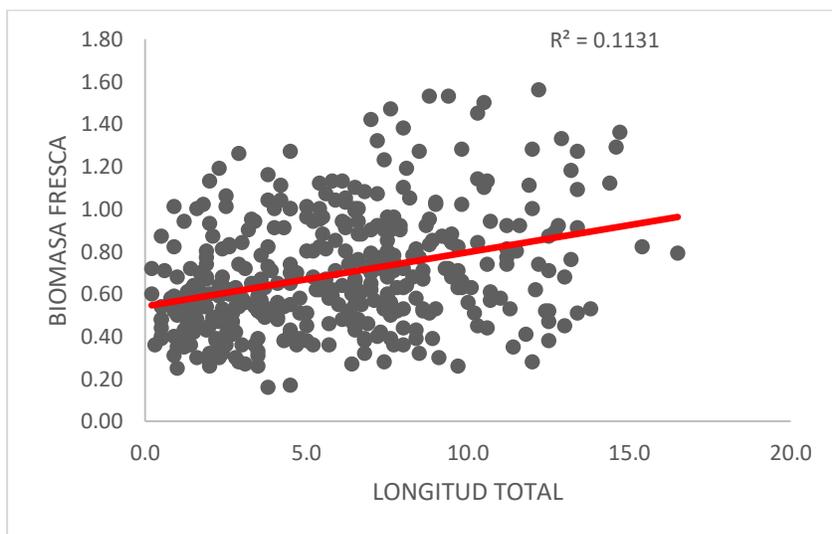


Figura 8. Gráfico de dispersión que muestra la relación entre las variables longitud total y biomasa fresca de las plántulas *Phaseolus vulgaris*.

En cuanto a la **biomasa fresca**, el tratamiento que presentó la mayor biomasa fue T1 (Control), con una media de $0.739 \text{ g} \pm 0.01$, seguido por T4, y T2, siendo T3 y T5 los tratamientos que menor biomasa acumulada (tabla 6). Es importante resaltar que, en la figura 5, T3 y T5 presentan datos atípicos, lo que puede alterar la confiabilidad de los resultados, asimismo, T4 presenta una gran dispersión en sus datos, debido a un rango intercuartílico amplio. Respecto a la incertidumbre de los datos, en la figura 5, T1 presentó la menor desviación estándar, al igual que las barras de error más pequeñas, lo que, en retrospectiva, aumenta la confiabilidad de los datos de T1 sobre la biomasa fresca.

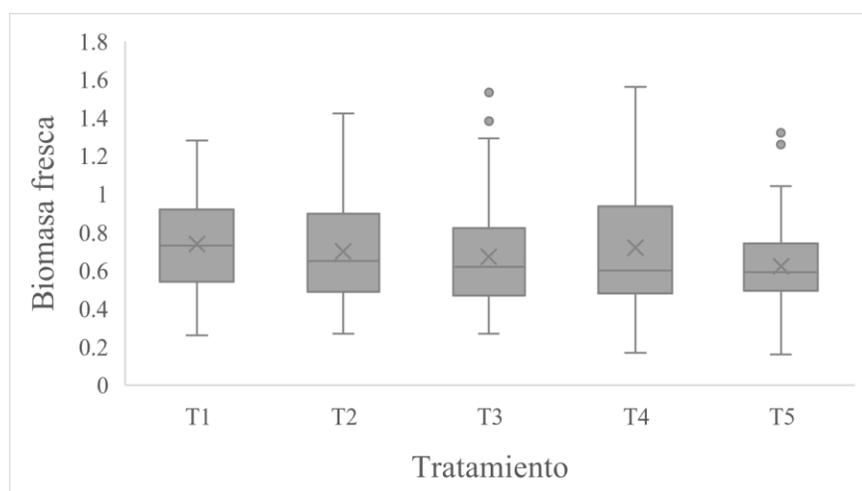


Figura 5. Gráfica Box-plot que muestra la distribución de los datos y los valores atípicos de la variable Biomasa fresca.

Los resultados, sugieren que los tratamientos presentan aportes similares a las plántulas. Esto se podría explicar debido al estrés calórico causado por las variaciones en el clima. La planta cierra sus estomas, disminuyendo su tasa fotosintética, ya que las temperaturas altas reducen la germinación de las semillas, lo que generaría que la planta transloque y almacene sus nutrientes en

otras áreas, influyendo en el crecimiento del tallo, y su biomasa (Vargas et al., 2018). Lo anterior, explicaría, también, los datos atípicos, ya que no todos los tratamientos recibieron la misma exposición de temperatura (figura 2).

Respecto a lo anterior, el resultado de T4 resulta inesperado, puesto que, aunque presentó una de las menores longitudes totales, la biomasa obtenida está entre las más altas. Sin embargo, se podría atribuir, al igual que en la variable longitud, una mayor presencia de K, lo cual influye en su crecimiento. Aun así, otros factores desconocidos pudieron haber ocasionado tales resultados.

