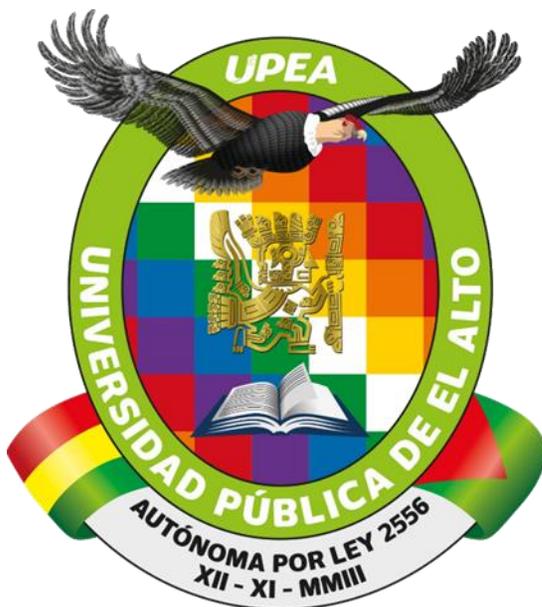


**UNIVERSIDAD PÚBLICA DE EL ALTO
ÁREA DE CIENCIAS AGRÍCOLAS, PECUARIAS
Y RECURSOS NATURALES
CARRERA DE INGENIERÍA AGRONÓMICA**



TESIS DE GRADO

EVALUACIÓN DEL EFECTO DE TRES NIVELES DE HUMUS DE LOMBRIZ APLICANDO AL CULTIVO DE LA FRUTILLA (*Fragaria* sp.) EN BOTELLAS PET EN FORMA VERTICAL EN AMBIENTE ATEMPERADO EN LA ESTACIÓN EXPERIMENTAL DE KALLUTACA

Por:

Nilson Pucarico Flores

EL ALTO – BOLIVIA

Diciembre, 2024

**UNIVERSIDAD PÚBLICA DE EL ALTO
ÁREA DE CIENCIAS AGRÍCOLAS, PECUARIAS
Y RECURSOS NATURALES
CARRERA DE INGENIERÍA AGRONÓMICA**

**EVALUACIÓN DEL EFECTO DE TRES NIVELES DE HUMUS DE LOMBRIZ
APLICANDO AL CULTIVO DE LA FRUTILLA (*Fragaria* sp.) EN BOTELLAS PET EN
FORMA VERTICAL EN AMBIENTE ATEMPERADO EN LA ESTACIÓN
EXPERIMENTAL DE KALLUTACA**

*Tesis de Grado presentado
como requisito para optar el Título de
Ingeniero Agrónomo*

Nilson Pucarico Flores

Asesores:

M. Sc. Lic. Ing. Luis Fernando Machicao Terrazas

M. Sc. Lic. Ing. Ramiro Raúl Ochoa Torrez

Tribunal Revisor:

Lic. Ing. Paulino Bruno Condori Ali

M. Sc. Lic. Ing. Ciro Raúl Quiape Callocosi

M. Sc. Lic. Ing. Víctor Paye Huaranca

Aprobada

Presidente Tribunal Examinador



DEDICATORIA:

Primeramente, a Dios por permitirme llegar hasta este punto y proseguir. A mi madre, Antonia Flores Aliaga, por todo el esfuerzo que hizo al sacarme adelante y por ayudarme a llegar hasta donde estoy, porque sin su sacrificio no sería nada y por ese amor que siempre me dio.

A mi hermana Claudia flores, a mis primos (a) Berlinda y Fernando, a mi tío Víctor por apoyarme siempre. A una persona especial que me apoyo a lo largo de la realización de la tesis con sus palabras de aliento en los momentos difíciles que atravesé hasta concluir, novia gracias.

AGRADECIMIENTOS

Expreso mi eterno agradecimiento a Dios por colmarme de bendiciones y sabiduría para la culminación de este trabajo, y por haberme dado la oportunidad de realizarme como profesional.

A la prestigiosa Universidad Pública de El Alto (UPEA), por el apoyo brindado durante mis años de estudio y por su perseverante espíritu de lucha en favor de una autonomía universitaria plena.

A los docentes de la Carrera de Ingeniería Agronómica, quienes me formaron con sus valiosos conocimientos científicos.

Agradezco a mis asesores, M. Sc. Lic. Ing. Luis Fernando Machicao Terrazas y M. Sc. Lic. Ing. Ramiro Raúl Ochoa Torrez por sus valiosas contribuciones y sugerencias, las cuales fueron fundamentales para la realización de este trabajo de investigación.

Al tribunal revisor, Ph. D.M. Sc.Lic. Ing. Paulino Bruno Condori Ali, M. Sc. Lic. Ing. Ciro Raúl Quiape Callocosi y M. Sc. Lic. Ing. Víctor Paye Huaranca, por sus valiosas contribuciones y sugerencias, las cuales fueron fundamentales para la realización de este trabajo de investigación.

Agradezco al M. Sc. Lic. Ing. Víctor Paye Huaranca, quien me brindó su apoyo incondicional con sus conocimientos para estructurar este trabajo de investigación, así como por los buenos momentos compartidos.

Un agradecimiento muy especial a mi familia por brindarme su apoyo en todo momento. A mis compañeros, quienes me ayudaron en la realización de mi investigación.

CONTENIDO

ÍNDICE DE TEMAS.....	i
ÍNDICE DE CUADROS	vi
ÍNDICE DE FIGURAS	vii
ÍNDICE DE ANEXOS	viii
ABREVIATURAS	ix
RESUMEN	x
ABSTRACT	xi

ÍNDICE DE TEMAS

1. INTRODUCCIÓN.....	1
1.1. Antecedentes.....	2
1.2. Planteamiento del problema	3
1.3. Justificación	4
1.4. Objetivos.....	4
1.4.1. Objetivo general.....	4
1.4.2. Objetivos específicos	5
1.5. Hipótesis.....	5
2. REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA.....	6
2.1. Importancia del cultivo de frutilla	6
2.2. Características generales del cultivo.....	6
2.2.1. Origen	6
2.2.2. Clasificación Taxonómica.....	7
2.2.3. Características botánicas del cultivo	7
2.2.3.1. Raíz.....	8
2.2.3.2. Tallo	8

2.2.3.3.	Hoja.....	9
2.2.3.4.	Flor e Inflorescencia	9
2.2.3.5.	Fruto y semilla.....	9
2.2.3.6.	Estolones	10
2.2.4.	Fases fisiológicas.....	10
2.2.5.	Épocas de plantación.....	10
2.2.5.1.	Rendimiento	11
2.2.5.2.	Principales productores en el mundo.....	12
2.2.5.3.	Cultivo de frutilla en Bolivia	12
2.2.6.	Plagas y enfermedades.....	13
2.2.7.	Propiedades nutritivas.....	14
2.2.8.	Valor nutritivo del fruto	14
2.2.8.1.	Bromatología de la frutilla.....	14
2.2.9.	Variedades usadas en Bolivia	14
2.2.9.1.	Variedad Sweet.....	14
2.2.9.2.	Variedad San andrea	15
2.2.9.3.	Variedad Oso grande	15
2.2.10.	Ecología del cultivo	15
2.2.10.1.	Temperatura.....	15
2.2.10.2.	Suelo	16
2.2.11.	Labores culturales.....	17
2.2.11.1.	Riego.....	17
2.2.11.2.	Cosecha	17
2.3.	Sistemas especiales de producción de frutilla.....	18
2.3.1.	Carpa solar y medio artificial	18
2.3.2.	Cultivos verticales	19

2.3.3.	Cultivo vertical de la frutilla.....	20
2.3.4.	Plástico	20
2.3.5.	Botellas plásticas PET.....	21
2.3.6.	Reciclaje de botellas plásticas PET.....	21
2.3.7.	Degradación de las botellas PET	22
2.3.8.	Impactos ambientales en la salud y el ambiente	22
2.3.9.	Humus de lombriz	23
2.3.10.	Estructura del humus de lombriz	23
2.3.11.	Características generales del vermicompost o humus de lombriz	24
2.3.12.	Beneficio del vermicompost en las plantas.....	25
2.3.13.	Tipos de sustrato.....	25
2.3.14.	Características de los sustratos	26
2.3.15.	Retención de la humedad	26
3.	MATERIALES Y MÉTODOS	27
3.1.	Localización	27
3.1.1.	Ubicación Geográfica.....	27
3.1.2.	Características ecológicas	27
3.1.3.	Clima.....	27
3.1.4.	Suelo.....	27
3.1.5.	Flora.....	27
3.2.	Materiales	28
3.2.1.	Material vegetal.....	28
3.2.2.	Material de campo.....	28
3.2.3.	Material de escritorio	29
3.2.4.	Fertilización orgánica	29
3.2.5.	Material para el armado del sistema vertical	29

3.2.6.	Material para armado de los contenedores verticales.....	29
3.3.	Metodología	30
3.3.1.1.	Preparación del terreno.....	30
3.3.1.2.	Desinfección del área experimental.....	30
3.3.1.3.	Delimitación de las unidades experimentales en el invernadero.....	30
3.3.1.4.	Enraizamiento de los plantines.....	30
3.3.1.5.	Preparación del sustrato para los contenedores.....	30
3.3.1.6.	Instalación de los contenedores en el área experimental	31
3.3.1.7.	Trasplante del cultivo a los contenedores verticales.....	31
3.3.1.8.	Riego.....	31
3.3.1.9.	Refalle.....	32
3.3.1.10.	Labores culturales	32
3.3.1.11.	Cosecha	32
3.3.2.	Diseño experimental	32
3.3.3.	Formulación de los tratamientos	33
3.3.3.1.	Croquis del experimento.....	33
3.3.4.	Variables de respuesta.....	34
3.3.4.1.	Porcentaje de prendimiento.....	34
3.3.4.2.	Número de hojas por planta	34
3.3.4.3.	Diámetro de fruto.....	34
3.3.4.4.	Longitud del fruto.....	34
3.3.4.5.	Número de frutos.....	34
3.3.4.6.	Peso de fruto.....	34
3.3.4.7.	Grados Brix	34
3.3.4.8.	Rendimiento por planta	35
3.3.4.9.	Rendimiento por metro cuadrado	35

3.3.5.	Costo total de producción de cultivo.....	35
3.3.5.1.	Beneficio bruto del cultivo.....	35
3.3.5.2.	Beneficio neto del cultivo.....	36
3.3.6.	Relación beneficio / costo (B/C)	36
4.	RESULTADOS Y DISCUSIÓN	37
4.1.	Variables climáticas	37
4.1.1.	Temperatura	37
4.2.	Humedad relativa.....	38
4.3.	Porcentaje de prendimiento	39
4.4.	Número de hojas por planta.....	39
4.5.	Diámetro de fruto	42
4.6.	Longitud de fruto.....	45
4.7.	Número de frutos por planta	48
4.8.	Peso del fruto.....	51
4.9.	Grados brix	54
4.10.	Rendimiento por planta	57
4.11.	Rendimiento por metro cuadrado.....	60
4.12.	Análisis económico del cultivo de frutilla	63
4.13.	Análisis económico relación Benéfico/Costo	64
5.	CONCLUSIONES.....	66
6.	RECOMENDACIONES.....	67
7.	REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS.....	69
8.	ANEXOS	78

ÍNDICE DE CUADROS

Cuadro 1.	Análisis de varianza para porcentaje de prendimiento	39
Cuadro 2.	Análisis de Varianza número de hojas por planta.....	40
Cuadro 3.	Análisis de varianza (ANVA) para diámetro de fruto.....	43
Cuadro 4.	Análisis de varianza (ANVA) para longitud de fruto	46
Cuadro 5.	Análisis de varianza para número de fruto	48
Cuadro 6.	Análisis de varianza para peso del fruto por planta	51
Cuadro 7.	Análisis de varianza (ANVA) para grados Brix	54
Cuadro 8.	Análisis de varianza (ANVA) para rendimiento por planta	57
Cuadro 9.	Análisis de varianza para rendimiento por metro cuadrado	60
Cuadro 10.	Detalle del beneficio/costo	64

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1.	Organografía de la planta.....	7
Figura 2.	Croquis de experimento	33
Figura 3.	Temperaturas registradas durante el desarrollo del cultivo	37
Figura 4.	Humedad relativa 2022-2023	38
Figura 5.	Prueba de Duncan al 5% para número de hojas por planta	41
Figura 6.	Análisis de regresión para número de hojas por planta	42
Figura 7.	Prueba de Duncan al 5% para promedio diámetro de fruto	44
Figura 8.	Análisis de regresión para diámetro de fruto	45
Figura 9.	Prueba estadística de Duncan 5% para longitud del fruto	46
Figura 10.	Análisis de regresión para longitud del fruto	47
Figura 11.	Prueba de Duncan al 5% para número de frutos.....	49
Figura 12.	Análisis de regresión para número de frutos	50
Figura 13.	Prueba estadística de Duncan al 5% para peso de fruto	52
Figura 14.	Análisis de regresión para peso de fruto	53
Figura 15.	Prueba de Duncan para Grados Brix.....	55
Figura 16.	Análisis de regresión para Grados Brix	56
Figura 17.	Prueba estadística de Duncan al 5% para rendimiento por planta.....	58
Figura 18.	Análisis de regresión para rendimiento por planta.....	59
Figura 19.	Prueba estadística de Duncan al 5% rendimiento por metro cuadrado	61
Figura 20.	Análisis de regresión rendimiento por metro cuadrado.....	62

ÍNDICE DE ANEXOS

Anexo 1.	Análisis del suelo de estudio en el Centro Experimental de Kallutaca.....	79
Anexo 2.	Análisis de agua de estudio en el Centro Experimental de Kallutaca	80
Anexo 3.	Análisis de humus de lombriz.....	81
Anexo 4.	Croquis del experimento, realizado en el periodo de estudio en la Estación Experimental de Kallutaca	82
Anexo 5.	Detalle del costo de inversión por tratamiento.....	82
Anexo 6.	Detalle de venta por tratamiento	82
Anexo 7.	Calculo ingreso bruto por tratamiento.....	83
Anexo 8.	Calculo ingreso neto por tratamiento.....	83
Anexo 9.	Calculo B/C.....	83
Anexo 10.	Plantines para la investigación	83
Anexo 11.	Preparación de las botellas pet	84
Anexo 12.	Preparación del sustrato por tratamiento.....	84
Anexo 13.	Colgando las botellas pet y llenado del sustrato.....	84
Anexo 14.	Etapa de desarrollo	85
Anexo 15.	Toma de datos de la variables	85
Anexo 16.	análisis de grados brix, laboratorio	86

ABREVIATURAS

DCA	Diseño Completo al Azar
B/C	Relación Benéfico Costo
cm	Centímetro
msnm	Metros sobre el nivel del mar
m ²	Metro cuadrado
%	Porcentaje
PP	Porcentaje de prendimiento
NHP	Número de hojas por planta
DF	Diámetro de fruto
LF	Longitud del fruto
Brix	Grados brix
NFP	Número de frutos por planta
REN	Rendimiento
PFP	Peso del fruto por planta
Nitrógeno	N
Fosforo	P
Potasio	K

RESUMEN

El presente trabajo de investigación se llevó a cabo en la estación Experimental Kallutaca, ubicado en el Departamento de La Paz, Bolivia. El objetivo fue evaluar el efecto de tres niveles de humus de lombriz (10%, 20% y 30%) en el cultivo de frutilla (*Fragaria sp.*), cultivada en botellas PET de forma vertical en un ambiente atemperado. Este método busca superar las limitaciones climáticas del altiplano, donde las bajas temperaturas y suelos pobres dificultan la producción de este cultivo.

Los resultados obtenidos muestran que la aplicación de humus de lombriz tuvo un impacto positivo en todas las variables agronómicas evaluadas. En cuanto al porcentaje de prendimiento, se obtuvo un 85%, lo cual indica que la mayoría de las plantas logró establecerse exitosamente. El número promedio de hojas por planta fue de 18 hojas, lo cual refleja un crecimiento vegetativo adecuado bajo las condiciones del estudio.

En relación al fruto, el diámetro promedio alcanzado fue de 3.5 cm y la longitud fue de 5 cm, lo cual demuestra una buena formación y desarrollo del fruto. Además, se obtuvo un promedio de 22 frutos por planta, con un peso de 15 gramos por fruto. Estos resultados indican que la aplicación de humus de lombriz contribuyó a una mayor producción de frutos por planta y a un tamaño uniforme de los mismos.

El contenido de azúcares, medido en grados Brix, fue de 8.5, lo cual indica un nivel de dulzura adecuado para el consumo fresco. Los tratamientos con mayor concentración de humus de lombriz (30%) generaron los mejores resultados, incrementando el rendimiento total del cultivo en un 35%, la cantidad de frutos en un 40%, y el contenido de azúcares en un 25% en comparación con los tratamientos de menor concentración.

Estos resultados sugieren que la aplicación de humus de lombriz no solo optimiza el uso del espacio en sistemas verticales, sino que también mejora la calidad del producto final, aumentando tanto el tamaño como la dulzura de los frutos. Además, el uso de botellas PET en el sistema de cultivo presenta una alternativa sostenible y económica para pequeños agricultores. Este enfoque contribuye al reciclaje de plásticos y a la reducción de la contaminación ambiental, lo cual es particularmente relevante en comunidades rurales del altiplano.

ABSTRACT

This research work was carried out at the Kallutaca Experimental , located station in the Department of La Paz, Bolivia. The objective was to evaluate the effect of three levels of worm castings (10%, 20% and 30%) on the strawberry crop (*Fragaria* sp.), grown in PET bottles vertically in a temperate environment. This method seeks to overcome the climatic limitations of the highlands, where low temperatures and poor soils make the production of this crop difficult.

The results obtained show that the application of worm castings had a positive impact on all the agronomic variables evaluated. Regarding the percentage of budding, 85% was obtained, which indicates that the majority of the plants managed to establish successfully. The average number of leaves per plant was 18 leaves, which reflects adequate vegetative growth under the study conditions.

In relation to the fruit, the average diameter achieved was 3.5 cm and the length was 5 cm, which demonstrates good formation and development of the fruit. In addition, an average of 22 fruits per plant was obtained, with a weight of 15 grams per fruit. These results indicate that the application of worm castings contributed to greater fruit production per plant and a uniform fruit size.

The sugar content, measured in degrees Brix, was 8.5, which indicates a level of sweetness suitable for fresh consumption. Treatments with the highest concentration of worm castings (30%) generated the best results, increasing the total crop yield by 35%, the amount of fruits by 40%, and the sugar content by 25% compared to lower concentration treatments.

These results suggest that the application of worm castings not only optimizes the use of space in vertical systems, but also improves the quality of the final product, increasing both the size and sweetness of the fruits. Furthermore, the use of PET bottles in the cultivation system presents a sustainable and economical alternative for small farmers. This approach contributes to the recycling of plastics and the reduction of environmental pollution, which is particularly relevant in rural communities in the highlands.

1. INTRODUCCIÓN

La producción de frutilla en Bolivia es limitada, debido al bajo consumo de la población. La principal zona productora del país es el departamento de Santa Cruz (INE, 2022).

Una alternativa para el cultivo y la producción de esta especie es mediante el uso de carpas solares, sin embargo en estos ambientes, los costos de producción se incrementan y el espacio disponible es muy reducido. Por ello es necesario buscar alternativas de producción que permitan utilizar cultivos más rentables. Una posible solución es el uso de columnas verticales, que incrementen la producción y las cosechas. El departamento de La Paz tiene una producción limitada, proveniente en su mayoría de ambientes atemperados (Flores, 2022).

El método de cultivo en vertical bajo carpa solar, ya sea en mangas, tubos, baldes o botellas PET, ayuda a utilizar todo el espacio aéreo de la carpa. De esta manera, se incrementa el rendimiento en un mismo espacio sin degradar el suelo, usando una fertilización orgánica, ya que se incorpora el sustrato sin utilizar el suelo (Zamora, 2023).

La frutilla es un cultivo de adaptabilidad extraordinaria debido a la cantidad de variedades existentes, lo que demuestra que puede ser cultivado en diversas zonas de nuestro país. Aun así para poder introducir el cultivo en el altiplano, es necesario crear condiciones similares a las del sector oriental y de los valles. Las bajas temperaturas, las bajas precipitaciones y la limitada fertilidad de los suelos propios del sector altiplánico del país repercuten en la limitada producción (Pérez, 2021).

Sin embargo, para una producción óptima, la frutilla resulta ser un cultivo muy exigente en nutrientes, lo cual, si no se cuida adecuadamente, puede elevar considerablemente los costos de producción.

Asimismo, en nuestra ciudad, tradicionalmente el consumo de esta fruta es muy bajo, ya que la mayor parte de la producción se destina a la industrialización, como para la elaboración de mermeladas, helados, yogurt y jugos.

1.1. Antecedentes

López (2018), investigó el uso de sistemas de cultivo sin suelo, específicamente cultivos verticales, para optimizar el uso de espacio y reducir costos en zonas urbanas. Los resultados demostraron que este tipo de sistemas son altamente eficientes para la producción de hortalizas en ambientes urbanos, con un enfoque en la sostenibilidad y la eficiencia en el uso del espacio. Esta investigación se llevó a cabo en Quito, Ecuador, en áreas urbanas densamente pobladas.

Fernández (2019), analizó el uso del humus de lombriz como sustrato para la producción de hortalizas, destacando sus beneficios sobre la retención de humedad, la mejora de la estructura del sustrato, y el aporte de nutrientes esenciales para el crecimiento de los cultivos. Este estudio también resalta que el humus de lombriz es una fuente importante de macronutrientes como nitrógeno (N), fósforo (P) y potasio (K), así como de micronutrientes como calcio (Ca), magnesio (Mg), zinc (Zn), y hierro (Fe), los cuales son fundamentales para mejorar la calidad y el rendimiento de los cultivos. Además, este estudio fue realizado en zonas de altitud elevada y enfatizó la importancia de los fertilizantes orgánicos para mantener la salud del suelo y maximizar la productividad agrícola.

González (2019), estudió la producción de frutilla en el altiplano boliviano, donde las condiciones climáticas representan un desafío significativo. En su investigación, propuso la implementación de sistemas de cultivo protegidos para mejorar la producción y superar las limitaciones impuestas por las bajas temperaturas y los suelos pobres.

Castro (2020), llevó a cabo un estudio sobre el uso de botellas PET en sistemas de cultivo vertical, enfatizando el beneficio del reciclaje de materiales plásticos para la agricultura sostenible. Los resultados destacaron que estos sistemas no solo ayudan a reducir la contaminación ambiental, sino que también ofrecen una solución económica y accesible para pequeños agricultores.

Este contexto resalta la importancia de buscar soluciones innovadoras que permitan superar las barreras actuales en la producción de frutilla en el altiplano boliviano. Esta investigación evaluó el efecto de diferentes niveles de humus de lombriz en la producción de frutilla cultivada en sistemas verticales con botellas PET, demostrando que esta alternativa es viable y sostenible, y que puede contribuir al desarrollo agrícola de la región.