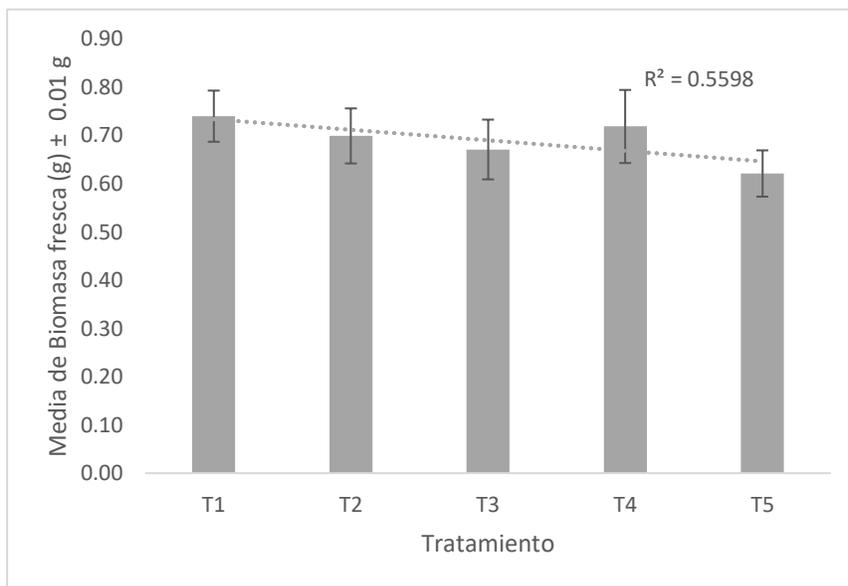


Figura 6. Media de la biomasa fresca con barras de error estándar

Ahora, proseguiremos con el análisis estadístico. La prueba estadística Kolmogorov-Smirnov (tabla 7), dio una significancia de $p > 0.05$ en todos los tratamientos, indicando, así, la normalidad de los datos. Sin embargo, la variable biomasa fresca, según esta prueba, no cumple con el supuesto. Por ello, recurrimos al Q-Q Plot como una técnica gráfica para comprobar la normalidad. En la figura 1 se observan como los puntos que están cerca de la línea de ajuste, con un valor $r = .982$, indicando una correlación muy fuerte, lo que se interpreta como una distribución

normal (Castillo y Damián, 2007). De esta manera, se cumple con el supuesto de normalidad en ambas variables.

Tabla 7

Cuadro con las pruebas de los supuestos del MANOVA para las variables longitud total y biomasa según los niveles de tratamiento.

VD	Tratamiento	Tipo de prueba estadística									
		K-S ¹			Rachas				Levene		
		Est. D	V(n-1)	Sig.	E (R)	Est. Z	Sig.	F	gl1	gl2	Sig.
Longitud total	T1 (control)	.09	10.00	.4738	38.98	1.89	.0585	6.11	4	395	.000*
	T2	.11	14.00	.3249	40.98	.90	.3707				
	T3	.10	12.56	.3453	40.90	1.33	.1832				
	T4	.19	18.15	.0756	40.38	1.06	.2903				
	T5	.13	7.48	.1401	40.90	.92	.3550				
Biomasa fresca	T1 (control)	.45	.6	.000	40.78	.28	.7816	5.59	4	395	.000*
	T2	.45	.07	.000	40.90	1.11	.2690				
	T3	.46	.08	.000	40.10	1.64	.1020				
	T4	.44	.12	.000	40.38	1.46	.1449				
	T5	.45	.05	.000	40.40	2.20	.0275*				

*Representa un $p < .05$

¹ KS: Prueba estadística de Kolmogorov-Smirnov

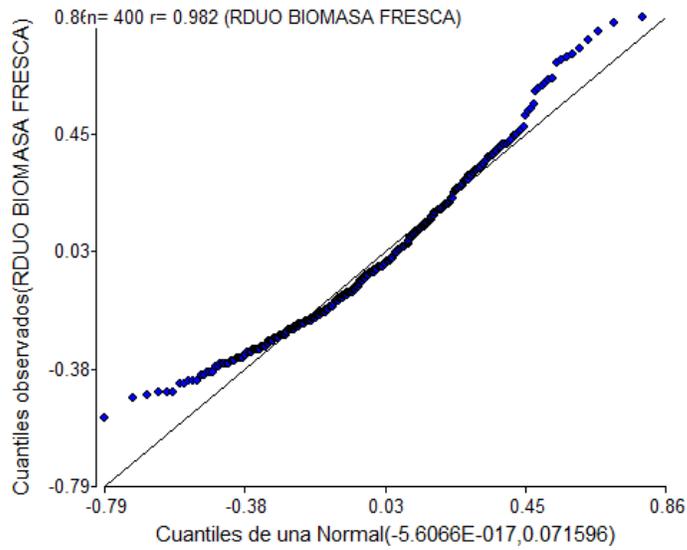


Figura 9. Gráfico Q-Q plot normal de los residuos de la biomasa fresca.

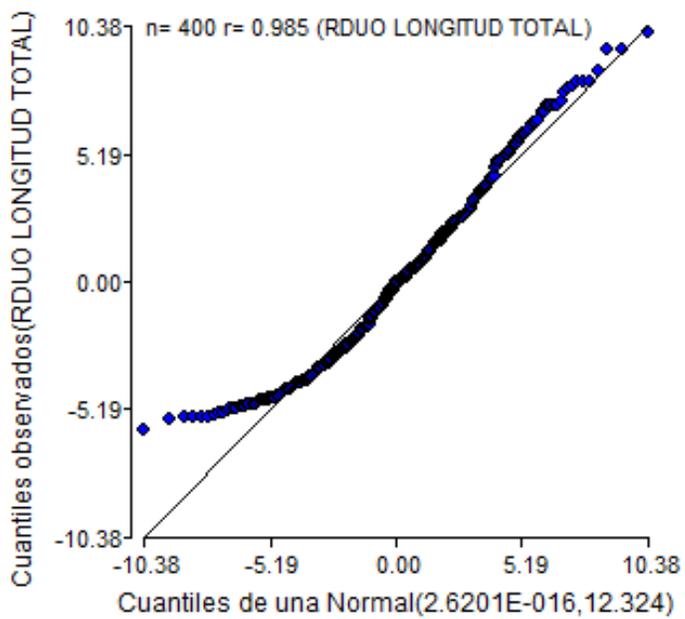


Figura 10. Gráfico Q-Q plot normal de los residuos de la longitud total.

Asimismo, la prueba de M de Box (tabla 8), obtuvo un valor significativo ($p < 0.05$), indicando que el supuesto no se cumple; en cuanto a la prueba de Levene (tabla 2), se obtuvo un valor significativo ($p < 0.05$), esto quiere decir, que las varianzas son **heterogéneas**, y, por tanto, se estaría incumpliendo con el supuesto de homocedasticidad. La prueba de Rachas (tabla 7) presenta una significancia de $0,05 < p < .99$ en todos los tratamientos, excepto en el T5 de la variable biomasa fresca, lo cual pone en ligera duda este supuesto.

Aun así, la prueba de traza de Pillai del MANOVA, es una prueba lo suficientemente robusta como para manejar estas incongruencias (Rodríguez, 1992), y, por ende, se procede a realizar la prueba de MANOVA, donde se busca rechazar la hipótesis nula de igualdad de vectores de medias.

Tabla 8.

Cuadro de la igualdad de matrices de covarianzas.

M de box	39.375
F	3.245
GI1	12
GI2	1156420.588
Sig.	0.000

En la tabla 4, el modelo Global Pillai alcanza un valor de $F(8, 790) = 2.495$, con un $1-\beta = 1.000$ lo cual reduce el error tipo III, y un $f = 0.14$, con una significación de .011 (tabla 9). Ello conduce al rechazo de la hipótesis nula. Es decir, **al menos uno de los tratamientos es diferente al resto**, y, por ello, proseguimos Post-Hoc. Ahora, se realizó el análisis Post-Hoc Games-Howell, ya que “es la más adecuada cuando no se asume la igualdad de las varianzas” (Frías, s.f, p. 8). Se observó que en ambas variables dependientes existen diferencias significativas ($p < .05$) entre

algunos tratamientos (tabla 10). Estas diferencias estadísticas se encuentran para la **variable de longitud total** entre T1-T5, y entre T2-T5, y para **biomasa fresca**, entre T1-T5.

Tabla 9

Pruebas globales del MANOVA

Efecto		Valor	F	gl de hipótesis	gl de error	Sig.	Eta parcial al cuadrado
Intersección	Traza de Pillai	0.881	1456.247 ^b	2.000	394.000	0.000*	0.881
	Lambda de Wilks	0.119	1456.247 ^b	2.000	394.000	0.000*	0.881
	Traza de Hotelling	7.392	1456.247 ^b	2.000	394.000	0.000*	0.881
	Raíz mayor de Roy	7.392	1456.247 ^b	2.000	394.000	0.000*	0.881
Tratamiento	Traza de Pillai	0.049	2.495	8.000	790.000	0.011*	0.025
	Lambda de Wilks	0.951	2.494 ^b	8.000	788.000	0.011*	0.025
	Traza de Hotelling	0.051	2.493	8.000	786.000	0.011*	0.025
	Raíz mayor de Roy	0.036	3.573 ^c	4.000	395.000	0.007*	0.035

^a = Estadístico exacto

*: Indica un $p < 0.05$

Tabla 10

Comparaciones múltiples de la prueba Games-Howell

VD	Tratamiento (I)	Tratamiento (J)	Diferencias de medias (I-J)	EE	Sig.	IC 95%	
						Límite inferior	Límite superior
Longitud total	T1	T2	-0.115	0.5483	1.000	-1.628	1.398
		T3	0.368	0.5316	0.958	-1.100	1.835
		T4	1.071	0.5937	0.375	-0.569	2.711
		T5	1.549	0.4681	0.010	0.257	2.841
	T2	T1	0.115	0.5483	1.000	-1.398	1.628
		T3	0.483	0.5762	0.919	-1.108	2.073
		T4	1.186	0.6340	0.337	-0.564	2.936
	T3	T5	1.664	0.5182	0.014	0.232	3.095
		T1	-0.368	0.5316	0.958	-1.835	1.100
		T2	-0.483	0.5762	0.919	-2.073	1.108
		T4	0.704	0.6196	0.787	-1.007	2.414
	T4	T5	1.181	0.5005	0.132	-0.201	2.564
		T1	-1.071	0.5937	0.375	-2.711	0.569
		T2	-1.186	0.6340	0.337	-2.936	0.564
		T3	-0.704	0.6196	0.787	-2.414	1.007
	T5	T5	0.478	0.5660	0.916	-1.088	2.043
		T1	-1.549	0.4681	0.010	-2.841	-0.257
		T2	-1.664	0.5182	0.014	-3.095	-0.232
		T3	-1.181	0.5005	0.132	-2.564	0.201
	Biomasa fresca	T1	T4	-0.478	0.5660	0.916	-2.043
T2			0.0409	0.03909	0.834	-0.0670	0.1487
T3			0.0690	0.04092	0.446	-0.0440	0.1820
T4			0.0214	0.04642	0.991	-0.1069	0.1496
T2		T5	.1187	0.03589	0.010	0.0197	0.2178
		T1	-0.0409	0.03909	0.834	-0.1487	0.0670
		T3	0.0281	0.04226	0.963	-0.0885	0.1448
		T4	-0.0195	0.04760	0.994	-0.1510	0.1120
T3		T5	0.0779	0.03741	0.233	-0.0254	0.1811
		T1	-0.0690	0.04092	0.446	-0.1820	0.0440
		T2	-0.0281	0.04226	0.963	-0.1448	0.0885
		T4	-0.0476	0.04912	0.868	-0.1832	0.0880
T4	T5	0.0497	0.03932	0.713	-0.0588	0.1583	
	T1	-0.0214	0.04642	0.991	-0.1496	0.1069	
	T2	0.0195	0.04760	0.994	-0.1120	0.1510	
	T3	0.0476	0.04912	0.868	-0.0880	0.1832	
T5	T5	0.0974	0.04501	0.200	-0.0271	0.2218	
	T1	-.1187	0.03589	0.010	-0.2178	-0.0197	
	T2	-0.0779	0.03741	0.233	-0.1811	0.0254	
	T3	-0.0497	0.03932	0.713	-0.1583	0.0588	
		T4	-0.0974	0.04501	0.200	-0.2218	0.0271