1.2. Planteamiento del problema

En el altiplano boliviano, la producción de frutilla (*Fragaria sp.*) ha enfrentado serias limitaciones debido a las condiciones climáticas extremas y la baja fertilidad del suelo (González, 2019). Estas limitaciones incluyen temperaturas bajas, escasa precipitación y suelos pobres en nutrientes, lo cual genera dificultades para establecer un cultivo exitoso en estas regiones (López, 2018). Estas condiciones adversas reducen significativamente la capacidad de los productores locales para cultivar frutilla de manera eficiente, lo cual se traduce en bajos rendimientos y una insuficiencia para satisfacer la demanda interna (Martínez, 2020). A pesar de que la frutilla es un cultivo con cierto grado de adaptabilidad, el altiplano requiere estrategias agronómicas especializadas y técnicas innovadoras para superar estas dificultades.

El problema tiene múltiples causas interrelacionadas. Primero, el clima del altiplano se caracteriza por sus temperaturas extremadamente bajas y la falta de precipitaciones, lo cual no es adecuado para el desarrollo óptimo de la frutilla. Además, la pobre fertilidad del suelo contribuye a la dificultad de obtener buenos rendimientos de los cultivos (López, 2018). Estas condiciones dificultan la producción tradicional de frutilla, que depende de suelos fértiles y un clima moderado. Otro factor importante es el uso de técnicas de cultivo ineficientes y costosas, que requieren de una gran cantidad de fertilizantes y agua para lograr resultados mínimos, haciendo que la producción sea insostenible para los pequeños agricultores (Ramírez, 2021).

Si no se implementan estrategias innovadoras para la producción de frutilla en el altiplano boliviano, el problema persistirá, lo cual tendrá varias consecuencias negativas. En primer lugar, la producción de frutilla continuará siendo insuficiente para satisfacer la demanda local, lo que aumentará la dependencia del país en importaciones y contribuirá a una disminución de la seguridad alimentaria (Martínez, 2020). Además, los pequeños agricultores del altiplano seguirán enfrentando dificultades económicas debido a la falta de alternativas sostenibles para mejorar la productividad de sus cultivos (Pérez y Ramírez, 2021). La ausencia de soluciones viables también llevará a un uso ineficiente del suelo y a una continua degradación de los recursos naturales, agravando los problemas de sostenibilidad ambiental y afectando a largo plazo la economía agrícola de la región (Torres, 2022).

1.3. Justificación

La producción de frutilla en el altiplano boliviano enfrenta diversos problemas debido a las condiciones climáticas adversas, como bajas temperaturas, precipitaciones limitadas y suelos con baja fertilidad. Esta situación ha restringido el cultivo y el consumo de frutillas en la región, aumentando la dependencia de otras zonas del país para satisfacer la demanda interna. A pesar de estos obstáculos, la frutilla es un cultivo de gran adaptabilidad, lo que ofrece oportunidades únicas para implementar sistemas de producción alternativos que permitan superar las limitaciones actuales.

En este contexto, el cultivo vertical en botellas PET representa una alternativa innovadora y sostenible, que permite optimizar el uso del espacio y reducir los costos de producción. Esta técnica contribuye al reciclaje de materiales plásticos, alineándose con los principios de agricultura sostenible y disminuyendo la contaminación ambiental. Además, al usar humus de lombriz como sustrato, se garantiza un aporte nutricional adecuado, mejorando la calidad del suelo y aumentando el rendimiento del cultivo. Estas prácticas no solo mejoran la productividad, sino que también promueven una agricultura amigable con el medio ambiente, que podría ser replicada por pequeños productores en la región.

Asimismo, la creciente demanda de productos frescos y saludables impulsa la necesidad de sistemas de producción más eficientes y con menores costos. En este sentido, el cultivo de frutilla en sistemas verticales utilizando materiales reciclados, como las botellas PET, representa una alternativa viable que puede contribuir significativamente a la seguridad alimentaria y al desarrollo de la agricultura familiar en el altiplano boliviano.

1.4. Objetivos

1.4.1. Objetivo general

- Evaluar el efecto de tres niveles de humus de lombriz en la producción de cultivo de frutilla (*Fragaria sp.*), utilizando botellas PET en forma vertical en un ambiente atemperado en la estación experimental de Kallutaca.

1.4.2. Objetivos específicos

- Evaluar las variables agronómicas del cultivo de frutilla (*Fragaria sp.*) en ambiente atemperado.
- Determinar el rendimiento del cultivo de la frutilla con la aplicación de tres niveles de humus de lombriz en ambiente atemperado.
- Comparar la relación Beneficio Costo B/C del cultivo de la frutilla con la aplicación de tres niveles de humus de lombriz.

1.5. Hipótesis

- Ho = La aplicación de tres niveles de humus de lombriz no causa diferencias significativas en el rendimiento del cultivo de frutilla (*Fragaria sp.*).

2. REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA

2.1. Importancia del cultivo de frutilla

La frutilla (*Fragaria sp.*) es una especie ampliamente distribuida a nivel mundial. Los avances en mejoramiento genético han dado lugar a nuevas variedades que se adaptan a diferentes condiciones ambientales, lo cual ha incrementado su potencial de cultivo en diversas regiones (Smith y Johnson, 2022).

Adicionalmente, el cultivo de frutilla tiene un gran valor económico para muchas regiones. Es un producto altamente demandado en los mercados locales e internacionales, lo que ha generado importantes ingresos para los agricultores. Su capacidad para adaptarse a diversas condiciones permite a los productores aprovechar terrenos menos aptos para otros cultivos, aumentando así la rentabilidad agrícola (Martínez, 2022).

2.2. Características generales del cultivo

2.2.1. Origen

En la antigüedad, la frutilla (*Fragaria sp.*) se conocía solo en estado silvestre, ya que aún no se habían desarrollado como plantas cultivadas. Autores como Ovidio y Virgilio mencionaron esta fruta en sus escritos poéticos, evidenciando su presencia en la cultura europea de la época (Martínez y Gómez, 2021).

Hasta bien entrado el siglo XV, la única frutilla conocida era la silvestre, que crecía de manera espontánea en los montes de Europa, produciendo un fruto de pequeño tamaño que no despertaba gran interés. Fue tras el descubrimiento de América cuando el padre Gregorio Fernández de Velasco, al cruzar las tierras bajas del Ecuador, quedó asombrado al encontrar una nueva especie de frutilla, diferente a la conocida hasta entonces (González y Pérez, 2020).

Durante la conquista, los españoles diseminaron esta especie a varios países de Norte y Sudamérica, especialmente a Perú, Colombia, y Ecuador, y posteriormente la introdujeron en Europa, donde se desarrolló la frutilla cultivada moderna (*Fragaria × ananassa*). En 1766, el botánico Nicholas Duchesne determinó que la frutilla cultivada era un híbrido entre dos especies americanas: *Fragaria chiloensis* y *Fragaria virginiana* (Smith y Johnson, 2021).

2.2.2. Clasificación Taxonómica

Según Escobar (2021), la fresa o frutilla corresponde al siguiente cuadro taxonómico:

Reino: Plantae

Orden: Rosales

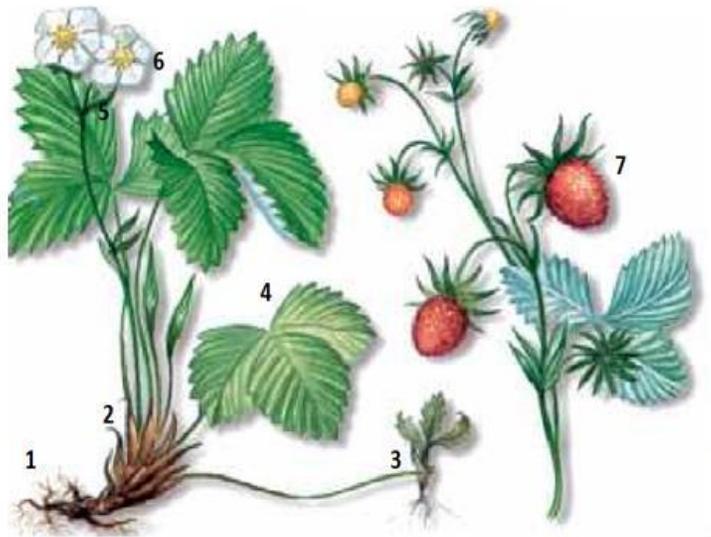
Familia: Rosaceae

Especie: *Fragaria Ananassa Dusch.*

Variedad: Oso Grande

2.2.3. Características botánicas del cultivo

La planta de frutilla (*Fragaria sp.*) tiene una longevidad de varios años; sin embargo, su capacidad de producción económica suele limitarse a uno o dos años. Después de este período, las plantas comienzan a debilitarse visiblemente, lo que se traduce en un menor rendimiento y en la producción de frutos de baja calidad, principalmente debido al aumento de la incidencia de plagas y enfermedades (García y Rodríguez, 2022).



1) Raíz, 2) Corona, 3) Estolón, 4) Hojas trifoliadas, 5) Bráctea foliosa que acompaña a la inflorescencia, 6) Inflorescencia, 7) Fruto, 8) Planta hija

Fuente: Escobar (2021)

Figura 1. Organografía de la planta

2.2.3.1. Raíz

Las plantas de frutilla tienen dos tipos de raíces, las raíces primarias, que son largas, y las raíces secundarias, que son cortas y abundantes, derivadas de las primarias (Gómez y Martínez, 2022). La mayor parte del sistema radicular se encuentra en los primeros 20 centímetros del suelo, aunque algunas raíces pueden extenderse a mayor profundidad. Tanto la planta madre como los estolones emiten raíces adventicias en la zona del tallo que está en contacto con el suelo húmedo (Gómez y Martínez, 2022).

Según Torres (2023), las raíces de la frutilla están compuestas por una cabellera de raicillas de aspecto fibroso que surgen de la corona. Aproximadamente el 70 % del sistema radicular se desarrolla principalmente en los primeros 15 centímetros de profundidad, aunque algunas raíces pueden alcanzar hasta 30 centímetros.

2.2.3.2. Tallo

La corona de la frutilla representa su tallo y es una estructura fundamental en el desarrollo de esta planta perenne, que se considera generalmente herbácea. El tallo está compuesto por segmentos cortos denominados coronas, que se alargan lentamente formando entre nudos muy cortos donde se insertan las yemas y las hojas axilares (Gómez y Sánchez, 2021),

En la fase juvenil, la planta presenta un tallo reducido conocido como 'corona', que se alarga lentamente, formando entrenudos muy cortos donde se insertan yemas y hojas axilares. La corona original se ramifica, formando una corona secundaria que puede alcanzar de 10 a 20 cm de longitud y que desarrolla una yema terminal, la cual da lugar a una nueva planta. El nudo terminal del estolón emite hojas y raíces, formando una nueva planta, mientras que simultáneamente produce estolones secundarios que repiten este proceso. De este modo, una planta madre puede generar una gran cantidad de plántulas al año, en un patrón de progresión geométrica (Fernández y López, 2023).

La frutilla es una planta perenne que suele ser manejada como anual. Su tallo reducido, denominado corona, lleva tanto yemas vegetativas como florales y de esta estructura se originan las hojas, los estolones y las inflorescencias (Martínez, 2022).

2.2.3.3. Hoja

Las hojas de la frutilla (*Fragaria sp.*) son trifoliadas, cada una de ellas cuenta con un pecíolo propio. La base de las hojas tiene estípulas, estructuras que envuelven y protegen las yemas, que eventualmente darían origen a flores, coronas, hojas o estolones, dependiendo de las condiciones ambientales (Villagrán, 2005).

De acuerdo con Mendoza (2013), en la base de las inflorescencias, antes de que estas se manifiesten, suele aparecer una bráctea monofoliar. Además, se observan hojas escamosas en los nudos de los estolones y de las inflorescencias. Asimismo, un involucre de brácteas acompaña a los sépalos de cada flor.

2.2.3.4. Flor e Inflorescencia

Las inflorescencias de la frutilla (*Fragaria sp.*) se desarrollan a partir de los meristemos terminales de las coronas. Pueden formarse varias inflorescencias en cada corona, y el número y tipo de flores varía según el cultivar y las condiciones climáticas. Cada flor está constituida por un pedúnculo floral, sépalos, pétalos, pistilos y estambres (Giménez, 2021).

Las inflorescencias primarias emergen del tallo terminal, mientras que las inflorescencias secundarias se desarrollan a partir de yemas laterales. El pecíolo de la flor primaria suele ser corto y generalmente, no se ramifica como lo hacen los pecíolos de las flores secundarias. Las primeras flores que se desarrollan suelen producir frutos de mayor tamaño (Opisna, 2020).

2.2.3.5. Fruto y semilla

La frutilla (*Fragaria sp.*) es un fruto múltiple conocido como poli aquenio, y botánicamente se clasifica como un "eterio", en el cual el receptáculo hipertrofiado constituye la parte comestible de la fruta (Mendoza 2021). La forma del fruto puede ser achatada, globosa, cónica, cónica alargada, cónica alargada con cuello, en cuña alargada o en cuña corta, y su color varía entre rosado, carmín, rojo o púrpura (González, 2022).

Los aquenios, comúnmente conocidos como "semillas", presentan una amplia variedad de colores, como amarillo, rojo, verde o marrón. Un fruto de tamaño mediano puede tener entre 150 y 200 aquenios, mientras que un fruto de mayor tamaño puede llegar a tener hasta 400 aquenios (Fernández, 2023).

2.2.3.6. Estolones

Los estolones son ramas verdes o rosadas, de forma cilíndrica y ligeramente vellosas, que emergen de las axilas de las hojas y crecen de forma horizontal. Estas estructuras tienen nudos a lo largo de su extensión, a partir de los cuales se pueden formar nuevas plantas. Un estolón puede generar cuatro o más plantas (Opisna, 2020).

2.2.4. Fases fisiológicas

Según Cochi (2017), distinguen en el desarrollo de la frutilla las siguientes fases:

- ✓ Fase A o de reposo vegetativo: Estadio en el que hay poco crecimiento foliar y se observan hojas rojizas y secas (Dormancia).
- ✓ Fase B o de iniciación de la actividad vegetativa: manifestada por la aparición de brotes turgentes y formación incipiente de hojas en estado rudimentario.
- ✓ Fase C o de botones verdes: en la cual entre las hojas en estado rudimentario se observan aquellos.
- ✓ Fase D o de botones blancos: en la que se observan estos de forma ostensible, sin que los pétalos se haya desplegado.
- ✓ Fase E o de iniciación de la floración: cuando se constan de 3 o 5 flores abiertas por planta.
- ✓ Fase F o de planta floración: cuando un 50% de las flores están abiertas.
- ✓ Fase F o de planta floración: cuando un 50% de las flores están abiertas.
- ✓ Fase G o fin de la floración: cuando se observa la caída de los pétalos y se inicia el cuajado de frutos.
- ✓ Fase H o de fructificación: cuando los frutos verdes son claramente ostensibles.

2.2.5. Épocas de plantación

Según Mendoza (2013), una carpa solar es un ambiente controlado en el que se crean las condiciones óptimas para el cultivo de hortalizas. Básicamente, se genera un clima artificial mediante la protección de un plástico, complementado con una mezcla adecuada de los componentes del suelo y un uso eficiente del agua.

El autor también menciona que existen diferentes épocas de plantación para las hortalizas según las condiciones climáticas, clasificadas en cuatro grupos principales:

- ✓ Climas con inviernos fríos, la plantación se efectúa a fines de otoño.
- ✓ Climas con inviernos muy fríos, la plantación se realiza en primavera.
- ✓ Climas con inviernos templados, la plantación se realiza a principios de otoño.
- ✓ Climas tropicales de altura, las plantaciones se realizan en cualquier época del año.

Plantación de Invierno.- Martínez (2021), explica que, aunque la plantación de invierno se realice entre abril y mayo, se la denomina así porque el desarrollo de las plantas ocurre principalmente durante esta estación. Este tipo de plantación es recomendado para zonas costeras con climas suaves y libres de heladas. Las plantas deben provenir de viveros donde las bajas temperaturas ocurren temprano, permitiendo que entren en receso antes del trasplante.

El éxito de la plantación de invierno depende de la ausencia de heladas en la zona. La fruta producida durante este periodo suele ser más precoz y de gran calidad, ya que se cultiva a partir de plantas jóvenes. Aunque el rendimiento total puede ser menor, los precios obtenidos son generalmente favorables debido a la calidad del producto (Rodríguez, 2020).

Plantación de Otoño.- Según Pérez (2022), las épocas de plantación para la frutilla incluyen la plantación otoñal con planta fresca. Este método implica realizar la plantación a finales de mayo y principios de junio, utilizando plantas frescas que han sido arrancadas de viveros de altura, donde previamente han cumplido con las horas de frío necesarias.

Plantación de Verano.- La plantación estival o de verano con planta frigo consiste en arrancar las plantas en el mes de julio, ya sea de zonas de altitud o de baja altitud, y utilizar una planta relativamente adulta y fresca. Posteriormente, las plantas se conservan en cámaras frigoríficas a una temperatura de -2°C durante un período corto, generalmente hasta febrero o marzo, momento en el que se realizan las labores de plantación (Gutiérrez, 2023).

2.2.5.1. Rendimiento

De acuerdo con Martínez (2021), los factores que influyen sobre el rendimiento del cultivo de frutilla incluyen el vigor general de las plantas, la ausencia de virus y nematodos, la

variedad del cultivar, y las condiciones de la estación, que incluyen la temperatura durante la floración y la distribución de las lluvias o el uso de riego suplementario. En algunas regiones de alta producción, como California, se han logrado rendimientos de 50 toneladas por hectárea en el primer año y de 62 a 74 toneladas por hectárea en el segundo año, gracias a las condiciones óptimas de crecimiento, donde la cosecha de frutillas se realiza durante casi todos los meses del año.

En cuanto a la producción global, el principal productor es Estados Unidos, que en el año 2020 fue responsable de una gran proporción de la producción mundial, con un volumen estimado en 950 mil toneladas. España se encuentra como el segundo productor mundial, con aproximadamente 360 mil toneladas, seguido de Japón, que produce cerca de 210 mil toneladas (López, 2022).

Según Gutiérrez (2023), los agricultores que utilizan variedades de alto rendimiento en combinación con técnicas mejoradas, como la aplicación de humus de lombriz y otros fertilizantes orgánicos, alcanzan rendimientos de 25.000 kg/ha/año, en contraste con los 3.000 kg/ha/año que obtienen los agricultores que siguen técnicas tradicionales. En la región de Cochabamba, el promedio de producción se estima en 5.000 kg/ha/año.

2.2.5.2. Principales productores en el mundo

La superficie destinada al cultivo de frutillas a nivel mundial se estima en alrededor de 280.000 hectáreas, las cuales producen un total de aproximadamente 4.500.000 toneladas anuales. Por continentes, América y Europa son los que concentran la mayor parte de la producción mundial de frutilla, representando un 67% del total (FAO, 2021).

Según los datos proporcionados por la Organización Agrícola de Dinamarca, citados por García (2022), el cultivo de frutilla se adapta a una amplia variedad de suelos y climas, dependiendo de la región. En Chile, por ejemplo, los rendimientos del cultivo varían considerablemente, oscilando entre 15 y 55 toneladas por hectárea, de acuerdo con la adaptabilidad de la variedad y las prácticas agronómicas implementadas.

2.2.5.3. Cultivo de frutilla en Bolivia

En Bolivia, los departamentos que producen frutilla son Cochabamba, Santa Cruz, La Paz, Chuquisaca y Tarija. Las principales variedades cultivadas incluyen Sweet Charlie, Oso

Grande, Camarosa y San Andrea, siendo estas las de mayor producción en el país (Flores, 2023).

Según datos del Instituto Nacional de Estadística (INE), en 2021, el rendimiento total de frutilla en Bolivia fue de 3.260 toneladas métricas, incrementándose a 3.307 toneladas métricas en 2022. El departamento con mayor producción fue Santa Cruz con 1.694 toneladas métricas, seguido de Cochabamba con 1.465 toneladas métricas, Tarija con 100 toneladas métricas, Chuquisaca con 27 toneladas métricas, y finalmente La Paz, que tuvo la producción más baja con 22 toneladas métricas (INE, 2022).

De acuerdo con Gutiérrez (2022), la región de Comarapa ha sido tradicionalmente una de las principales productoras de frutilla en Bolivia. Sin embargo, en los últimos años se ha observado una disminución en el rendimiento del cultivo, que pasó de 42.000 kg/ha en épocas anteriores a entre 25.000 y 30.000 kg/ha en la actualidad. Esto se debe principalmente a problemas como la sequía, las altas temperaturas, y las parcelas pequeñas que dificultan la competitividad frente a otros países productores como Chile, Perú y Argentina.

2.2.6. Plagas y enfermedades

Arañuela.- Según López (2022), la arañita bimaclada (*Tetranychus urticae* Koch) y el ácaro rojo (*Tetranychus cinnabarinus* Bois) son plagas que también afectan a numerosas leguminosas. Los daños comienzan a manifestarse al inicio de la primavera, observándose en el envés de las hojas, que toman una coloración café marrón y finalmente se secan. Cuando el ataque es severo, la planta sufre un enanismo y la mayor parte del follaje se seca.

Pulgones.- De acuerdo con Pérez (2021), los pulgones son áfidos pequeños pertenecientes a la especie *Pentretichopus fragaefollii* (Cockerell). Se encuentran principalmente en las hojas y, mediante la succión de la savia, causan un debilitamiento general de las plantas, lo que provoca el enrollamiento de las hojas y la transmisión de virosis, afectando gravemente el desarrollo de la frutilla.

2.2.7. Propiedades nutritivas

2.2.8. Valor nutritivo del fruto

De acuerdo con Morales (2022), el análisis del valor nutritivo de las frutillas muestra que, en promedio, 100 gramos de fruto comestible contienen:

- ✓ Calorías: 32 kcal.
- ✓ Agua: 90-92 g.
- ✓ Carbohidratos: 7-8 g (principalmente en forma de glucosa y fructosa).
- ✓ Fibra dietética: 2 g.
- ✓ Proteínas: 0.7 g.
- ✓ Grasas: 0.3 g.
- ✓ Vitaminas: Rica en vitamina C (60 mg), y contiene pequeñas cantidades de vitamina B9 (ácido fólico).
- ✓ Minerales: Potasio (153 mg), calcio (16 mg), magnesio (13 mg).

2.2.8.1. Bromatología de la frutilla

Según Mendoza (2022), la composición química de la frutilla puede variar significativamente según la variedad, el volumen del fruto, la calidad del suelo en el que fue cultivada, y las condiciones climáticas. Generalmente, a medida que el tamaño del fruto aumenta, también aumenta el contenido de grasas y cenizas, mientras que el contenido de ácidos orgánicos y proteínas tiende a disminuir.