Evaluación del método

Esta sección se basa en los puntos débiles y fuertes del método empleado en esta investigación:

Puntos fuertes:

- Uso consciente de diversos tipos de fuentes, como artículos, tesis, reportes oficiales, para equilibrar la escasa existencia de información sobre las variables.
- Uso de una prueba piloto para comprobar si el método a utilizar era adecuado, y, de esa manera, se evitan gastos económicos innecesarios. Similarmente, el método estadístico empleado fue escogido acorde a los requerimientos de la investigación y de las variables.

Puntos débiles:

- No se realizó un estudio de suelo anterior a la experimentación, por lo que no se conocían los nutrientes del suelo. Se intentó balancear esta debilidad mediante la consideración de las particularidades volcánicas del entorno.
- No hace uso de aparatos tecnológicos de laboratorio, por lo que realizar un análisis más profundo sobre las plántulas, no fue posible.

Conclusiones

Esta investigación buscó responder a la pregunta de investigación: ¿Cuál es el efecto biofertilizante del porcentaje de materia orgánica (0, 2.5, 3.5, 4.5 y 5.5 %) constituida por los residuos de la cáscara de *Musa paradisiaca* sobre la longitud total de las raíces y la biomasa fresca en el cultivo de *Phaseolus vulgaris* L.?

En general, vemos que **existe un efecto estadísticamente significativo** entre el porcentaje de materia orgánica constituida por los residuos de la cáscara de *Musa paradisiaca*, sobre la longitud total y la biomasa fresca del cultivo de *P. vulgaris*. Sin embargo, al analizar sus efectos biofertilizantes, se encontró que, en general, el aumentar la concentración de MO, no produce efectos positivos en el cultivo.

- Los tratamientos T2 (2.5%), T1 (Control), y T3 (3.5%) presentaron la mayor longitud.
- T1 y T4 (4.5%) presentaron la mayor biomasa fresca entre los grupos.
- T5 presentó los valores más bajos en ambas variables.

El utilizar las cáscaras como biofertilizante, tiene un efecto similar a la tierra volcánica sin tratamiento (T1), por lo que se recomienda a los agricultores de la zona, utilizar el tratamiento más económicamente accesible.

Recomendaciones para futuras investigaciones

- Experimentar con un mayor rango de concentraciones que permitan establecer un efecto más claro sobre el cultivo.
- Utilizar suelo que provenga de una zona de producción agrónoma brindará mayor relevancia a la investigación.
- Utilizar una muestra más amplia para tener mayor certeza de los resultados

Aplicaciones

El comprender las capacidades de los desechos orgánicos como forma potenciadora de áreas de progreso humano, como la agronomía, puede impulsar un estilo de vida más sustentable para las futuras generaciones.

Referencias

- Avendaño, B. L., Avendaño, G., Cruz, W., & Cárdenas, A. (2014). Guía de referencia para investigadores no expertos en el uso de estadística multivariada. *Diversitas*, 10(1). DOI: <https://doi.org/10.15332/s1794-9998.2014.0001.01>
- Brito, M. C., & Vera Montaña, B. A. (2018). *Uso de la cascara de banano (Musa Paradisiaca) modificada con Quitosano, como agente biosorbente de plomo en aguas residuales sintéticas* [Universidad de Guayaquil - Facultad de Ingeniería Química]. Recuperado de <http://repositorio.ug.edu.ec/handle/redug/38374>
- Castillo, S., & Damián, E. (2007). Q-Q Plot Normal. Los puntos de posición gráfica. In *Iniciación a la investigación* (Vol. 2). Recuperado de <https://revistaselectronicas.ujaen.es/index.php/ininv/article/view/259>
- Cedeño, E. S. (2017). *Efectos de estimulantes orgánicos y fertilización potásica sobre la resistencia a Sigatoka Negra (Mycosphaerella fijiensis) y producción en el cultivo de banano (Musa paradisiaca) en el cantón Buena Fe*. Recuperado de <https://repositorio.uteq.edu.ec/handle/43000/3283>
- Celestin, F., Mylavarapu, R. S., Hochmuth, G. J., Li, Y., Jeune, W., & Edzard, van S. (2020). Black bean (*Phaseolus vulgaris* L.) response to potassium fertilization in two different soils in Haiti. *Https://Doi.Org/10.1080/01904167.2020.1783309*, 43(17), 2601–2609. DOI <https://doi.org/10.1080/01904167.2020.1783309>
- Chalco, Y. (2018). *Adsorción de plomo (Pb) y cobre (Cu) con biomasa de la cáscara de plátano “Musa paradisiaca”, en efluentes de la unidad minera Carahuacra, Yauli - La Oroya*. Recuperado de <http://hdl.handle.net/20.500.12894/6086>