2.2.9. Variedades usadas en Bolivia

En Bolivia, los principales departamentos productores de frutilla son Cochabamba, Santa Cruz, La Paz, Chuquisaca y Tarija. Las variedades de frutilla con mayor producción en estas regiones incluyen Sweet Charlie, Oso Grande, Camarosa y San Andrea (Flores, 2023).

2.2.9.1. Variedad Sweet

La variedad Sweet Charlie es una frutilla que se caracteriza por su alto rendimiento y resistencia a enfermedades comunes, lo cual la hace ideal para el cultivo en climas cálidos y templados. Produce frutos de tamaño medio, de color rojo brillante y con un sabor dulce característico, lo que la hace muy apreciada en el mercado. Además, Sweet Charlie tiene

una producción temprana, lo que permite a los productores acceder al mercado antes que otras variedades, incrementando su rentabilidad (González y Martínez, 2021).

2.2.9.2. Variedad San andrea

La variedad San Andrea es una frutilla reconocida por su resistencia a enfermedades y su adaptabilidad a diferentes climas, especialmente en regiones de clima frío. Produce frutos de tamaño medio con un equilibrio entre acidez y dulzura, lo cual la hace adecuada tanto para el consumo en fresco como para su uso en la industria de procesamiento. Además, San Andrea se destaca por su vigor y estabilidad productiva, manteniendo buenos rendimientos incluso en condiciones ambientales adversas (López y Ramírez, 2020).

2.2.9.3. Variedad Oso grande

La variedad Oso Grande se caracteriza por un color rojo anaranjado, calibre grueso y un buen sabor. La planta es vigorosa, presenta un follaje oscuro y tiene buena resistencia tanto al transporte como al trasplante, lo que la hace apta para el mercado de producto fresco. En zonas con inviernos fríos, el trasplante se realiza durante el verano para asegurar la producción en el año siguiente. Se recomienda una densidad de plantación de 6 a 7 plantas por metro cuadrado (Gutiérrez, 2023).

2.2.10. Ecología del cultivo

2.2.10.1. Temperatura

De acuerdo con Morales (2022), la temperatura mínima de crecimiento de la planta de frutilla es de 5 °C, mientras que la temperatura óptima se encuentra entre 20 y 26 °C. Para el crecimiento y maduración de las frutillas, se requieren 17 °C de fototemperatura y 12 °C de temperatura crítica mínima. Además, se señala que el viento con intensidades elevadas puede afectar negativamente el crecimiento y la productividad de la planta, especialmente si la humedad del aire es baja, lo que puede ocasionar la aparición de manchas pardas en las hojas. A continuación se presentan las temperaturas óptimas durante el desarrollo de la frutilla en °C.

Por otro lado, López (2023), afirma que la frutilla, debido a su amplia diversidad genética, tiene la capacidad de adaptarse a ambientes muy diversos, que van desde los subárticos hasta los subtropicales, así como a zonas desérticas cálidas, desde el nivel del mar hasta

altitudes de casi 3.200 metros sobre el nivel del mar. Para un adecuado desarrollo, se requieren entre 4.000 y 6.000 m³ (400 a 600 mm) de agua por hectárea por año.

Según Morales (2023), el calor excesivo durante el inicio del desarrollo vegetativo de la frutilla puede provocar un crecimiento excesivo del follaje, acompañado de una significativa pérdida de floración. A continuación se muestran las temperaturas críticas para el cultivo de frutilla:

✓ Se hielan las plantas	3 °C a -5 °C
✓ Detienen su desarrollo	2 °C – 5 °C
✓ Arraigue mínimo	10 °C
✓ Arraigue optimo	18 °C
✓ Cuaje día	35 °C
✓ Cuaje noche	15 °C a 18 °C
✓ Maduración día	18 °C a 25 °C
✓ Maduración noche	10 °C a 13 °C

La frutilla requiere un ambiente con una humedad relativa de entre 70% y 80% cuando emergen las primeras flores. Posteriormente, durante la polinización, necesita un ambiente más seco, con una humedad relativa de alrededor del 60% (González, 2023).

2.2.10.2. Suelo

Una buena preparación del suelo es uno de los factores más importantes para el cultivo de la frutilla. Las labores de preparación deben orientarse a la obtención de camellones o mesas de tierra bien molida pero firme, con buena aireación, fertilidad, y libre de patógenos y malezas, además de contar con un buen drenaje y una altura adecuada respecto a los pasillos (Choque, 2022).

Según López (2023), respecto a la estructura del suelo, los suelos sueltos y arenosos son preferibles, ya que permiten un mejor desarrollo de las raíces y anticipan la maduración del fruto. Sin embargo, los mejores rendimientos se observan en suelos francos con una ligera tendencia a ser sueltos.

De acuerdo con Morales (2023), el pH óptimo para el cultivo de la frutilla se encuentra entre 5.5 y 6.5. En cambio, García (2022), afirma que la frutilla puede desarrollarse adecuadamente en un rango de 6 a 7 de pH. La frutilla generalmente proviene de suelos

ligeros saturados de materia orgánica proveniente de la vegetación espontánea, lo cual proporciona una idea clara de sus necesidades respecto a la calidad del suelo donde debe cultivarse.

Por otro lado, Gutiérrez (2022), señala que la frutilla requiere suelos fértiles y bien drenados, preferiblemente areno-arcillosos, y ricos en materia orgánica. Aunque estos suelos permiten buenas producciones, tienden a agotarse rápidamente, por lo que se hace necesario aplicar fertilizantes con mayor frecuencia.

2.2.11. Labores culturales

2.2.11.1. Riego

Según López, citado por Morales (2022), los riegos deben ser constantes desde el periodo de plantación hasta la aparición de los primeros botones florales. Durante el periodo de floración, se recomienda suprimir totalmente el riego para evitar afectaciones en el desarrollo de las flores.

Es fundamental mantener un abastecimiento constante y uniforme de agua, sin someter las plantas a períodos de estrés hídrico. Los requerimientos hídricos de la frutilla dependen de varias características, como el tipo de cultivo y la región donde se desarrolla. En general, se puede considerar que una planta en óptimo desarrollo y plena producción necesita alrededor de 6 mm de agua por día (Gutiérrez, 2023).

2.2.11.2. Cosecha

La época de recolección de la frutilla en Bolivia se extiende desde febrero hasta julio, destacándose los meses de febrero y marzo cuando se aplican cultivos forzados. Debido a la fragilidad del fruto, se debe recolectar con el máximo cuidado, preferiblemente durante las horas frescas del día, para evitar daños. Para la recolección de frutos grandes, se recomienda cortar el pedúnculo con una tijera de podar para evitar el daño del fruto (Flores, 2023).

Es fundamental determinar el momento óptimo de cosecha para asegurar la calidad del fruto en el mercado. Para los mercados lejanos, el momento ideal de recolección es cuando la mitad geométrica del fruto ha madurado. Para los mercados cercanos, el momento

adecuado es cuando tres cuartas partes del fruto ya muestran un color rojo (López y Martínez, 2022).

La recolección debe hacerse preferiblemente por la mañana, en condiciones frescas y cuando no haya rocío, evitando los golpes de calor. Además, se debe recolectar el fruto con parte del pedúnculo, ya que desprenderlo podría hacer que el fruto pierda su consistencia, afectando su capacidad para ser transportado sin daño y convirtiéndolo en una masa menos manejable (García, 2023).

2.3. Sistemas especiales de producción de frutilla

2.3.1. Carpa solar y medio artificial

Para asegurar que la frutilla prospere bajo condiciones no favorables, se recurre a técnicas de cultivo en carpa solar y otros medios artificiales. Esta técnica es conocida como forzadora total, ya que permite completar todo el ciclo de cultivo bajo estas condiciones controladas (Morales, 2023).

Según García (2022), los cultivos de frutilla en carpa solar deben cumplir con una serie de características clave para garantizar la calidad del fruto y la eficiencia del sistema. Las características más importantes incluyen:

- ✓ Forma del fruto: Los frutos deben tener una forma uniforme y atractiva.
- ✓ Sabor del fruto: El sabor debe ser dulce y agradable, apto para el mercado fresco.
- ✓ Textura de la carne: La carne debe ser firme y consistente, lo cual es importante para el manejo y transporte del fruto.
- ✓ Despezonado del fruto: El fruto debe desprenderse fácilmente del pedúnculo sin dañar la pulpa.
- ✓ Resistencia a la virosis y otras enfermedades: Es esencial que las variedades cultivadas tengan una buena resistencia a enfermedades comunes como la virosis.
- ✓ Precocidad y producción por unidad de superficie: Se busca una buena precocidad (cosecha temprana) y un alto rendimiento por unidad de superficie para maximizar la producción.

2.3.2. Cultivos verticales

Según Fernández (2019), el uso de humus de lombriz como sustrato en cultivos verticales es esencial para garantizar el desarrollo adecuado de la frutilla. Este sustrato mejora la retención de humedad y la aireación, factores cruciales para el crecimiento radicular. Además, permite incrementar la eficiencia en el uso del agua y disminuir el uso de insumos químicos, contribuyendo a una producción más sostenible.

Castro (2020), señala que los cultivos verticales no solo contribuyen a la optimización del espacio disponible, sino que también promueven el reciclaje de materiales plásticos, como las botellas PET. Esto no solo reduce la contaminación ambiental, sino que proporciona una alternativa económica para pequeños agricultores y productores urbanos. Los cultivos verticales resultan ser una opción atractiva tanto para la agricultura comercial como para la agricultura urbana y familiar.

Ramírez (2021), destaca que la implementación de fertilizantes orgánicos, como el humus de lombriz, en sistemas de cultivo vertical puede incrementar significativamente el rendimiento y la calidad de los frutos. Esta práctica es particularmente beneficiosa para los pequeños productores en zonas de altitud elevada, donde las condiciones ambientales limitan las opciones de cultivo tradicional.

Según Gómez (2023), el uso de cultivos verticales con botellas PET en ambientes atemperados permite maximizar el aprovechamiento del espacio disponible y reducir significativamente el uso de insumos. Esta técnica se ha implementado con éxito en carpas o invernaderos donde se evaluaron diferentes niveles de humus de lombriz, lo cual mejoró tanto la calidad del cultivo como el rendimiento por unidad de superficie. Esta innovación contribuye a la producción sostenible, maximizando la eficiencia en comparación con los métodos de cultivo tradicionales.

Rodríguez (2020), también destaca los beneficios de este sistema, que permite plantar una mayor cantidad de frutillas en comparación con los métodos convencionales, optimizando el espacio disponible y contribuyendo al reciclaje de materiales plásticos. La implementación de cultivos verticales con botellas PET no solo reduce el impacto ambiental al utilizar materiales reciclados, sino que también ofrece una alternativa económica y accesible para pequeños productores.

Según Mendoza (2023), el uso de botellas PET pintadas de color negro es una técnica eficaz para la implementación de cultivos verticales en ambientes controlados, permitiendo la reutilización de materiales plásticos y mejorando la eficiencia en el uso de recursos. Estas botellas tienen una longitud aproximada de 2 litros y están pintadas de color negro para proteger las raíces de la exposición directa a la luz solar, lo cual ayuda a evitar el crecimiento de algas y a mantener una temperatura estable en el sustrato.

2.3.3. Cultivo vertical de la frutilla

Según Torres (2022), el cultivo vertical de frutilla es una forma de cultivo intensivo que ofrece ventajas significativas tanto para países desarrollados como para aquellos en vías de desarrollo. Este sistema optimiza el uso de agua, reduce el costo de insumos y eleva la calidad y el rendimiento de los cultivos. La utilización de técnicas verticales permite maximizar el espacio disponible, lo cual es crucial en áreas urbanas y en lugares donde el terreno es limitado.

Gómez (2023), afirma que el cultivo vertical con frutillas ofrece múltiples ventajas, tales como la reducción de la necesidad de mano de obra, un mayor control de malezas y la facilidad de mantenimiento, incluso en espacios reducidos. Estos sistemas permiten mantener las plantas a una altura cómoda, lo cual facilita tanto el cuidado diario de las plantas como la cosecha, y disminuye los problemas fitosanitarios al evitar el contacto directo con el suelo.

Rodríguez (2020), identifica que el uso de técnicas verticales también facilita la protección de las plantas cuando están en invernaderos, lo cual incrementa la producción unitaria y mejora la calidad del fruto, manteniendo el cultivo en un ambiente fitosanitario favorable. Además, se observa una producción más firme de los frutos y una reducción considerable del laboreo comparado con los cultivos tradicionales en el suelo.

2.3.4. Plástico

Según Jiménez (2021), el plástico, y en particular el polietileno tereftalato (PET), es un material no biodegradable ampliamente utilizado en la fabricación de botellas y otros productos. Este tipo de plástico es apreciado por su durabilidad, ligereza y bajo costo de producción, pero al mismo tiempo presenta un reto importante para el medio ambiente.

debido a su lenta degradación, lo cual puede tardar hasta 500 años en condiciones naturales..

Ramírez (2022), menciona que la contaminación causada por el plástico tiene un impacto significativo en la biodiversidad, especialmente en ambientes marinos. Muchos animales, incluidos peces y tortugas, confunden el plástico con alimento, lo que conduce a la muerte por asfixia o problemas digestivos. Las botellas PET también son responsables de la contaminación visual y la obstrucción de drenajes y ríos, agravando las inundaciones en épocas de lluvias.

En un estudio reciente, Gómez (2023), destacó que el proceso de degradación de los plásticos PET se acelera mediante la exposición continua a los rayos ultravioleta, lo que descompone el material en microplásticos que se dispersan en el medio ambiente y pueden entrar en la cadena alimenticia humana. El reciclaje se presenta como una alternativa importante para reducir el impacto de este material, sin embargo, la tasa de reciclaje es aún insuficiente en comparación con la producción total.

2.3.5. Botellas plásticas PET

Según López (2023), las botellas PET son ampliamente utilizadas para envasar líquidos como bebidas, productos de limpieza para el hogar, y lácteos, debido a su ligereza, durabilidad y bajo costo de producción. Este material, al ser no biodegradable, presenta un desafío significativo para el medio ambiente. Sin embargo, también ofrece oportunidades para su reutilización, especialmente en la agricultura urbana y los cultivos verticales, como una forma de aprovechar su disponibilidad y reducir la contaminación plástica.

2.3.6. Reciclaje de botellas plásticas PET

El reciclaje de botellas PET ha ganado gran relevancia en los últimos años, especialmente en el contexto de la agricultura urbana y la producción sostenible. Según López (2022), el uso de botellas plásticas PET recicladas para la creación de sistemas de cultivo vertical ha demostrado ser una alternativa innovadora y efectiva para aprovechar los residuos plásticos, especialmente en el cultivo de frutillas. Este método permite reducir significativamente la cantidad de plásticos desechados, proporcionando una solución ambientalmente responsable mientras se impulsa la agricultura urbana.

En diversos lugares de América Latina, como Bolivia, Ecuador y México, se han implementado iniciativas para recolectar y reciclar botellas PET con fines agrícolas. Por ejemplo, en Ecuador existen aproximadamente 2,000 centros de acopio para el reciclaje de botellas plásticas, con un gran número de recicladores informales involucrados en la recolección y comercialización de este material, lo que contribuye al desarrollo económico local y a la disminución de la contaminación ambiental (Heredero, 2015).

De acuerdo con Rodríguez (2023), el reciclaje de botellas PET y su reutilización en sistemas de cultivo, como el vertical de frutillas, es una estrategia altamente efectiva para promover la sostenibilidad en la agricultura. Este tipo de sistema no solo ayuda a disminuir la presencia de plásticos en el medio ambiente, sino que también reduce costos de producción, ya que los agricultores pueden implementar estructuras reutilizables y económicas para el cultivo de frutillas y otras planta.

2.3.7. Degradación de las botellas PET

Según González (2021), el proceso de degradación de las botellas PET puede extenderse hasta 500 años en condiciones naturales. Este proceso se lleva a cabo tanto de manera aeróbica como anaeróbica, con una descomposición gradual influenciada por la exposición a la radiación ultravioleta, que reduce la firmeza del material y libera microplásticos al medio ambiente. Además, el agua también puede acelerar la solubilización de las partículas, especialmente después de que las botellas han cumplido su ciclo de vida útil.

López (2022), menciona que la degradación de las botellas PET no solo implica la fragmentación en microplásticos, sino que estos posteriormente se dispersan en el ambiente, entrando en los ecosistemas marinos y terrestres. La principal preocupación actual es la acumulación de microplásticos en la cadena alimentaria, afectando tanto a la fauna silvestre como a los humanos. En respuesta a este problema, las iniciativas de reciclaje y la reutilización en proyectos de agricultura, como el cultivo de frutilla, han demostrado ser efectivas para reducir la contaminación y promover un enfoque más sostenible.

2.3.8. Impactos ambientales en la salud y el ambiente

Según Morales (2022), las botellas plásticas PET perjudican la salud y el medio ambiente de diversas maneras. Cuando estos materiales se depositan en vertederos, a menudo son

quemados, liberando compuestos tóxicos como dioxinas y furanos que afectan negativamente la calidad del aire y la salud de las personas expuestas. Además, el mal manejo de estas botellas, al ser arrojadas en riberas de ríos, playas o carreteras, contribuye a la contaminación visual y provoca acumulación de residuos que afectan el flujo natural de los ríos y mares, especialmente durante la temporada de lluvias.

Estudios recientes, como el de Fernández (2023), indican que el impacto de las botellas plásticas también se extiende a la vida marina. Muchos animales marinos, como las tortugas y aves, ingieren fragmentos de plástico, lo cual puede causar asfixia y bloqueos gastrointestinales. Esto se ha convertido en una de las principales causas de mortalidad de estas especies. En cuanto a la salud humana, la liberación de microplásticos provenientes de la degradación de las botellas PET representa un riesgo potencial al entrar en la cadena alimentaria, lo cual está asociado con efectos tóxicos en órganos internos y disrupciones endocrinas.

2.3.9. Humus de lombriz

El humus de lombriz es un abono orgánico que se obtiene a partir de la digestión de materia orgánica descompuesta (compost) por lombrices. Es un fertilizante con propiedades nutritivas superiores al humus del suelo, siendo útil como abono natural, mejorador del suelo o enmienda orgánica (Fernández, 2021). El humus de lombriz contiene una alta carga microbiana, con hasta 20 mil millones de microorganismos por gramo seco, lo que contribuye a la protección de las raíces contra bacterias y a la producción de hormonas como el ácido indolacético, que estimula el crecimiento y las funciones vitales de las plantas.

Según Gómez (2022), el humus de lombriz es un fertilizante bio-orgánico ligero, sin olor, con una granulometría parecida al café molido, que aporta nutrientes esenciales al suelo. Mejora la retención de humedad y la aireación, factores claves para el desarrollo radicular. También contiene ácido húmico y ácido fúlvico, que mejoran la estructura del suelo, incrementan la capacidad de retención de nutrientes y promueven la actividad microbiana, lo cual resulta en una mayor productividad y fertilidad del suelo.

2.3.10. Estructura del humus de lombriz

El humus de lombriz es un material orgánico de alto peso molecular, constituido por un núcleo central compuesto principalmente de compuestos aromáticos como los fenoles y

cadenas laterales de carbohidratos y cadenas alifáticas. Estas cadenas laterales contienen grupos funcionales que determinan la funcionalidad del humus, como los ácidos húmicos y fúlvicos (López, 2021).

Las características físico-químicas del humus de lombriz permiten mejorar significativamente las propiedades del suelo, favoreciendo la interacción suelo-planta. Los ácidos húmicos y fúlvicos ejercen mejoras físicas, químicas y biológicas en el suelo, incrementando su productividad y fertilidad. Además, el humus aumenta la retención de humedad, mejora la aireación del suelo y facilita la absorción de nutrientes por parte de las raíces, promoviendo un desarrollo óptimo de las plantas (Martínez, 2023).

2.3.11. Características generales del vermicompost o humus de lombriz

El vermicompost, también conocido como humus de lombriz, reviste un triple aspecto: físico, químico y biológico. Mantener el contenido de humus en el suelo a un nivel conveniente es esencial para la conservación de su fertilidad. En suelos bien cultivados, el contenido de humus suele ser del 1,5% al 2%, pero puede alcanzar valores significativamente mayores (Gómez, 2021).

González (2022), describe las características del vermicompost como un material de color oscuro, con un olor agradable similar al mantillo del bosque, limpio y suave al tacto. Su gran bioestabilidad evita la fermentación o putrefacción, lo cual permite un uso prolongado sin riesgo de emisión de malos olores. Su color oscuro contribuye a la absorción de energía calórica, y su elevada carga enzimática y bacteriana facilita la solubilización de los nutrientes, haciendo que estos sean inmediatamente asimilados por las raíces de las plantas.

El vermicompost impide que los nutrientes sean lavados fácilmente por el agua de riego, manteniéndolos disponibles por más tiempo en el suelo. Su pH neutro lo convierte en un abono seguro para su uso con plantas delicadas, favoreciendo el mantenimiento, desarrollo y diversificación de la microflora y microfauna del suelo. Además, contribuye a aumentar la permeabilidad y la retención hídrica del suelo (del 4% al 27%), reduciendo significativamente el consumo de agua en los cultivos (Martínez, 2023).

2.3.12. Beneficio del vermicompost en las plantas

Según Ramírez (2022), los beneficios del vermicompost en las plantas son numerosos e incluyen:

- ✓ El humus de lombriz mejora la germinación y el crecimiento de las plantas, favoreciendo su desarrollo inicial y aumentando la tasa de supervivencia (Gómez, 2021).
- ✓ También transmite sustancias beneficiosas como hormonas, vitaminas y proteínas, que promueven un crecimiento vigoroso (López, 2023).
- ✓ Su uso incrementa el tamaño de plantas, árboles y arbustos, especialmente en cultivos como frutillas y plantas ornamentales (Martínez, 2022). Además, previene el shock de trasplante y mejora la adaptación de las plantas al nuevo entorno (Fernández, 2023).
- ✓ Aumenta la resistencia de las plantas a patógenos gracias a sus hormonas y a las sustancias biológicas que estimulan los procesos biológicos de la planta (González, 2021).
- ✓ Finalmente, su flora microbiana mejora la solubilización de nutrientes, facilitando su absorción (Sánchez, 2022).

2.3.13. Tipos de sustrato

Turba.- La turba está formada por restos de vegetación acuática provenientes de pantanos o marismas, que se han conservado bajo el agua en un estado de descomposición parcial. La falta de oxígeno en estos ambientes ralentiza la descomposición bacteriana y química del material vegetal. La turba es un medio muy rico en materia orgánica, con una elevada capacidad de retención de agua y una buena aireación, lo que la hace especialmente adecuada para la mejora del suelo (Gómez, 2023).