- Chantal, K., Ong' or, B. T. I., Salvator, K., Fulgence, N., & Norbert, A. (2019). Effects of Potassium Fertilizer on Bean growth and Yield parameters. *International Journal of Advances in Scientific Research and Engineering*, 5(1). DOI: <https://doi.org/10.31695/IJASRE.2019.33001>
- Dreyer, I. (2021). Potassium in plants – Still a hot topic. *Journal of Plant Physiology*, 261, 153435. Recuperado de <https://doi.org/10.1016/J.JPLPH.2021.153435>
- FAO. (n.d.). *Buenas prácticas agrícolas (BPA) en la producción de frijol voluble*. Recuperado de <http://www.fao.org/3/a1359s/a1359s03.pdf>
- FAO. (2018). *Legumbres. Pequeñas semillas, grandes soluciones*. Recuperado de <http://www.fao.org/3/ca2597es/CA2597ES.pdf>
- Frías, D. (n.d.). *Diseño entre-grupos univariado unifactorial con $A > 2$. Contraste de hipótesis específicas*. Recuperado de <http://www.uv.es/friasnav/>
- Gabriel, J., Castro, C., Valverde, A., & Indacochea, B. (2017). *Diseños experimentales: Teoría y práctica para experimentos Agropecuarios*. Grupo COMPAS. Recuperado de <https://www.researchgate.net/publication/315098225>
- García Loor, C. V., & Sánchez Molina, F. D. (2021). *Uso de los residuos de la cáscara de banano (Musa paradisiaca), para la elaboración de material plástico biodegradable*. Recuperado de <http://repositorio.espam.edu.ec/handle/42000/1429>
- Guo, W., Nazim, H., Liang, Z., & Yang, D. (2015). Magnesium deficiency in plants: An urgent realistic problem Magnesium deficiency in plants: an urgent realistic problem. *The Crop Journal*. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.cj.2015.11.003>

Haji, S., Yusuf, Z., & Kebede, A. (2020). Production and optimization of bioorganic liquid fertilizer from chicken manure and banana Peels. *Discovery*, 56(290), 101–105. Recuperado de http://www.discoveryjournals.org/discovery/current_issue/v56/n290/A5.pdf

Herguedas, A., & Taranco, C. (2012). Bloque I. Materias Primas. In *Biomasa, Biocombustibles y Sostenibilidad*. Centro Tecnológico Agrario y Agroalimentario. Recuperado de <http://sostenible.palencia.uva.es/system/files/publicaciones/Biomasa%2C%20Biocombustibles%20y%20Sostenibilidad.pdf>

Hernández, J. (2009). *Manual de recomendaciones técnicas: Cultivo de frijol (Phaseolus vulgaris)*. Recuperado de <http://www.mag.go.cr/bibliotecavirtual/F01-9533.pdf>

Hernández, M. I., Chailloux, M., Moreno, V., Mojena, M., & Salgado, J. M. (2009). Relaciones nitrógeno-potasio en fertirriego para el cultivo protegido del tomate (*Solanum lycopersicum* L.) y su efecto en la acumulación de biomasa y extracción de nutrientes. *Cultivos Tropicales*, 30(4), 71–78. Recuperado de http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0258-59362009000400011

Hussein, H. S., Shaarawy, H. H., Hussien, N. H., & Hawash, S. I. (2019). Preparation of nano-fertilizer blend from banana peels. *Bulletin of the National Research Centre 2019 43:1*, 43(1), 1–9. DOI: <https://doi.org/10.1186/S42269-019-0058-1>

IICA-RED, & SICTA-COSUDE. (2008). *Guía técnica para el cultivo de frijol en los municipios de Santa Lucía, Teustepe y San Lorenzo del Departamento de Boaco, Nicaragua*. Recuperado de <http://repiica.iica.int/DOCS/B2170E/B2170E.PDF>

Marlon, M., Moreira, D., Álvarez, A., & Ramos, R. (2021). Estado del arte de bioplástico proveniente de los residuos agroindustriales del plátano (*musa paradisiaca*), para la producción de envases biodegradables. *Ingeniería e Innovación*, 9(1). Recuperado de <https://revistas.unicordoba.edu.co/index.php/rii/article/view/2416>

Marschner, H. (2011). Marschner's mineral nutrition of higher plants. *Academic Press*. Recuperado de https://books.google.com/books/about/Marschner_s_Mineral_Nutrition_of_Higher.html?id=yqKV3USG41cC