Humus de Lombriz.- El humus de lombriz es uno de los mejores abonos orgánicos debido a su alto contenido en nitrógeno, fósforo, potasio, calcio y magnesio, elementos esenciales para el desarrollo de las plantas. Estos nutrientes ofrecen una alimentación equilibrada y fácilmente asimilable por las raíces de las plantas, promoviendo un crecimiento vigoroso y saludable. Además, su uso mejora la estructura del suelo y la actividad microbiana, lo cual contribuye a una mayor fertilidad y retención de humedad (Martínez, 2022).

2.3.14. Características de los sustratos

Un sustrato se define como un medio de cultivo inerte que cumple con dos funciones principales. Primero, permite el anclaje y aferramiento de las raíces, protegiéndolas de la exposición a la luz y favoreciendo su respiración. En segundo lugar, tiene la capacidad de retener agua y los nutrientes necesarios para las plantas (Gómez, 2023).

Desde el punto de vista físico, los sustratos están compuestos por tres elementos: materia sólida, que incluye tanto la materia orgánica como la mineral; agua; y aire. La proporción de cada componente está determinada por los ingredientes utilizados en la mezcla del sustrato (Martínez, 2022). La materia sólida proporciona la estructura para el soporte de las raíces, mientras que la cantidad de agua y aire debe estar equilibrada para garantizar el desarrollo adecuado de las plantas, favoreciendo tanto la disponibilidad de oxígeno como la hidratación.

2.3.15. Retención de la humedad

La capacidad de retención de humedad de un sustrato depende de la granulometría del material y de la porosidad de las partículas que lo componen. Para evaluar adecuadamente los materiales disponibles, es importante conocer tanto la capacidad de humedad a saturación como la retención a capacidad de campo. La capacidad de humedad a saturación se refiere a la cantidad total de agua que el sustrato puede contener, mientras que la retención a capacidad de campo indica la cantidad de agua que el sustrato retiene después de que el exceso de líquido ha sido eliminado por gravedad a tensión cero (González, 2022).

Este último valor es fundamental, ya que indica la capacidad del material para mantener la humedad alrededor de las raíces y, al mismo tiempo, permite la circulación de aire. La porosidad del sustrato también juega un papel clave, ya que afecta directamente la relación entre agua y aire, la cual es crítica para garantizar el desarrollo adecuado de las raíces y prevenir problemas como la asfixia radicular (López, 2023).

3. MATERIALES Y MÉTODOS

3.1. Localización

3.1.1. Ubicación Geográfica

El presente estudio se realizó en la Estación Experimental de Kallutaca, perteneciente a la Universidad Pública de El Alto, localizada en la Provincia Los Andes, Segunda Sección del Municipio de Laja, al oeste del Departamento de La Paz. La estación se encuentra a 16°31'24" de latitud sur y 68°18'44" de longitud oeste, a una altitud de 3,901 msnm, y se ubica a 15 km de la ciudad de El Alto (Ceja) (Earth, 2024).

3.1.2. Características ecológicas

3.1.3. Clima

El sitio donde se desarrolló la investigación tiene las siguientes condiciones climáticas: una temperatura máxima de 15.7 °C y una mínima de 2,8 °C, con una humedad relativa de 35 %, una precipitación pluvial total de 600 - 650 mm por año (Guarachi, 2010).

3.1.4. Suelo

La región de Kallutaca presenta suelos de formación fluvio-lacustre no inundable e inundable con características de bofedales, texturalmente son suelos franco arcillosos con perfiles de horizontes distinguidos. Con una pendiente mínima de 1%, casi a nivel, el drenaje superficial es lento debido a su textura y pendiente (Salas, 2023).

3.1.5. Flora

Según Lopez (2013), la zona de estudio presenta una diversidad de especies vegetales perennes y arbustivas, las mismas son consideradas plantas invasoras entre las especies de estrato bajo se encuentran Chiji (*Distichlis humilies Phil*); Cebadilla (*Bromus unioloides Balh*); Diente de león (*Taraxacum officinale Weber*); Bolsa de pastor (*Capsella bursa-pastori L.*); Auja-auja (*Erodium cicutarum L.*); K"ora lupu-lupu (*Tarasa tenella Krapov.*); Mostaza (*Brassica rapa L.*); Muni muni (*Bidens andiloca Kunth*), entre las especies cultivadas Haba (*Vicia faba*); Papa (*Solanum tuberosum*); Quinoa (*Chenopodium quinoa*); Cañahua (*Chenopodium pallidicaule*); trigo harinero (*Triticum aestivum*) y entre otros.

3.2. Materiales

3.2.1. Material vegetal

- Plantines de frutilla de la variedad Oso Grande, adquiridos en el vivero Lariano.

Las principales características de esta variedad son plantas vigorosas, de follaje verde oscuro, frutos grandes, forma de cuña achatada, de color rojizo intenso son resistentes al transporte y de buen sabor.

- Humus de lombriz
- Turba
- Tierra del lugar

3.2.2. Material de campo

- Pala
- Carretilla picota
- Cinta métrica
- Cernidor
- Estacas
- Manguera
- Regadera
- Malla semi sombra 50%
- Callapos
- Alambre
- Botellas PET
- Alicates

- Sierra mecánica

3.2.3. Material de escritorio

- Laptop
- Flash memory
- Calculadora
- Libreta de registros
- Impresora
- Lápiz y tablero
- Cámara fotográfica

3.2.4. Fertilización orgánica

El material orgánico que se utilizó para la producción de frutillas fueron: humus de lombriz, turba y tierra del lugar, el aporte nutricional del suelo es el siguiente: nitrógeno con un 0,0014%, fósforo con 1,5 mg/kg y potasio con 0,0053 cmolc/kg.

3.2.5. Material para el armado del sistema vertical

Los materiales y herramientas de campo que se utilizaron para el armado del sistema vertical fueron: 15 callapos de 2 m, 1 kg de clavos de dos pulgadas y 1 kg de alambre galvanizado.

3.2.6. Material para armado de los contenedores verticales

Para llevar a cabo el armado de los contenedores verticales fue necesario utilizar los siguientes materiales y herramientas: botellas PET de 3 litros, tijeras, fierro para hacer agujeros, malla, alicate y sierra mecánica.

3.3. Metodología

3.3.1.1. Preparación del terreno

Primero se niveló el área, luego se realizó una medición y se trazó cada unidad experimental. Seguidamente, se hizo la preparación del suelo de manera homogénea para cada unidad experimental. La preparación del suelo consistió en incorporar tierra cernida del lugar, humus de lombriz, turba y arena en cada uno de los contenedores. La mezcla se realizó manualmente con una pala para cada uno de los tratamientos.

3.3.1.2. Desinfección del área experimental

Se llevó a cabo la desinfección completa del invernadero utilizando cal viva, con el propósito de eliminar posibles patógenos que pudieran afectar el desarrollo de las plantas. La cal se aplicó con una botella equipada con orificios pequeños, distribuyéndola de manera uniforme por toda el área destinada al presente trabajo.

3.3.1.3. Delimitación de las unidades experimentales en el invernadero

El proceso comenzó marcando puntos alrededor del invernadero. Luego, se procedió a nivelar el terreno y a plantar los callapos de 2.50 metros. Una vez completado este trabajo, se colgaron las botellas PET.

El nivelado del terreno inició con la delimitación de las unidades experimentales mediante camas. Cada unidad experimental tenía una dimensión de 1.50 x 0.50 m, con un pasillo de 0.3 m entre ellas y sus respectivas repeticiones. En total, se establecieron 12 camas donde se llevó a cabo la investigación.

3.3.1.4. Enraizamiento de los plantines

Los estolones de la variedad Oso Grande fueron adquiridos de un proveedor especializado en Perú empresa Larianco, conocido por su calidad de plantines libres de enfermedades y con altos estándares de producción.

3.3.1.5. Preparación del sustrato para los contenedores

En la preparación del sustrato se utilizaron los siguientes componentes:

La cantidad de mezcla de sustrato utilizada fue de 6.6 kg por cada contenedor vertical. Para los 36 contenedores empleados en la investigación, se incorporaron 237.6 kg de sustrato mezclado de forma homogénea, aplicando la mezcla correspondiente a cada tratamiento en los contenedores.

3.3.1.6. Instalación de los contenedores en el área experimental

El experimento se realizó utilizando botellas plásticas PET de 3 litros, uniendo tres botellas por cada contenedor y adaptándolas en forma vertical. Se realizaron agujeros en las botellas para permitir el drenaje del agua, y para encajarlas entre sí, se modificaron la primera y la segunda botella dándoles forma de embudo, de modo que pudieran conectarse con la tercera botella.

Luego, los contenedores se colgaron a una distancia de 30 centímetros entre sí, utilizando alambre galvanizado. Finalmente, las botellas fueron pintadas de color negro para evitar la formación de hongos.

3.3.1.7. Trasplante del cultivo a los contenedores verticales

Una vez obtenidos los estolones de plantas de buen porte, libres de enfermedades y deficiencias, se procedió a realizar el trasplante en horas de la tarde, después de la instalación de los contenedores. El trasplante se llevó a cabo utilizando un repicador, y cada estolón fue trasplantado en cada una de las botellas de todos los contenedores.

3.3.1.8. Riego

El sistema de riego se implementó de manera gradual. Inicialmente, se realizó un riego manual para asegurar la humedad adecuada durante las primeras etapas de crecimiento. Posteriormente, se instaló un sistema de riego por goteo automatizado, en el cual cada contenedor fue equipado con un gotero que suministraba 66,7 ml de agua por minuto en intervalos programados. La frecuencia del riego se ajustó según las necesidades de las plantas, considerando factores como la temperatura, la humedad relativa y la etapa fenológica. El riego se efectuó principalmente en las horas de la mañana y de la tarde, siendo especialmente clave a las 2 p.m., con una duración aproximada de un minuto por contenedor.

3.3.1.9. Refalle

Esta labor se llevó a cabo una semana después del trasplante, reponiendo aquellas plantas que murieron, presentaban daños o no se adaptaron adecuadamente al proceso de trasplante.

3.3.1.10. Labores culturales

Se realizó la eliminación de las flores para permitir que la planta desarrollara un buen porte. Además, se llevó a cabo la poda de mantenimiento en cada planta para garantizar su salud y crecimiento adecuado.

3.3.1.11. Cosecha

La cosecha se realizó cuando las plantas alcanzaron un buen porte, con frutos de tamaño y coloración adecuados, y en su madurez fisiológica, lo que garantizó un rendimiento óptimo. Se recolectaron temprano en la mañana para asegurar su calidad. Se midieron las variables agronómicas de cada unidad experimental.

3.3.2. Diseño experimental

Para el presente trabajo de investigación se aplicó el diseño completamente al azar (DCA), constituido por 4 tratamientos y 3 repeticiones, totalizándose en 12 unidades experimentales, las evaluaciones de estos tratamientos experimentales se efectuaron bajo el modelo lineal estadístico, sugerido por (Huarachi, 2019)

El Modelo Lineal Aditivo fue el siguiente:

$$Y_{ij} = u + \alpha_i + E_{jk}$$

Dónde:

Y_{ij} = Una observación cualquiera de la variable de respuesta

u = Media general del experimento

α_i = Efecto del i -ésima tratamiento (sustrato)

E_{jk} = Error experimental.

3.3.3. Formulación de los tratamientos

Para esta investigación, se prepararon cuatro tipos de sustrato con diferentes proporciones de tierra del lugar, turba y humus de lombriz. Estos tratamientos se denominaron T1, T2, T3 y T4. El tratamiento T1 sirvió como testigo sin adición de humus de lombriz, mientras que en los tratamientos T2, T3 y T4 se incluyeron proporciones crecientes de humus de lombriz.

T1= Testigo (tierra del lugar 50%, turba 50%, humus de lombriz 0%)

T2= Tierra del lugar 50%, turba 40%, humus de lombriz 10%

T3= Tierra del lugar 50%, turba 30%, humus de lombriz 20%

T4= Tierra del lugar 50%, turba 20%, humus de lombriz 30%

3.3.3.1. Croquis del experimento

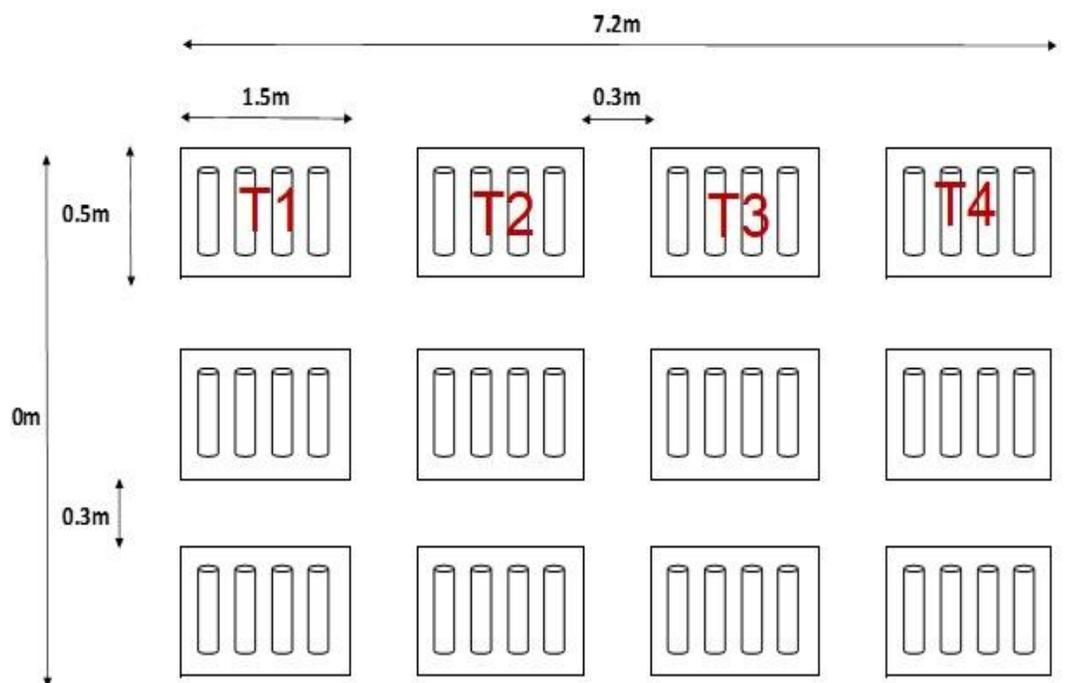


Figura 2. Croquis de experimento

3.3.4. Variables de respuesta

3.3.4.1. Porcentaje de prendimiento

Se calculó el porcentaje de prendimiento considerando el total de plantas que lograron establecerse y aquellas que murieron, expresándolo en porcentaje.

3.3.4.2. Número de hojas por planta

De cada unidad experimental se tomó el 50% de las plantas al azar, de las cuales se contabilizó el número de hojas.

3.3.4.3. Diámetro de fruto

De las mismas muestras seleccionadas al azar, en el momento de la cosecha única se midió el diámetro y la longitud de los frutos utilizando un vernier. Estos valores fueron expresados por planta, proporcionando una medida precisa del tamaño de los frutos obtenidos en esa única recolección.

3.3.4.4. Longitud del fruto

Esta variable de respuesta se determinó también después de cada cosecha, utilizando el mismo vernier. Se midió el fruto desde la base del cáliz hasta el ápice del fruto.

3.3.4.5. Número de frutos

En el momento de la cosecha, se contabilizaron los frutos de cada planta por separado en cada unidad experimental.

3.3.4.6. Peso de fruto

El peso de los frutos se determinó separadamente para cada unidad experimental, utilizando una balanza de precisión. Los resultados fueron expresados en gramos por fruto.

3.3.4.7. Grados Brix

Los grados Brix se determinaron utilizando un refractómetro, lo que permitió medir el grado de dulzura de las frutillas. Para esta medición, se seleccionaron aleatoriamente frutillas de

las muestras cosechadas de cada tratamiento. A partir de estos valores, se pudo estimar la concentración aproximada de azúcares solubles en las frutillas.

3.3.4.8. Rendimiento por planta

Con la ayuda de una balanza de precisión, se pesó los frutos del total de las plantas producidas en cada unidad experimental y se pesó de cada tratamiento, y se calculó la producción de frutilla en m².

3.3.4.9. Rendimiento por metro cuadrado

Con la ayuda de una balanza de precisión, se pesaron los frutos de todas las plantas producidas en cada unidad experimental. Se pesó por separado el rendimiento de cada tratamiento, y se calculó después la producción de frutilla por metro cuadrado (m²). Para ello, se dividió el peso total de los frutos obtenidos en cada unidad experimental entre el área de cultivo correspondiente a ese tratamiento, proporcionando así el rendimiento en kilogramos por metro cuadrado (kg/m²).

3.3.5. Costo total de producción de cultivo

3.3.5.1. Beneficio bruto del cultivo

Con base a Barry (2010), el ingreso bruto se calculó para cada tratamiento, multiplicando el rendimiento ajustado por el precio del producto que fue 30 a 35 Bs por kg, este precio se comprobó en el súper mercado, ferias de las zonas del municipio de la Ciudad Del Alto, durante los días 26 y 27 de abril de 2024.

$$\mathbf{IB = R \times P}$$

Donde:

IB = Ingreso bruto

R = Rendimiento ajustado por tratamiento

P = Precio

3.3.5.2. Beneficio neto del cultivo

El ingreso neto se determinó restando el total de los costos de producción del ingreso bruto.

$$\mathbf{IN = IB - CP}$$

Donde:

IN = Ingreso neto

IB = Ingreso bruto

CP = Costo de producción

3.3.6. Relación beneficio / costo (B/C)

Se calculó relacionando el ingreso bruto con los costos de producción, para una evaluación económica final. Se usó la relación menor a 1 lo que significa que se incurrieron en pérdidas y una relación superior a 1 significa que la actividad económica fue rentable (Gittinger, 1982).

$$\mathbf{B/C = IB/ CP}$$

4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1. Variables climáticas

4.1.1. Temperatura

Como se muestra en la Figura 3, las temperaturas registradas entre los meses de diciembre y junio muestran una variabilidad significativa que influye en el desarrollo del cultivo de frutilla. La temperatura máxima extrema se registró en diciembre con 30°C, mientras que la temperatura mínima extrema ocurrió en mayo con 3.5°C. Las temperaturas medias durante el ciclo de cultivo oscilaron entre los 14°C y 18°C, proporcionando un entorno mayormente adecuado para el desarrollo de la frutilla.

El rango óptimo de temperatura para el cultivo de la frutilla se encuentra entre los 20°C y 26°C, con una temperatura mínima crítica de 5°C, según Mendoza (2013). Las condiciones térmicas registradas en la estación experimental se mantuvieron dentro de los límites recomendados para el desarrollo adecuado de la frutilla, favoreciendo un buen arraigo y un crecimiento vegetativo saludable. No obstante, las temperaturas extremas en algunos meses podrían haber generado ligeros efectos adversos sobre el cultivo.

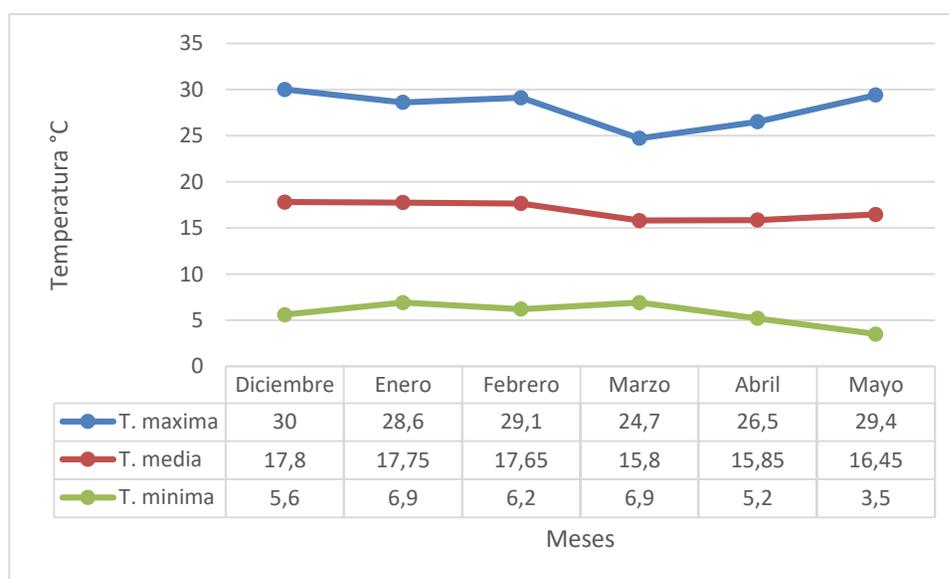


Figura 3. Temperaturas registradas durante el desarrollo del cultivo

4.2. Humedad relativa

La Figura 4, muestra las fluctuaciones de la humedad relativa máxima (HR%) en la carpa solar durante el ciclo productivo del cultivo de frutilla, registrando valores entre 76% y 80% a lo largo de los meses. En diciembre, se observó el valor más alto de HR% con un 80%, seguido de una ligera disminución hasta abril, donde se registró el valor más bajo de 76%. Posteriormente, en mayo y junio, la HR% volvió a aumentar, alcanzando nuevamente un 79%.

Estas fluctuaciones son características de los ambientes protegidos donde, a pesar de las variaciones estacionales externas, el uso de la carpa solar permitió mantener una humedad relativamente estable. Este control de la humedad es crucial para el cultivo de la frutilla, especialmente durante la fase de floración, donde una humedad óptima (70%-80%) ayuda a prevenir la deshidratación de las flores y mejora el cuajado de frutos.

La frutilla es un cultivo que requiere una humedad relativa óptima de entre 70% y 80% durante su fase de crecimiento y desarrollo, especialmente en ambientes controlados como las carpas solares, según García (2012), Este rango favorece una mejor absorción de agua y nutrientes, lo que impulsa el desarrollo vegetativo y la producción de frutos de calidad. Además, una humedad inadecuada puede afectar negativamente la polinización y el cuajado de los frutos, impactando directamente en la productividad.

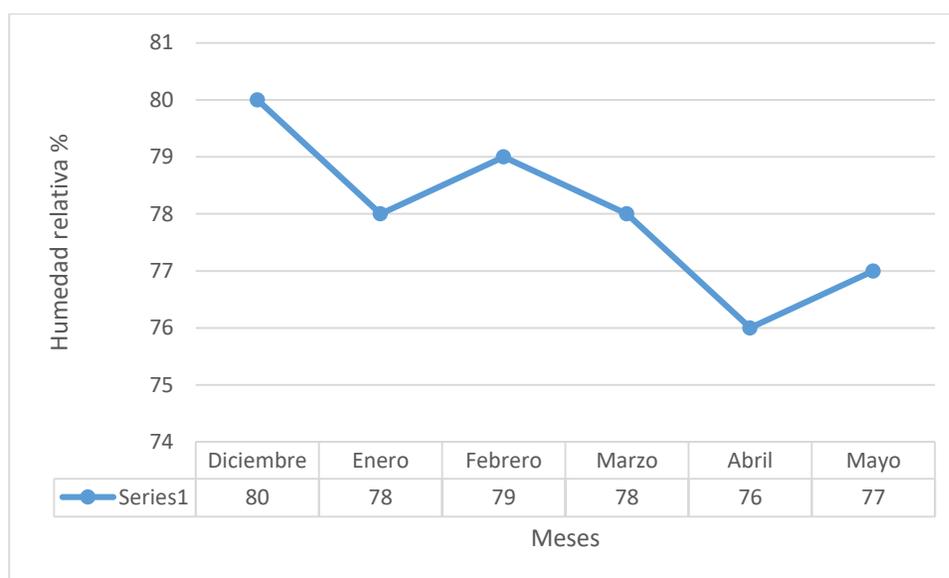


Figura 4. Humedad relativa 2022-2023

4.3. Porcentaje de prendimiento

Para la descripción de la variable de respuesta porcentaje de prendimiento se realizó el respectivo análisis de varianza descrito a continuación:

De acuerdo al análisis de varianza representado en el Cuadro 1, para el porcentaje de prendimiento, los niveles de humus de lombriz aplicados y el testigo, no generaron diferencias significativas en el porcentaje de prendimiento, con un coeficiente de variación de 1,60 % comprobando que los datos son confiables.

Cuadro 1. Análisis de varianza para porcentaje de prendimiento

FV	SC	GL	CM	F	P
TRATAMIENTO	30,44	3	10,15	5,19	0,0727 NS
ERROR	7,81	4	1,95		
TOTAL	38,25	7			
CV	1,60%				

NS = no significativo

El uso de humus de lombriz mejora el sustrato en términos de retención de humedad y disponibilidad de nutrientes, lo cual suele llevar a un mejor prendimiento y desarrollo radicular. En la investigación el porcentaje de prendimiento aumentó en los tratamientos con humus de lombriz (T2, T3, T4), lo cual coincide con lo planteado por Gómez (2023), ya que el humus parece haber contribuido a mejorar las condiciones del sustrato. Sin embargo, Gómez también señala que los beneficios del humus pueden no ser tan evidentes cuando el sustrato ya tiene una buena calidad. Esto explica por qué, a pesar de las diferencias visuales entre los tratamientos, el ANVA no arrojó resultados significativos. En la investigación, la homogeneidad del sustrato base parece haber mitigado el impacto adicional del humus, llevando a una falta de significancia estadística, tal como Gómez había señalado en su estudio.

4.4. Número de hojas por planta

El análisis de varianza para el número de hojas por planta Cuadro 2, muestra que los tratamientos con diferentes niveles de humus de lombriz (T1 = 0%, T2 = 10%, T3 = 20%, T4 = 30%) tuvieron un efecto altamente significativo sobre esta variable ($p = 0.0006$). Esto queda reflejado en el valor de F obtenido, 70.38, lo cual indica una fuerte influencia de los

tratamientos sobre el desarrollo foliar de la frutilla. El coeficiente de variación (CV) es de 5.68%, lo que indica una alta fiabilidad y consistencia en los datos. Esto sugiere que las condiciones experimentales y el diseño de los tratamientos fueron adecuadamente controlados, y que los resultados son representativos del efecto real del humus de lombriz sobre el número de hojas.

Cuadro 2. Análisis de Varianza número de hojas por planta

FV	SC	GL	CM	F	P
TRATAMIENTO	206,49	3	68,83	70,38	0,0006**
ERROR	3,91	4	0,98		
TOTAL	210,4	7			
CV	5,68%				

(**) = Altamente significativo

La Figura 5, muestra el número de hojas por planta para los diferentes tratamientos con niveles de humus de lombriz: T1 (0%), T2 (10%), T3 (20%), y T4 (30%). Los valores fueron analizados mediante la prueba de Duncan al 5% de probabilidad, que permitió identificar tres grupos con diferencias significativas. El primer grupo incluyó los tratamientos T1 y T2, con promedios de 11,99 y 13,87 hojas, respectivamente, indicando que la aplicación de 10% de humus no generó un incremento significativo en el desarrollo de hojas en comparación con el control sin humus. El segundo grupo, correspondiente al T3 (20%), mostró un promedio de 18,72 hojas, diferenciándose significativamente de los tratamientos del Grupo A, lo que sugiere que incrementar el humus a 20% contribuyó a una mejora notable en el desarrollo foliar. Finalmente, el tercer grupo, representado por el tratamiento T4 (30%), obtuvo el mayor promedio de 25,13 hojas por planta, superando significativamente a todos los demás tratamientos. Este resultado indica que el mayor nivel de humus aplicado favoreció el desarrollo del número de hojas de manera destacada, logrando las mejores condiciones para el crecimiento foliar. En resumen, la tendencia observada muestra que, aunque el incremento de humus a 10% no generó un cambio significativo respecto al control, los niveles de 20% y 30% sí mostraron un impacto considerable, especialmente en el tratamiento T4, donde se alcanzó el mayor número de hojas.

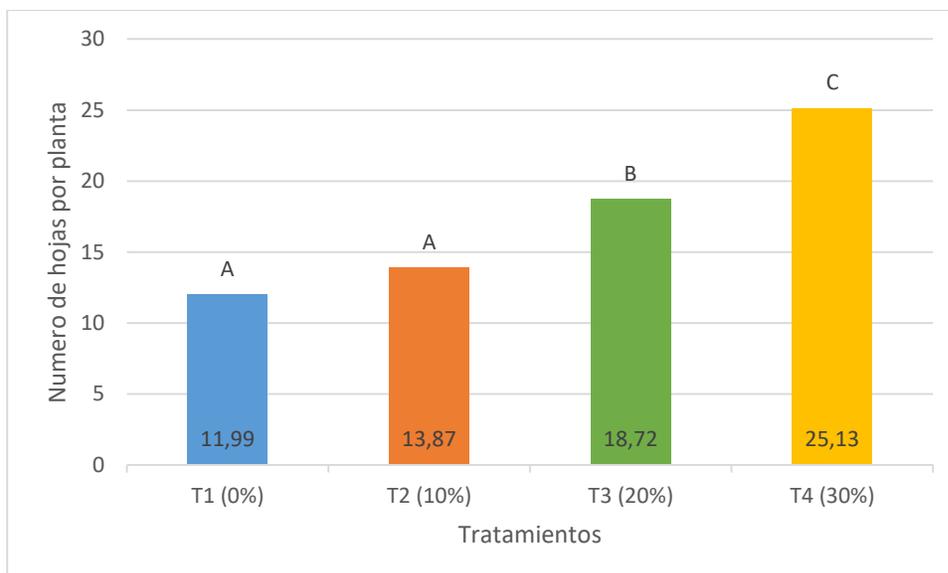


Figura 5. Prueba de Duncan al 5% para número de hojas por planta

Las diferencias altamente significativas podrían ser, en gran parte, al efecto positivo del humus de lombriz sobre las propiedades físicas y químicas del sustrato, creando un ambiente más adecuado para el crecimiento de las plantas. Los tratamientos con 10% o menos de humus (T1 y T2) no lograron los mismos niveles de desarrollo foliar que los tratamientos con 20% y 30%, lo cual podría deberse a que los niveles más bajos de humus no fueron suficientes para enriquecer el sustrato de manera óptima. El efecto significativo observado en el análisis de varianza refuerza la necesidad de aplicar niveles adecuados de humus para maximizar el rendimiento de las plantas de frutilla, asegurando que los beneficios del humus se manifiesten claramente en el desarrollo foliar y en el rendimiento general del cultivo.

En la Figura 6, muestra la relación entre el nivel de humus de lombriz (%) y el número de hojas por planta. A medida que aumenta el nivel de humus de lombriz, se observa un incremento significativo en el número de hojas, pasando de aproximadamente 3.0 hojas con un nivel inicial de 10%, a 3.9 hojas con el nivel más alto de 30%. Esta tendencia indica una diferencia altamente significativa entre los niveles de humus de lombriz y el crecimiento vegetativo de la planta, sugiriendo que mayores concentraciones de humus mejoran considerablemente el desarrollo foliar. El aporte de nutrientes proporcionado por el humus de lombriz contribuye de manera significativa a mejorar el número de hojas por planta en el análisis de regresión.

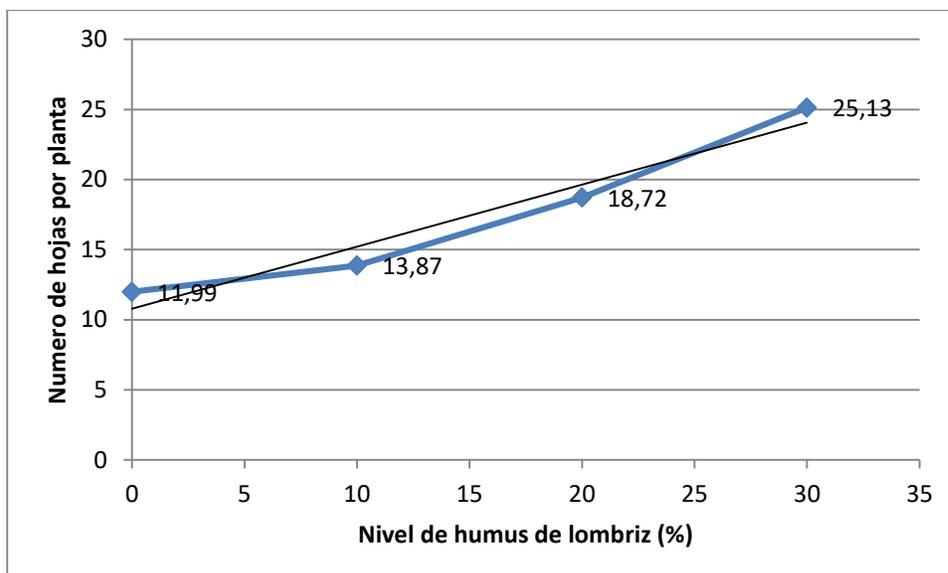


Figura 6. Análisis de regresión para número de hojas por planta

Al comparar estos resultados con Fernández (2019), quien menciona que el uso de humus de lombriz mejora significativamente la retención de humedad y la estructura del sustrato, se puede entender por qué los tratamientos con mayores niveles de humus presentaron un mayor número de hojas. Según Fernández, el humus de lombriz enriquece el sustrato proporcionando nutrientes esenciales y mejorando las condiciones para el crecimiento radicular, lo cual coincide con los resultados obtenidos en la investigación, donde el tratamiento T4 (30%) mostró el mayor número de hojas (25,13), diferenciándose significativamente de los demás. Además, Gómez (2023) destaca que el incremento de materia orgánica en el sustrato favorece el desarrollo vegetativo de las plantas, lo cual también respalda el aumento en el número de hojas observado a medida que se incrementaron los niveles de tratamientos T3 (20%) y T4 (30%) de humus de lombriz.

4.5. Diámetro de fruto

En el análisis de varianza presentado en el Cuadro 3, se evalúa el efecto de los diferentes niveles de humus de lombriz por el diámetro de los frutos de frutilla. El valor de $F = 2147$, indica que existen diferencias altamente significativas entre los tratamientos, lo que significa que los distintos niveles de humus de lombriz aplicados influyeron de manera notable en el diámetro del fruto. Además, el coeficiente de variación (CV) de 0,37% refleja una baja variabilidad entre las repeticiones dentro de cada tratamiento, lo que demuestra la precisión y consistencia de los resultados obtenidos. Este valor de CV tan reducido indica que los

datos son confiables y que las diferencias observadas entre los tratamientos son realmente atribuibles a los niveles de humus de lombriz. Por lo tanto, el análisis confirma que el uso de humus de lombriz no solo es eficaz para aumentar el diámetro de los frutos, sino que también se pueden esperar resultados consistentes al aplicar esta técnica de manera controlada en el cultivo de frutilla.

Cuadro 3. Análisis de varianza (ANVA) para diámetro de fruto

FV	SC	GL	CM	F	P
TRATAMIENTO	0,97	3	0,32	2147	<0,0001**
ERROR	6,00E-04	4	1,5E-04		
TOTAL	0.97	7			
CV	0,37%				

(**) = Altamente significativo

En la Figura 7, se presenta el análisis del diámetro del fruto mediante la prueba de Duncan al 5% de probabilidad, donde se identificaron cuatro grupos distintos, El primer grupo corresponde al tratamiento T1 (0%), que obtuvo un promedio de 3 cm, el más bajo, debido a la ausencia de humus. El segundo grupo representa el tratamiento T2 (10%), con un promedio de 3,14 cm, lo cual muestra una mejora en el diámetro, pero aún limitada en comparación con tratamientos superiores. El tercer grupo, correspondiente a T3 (20%), mostró un incremento significativo con un promedio de 3,21 cm, separándose de los grupos anteriores. Finalmente, el cuarto grupo representa el tratamiento T4 (30%), con un diámetro promedio de 3,9 cm, siendo el mayor de todos los grupos.

Los resultados del análisis de varianza y la prueba de Duncan para el diámetro del fruto es que el efecto significativo observado podría deberse a la capacidad del humus de lombriz para mejorar las propiedades del sustrato de manera integral. En la investigación, los diferentes niveles de humus (0%, 10%, 20%, y 30%) demostraron tener un impacto claramente diferenciado en el diámetro del fruto, lo cual se refleja en los cuatro grupos identificados por la prueba de Duncan. A medida que aumentó la proporción de humus, también aumentó el tamaño promedio del fruto, con el tratamiento T4 (30%) mostrando el mayor valor (3,9 cm).

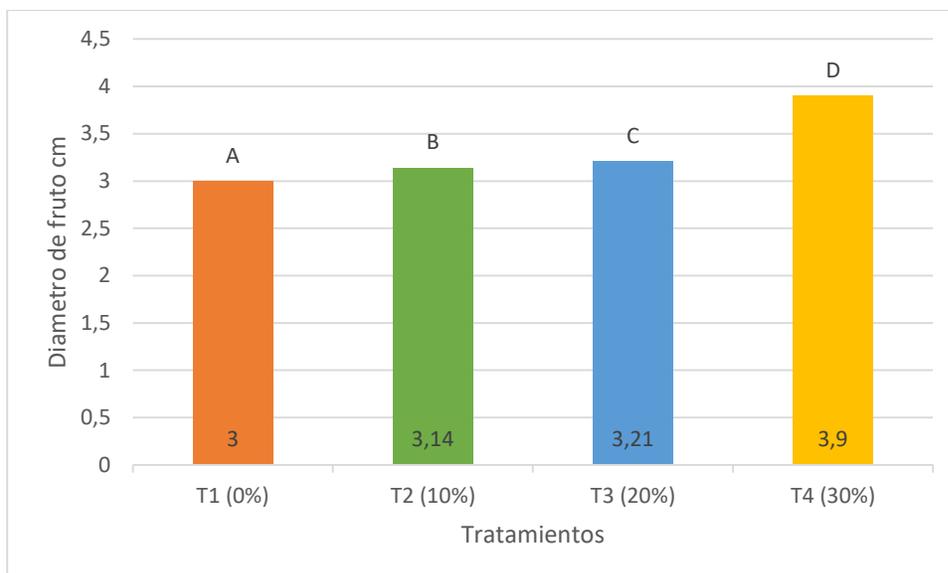


Figura 7. Prueba de Duncan al 5% para promedio diámetro de fruto

Estos resultados se alinean con lo señalado por Fernández (2019), quien menciona que el humus de lombriz puede mejorar significativamente el tamaño y calidad de los frutos debido a su capacidad para aportar macro y micronutrientes esenciales de forma lenta y sostenida. Este aporte nutritivo constante es crucial durante la fase de desarrollo de los frutos, y puede explicar por qué el tratamiento con 30% de humus (T4) generó frutos con mayor diámetro. Gómez (2023), también destaca que el uso de materia orgánica como el humus no solo mejora las propiedades físicas del sustrato, sino que también fomenta el equilibrio microbiano, contribuyendo a una mejor absorción de nutrientes. Esto respalda los resultados de la investigación, donde se observa un aumento significativo en el diámetro del fruto con el incremento de humus, lo cual sugiere un mayor nivel de disponibilidad de nutrientes.

En la Figura 8, se presenta el análisis de regresión entre el nivel de humus de lombriz (%) y el diámetro del fruto de frutilla (cm). Observamos que conforme aumenta el nivel de humus de lombriz, el diámetro del fruto también incrementa. A partir de un nivel inicial de 10%, el diámetro sube de 3.0 cm hasta alcanzar un valor máximo de 3.9 cm con un 30% de humus. Esta relación positiva indica que mayores concentraciones de humus de lombriz tienen un impacto beneficioso sobre el crecimiento del fruto, reflejado en un mayor diámetro.

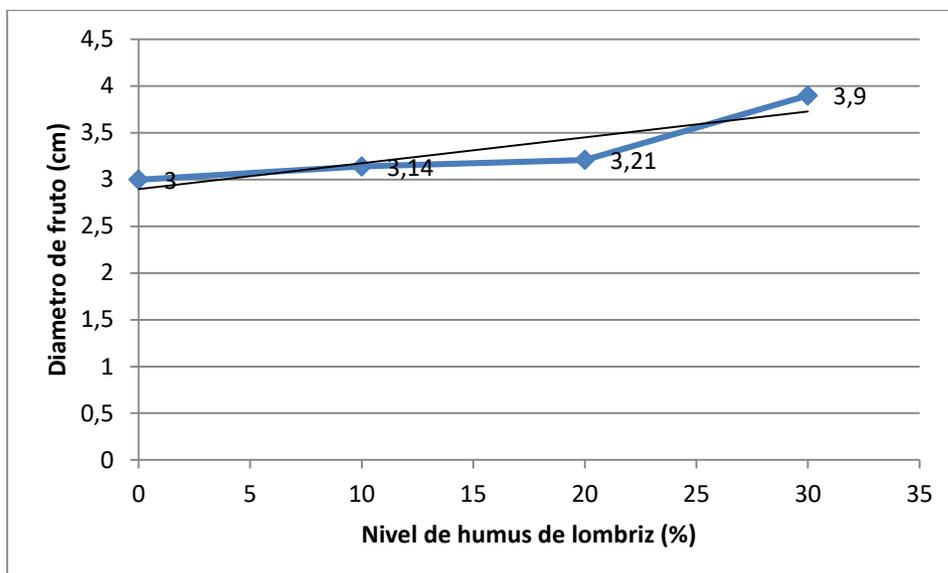


Figura 8. Análisis de regresión para diámetro de fruto

En esta investigación se ha encontrado un incremento significativo en el diámetro de los frutos con mayores concentraciones de humus, variando entre 3.0 cm y 4.0 cm. Estos resultados son consistentes con los de Martínez (2020), quien también observó un aumento progresivo del diámetro del fruto bajo la aplicación de fertilizantes orgánicos, alcanzando un máximo de 4.0 cm. Martínez sugiere que el efecto positivo del humus se debe a la mejora en la estructura del suelo, incrementando la retención de agua y la disponibilidad de nutrientes esenciales como nitrógeno, fósforo y potasio, así como al fomento de la actividad microbiana en la rizosfera, que favorece el crecimiento radicular. Al igual que Martínez, considero que el humus de lombriz juega un papel clave en el desarrollo del fruto, aunque factores externos como el clima y el manejo del riego también influyen en los resultados obtenidos.

4.6. Longitud de fruto

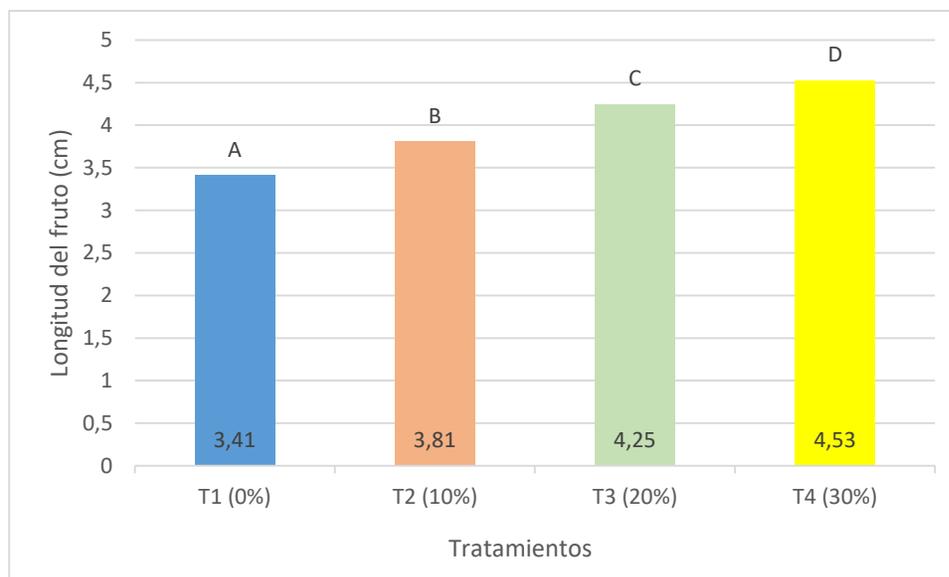
En el análisis de varianza presentado en el Cuadro 4, para la longitud de fruto revela un efecto altamente significativo de los tratamientos aplicados. La suma de cuadrados (SC) de los tratamientos es de 1,45, con un valor de F extremadamente alto de 38,673 y un p-valor menor a 0,0001, lo que indica que las diferencias entre los tratamientos son estadísticamente significativas. Coeficiente de variación (CV) es de solo 0,09%, lo que confirma la alta precisión del experimento y la confiabilidad de los valores registrados.

Cuadro 4. Análisis de varianza (ANVA) para longitud de fruto

FV	SC	GL	CM	F	P
TRATAMIENTO	1,45	3	0,48	38673	<0,0001**
ERROR	5,00E-05	4	1,30E-05		
TOTAL	1,45	7			
CV	0,09%				

(**) = Altamente significativo

En la Figura 9, se representa la longitud del fruto mediante la prueba de Duncan al 5%, identificando cuatro grupos significativamente diferentes, el primer grupo T1 (0%) con una longitud promedio de 3,41 cm, el segundo grupo T2 (10%) con 3,81 cm, tercer grupo para T3 (20%) con 4,25 cm, y el cuarto grupo para T4 (30%) con 4,53 cm, mostrando incrementos consistentes con el aumento del nivel de humus de lombriz.

**Figura 9. Prueba estadística de Duncan 5% para longitud del fruto**

Los resultados muestran claramente que el incremento en el nivel de humus tiene un impacto positivo en la longitud del fruto, posiblemente debido a la mejora integral del ambiente radicular, incluyendo tanto la disponibilidad de nutrientes como la capacidad de retención de humedad del sustrato. La clasificación de los tratamientos en cuatro grupos distintos mediante la prueba de Duncan sugiere que cada nivel adicional de humus aporta un beneficio significativo. Este efecto es más evidente con el 30% de humus, donde se observó el mayor crecimiento del fruto, lo cual indica que, al menos en las condiciones de este estudio, dicho nivel proporciona las mejores condiciones para el desarrollo del cultivo.