Mateus, J. (2020). *El cultivo de frijol (Phaseolus vulgaris L) como un modelo de producción agrícola en la vereda Mercadillo del municipio de Guavatá*. Recuperado de https://ciencia.lasalle.edu.co/cgi/viewcontent.cgi?article=1163&context=ingenieria_agronomica

Mazariegos, N. (2019). *Evaluación del efecto de cuatro porcentajes de sombra en la etapa de floración del cultivo de piña (Ananas comosus L. Merr.), en finca San Luis, Santo Domingo, Suchitépquez*. Recuperado de <http://www.repositorio.usac.edu.gt/12902/1/Evaluaci%C3%B3n%20del%20efecto%20de%20cuatro%20porcentajes%20de%20sombra%20en%20la%20etapa%20de%20floraci%C3%B3n%20del%20cultivo%20de%20pi%C3%B1a..pdf>

Mego, G. G. (2018). *Evaluación del efecto biofertilizante de la cáscara de Musa balbisiana (plátano) en un cultivo de Vigna unguiculata (frijol chilayo)*. Recuperado de <http://hdl.handle.net/11458/2758>

Ministerio de Salud. (2016). *Plan Nacional para la Gestión Integral de Residuos 2016-2021*. Recuperado de <https://www.ministeriodesalud.go.cr/index.php/biblioteca-de-archivos/sobre-el->

[ministerio/politcas-y-planes-en-salud/planes-en-salud/3025-plan-nacional-para-la-gestion-integral-de-residuos-2016-2021/file](http://www.minsu.gub.ve/ministerio/politcas-y-planes-en-salud/planes-en-salud/3025-plan-nacional-para-la-gestion-integral-de-residuos-2016-2021/file)

Molina, E., Berstch, F., Alvarado, A., Gutierrez, M., Sancho, F., Rodriguez, J., Herrera Walter, Salas, R., Durán, N., & Flores, C. (2001). *Fertilidad de suelos y manejo de la nutrición de los cultivos en Costa Rica*. Recuperado de

<http://www.cia.ucr.ac.cr/pdf/Memorias/Memoria%20Curso%20Fertilidad%20de%20Suelos.pdf>

Monsalve, C. R., & Pairazaman Iberico, J. V. (2020). Utilización del alga (*Chondracanthus chamissoi*) y cáscara de banano (*Musa paradisiaca*) en la reducción de arsénico en aguas subterráneas, La Colorada – Mórrope [Universidad César Vallejo]. En *Repositorio Institucional - UCV*. Recuperado de <https://repositorio.ucv.edu.pe/handle/20.500.12692/48523>

Mun, J.-H., Kim, I.-D., Dhungana, S. K., Park, Y.-S., Kim, J.-H., & Shin, D.-H. (2019). Yield and quality characteristics of Korean red bean sprouts produced with different time of seed soaking. *Food Science and Biotechnology* 2019 29:2, 29(2), 197–206. <https://doi.org/10.1007/S10068-019-00657-X>

Mustaqim, M., Purnomo, C. W., & Cahyono, R. B. (2018). Potassium recovery from banana peels by hydrothermal treatment. *AIP Conference Proceedings*, 2026(1), 020048. <https://doi.org/10.1063/1.5065008>

Rodríguez, G. (1992). El análisis multivariante de la varianza (MANOVA): Claves para su interpretación. *Revista de Investigación Educativa*, 19, 69–79. Recuperado de https://redined.mecd.gob.es/xmlui/bitstream/handle/11162/185706/An%C3%A1lisis_Multivariab le_Varianza.pdf?sequence=1&isAllowed=y

- Scientific European Federation Osteopaths. (2019). *PRUEBAS POST HOC*. Recuperado de <https://www.scientific-european-federation-osteopaths.org/wp-content/uploads/2019/01/PRUEBAS-POST-HOC.pdf>
- Shin, R. (2014). Strategies for Improving Potassium Use Efficiency in Plants. *Mol. Cells*, 37(8), 575–584. DOI: <https://doi.org/10.14348/molcells.2014.0141>
- Sistema Nacional de Vigilancia y Monitoreo de plagas [SINAVIMO]. (n.d.). *Phaseolus vulgaris*. Recuperado de <https://www.sinavimo.gob.ar/cultivo/phaseolus-vulgaris>
- Ultra, V., Mendoza, D., & Briones, A. (2005). Chemical changes under aerobic composting and nutrient supplying potential of banana residue compost. *Renewable Agriculture and Food Systems*, 20(2), 113–125. Recuperado de <https://www.jstor.org/stable/44491499>
- Vargas, A., Watler, W., Morales, M., & Vignola, R. (2018). *Prácticas efectivas para la reducción de impactos por eventos climáticos en Costa Rica: Cultivo de frijol*. Recuperado de <http://www.mag.go.cr/bibliotecavirtual/reduccion-impacto-por-eventos-climaticos/Informe-final-frijol.pdf>
- Vinicio, M., Salas, R., Segura, Á., Molina, E., Viquez, R., Jiménez, A., Barquero, G., Singh, B. K., Saborío, F., & Bertsch, F. (2002). *Fertilización Foliar: Principios y Aplicaciones* (G. Meléndez & E. Molina, Eds.). Universidad de Costa Rica. Recuperado de <http://www.cia.ucr.ac.cr/pdf/Memorias/Memoria%20Curso%20Fertilizaci%C3%B3n%20Foliar.pdf>
- Vitra. (2020). *La gran importancia del Potasio en las plantas*. Recuperado de <https://www.agrovitra.com/wp/wp-content/uploads/2020/11/Potasio-Fernanda-Habit.pdf>