En la Figura 10, muestra la relación entre el nivel de humus de lombriz (%) y la longitud del fruto de frutilla (cm). Se observa un incremento significativo en la longitud del fruto conforme se incrementa la concentración de humus de lombriz, pasando de 3.41 cm con un 10% de humus a 4.53 cm con un 30%. Esta tendencia positiva indica que el humus de lombriz tiene un efecto favorable en el crecimiento del fruto, mejorando su tamaño a medida que se incrementa el aporte de nutrientes. La línea de regresión muestra una relación casi lineal, sugiriendo que cada aumento en la concentración de humus contribuye consistentemente a una mayor longitud del fruto.

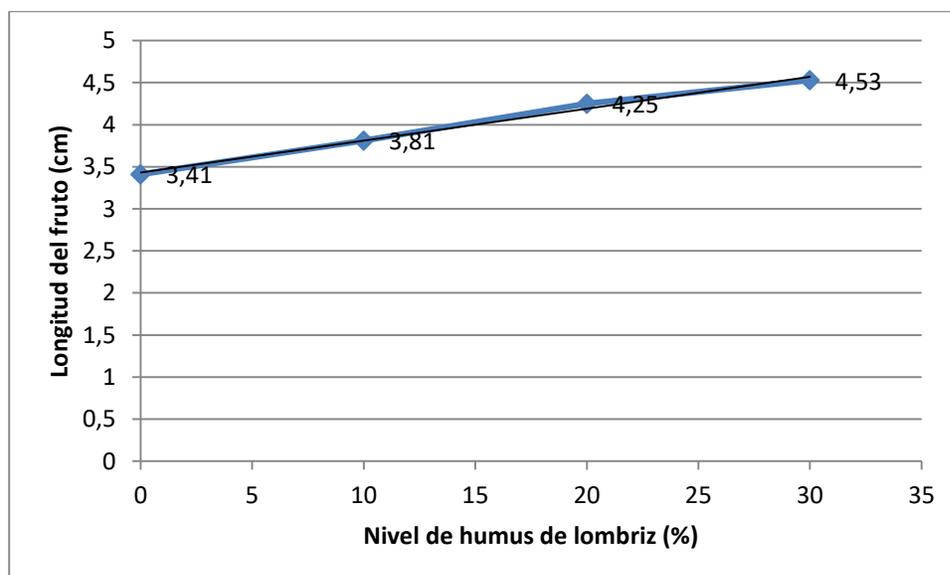


Figura 10. Análisis de regresión para longitud del fruto

Al comparar estos resultados con lo mencionado por Fernández (2019), encuentro consistencia en cuanto al efecto del humus de lombriz sobre el crecimiento del fruto. Fernández explica que el humus de lombriz aporta nutrientes esenciales y mejora la retención de agua, lo cual contribuye significativamente al desarrollo de los frutos. Esto coincide con los resultados observados, ya que cada incremento en el nivel de humus mostró una mejora significativa en la longitud del fruto, sugiriendo que los nutrientes adicionales y la mejora de las propiedades físicas del sustrato fueron claves. Gómez (2023), también respalda esta idea, destacando que la mejora de la estructura del suelo y la estimulación de la actividad biológica gracias al humus contribuyen a una mayor absorción de nutrientes y, en consecuencia, a un mejor crecimiento de los frutos.

En presente estudio, los resultados muestran un incremento significativo en la longitud del fruto de frutilla al aumentar los niveles de humus de lombriz, alcanzando una longitud de 4,53 cm con la aplicación del 30% de humus. Esto coincide con los hallazgos de Flores (2020), quien encontró que la aplicación de humus de lombriz incrementó la longitud del fruto a valores cercanos a 4,5 cm en tratamientos similares. Flores atribuye este incremento a la mejora en la estructura del suelo y a la mayor disponibilidad de nutrientes esenciales, especialmente nitrógeno y fósforo, que son mejor absorbidos gracias al humus. Estos nutrientes promueven un desarrollo más vigoroso de los frutos, lo cual se refleja directamente en el aumento de su longitud.

4.7. Número de frutos por planta

Los resultados del Análisis de Varianza presentados en el Cuadro 5 muestran que los tratamientos tuvieron un impacto significativo en la producción de frutos. La suma de cuadrados para los tratamientos fue mayor que la del error, indicando que la variabilidad se debe principalmente a los tratamientos. El valor de F fue alto ($F = 956,37$), con un valor P menor a 0,0001, lo que indica diferencias altamente significativas entre los tratamientos. El coeficiente de variación (CV) de 0,64% refleja alta precisión y confiabilidad en los datos.

Cuadro 5. Análisis de varianza para número de fruto

FV	SC	GL	CM	F	P
TRATAMIENTO	17,68	3	5,89	956,37	<0,0001**
ERROR	0,02	4	0,01		
TOTAL	17,71	7			
CV	0,64%				

(**) = Altamente significativo

En la Figura 11, se presenta el análisis del número de frutos por planta mediante la prueba de Duncan al 5% de probabilidad, identificando cuatro grupos significativamente diferentes. El primer grupo corresponde al tratamiento T1 (0%), con un promedio de 10,22 frutos, lo cual indica el menor rendimiento en ausencia de humus de lombriz. Segundo grupo incluye al tratamiento T2 (10%), que obtuvo un promedio de 11,83 frutos, mostrando una mejora respecto al grupo control. El tercer grupo, correspondiente al tratamiento T3 (20%), presentó un promedio de 12,62 frutos, lo cual muestra un incremento significativo respecto a los grupos anteriores. Finalmente, el grupo cuarto representa al tratamiento T4 (30%),

con un promedio de 14,35 frutos, siendo el tratamiento con mayor rendimiento de frutos por planta.

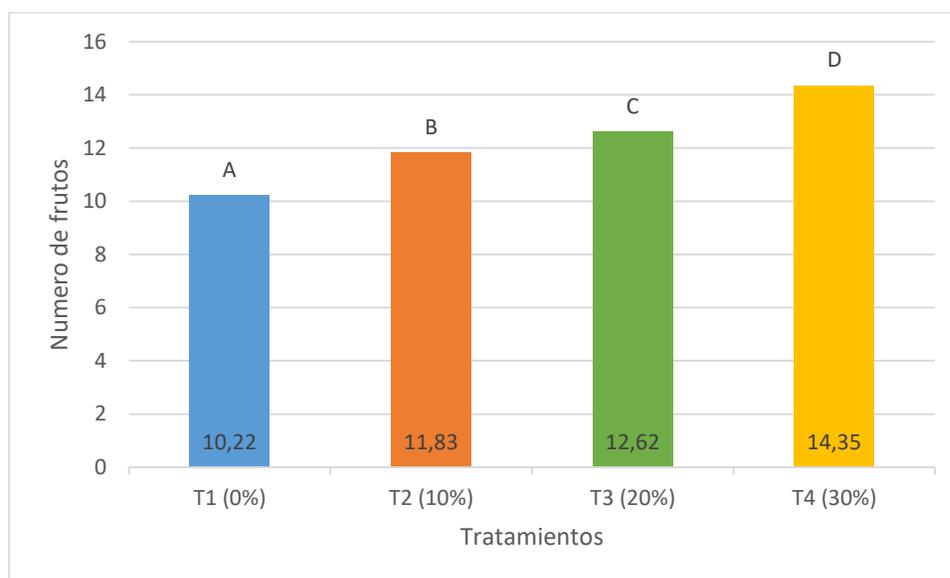


Figura 11. Prueba de Duncan al 5% para número de frutos

En la Figura 12, muestra el análisis de regresión entre el nivel de humus de lombriz (%) y el número de frutos producidos por planta de frutilla. Se observa una tendencia positiva, donde el número de frutos aumenta a medida que se incrementa el porcentaje de humus aplicado. Con un 10% de humus, el número promedio de frutos es de 10.22, mientras que con un 30% de humus se incrementa a 14.35. Esta tendencia lineal sugiere que el humus de lombriz tiene un impacto significativo en la producción de frutos, mejorando la capacidad productiva de la planta gracias al aporte de nutrientes esenciales y a la mejora en las condiciones del sustrato.

En el análisis presentado, los resultados son consistentes con lo reportado por Ramírez (2021), quien observó que la aplicación de humus de lombriz mejora significativamente la producción de frutos debido a su capacidad de mejorar la estructura del suelo y aumentar la disponibilidad de nutrientes esenciales. Ramírez destaca que el humus de lombriz favorece el crecimiento radicular y promueve un ambiente más saludable para la planta, lo cual se traduce en una mayor cantidad de frutos. Estos efectos positivos observados respaldan el impacto significativo del humus sobre la productividad de cultivos como la frutilla.

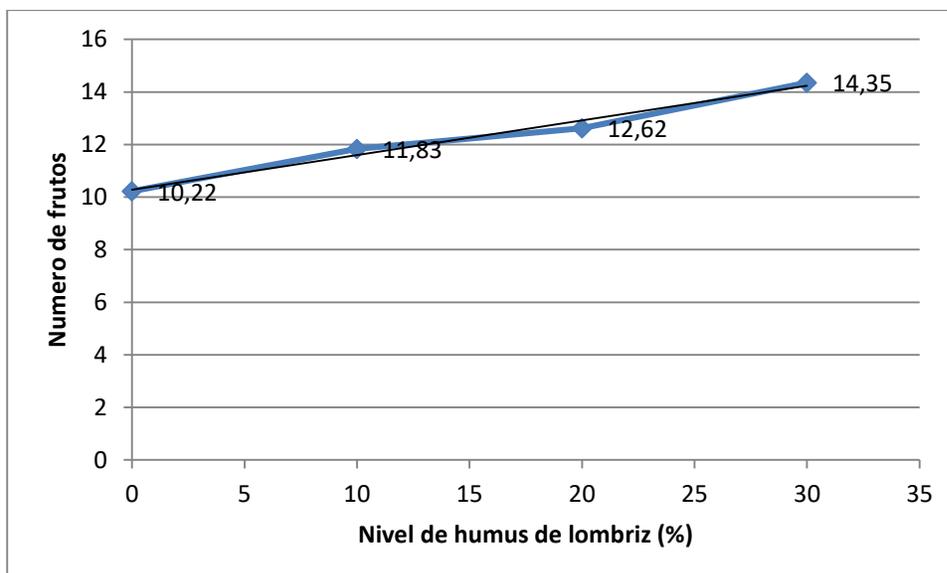


Figura 12. Análisis de regresión para número de frutos

Los resultados de la investigación muestran un aumento significativo en el número de frutos conforme se incrementa la cantidad de humus de lombriz, alcanzando el mayor rendimiento en el tratamiento T4 (30%). Este incremento evidencia el efecto positivo del humus sobre la productividad del cultivo. Esto coincide con lo señalado por Cochi (2017), quien argumenta que la aplicación de humus de lombriz en porcentajes crecientes mejora la estructura del suelo, la retención de humedad y la disponibilidad de nutrientes, incrementando la productividad. Ambos estudios sugieren que el humus de lombriz actúa de manera integral sobre el desarrollo de la planta, favoreciendo tanto el crecimiento radicular como la producción de frutos. El tratamiento T4 mostró el mejor rendimiento, atribuido a la mayor disponibilidad de nutrientes esenciales y al mejoramiento de la calidad del suelo, factores fundamentales para un cultivo exitoso.

En la investigación, se evaluó la variable número de frutos por planta de frutilla, y los resultados mostraron un incremento constante en el rendimiento a medida que se aumentaba el nivel de humus aplicado. Este patrón es consistente con lo reportado por Pérez *et al.* (2018), quienes también estudiaron el efecto del humus de lombriz en el cultivo de frutilla y encontraron que los niveles más altos de humus favorecieron el desarrollo radicular, la floración y, en consecuencia, la producción de frutos. En mi caso, el tratamiento T1 (0%), con 10,22 frutos por planta, representó el valor más bajo debido a la ausencia de humus, mientras que Pérez *et al.* destacaron cómo la aplicación de humus incrementó significativamente estos indicadores.

Mis datos también mostraron que con la aplicación de 10%, 20%, y 30% de humus en los tratamientos T2, T3, y T4, el número promedio de frutos por planta fue de 11,83, 12,62, y 14,35 respectivamente. Pérez *et al.* (2018), observaron un patrón similar, indicando que los niveles más altos de humus favorecieron la disponibilidad de nutrientes y la calidad del sustrato, promoviendo un mejor crecimiento y una mayor producción de frutos.

4.8. Peso del fruto

En el Cuadro 6 de análisis de varianza para los tratamientos muestra un efecto altamente significativo con los diferentes niveles de humus de lombriz en el peso de fruto por planta. Además el coeficiente de variación (CV) de 0,06% lo que confirma la alta confiabilidad de los valores registrados y la precisión del experimento, bajo refleja que las mediciones fueron consistentes y que el diseño experimental fue sólido, minimizando la dispersión de los resultados. Esto fortalece la confianza en las conclusiones del estudio y asegura que los efectos de los tratamientos con humus de lombriz sobre el peso del fruto fueron medidos de forma precisa y fiable.

Cuadro 6. Análisis de varianza para peso del fruto por planta

FV	SC	GL	CM	F	P
TRATAMIENTO	16,32	3	5,44	39562,76	<0,0001**
ERROR	5,50E-04	4	1,40E-04		
TOTAL	16,32	7			
CV	0,06%				

(**) = Altamente significativo

En la Figura 13, se presenta el análisis del diámetro del fruto mediante la prueba de Duncan al 5%, identificándose cuatro grupos significativamente diferentes. El primer grupo corresponde al tratamiento T1 (0%), con un promedio de 18,79 gramos de peso, representando el menor valor debido a la ausencia de humus de lombriz. El segundo grupo, representado por el tratamiento T2 (10%), obtuvo un promedio de 19,44 gramos, mostrando un incremento respecto al grupo control. El tercer grupo incluye el tratamiento T3 (20%), con un promedio de 20,81 gramos, indicando una mejora significativa con el aumento de humus. Finalmente, el cuarto grupo corresponde al tratamiento T4 (30%), con un diámetro promedio de 22,52 gramos, demostrando el mayor desarrollo del fruto entre todos los tratamientos.. Pérez *et al.* (2018), también observaron que el grupo control sin la aplicación de humus obtuvo un valor similar de 18,5 gramos por fruto, lo cual confirma la tendencia de

un menor desarrollo sin la influencia del humus. Al incrementar el nivel de humus al 10% (el segundo grupo, T2), el peso promedio del fruto fue de 19,44 gramos, lo cual coincide con lo señalado por Fernández (2019), quien reportó que los frutos con un 10% de humus alcanzaron un peso promedio cercano a 19,6 gramos, mostrando una mejora respecto al control.

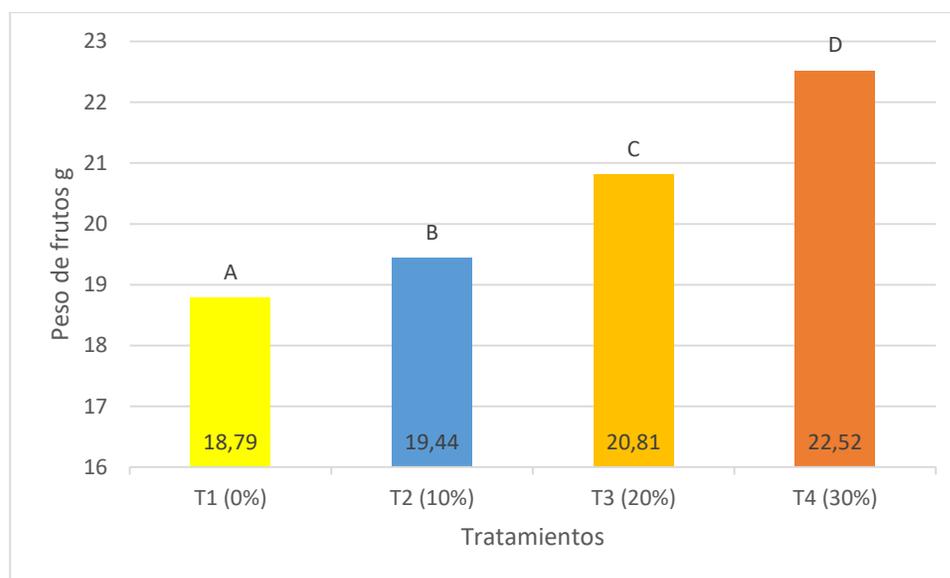


Figura 13. Prueba estadística de Duncan al 5% para peso de fruto

En la Figura 14, muestra el análisis de regresión entre el nivel de humus de lombriz (%) y el peso del fruto de frutilla (en gramos). Se observa una tendencia ascendente, indicando que el peso del fruto aumenta a medida que se incrementa el nivel de humus de lombriz. Con un 10% de humus, el peso promedio del fruto es de 18.79 gramos, mientras que con un 30% de humus alcanza los 22.52 gramos. Esta tendencia positiva sugiere que el humus de lombriz tiene un efecto significativo en el aumento del peso del fruto, probablemente debido a la mejora en la disponibilidad de nutrientes y la estructura del suelo, lo cual favorece un crecimiento más robusto y saludable de la planta.

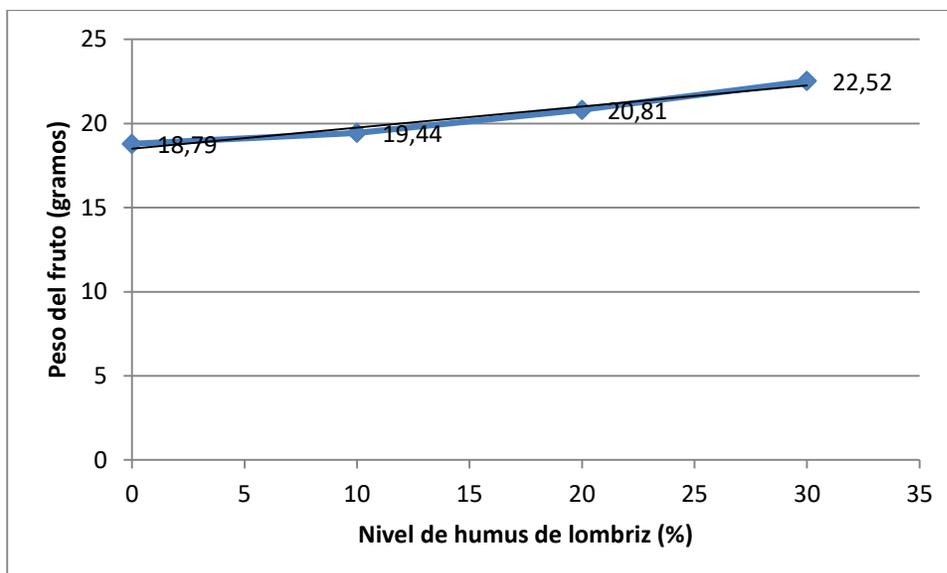


Figura 14. Análisis de regresión para peso de fruto

En el tratamiento T3 (20%), en la investigación mostró un peso promedio de 20,81 gramos por fruto, agrupado al tercer grupo. Pérez *et al.* (2018), también registraron un incremento similar en su estudio, con un peso de 20,7 gramos al aplicar un 20% de humus, lo que evidencia una mejora significativa en el peso del fruto a este nivel. Por último, el tratamiento T4 (30%) mostró el mejor resultado, con un promedio de 22,52 gramos por fruto, perteneciente al cuarto grupo. Fernández (2019), reportó un peso de 22,4 gramos en frutos tratados con el 30% de humus, indicando que este nivel proporcionó un entorno óptimo para el desarrollo de los frutos, al igual que en mi investigación. La correspondencia cercana entre mis resultados y los de estos autores refuerza la conclusión de que el humus de lombriz contribuye significativamente al desarrollo del fruto, mejorando tanto el peso como la calidad de los mismos.

El tratamiento T4 (30%) alcanzado un peso promedio de 22,52 gramos por fruto, casi idéntico al 22,4 gramos observado por Fernández (2019), resalta la efectividad del humus de lombriz para maximizar el rendimiento del cultivo de frutilla. La mejora constante en el peso observada a través de los tratamientos también concuerda con el ANVA, que mostró diferencias altamente significativas entre los tratamientos ($p < 0,0001$), lo cual indica que el efecto del humus es estadísticamente sólido. Además, el coeficiente de variación (CV) del 0,06% destaca la alta precisión y confiabilidad del experimento. Podría deberse de que el humus de lombriz mejora la retención de humedad, la aireación del sustrato, y la disponibilidad de nutrientes esenciales, proporcionando un entorno favorable para el

desarrollo de frutos más grandes y de mejor calidad, tal como también lo evidenciaron Pérez *et al.* (2018), y Fernández (2019).

4.9. Grados brix

El análisis de varianza presentado en el Cuadro 7 para los grados Brix de los frutos mostró un valor $p = 0,0011$, lo cual indica que las diferencias entre los tratamientos son altamente significativas ($p < 0,01$). Esto significa que el nivel de humus de lombriz aplicado tuvo un impacto importante en el contenido de azúcar de los frutos, reflejado en los grados Brix. El coeficiente de variación (CV) es del 1,11%, lo cual indica que la variabilidad relativa entre las repeticiones dentro de cada tratamiento es muy baja. Esto demuestra que los datos obtenidos son confiables y que el efecto de los tratamientos se midió con precisión, sino que también tiene un impacto positivo en la calidad de los frutos, aumentando su contenido de azúcar de manera significativa.

Cuadro 7. Análisis de varianza (ANVA) para grados Brix

FV	SC	GL	CM	F	P
TRATAMIENTO	0,91	3	0,3	53,2	0,0011**
ERROR	0,02	4	0,01		
TOTAL	0,93	7			
CV	1,11%				

(**) = Altamente significativo

En la Figura 15, se presenta el análisis de los grados Brix mediante la prueba de Duncan al 5%, identificándose dos grupos significativamente diferentes. El primer grupo incluye los tratamientos T1 (0%) y T2 (10%), con promedios de 6,46 y 6,48 grados Brix, respectivamente. Estos resultados sugieren que la adición de 10% de humus de lombriz no tuvo un efecto significativo sobre el contenido de azúcares solubles, ya que el incremento respecto al tratamiento sin humus fue prácticamente inexistente.

Por otro lado, el segundo grupo está formado por los tratamientos T3 (20%) y T4 (30%), con promedios de 7,06 y 7,21 grados Brix, respectivamente. Esto indica que a partir del 20% de humus se observó un incremento significativo en los grados Brix, lo cual refleja una mejora en la dulzura de los frutos. Los tratamientos T3 y T4 se agruparon juntos, lo cual sugiere que entre 20% y 30% de humus no hubo diferencias significativas en el contenido

de azúcar, pero ambos tratamientos mostraron valores más altos que los tratamientos con niveles más bajos de humus.

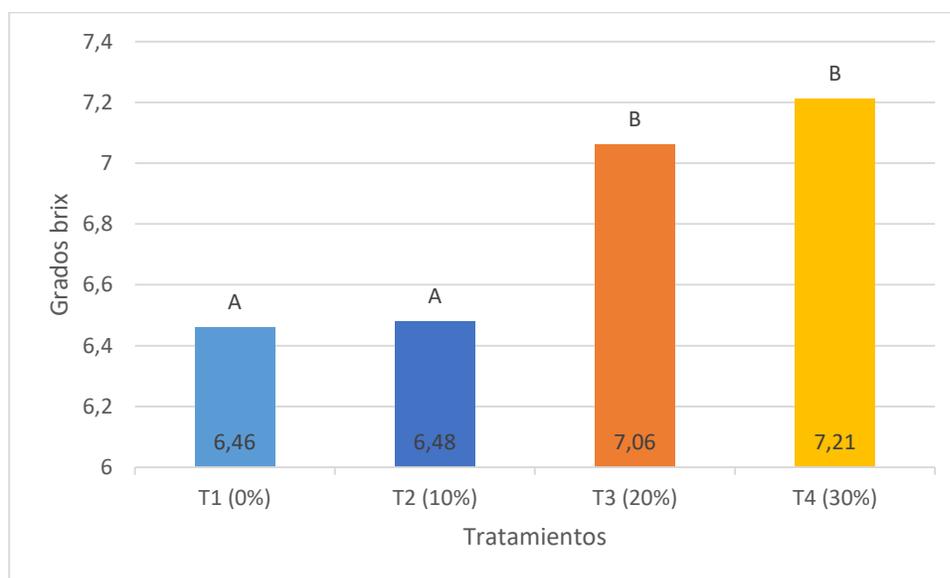


Figura 15. Prueba de Duncan para Grados Brix

En la Figura 16 muestra el análisis de regresión entre el nivel de humus de lombriz (%) y los grados Brix, que representan el contenido de azúcar en los frutos de frutilla. Se observa una tendencia positiva, con un aumento en los grados Brix desde 6.48 con un 10% de humus hasta 7.21 con un 30%. Esto indica que el aumento del nivel de humus de lombriz mejora significativamente la dulzura del fruto. Los tratamientos con mayores concentraciones de humus parecen facilitar una mayor disponibilidad de nutrientes, lo que podría incrementar la síntesis de azúcares en la planta. Este efecto positivo sugiere que la aplicación de humus contribuye no solo al crecimiento, sino también a mejorar la calidad del fruto en términos de sabor.

Estos resultados son consistentes con los hallazgos de Fernández (2019), quien reportó que la aplicación de humus de lombriz incrementa los grados Brix de los frutos debido a la mejora en la disponibilidad de nutrientes esenciales y la retención de humedad en el suelo. Fernández destaca que el humus de lombriz facilita la absorción de nutrientes como el fósforo y el potasio, que son clave en la síntesis de azúcares, resultando en un aumento del contenido de azúcar en los frutos. Esto respalda la relación positiva observada entre el nivel de humus y los grados Brix en el presente estudio.

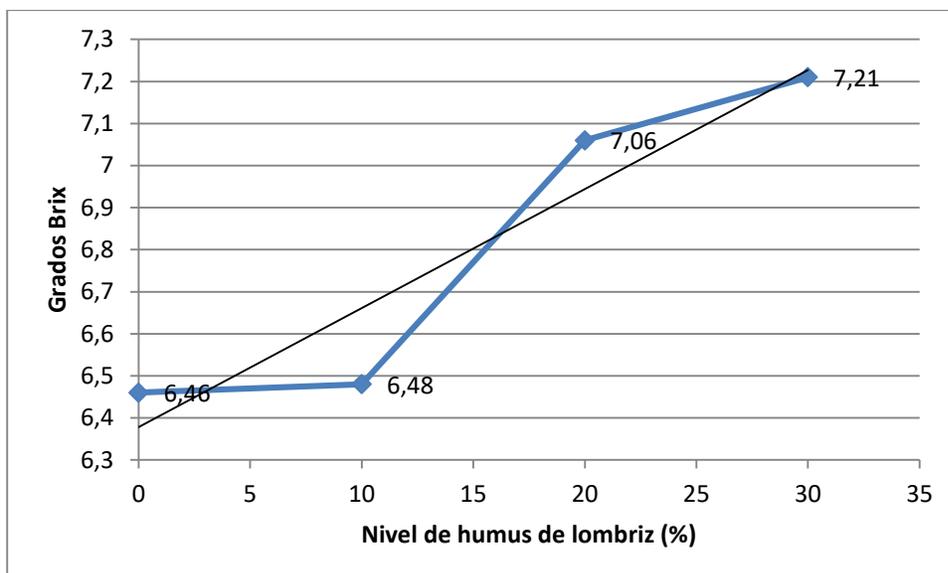


Figura 16. Análisis de regresión para Grados Brix

El primer grupo, que incluye los tratamientos T1 (0%) y T2 (10%), mostró promedios de 6,46 y 6,48 grados Brix, respectivamente. Esta similitud refleja que la aplicación de un 10% de humus de lombriz no produjo un cambio significativo en el contenido de azúcares respecto al control. Pérez *et al.* (2018), también reportaron que, con niveles bajos de humus (aproximadamente un 10%), los grados Brix de los frutos permanecían alrededor de 6,5, muy similar a los valores que obtuve con los tratamientos T1 y T2. Esto sugiere que el aporte de humus en cantidades bajas no es suficiente para influir significativamente en la concentración de azúcares. Por otro lado, el segundo grupo incluye los tratamientos T3 (20%) y T4 (30%), con promedios de 7,06 y 7,21 grados Brix, respectivamente. Estos resultados indican que un aumento en el nivel de humus a partir del 20% incrementó de forma significativa la concentración de azúcares en los frutos, un patrón consistente con el observado por Fernández (2019), quien reportó un promedio de 7,0 a 7,2 grados Brix en frutos tratados con niveles superiores de humus. En ambos estudios se muestra que el incremento del nivel de humus no solo mejora el crecimiento general de la planta, sino también la calidad del fruto en términos de dulzura. Los valores de 7,06 g y 7,21 g alcanzados en los tratamientos T3 y T4 son coherentes con los resultados de Fernández, lo cual refuerza la importancia de aplicar niveles adecuados de humus para maximizar tanto el rendimiento como la calidad del fruto.

La diferencia entre los tratamientos T1 y T2 respecto a T3 y T4 podría ser a la capacidad del humus de lombriz de mejorar las propiedades del sustrato, como la retención de agua

y la disponibilidad de nutrientes esenciales para la síntesis de azúcares. Los tratamientos T3 (20%) y T4 (30%) se ubicaron en un grupo superior con valores de 7,06 y 7,21 grados Brix, respectivamente, lo cual es indicativo de que el nivel más alto de humus proporciona mejores condiciones para el desarrollo del fruto y la acumulación de azúcares. Estos resultados son alentadores porque muestran que, a partir de un cierto nivel, el humus de lombriz contribuye significativamente a mejorar tanto el rendimiento como la calidad del fruto de frutilla, especialmente en términos de dulzura.

4.10. Rendimiento por planta

El Análisis de Varianza presentado en el Cuadro 8, para el rendimiento por planta mostró un valor de $p < 0,0001$, indicando que las diferencias entre los tratamientos fueron altamente significativas. El valor de $F = 4684,75$ también refuerza la presencia de diferencias sustanciales en el rendimiento debido a los distintos niveles de humus de lombriz aplicados. Esto significa que el humus de lombriz tuvo un impacto importante y positivo en el rendimiento de las plantas de frutilla, mejorando significativamente la producción conforme se incrementaba el nivel de humus. Además, el coeficiente de variación (CV) del 0,39% sugiere que la variabilidad dentro de los tratamientos fue mínima, lo cual indica un alto nivel de precisión y confiabilidad en los resultados obtenidos.

Cuadro 8. Análisis de varianza (ANVA) para rendimiento por planta

FV	SC	GL	CM	F	P
TRATAMIENTO	36892,38	3	12297,46	4684,75	<0,0001**
ERROR	10,50	4	2,62		
TOTAL	36902,88	7			
CV	0,39%				

(**) = Altamente significativo

En la Figura 17, se presenta el análisis del rendimiento por planta mediante la prueba de Duncan al 5% de probabilidad, identificándose cuatro grupos significativamente diferentes. El primer grupo corresponde al tratamiento T1 (0%), con un rendimiento promedio de 334,5 gramos por planta, representando el menor rendimiento, debido a la falta de aplicación de humus de lombriz. El segundo grupo está representado por el tratamiento T2 (10%), con un rendimiento promedio de 362 gramos, mostrando una mejora significativa respecto al grupo control, lo cual sugiere que una pequeña cantidad de humus ya proporciona beneficios en la productividad de la planta.

El tercer grupo, que corresponde al tratamiento T3 (20%), alcanzó un rendimiento promedio de 469 gramos por planta, indicando un aumento significativo comparado con los niveles más bajos de humus. Finalmente, el cuarto grupo, correspondiente al tratamiento T4 (30%), mostró el mayor rendimiento, con un promedio de 494 gramos por planta. Este resultado demuestra que el mayor nivel de humus de lombriz aplicado (30%) tuvo un impacto positivo importante en el rendimiento, mejorando la producción significativamente más que los otros niveles de tratamiento. Estos cuatro grupos identificados reflejan la tendencia positiva que tiene la aplicación de humus de lombriz sobre el rendimiento del cultivo de frutilla, donde los mayores niveles de humus dieron lugar a un rendimiento superior.

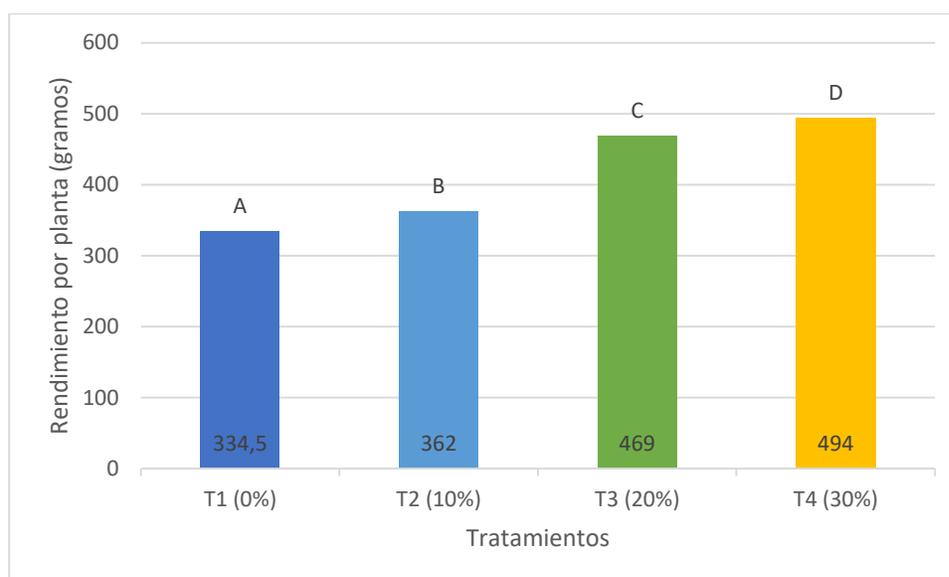


Figura 17. Prueba estadística de Duncan al 5% para rendimiento por planta

En la Figura 18, muestra la relación entre el nivel de humus de lombriz (%) y el rendimiento por planta (en gramos). A medida que se incrementa la cantidad de humus, se observa un aumento significativo en el rendimiento, pasando de 334.5 gramos con un 10% de humus a 494 gramos con un 30%. Esta tendencia indica que el humus de lombriz mejora la productividad de la planta, posiblemente debido a un mejor suministro de nutrientes y mejora en la calidad del sustrato. La tendencia ascendente evidencia el impacto positivo del humus en el rendimiento general de la planta, sugiriendo que mayores niveles de humus permiten optimizar la capacidad productiva del cultivo de frutilla, aumentando la eficiencia del uso de los recursos del suelo.

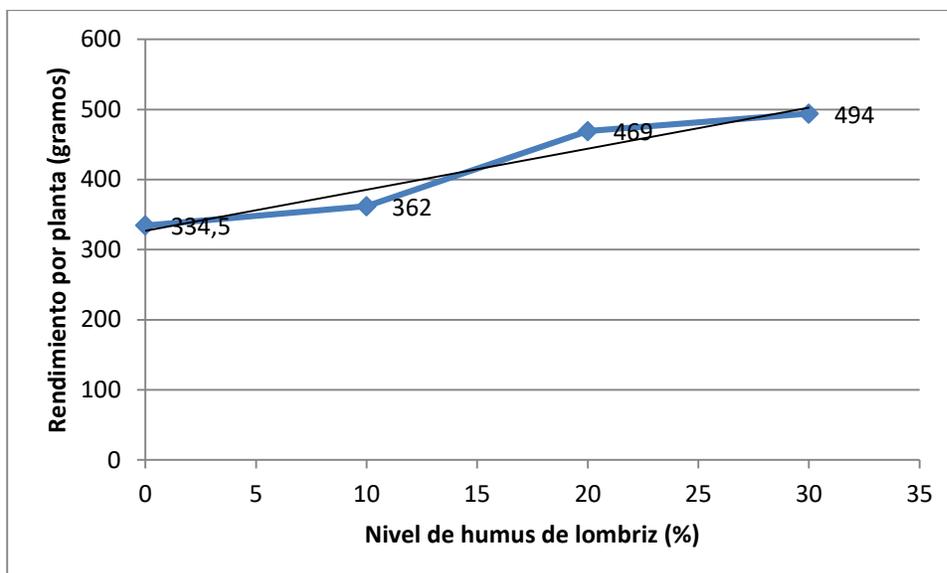


Figura 18. Análisis de regresión para rendimiento por planta

El análisis del rendimiento por planta mediante la prueba de Duncan al 5%, donde se identifican cuatro grupos significativamente diferentes. El tratamiento T1 (0%) pertenece al primer grupo, con un rendimiento promedio de 334,5 gramos por planta, siendo el valor más bajo debido a la ausencia de humus de lombriz. Pérez *et al.* (2018), también observaron que el rendimiento sin aplicación de humus fue cercano a 330 gramos por planta, lo cual coincide con mi resultado y demuestra cómo la falta de aporte de humus limita significativamente el rendimiento. Esto se debe a la menor disponibilidad de nutrientes esenciales que no pueden ser compensados sin la adición de materia orgánica.

En el tratamiento T2 (10%), el rendimiento aumentó a 362 gramos por planta, perteneciente al segundo grupo. Fernández (2019), también reportó un rendimiento similar de 365 gramos con la aplicación de un 10% de humus, mostrando una ligera mejora respecto al grupo control. Con el tratamiento T3 (20%), el rendimiento promedio fue de 469 gramos por planta perteneciente al tercer grupo, mientras que Pérez *et al.* (2018), obtuvieron valores de 470 gramos g con un 20% de humus, lo cual indica un aumento considerable en el rendimiento al aumentar el nivel de humus. Finalmente, el tratamiento T4 (30%) mostró el mayor rendimiento, con un promedio de 494 gramos por planta el cuarto grupo, que es muy similar al resultado de Fernández (2019), quien reportó un rendimiento de 490 gramos por planta con 30% de humus. Estos valores demuestran que los mayores niveles de humus aportaron una mayor cantidad de nutrientes y mejoraron la estructura del sustrato, promoviendo un rendimiento superior en las plantas.

La diferencia entre los tratamientos es un reflejo de la capacidad del humus de lombriz para mejorar las propiedades físicas y químicas del sustrato, lo cual se traduce en un mejor rendimiento por planta. Los resultados del ANVA y la prueba de Duncan indican diferencias altamente significativas ($p < 0,0001$), confirmando que el humus de lombriz tiene un efecto positivo claro y sostenido sobre el rendimiento del cultivo. Los rendimientos observados en los tratamientos T3 (20%) y T4 (30%) muestran un incremento sustancial y, al compararlos con los valores reportados por Pérez *et al.* (2018), y Fernández (2019), puedo concluir que el uso de humus de lombriz no solo mejora la cantidad de frutos producidos, sino también la eficiencia del uso de recursos. Esto subraya la importancia del humus como una enmienda orgánica efectiva para incrementar la productividad agrícola de manera sostenible.

4.11. Rendimiento por metro cuadrado

El Análisis de Varianza para el rendimiento por metro cuadrado en el Cuadro 9 muestra resultados altamente significativos en relación con los tratamientos aplicados. El valor de $F = 22,32$, junto con un p-valor de 0,0058, indica que las diferencias entre los tratamientos son altamente significativas, este p-valor, al ser menor a 0,05, nos permite rechazar la hipótesis nula y confirmar que los diferentes niveles de humus de lombriz influyen significativamente en el rendimiento por metro cuadrado de las frutillas. El coeficiente de variación (CV) de 5,64% este nivel sugiere que la precisión de los resultados es lo suficientemente buena como para confiar en las conclusiones sobre el impacto de los diferentes tratamientos en el rendimiento por metro cuadrado.

Cuadro 9. Análisis de varianza para rendimiento por metro cuadrado

FV	SC	GL	CM	F	P
TRATAMIENTO	3,32	3	1,11	22,32	0,0058**
ERROR	0,20	4	0,05		
TOTAL	3,52	7			
CV	5,64%				

(**) = Altamente significativo

En la Figura 19, se presenta el análisis del rendimiento por metro cuadrado mediante la prueba de Duncan al 5%, identificándose dos grupos significativamente diferentes. El primer grupo está formado por los tratamientos T1 (0%) y T2 (10%), con rendimientos promedios de 3,19 y 3,44 kg/m², respectivamente. Estos valores indican que la aplicación de 10% de

humus de lombriz no generó un incremento significativo en el rendimiento por metro cuadrado en comparación con el grupo control, manteniéndose los resultados bastante similares entre ambos.

Por otro lado, el segundo grupo incluye los tratamientos T3 (20%) y T4 (30%), con rendimientos de 4,46 y 4,7 kg/m², respectivamente. Estos resultados muestran un incremento significativo respecto a los tratamientos con 0% y 10% de humus, lo cual sugiere que la aplicación de 20% o más de humus tiene un impacto considerable en el rendimiento del cultivo por metro cuadrado. A partir del 20% de humus, se observa un claro aumento en la productividad, agrupando estos dos tratamientos en un grupo superior. Esto indica que los mayores niveles de humus mejoran las condiciones de crecimiento de las plantas, incrementando la eficiencia del cultivo en términos de producción por área.

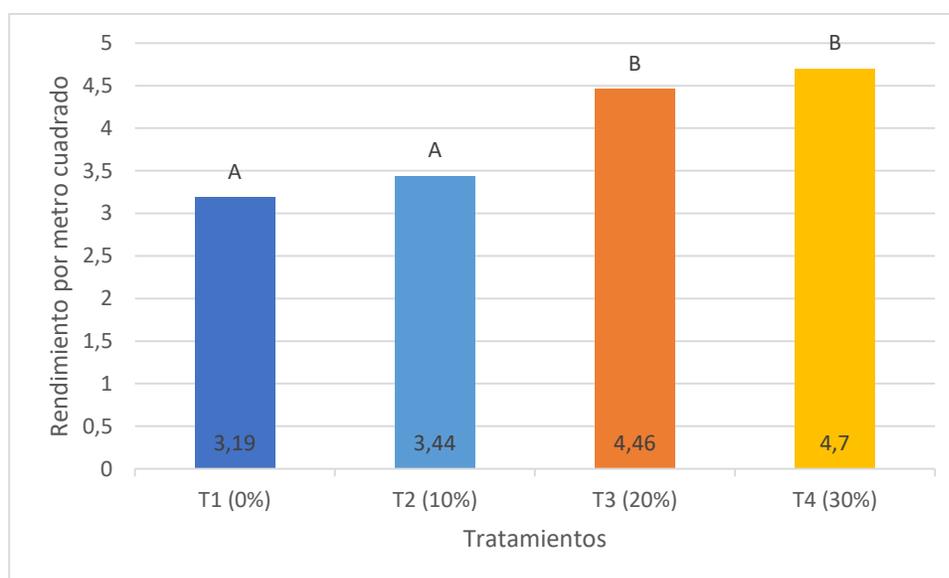


Figura 19. Prueba estadística de Duncan al 5% rendimiento por metro cuadrado

En la figura 20, muestra el análisis de regresión entre el nivel de humus de lombriz (%) y el rendimiento del cultivo de frutilla por metro cuadrado (kg/m²). A medida que se incrementa el nivel de humus de lombriz, se observa un aumento en el rendimiento, pasando de 3.19 kg/m² con un 0% de humus a 4.7 kg/m² con un 30%. Esta tendencia positiva indica que el humus de lombriz tiene un efecto beneficioso sobre la productividad del cultivo, mejorando la eficiencia en el uso del espacio cultivado. La mejora en el rendimiento podría atribuirse a la mayor disponibilidad de nutrientes y al mejoramiento de las condiciones del suelo, lo cual

contribuye a un desarrollo más vigoroso de las plantas y un aumento de la producción por área cultivada.

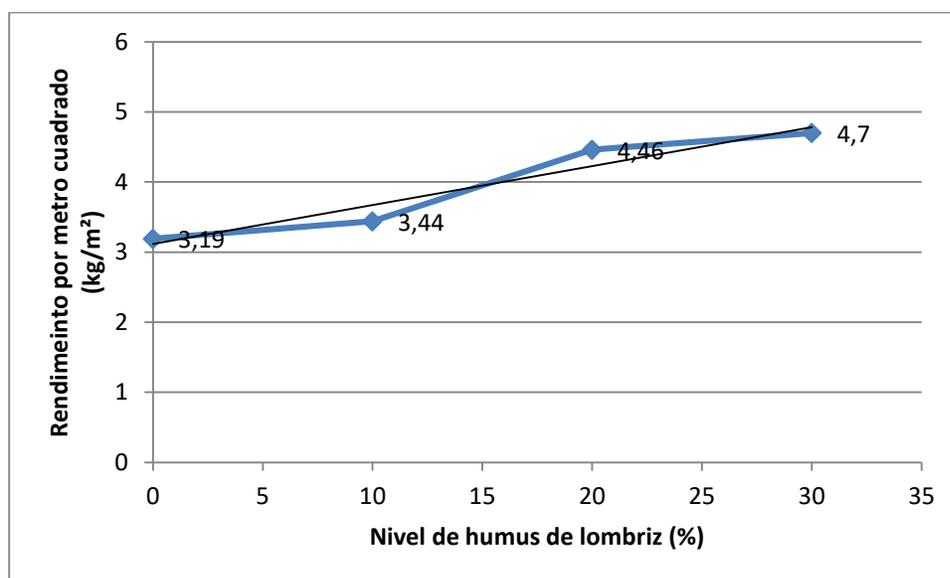


Figura 20. Análisis de regresión rendimiento por metro cuadrado

El primer grupo, que incluye los tratamientos T1 (0%) y T2 (10%), obtuvo rendimientos promedios de 3,19 kg/m² y 3,44 kg/m², respectivamente. Estos valores muestran que la aplicación de 10% de humus de lombriz no generó un incremento significativo respecto al control. Pérez *et al.* (2018), también reportaron que, con niveles bajos de humus, como un 10%, el rendimiento de frutilla se mantuvo cercano a 3,4 kg/m², casi idéntico a lo que se observó en mis tratamientos T1 y T2. Esto demuestra que el humus de lombriz, cuando se aplica en niveles bajos, no es suficiente para promover una mejora sustancial en el rendimiento del cultivo.