Wang, M., Zheng, Q., Shen, Q., & Guo, S. (2013). The Critical Role of Potassium in Plant Stress Response. *International Journal of Molecular Sciences*, 14(4), 7390. DOI: <https://doi.org/10.3390/IJMS14047370>

Wazir, A., Gul, Z., & Hussain, M. (2018). Comparative Study of Various Organic Fertilizers Effect on Growth and Yield of Two Economically Important Crops, Potato and Pea. *Agricultural Sciences*, 09(06). DOI: <https://doi.org/10.4236/as.2018.96049>

Apéndice A





Apéndice B- Tablas de datos brutos

Tabla 11

Datos brutos de longitud total (cm) \pm 0.1 cm de las plántulas de *Phaseolus vulgaris*

Plántula	T1	T2	T3	T4	T5
1	7.6	4.8	3.4	4.1	6.1
2	8.6	6.5	5.5	0.3	3.9
3	8.5	8.1	9.7	1.1	6.8
4	8.3	6.7	7.6	6.1	5.2
5	10.7	1.9	0.9	0.2	7.5
6	6.9	7.0	1.5	0.5	8.8
7	5.9	5.0	9.7	3.2	7.2
8	3.5	1.5	3.6	0.5	5.2
9	6.2	3.5	2.5	2.4	5.0
10	7.3	3.4	6.1	3.0	3.3
11	4.5	6.2	2.3	0.2	7.7
12	5.2	2.3	5.9	2.3	6.5
13	8.8	1.0	6.0	1.7	3.5
14	3.4	6.1	8.5	2.6	4.5
15	6.7	4.1	6.5	3.6	2.6
16	7.0	4.8	7.4	0.5	4.5
17	1.7	7.1	5.2	7.9	7.5
18	2.0	7.0	8.0	0.6	2.7
19	7.7	8.2	5.4	2.3	0.8
20	1.7	8.3	3.1	1.3	2.4
21	1.4	11.2	8.0	1.6	3.6
22	2.4	8.4	2.5	7.5	1.4
23	2.9	10.5	1.0	3.0	5.7
24	1.0	14.4	4.7	7.0	7.6
25	2.6	7.9	3.3	2.6	1.5
26	0.9	6.6	1.7	1.9	2.5
27	6.4	7.1	1.9	2.6	7.7
28	2.3	7.0	2.6	0.9	3.8
29	1.4	6.3	3.7	4.5	4.5
30	5.7	8.9	1.9	6.3	1.5
31	2.0	5.3	1.3	2.5	4.5
32	2.0	7.0	2.8	2.0	3.8
33	9.2	4.5	0.5	2.2	7.4
34	5.5	9.8	2.4	2.1	4.1

Tabla 12

Datos brutos de longitud total (cm) \pm 0.1 cm de las plántulas de *Phaseolus vulgaris*. Continuación.

Plántula	T1	T2	T3	T4	T5
35	9.0	2.2	2.0	3.5	6.8
36	7.3	11.5	1.5	2.7	3.8
37	6.2	12.5	6.7	0.5	7.5
38	6.2	6.5	2.7	2.0	3.8
39	4.0	11.9	6.4	1.8	8.4
40	7.4	3.7	6.5	1.2	4.8
41	5.9	2.5	3.1	4.3	1.0
42	6.5	8.9	1.6	8.8	7.6
43	4.5	12.7	2.4	1.0	2.9
44	6.6	13.0	9.8	2.8	0.9
45	7.5	11.6	3.5	1.5	5.5
46	4.1	7.2	3.5	3.5	2.7
47	4.2	7.2	1.4	0.5	2.4
48	4.3	5.4	4.3	5.0	5.8
49	12.0	1.2	6.6	10.6	1.0
50	7.8	8.0	8.0	7.6	4.0
51	7.3	7.5	6.4	5.6	3.0
52	2.8	1.0	5.7	9.3	3.0
53	1.4	2.4	10.6	12.5	1.4
54	7.7	4.7	12.5	12.5	3.6
55	5.6	3.1	7.7	11.0	5.8
56	7.1	0.9	7.5	4.2	1.0
57	9.0	9.5	1.0	14.7	7.4
58	6.5	1.6	5.0	5.8	2.3
59	12.2	1.3	4.5	5.4	8.6
60	6.6	6.6	8.4	10.5	1.9
61	8.0	0.5	15.4	5.4	0.9
62	7.7	2.1	10.2	10.3	2.0
63	6.6	1.9	8.6	13.4	2.8
64	8.1	7.4	7.2	8.8	2.9
65	11.4	13.4	12.1	3.8	9.7
66	12.0	12.9	14.6	13.0	2.7
67	8.0	13.8	11.2	1.2	10.7
68	9.4	10.3	10.0	11.2	6.4
69	3.4	9.8	11.2	8.5	10.3
70	7.2	2.5	9.5	9.5	9.7
71	12.4	10.7	6.5	6.3	6.8
72	11.3	9.1	8.4	13.4	7.8

Tabla 13

Datos brutos de longitud total (cm) \pm 0.1 cm de las plántulas de *Phaseolus vulgaris*. Continuación.

Plántula	T1	T2	T3	T4	T5
73	12.8	1.5	5.6	2.5	2.9
74	16.5	4.5	9.8	12.2	12.0
75	6.8	1.8	8.0	13.4	6.8
76	7.6	1.2	9.4	13.2	3.5
77	5.0	10.3	9.4	11.8	2.4
78	5.4	10.6	8.6	12.5	1.9
79	8.7	9.0	13.2	7.5	10.1
80	5.0	3.8	6.2	7.4	6.5

Tabla 14

Datos brutos de biomasa fresca (g) \pm 0.01 g de las plántulas de *Phaseolus vulgaris*.

Plántula	T1	T2	T3	T4	T5
1	0.52	0.39	0.94	0.56	0.94
2	0.52	1.00	0.96	0.36	0.71
3	0.32	0.64	0.82	0.57	0.39
4	0.78	0.61	0.50	0.48	0.68
5	0.57	0.68	0.52	0.72	0.80
6	0.46	0.62	0.60	0.54	0.95
7	0.71	0.51	0.71	0.90	1.32
8	0.26	0.48	0.57	0.48	0.36
9	0.91	0.52	0.46	0.53	0.38
10	0.77	0.36	1.13	0.56	0.95
11	0.65	0.80	0.30	0.60	0.78
12	0.94	0.47	1.04	0.36	0.67
13	0.83	0.57	0.55	0.59	0.65
14	0.54	0.64	1.27	0.50	0.74
15	0.88	0.65	1.10	0.78	0.62
16	0.90	0.58	0.28	0.48	0.70
17	0.58	0.57	0.80	0.92	0.58
18	1.13	1.42	0.72	0.71	0.47
19	0.71	1.05	0.62	1.19	0.58
20	0.70	0.68	0.72	0.61	0.51
21	0.60	0.81	0.53	1.00	0.67
22	0.64	0.81	0.48	0.85	0.62

Tabla 15

Datos brutos de biomasa fresca (g) \pm 0.01 g de las plántulas de *Phaseolus vulgaris*. Continuación.

Plántula	T1	T2	T3	T4	T5
23	0.54	1.10	0.50	0.58	0.58
24	0.52	1.12	0.70	0.70	0.39
25	0.83	0.90	0.65	0.82	0.50
26	0.31	0.76	0.61	0.54	0.41
27	0.60	0.73	0.43	0.60	0.74
28	0.64	0.79	0.60	0.40	0.82
29	0.72	0.52	0.49	0.17	0.55
30	0.46	0.39	0.77	0.50	0.46
31	0.45	0.62	0.47	0.36	0.41
32	0.32	0.65	0.63	0.60	0.53
33	0.87	0.43	0.87	0.39	0.76
34	0.66	1.02	0.68	0.49	0.49
35	1.02	0.38	0.93	0.33	0.38
36	0.72	0.80	0.63	0.51	0.16
37	1.05	0.52	0.55	0.44	0.58
38	0.93	0.45	0.41	0.26	1.04
39	1.00	1.11	0.47	1.02	0.58
40	0.90	0.63	0.66	0.42	0.51
41	0.85	1.01	0.56	0.54	0.58
42	0.55	0.85	0.30	0.51	0.56
43	1.27	0.89	0.32	0.25	0.28
44	0.61	0.68	0.66	0.30	1.01
45	0.72	0.92	0.39	0.42	0.88
46	0.48	1.07	0.31	0.53	0.44
47	1.11	0.74	0.54	0.39	0.51
48	0.91	0.95	0.38	0.45	0.62
49	1.28	0.35	0.48	1.13	0.68
50	0.63	0.36	0.44	1.47	0.91
51	0.42	0.96	0.27	0.67	0.84
52	0.54	0.39	0.36	0.72	0.36
53	0.52	0.51	0.74	0.38	0.36
54	0.75	0.36	0.87	0.47	0.51
55	0.81	0.27	0.36	0.58	0.59
56	0.76	0.82	0.68	1.04	0.57
57	0.53	0.68	0.35	1.36	0.53
58	0.99	0.48	0.96	1.13	0.59
59	0.74	0.44	1.00	0.82	0.71

Tabla 16

Datos brutos de biomasa fresca (g) \pm 0.01 g de las plántulas de *Phaseolus vulgaris*. Continuación

Plántula	T1	T2	T3	T4	T5
60	0.88	1.00	0.39	1.50	0.67
61	1.10	0.40	0.82	1.12	0.59
62	0.96	0.87	0.51	1.45	0.27
63	0.94	0.74	0.53	1.09	0.42
64	1.19	0.53	0.40	1.53	0.74
65	0.35	0.91	0.62	1.16	0.63
66	0.28	1.33	1.29	0.45	0.51
67	0.63	0.53	0.92	0.94	0.61
68	0.86	0.84	0.56	0.74	0.75
69	0.64	0.63	0.77	0.77	0.45
70	0.92	0.40	0.88	0.84	0.26
71	0.52	0.94	0.43	0.74	0.73
72	0.53	0.30	0.43	0.51	0.52
73	0.92	0.64	1.07	1.06	1.26
74	0.79	1.00	1.28	1.56	1.00
75	1.08	0.54	1.38	1.27	0.32
76	0.90	0.43	0.72	1.18	0.59
77	1.01	1.14	1.53	0.41	0.81
78	1.00	0.44	0.67	0.71	0.80
79	0.92	1.03	0.76	0.60	0.63
80	0.80	0.73	1.03	1.23	0.60