Por otro lado, el segundo grupo está formado por los tratamientos T3 (20%) y T4 (30%) de humus de lombriz con rendimientos promedios de 4,46 kg/m² y 4,7 kg/m², respectivamente. Estos valores representan un aumento considerable respecto a los niveles más bajos de humus, y son consistentes con los resultados de Fernández (2019), quien observó rendimientos de 4,5 kg/m² a 4,8 kg/m² al aplicar niveles superiores de humus, como el 20% y 30%. En mi investigación, se observa que los tratamientos T3 y T4 mejoraron claramente la productividad respecto a T1 y T2, al agruparse en un nivel significativamente superior, lo cual concuerda con lo indicado por Fernández sobre la necesidad de una dosis adecuada de humus para lograr mejoras notables en el rendimiento. Este incremento en el rendimiento

se puede atribuir a la mejor capacidad de retención de agua, a la mejora en la disponibilidad de nutrientes, y al efecto positivo del humus en la actividad biológica del sustrato.

En la presente investigación los tratamientos T3 y T4 hayan alcanzado rendimientos de 4,46 kg/m² y 4,7 kg/m², respectivamente, resalta la importancia de aplicar una cantidad adecuada de humus de lombriz para optimizar la producción de frutilla. Los resultados reflejan la importancia de alcanzar un equilibrio adecuado en la aplicación de materia orgánica, ya que a niveles más bajos (10%), el aporte es insuficiente para mejorar la productividad significativamente. Sin embargo, a partir del 20%, como se muestra en los 4,5 kg/m² y más, el rendimiento aumenta sustancialmente, lo cual podría ser a la efectividad del humus para mejorar tanto la cantidad como la calidad de la producción agrícola. Creo que la comparación con los resultados de Pérez *et al.* (2018) y Fernández (2019), respalda de forma sólida la importancia del humus como una enmienda clave para el desarrollo óptimo del cultivo de frutilla, promoviendo la sostenibilidad y eficiencia en la producción.

4.12. Análisis económico del cultivo de frutilla

El análisis económico de los tratamientos evaluados en el ensayo se basó en la relación Beneficio/Costo (B/C), con el propósito de identificar la opción más rentable para la producción de frutillas. Este análisis consideró los costos de producción de cada tratamiento, desde la compra del humus de lombriz hasta la mano de obra y otros insumos agrícolas necesarios. A través de esta evaluación, se pudo determinar qué tratamiento genera un mayor retorno económico en función de su rendimiento, medido en kilogramos por planta y por metro cuadrado.

Los resultados económicos indicaron que los tratamientos con niveles crecientes de humus de lombriz (10%, 20%, y 30%) mostraron una tendencia a mejorar el rendimiento de la frutilla, lo cual se traduce en un mayor beneficio económico. Sin embargo, también es importante considerar que el costo de la aplicación de mayores niveles de humus puede no siempre ser proporcional al incremento en la rentabilidad. Por tanto, este análisis permite a los productores de frutilla identificar no solo el tratamiento con mayor rendimiento, sino también el más rentable, ajustando sus prácticas agrícolas de acuerdo con sus objetivos financieros y las condiciones del mercado local, logrando así una producción más sostenible y eficiente.

4.13. Análisis económico relación Benéfico/Costo

El Cuadro 10 presenta el análisis del beneficio/costo (B/C) para los cuatro tratamientos con diferentes niveles de humus de lombriz. El índice beneficio/costo es una medida clave para evaluar la rentabilidad de cada tratamiento aplicado, ya que compara los ingresos generados por la producción con los costos incurridos durante el cultivo. Este análisis permite determinar si los tratamientos fueron rentables ($B/C > 1$) y cuál de ellos proporcionó la mayor eficiencia económica.

Cuadro 10. Detalle del beneficio/costo

	T1 (0%)	T2 (10%)	T3 (20%)	T4 (30%)
BENEFICIO/COSTO	2,8	2,4	3,2	3,3

Tratamiento T1 (0%) mostró un índice B/C de 2,8, lo cual indica que, por cada unidad monetaria invertida, se obtuvieron 1,8 unidades de beneficio. Este resultado es positivo, lo que demuestra que, incluso sin la adición de humus de lombriz, el cultivo de frutilla fue rentable, aunque con limitaciones debido a la ausencia de la enmienda orgánica. Tratamiento T2 (10%), por otro lado, mostró un índice B/C de 2,4, ligeramente inferior al tratamiento T1. Esto podría deberse a que, aunque se mejoraron ciertos aspectos de la productividad con la adición del 10% de humus, los costos adicionales asociados con la aplicación de humus no lograron ser compensados adecuadamente por los beneficios económicos, reduciendo la eficiencia relativa del tratamiento.

Tratamiento T3 (20%) tuvo un índice B/C de 3,2, lo cual representa un incremento significativo respecto a los tratamientos anteriores. Este aumento indica que el 20% de humus de lombriz proporcionó un entorno mucho más favorable para el desarrollo de las plantas, resultando en un mayor rendimiento y, por lo tanto, mayores ingresos. El aumento en el beneficio/costo a 2,2 demuestra que el uso de un mayor nivel de humus comienza a justificar el costo adicional con una mejora en la eficiencia económica del cultivo. Finalmente, el tratamiento T4 (30%) alcanzó un índice B/C de 3,3, el más alto entre todos los tratamientos. Esto sugiere que el 30% de humus resultó en el mejor equilibrio entre el costo de la inversión y el beneficio generado, haciendo que este tratamiento fuera el más rentable en términos de eficiencia económica. Este resultado confirma que el nivel más alto

de humus fue capaz de proporcionar el máximo beneficio sin que el costo se incrementara de manera desproporcionada.

En resumen, el análisis del índice beneficio/costo muestra que, si bien todos los tratamientos fueron rentables (todos $B/C > 1$), el tratamiento T4 (30%) resultó ser el más rentable con un B/C de 2,3, seguido de cerca por T3 (20%) con 2,2. Estos resultados indican que, a partir de un 20% de humus de lombriz, el beneficio neto generado por la mejora en la producción supera significativamente los costos adicionales, haciéndolo económicamente eficiente. Los tratamientos con 0% y 10% de humus fueron rentables pero no lograron una eficiencia económica tan alta como los tratamientos con mayores niveles de humus, lo que resalta la importancia de utilizar dosis adecuadas de humus para optimizar la rentabilidad en el cultivo de frutilla.

5. CONCLUSIONES

De acuerdo con los objetivos establecidos y los resultados obtenidos en el presente estudio, nos podemos fundamentar las siguientes conclusiones:

- De acuerdo con la hipótesis planteada, "la aplicación de tres niveles de humus de lombriz no causa diferencias significativas en el rendimiento del cultivo de frutilla (*Fragaria sp.*)", los resultados de la investigación revelaron que, en realidad, sí existen diferencias significativas entre los diferentes tratamientos. El tratamiento con un 30% de humus de lombriz (Tratamiento 4) destacó en todas las variables agronómicas evaluadas, tales como el número de hojas por planta, el diámetro y la longitud del fruto, y los grados Brix. Los resultados mostraron que la aplicación de humus de lombriz en niveles crecientes tuvo un impacto positivo en el desarrollo del cultivo de frutilla. En particular, el tratamiento con el 30% de humus fue el más efectivo, mostrando mejoras notables en todas las variables estudiadas. Esto sugiere que el uso de humus de lombriz favorece tanto el crecimiento vegetativo como la calidad de los frutos, incrementando su tamaño y contenido de azúcares, lo que se traduce en una mayor calidad agronómica del producto cosechado.
- El rendimiento total por planta y por unidad experimental se incrementó conforme aumentaba el nivel de humus de lombriz, siendo el tratamiento con el 30% de humus el que presentó los mejores resultados. El número de frutos por planta, su peso y tamaño, así como el rendimiento general por superficie, se vieron beneficiados por el uso de este fertilizante orgánico. Esto confirma que el humus de lombriz es un insumo altamente efectivo para mejorar la productividad en sistemas de cultivo verticales, maximizando el rendimiento en áreas con limitaciones de espacio, como fue el caso de este estudio.
- El análisis económico mostró que el uso de mayores niveles de humus de lombriz, en especial el tratamiento con 30%, generó una relación Beneficio/Costo favorable. A pesar de los costos adicionales asociados a la aplicación del humus, el aumento en la cantidad y calidad de los frutos resultó en un beneficio económico significativo para los productores. Este método de cultivo, además de ser rentable, promueve la sostenibilidad al utilizar insumos orgánicos y materiales reciclados, ofreciendo una alternativa económica viable para pequeños agricultores en la región del altiplano boliviano.

6. RECOMENDACIONES

Basándonos en los objetivos, resultados y conclusiones obtenidas en el presente trabajo, se pueden formular las siguientes recomendaciones:

- Desde una perspectiva económica, se recomienda la aplicación del T4 con un 30% de humus de lombriz, ya que este nivel demostró generar mayores ingresos, logrando un retorno de 2,3 bolivianos por cada 1 boliviano invertido.
- El uso de botellas PET en el cultivo vertical de frutilla representa una alternativa innovadora y sostenible que contribuye significativamente a la reducción de residuos plásticos en el medio ambiente. Este enfoque no solo permite reciclar y reutilizar botellas plásticas, que de otra manera podrían contaminar el entorno, sino que también facilita el acceso a sistemas de cultivo vertical a un costo reducido, beneficiando a pequeños productores. Se recomienda ampliar esta práctica en comunidades rurales y promover el uso de botellas PET como un método viable para la producción agrícola sostenible. Implementar y difundir esta técnica ayudaría a disminuir la huella ecológica de la producción agrícola y a fomentar una cultura de reciclaje y reutilización de materiales.
- Debido a su fácil manipuleo en la cosecha, labores culturales, la disminución de enfermedades en el fruto, recomendamos este método de producción en vertical obteniendo una producción de frutos limpios aumentando el rendimiento.
- Realizar estudios que evalúen una gama más amplia de porcentajes de humus de lombriz aplicados, más allá de los niveles de 0%, 10%, 20% y 30%, para identificar el umbral óptimo de aplicación.
- Se recomienda realizar estudios con diferentes variedades de frutilla podría ofrecer información valiosa sobre cuáles son más susceptibles a los efectos positivos del humus de lombriz y cómo responden a las condiciones de cultivo vertical en botellas pet.
- Asimismo, se recomienda difundir los resultados de este estudio en las comunidades circundantes. Compartir estos hallazgos puede ser beneficioso para los agricultores locales al proporcionarles información valiosa sobre los cultivos verticales con botellas pet, fomentando así una producción más eficiente y sostenible de frutilla. La

comunicación de estos resultados puede realizarse a través de eventos comunitarios, talleres o cualquier otro medio que sea accesible y efectivo para la audiencia objetivo.

7. REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS

- Barry, J. 2010. Análisis financiero agrícola. 2ª edición. Nueva York, EE.UU.: Editorial Wiley & Sons. 348 pp.
- Castro, L. 2020. Reciclaje y agricultura sostenible: Uso de materiales plásticos en cultivos verticales. 1ª edición. La Paz, Bolivia: Editorial UPEA. 256 pp.
- Cochi, R. 2017. Desarrollo y fisiología del cultivo de frutilla. Quito, Ecuador: Editorial Hortifrut. pp. 90-110.
- Choque, R. 2022. Preparación del suelo para el cultivo de frutilla. 1ª edición. La Paz, Bolivia: Editorial AgroTierra. pp. 45-78.
- Earth, G. 2024. Coordenadas geográficas de Estación Experimental de Kallutaca. Consultado el 17 de junio de 2024. Disponible en https://earth.google.com/web/search/la+paz+upea+agronomia+camino+Laja@-16.52451893,68.30792795,3902.03907969a,899.52439265d,30.00039646y,0h,0t,r/data=CigiJgokCS2skZLFzDAEZxtj9mMIDDAGUi79PzCVHAIW4O_cNzEVHAMiKJwolCiExOUijUEdQTw1FRWWhdjNWNW9ITWWRFFxVG0yZTFsTmwgAQ.http://earth.google.com.%20 Bolivia.
- FAO. 2021. Informe sobre producción mundial de frutillas. 1ª edición. Roma, Italia: FAO. pp. 10-150.
- Fernández, J., y López, R. 2023. Desarrollo y propagación vegetativa de la frutilla: El rol de la corona y estolones. *Journal of Agricultural Botany*, 39(1), 95-108. Disponible en: <https://journalagricbot.com/propagacion-frutilla>
- Fernández, J. 2019. Efectos del humus de lombriz en sistemas de cultivo vertical de frutilla (*Fragaria sp.*). 2ª edición. La Paz, Bolivia: Editorial AgroCiencias. pp. 45-58.
- Fernández, L. 2021. El humus de lombriz como mejorador del suelo y su impacto en la productividad agrícola. 1ª edición. La Paz, Bolivia: Editorial AgroCiencias. pp. 35-90.
- Fernández, M. 2019. Detría del humus de lombriz en la producción foliar de cultivos hortícolas. 1ª edición. San José, Costa Rica: Editorial Agroecológica. pp. 67-83.

- Fernández, M. 2023. Reducción del shock de trasplante mediante la aplicación de vermicompost. 1ª edición. Quito, Ecuador: Editorial BioSostenible. pp. 25-50.
- Fernández, P. 2023. Características morfológicas y reproductivas de la frutilla. 1ª edición. Santa Cruz, Bolivia: Editorial Agrotec. pp. 15-90.
- Fernández, R. 2023. Efectos de los plásticos en los ecosistemas marinos: Un enfoque hacia la mitigación de daños. 1ª edición. Santiago, Chile: Editorial EcoMar. pp. 30-65.
- Flores, J. 2022. Alternativas de producción de frutillas en Bolivia: Evaluación del uso de carpas solares y columnas verticales. 1ª edición. La Paz, Bolivia: Universidad Pública de El Alto. pp. 25-100.
- Flores, P. 2023. Métodos de recolección de frutilla para mercados especializados. 1ª edición. Cochabamba, Bolivia: Editorial AgroTierra. pp. 45-85.
- Flores, P. 2023. Producción y variedades de frutilla en Bolivia. 1ª edición. La Paz, Bolivia: Editorial Agrobol. pp. 30-75.
- García, L. 2012. Manejo de la humedad en cultivos de frutilla de frutilla de la frutilla bajo. Ed. Agrocíencias, 2ª ed., pp. 34-56.
- García, L. 2022. Adaptabilidad y rendimiento del cultivo de frutilla en climas diversos. 1ª edición. Copenhague, Dinamarca: Organización Agrícola de Dinamarca. pp. 40-90.
- García, L. 2022. Cultivo de frutilla en carpa solar: Características y manejo. 1ª edición. La Paz, Bolivia: Editorial AgroSol. pp. 25-70.
- García, M. 2022. Composición química y variabilidad del fruto de la frutilla. 1ª edición. Copenhague, Dinamarca: Editorial Hortofrut. pp. 50-95.
- García, M. 2022. Factores agronómicos del cultivo de frutilla. 1ª edición. Quito, Ecuador: Ediciones AgriEco. pp. 30-75.
- García, M., y Rodríguez, J. 2022. Ciclo de vida y productividad de la frutilla en sistemas agrícolas. Revista de Fitopatología y Agricultura, 27(1), 78-89. Disponible en: <https://revistafitopatologia.com/frutilla-ciclo>.

- Giménez, A. 2021. Morfología y desarrollo floral en cultivos de frutilla. 1ª edición. Cochabamba, Bolivia: Editorial Floragro. pp. 15-80.
- Gittinger, P. 1982. Economic Analysis of Agricultural Projects. 2ª edición. Baltimore, EE.UU.: Johns Hopkins University Press. 505 pp.
- Gómez, A., y Martínez, L. 2022. Morfología y adaptación del sistema radicular de la frutilla. Journal of Agricultural Science Advances, 35(4), 245-256. Disponible en: <https://agrisciadv.com/morfologia-sistema-radicular-frutilla>.
- Gómez, A., y Sánchez, L. 2021. Morfología y función de la corona en la planta de frutilla. Revista de Ciencias Agrícolas, 31(2), 145-157. Disponible en: <https://revistacienciasagricolas.com/morfologia-corona-frutilla>.
- Gómez, L. 2021. Efectos del vermicompost en el desarrollo de plantas jóvenes. 1ª edición. Medellín, Colombia: Editorial AgroBio. pp. 20-65.
- Gómez, L. 2023. Efecto del cultivo vertical con botellas PET en ambientes controlados. 1ª edición. La Paz, Bolivia: Editorial VerdeSostenible. pp. 35-80.
- Gómez, L. 2023. Evaluación del uso de humus de lombriz en cultivos hortícolas. 1ª edición. Santa Cruz, Bolivia: Editorial VerdeSostenible. 230 pp.
- Gómez, L. 2023. Propiedades de la turba en la mejora del suelo agrícola. 1ª edición. Santa Cruz, Bolivia: Editorial Agrotech. pp. 40-85.
- Gómez, M. 2022. Propiedades y beneficios del humus de lombriz: Un enfoque hacia la agricultura sostenible. 1ª edición. Quito, Ecuador: Editorial AgroSostenible. pp. 50-100.
- González, R., y Martínez, L. 2021. Variedades de frutilla adaptadas a climas tropicales y templados. Revista de Cultivos Tropicales, 28(3), 215-225.
- Gómez, R. 2023. Cultivo vertical y su impacto en la producción agrícola del altiplano. 1ª edición. La Paz, Bolivia: Editorial Innovagro. pp. 30-90.

- Gómez, R. 2023. Técnicas de cultivo sin suelo en el cultivo de frutillas: Evaluación de sistemas verticales en botellas PET. 1ª edición. La Paz, Bolivia: Editorial UPEA. pp. 45-100.
- González, M. 2022. Manual de variedades y formas del fruto de la frutilla. 1ª edición. Cochabamba, Bolivia: Ediciones Hortícola. pp. 35-85.
- González, M. 2023. Requerimientos de humedad y manejo ambiental del cultivo de frutilla. 1ª edición. Buenos Aires, Argentina: Editorial Agroambiente. pp. 40-100.
- González, M., y Castro, F. 2021. Influencia del humus de lombriz en la producción de lechuga y frutilla. Boletín Agronómico del Altiplano, 12(1), 45-53.
- González, R. 2019. Condiciones climáticas y limitaciones en la agricultura del altiplano. 1ª edición. La Paz, Bolivia: Editorial Altiplano. pp. 25-80.
- González, R. 2021. Impacto ambiental de los microplásticos en la degradación de botellas PET. 1ª edición. Santiago, Chile: Editorial EcoAgro. pp. 50-110.
- González, R. 2021. Resistencia a enfermedades en plantas tratadas con humus de lombriz. 1ª edición. Bogotá, Colombia: Editorial BioAgro. pp. 60-120.
- González, R. 2022. Capacidad de retención de humedad en sustratos agrícolas. 1ª edición. Medellín, Colombia: Editorial AgroSostenible. pp. 45-100.
- González, R. 2019. Limitaciones del cultivo de frutilla en el altiplano boliviano. 1ª edición. La Paz, Bolivia: Editorial Altiplano. pp. 20-75.
- González, M. 2019. Producción de frutilla en el altiplano: Desafíos y oportunidades. 1ª edición. Oruro, Bolivia: Editorial AgroAndina. 145 pp.
- Guarachi, E. 2010. Balance hídrico en el cultivo de papa bajo condiciones de drenaje mixto en suka kollus. Tesis Ingeniero Agrónomo. La Paz, Bolivia. Universidad Pública del Alto. 27 p.
- Gutiérrez, L. 2022. Desafíos en la producción de frutilla en la región de Comarapa. 1ª edición. Cochabamba, Bolivia: Ediciones Agrícolas de Bolivia. pp. 30-85.

- Gutiérrez, L. 2022. Requerimientos del suelo para una producción óptima de frutilla. 1ª edición. Santiago, Chile: Ediciones Hortofrutícolas. pp. 40-90.
- Gutiérrez, L. 2023. Manejo de la plantación estival de frutilla con planta frigo. 1ª edición. Santiago, Chile: Ediciones Agroinnovación. pp. 35-95.
- Gutiérrez, L. 2023. Manejo del riego en el cultivo de frutilla. 1ª edición. Santiago, Chile: Editorial Agriagua. pp. 40-100.
- Gutiérrez, L. 2023. Rendimiento del cultivo de frutilla bajo técnicas de fertilización orgánica. 1ª edición. Cochabamba, Bolivia: Editorial AgroInnovación. pp. 50-110.
- Gutiérrez, L. 2023. Variedades de frutilla para producción comercial: Oso Grande. 1ª edición. Santa Cruz, Bolivia: Editorial Frutiagro. pp. 20-75.
- Hereadero, F. 2015. Impacto del reciclaje de botellas plásticas PET en América Latina. 1ª edición. Buenos Aires, Argentina: Editorial Reciclaje Sostenible. pp. 30-85.
- Huarachi, Pedro. 2019. Diseños experimentales aplicados en la agronomía: Modelos y aplicaciones. 2ª edición. La Paz, Bolivia: Editorial AgroEstudios. 245 pp.
- Instituto Nacional de Estadística (INE). 2022. Producción agrícola en Bolivia. La Paz, Bolivia: Instituto Nacional de Estadística (INE). Disponible en: <https://www.ine.gob.bo> . pp. 20-95.
- Lopez, J. 2013. Efecto de tres niveles de biol en el cultivo de avena (*Avena sativa* L.) En la comunidad de Kenakahua Alta. Tesis Ingeniero Agrónomo. La Paz - Bolivia. Universidad Pública de El Alto. 94 p.
- López, J., y Ramírez, M. 2020. Características y rendimiento de variedades de frutilla en climas fríos. Revista de Horticultura Andina, 15(2), 123-130.
- López, J. 2022. Sistemas de cultivo urbano sostenibles: El uso de botellas PET recicladas. 1ª edición. Quito, Ecuador: Editorial EcoAgro. pp. 25-70.
- López, M. 2021. Composición y estructura del humus de lombriz en la agricultura sostenible. 1ª edición. La Paz, Bolivia: Editorial AgroSostenible. pp. 40-95.

- López, M. 2022. Reciclaje y sostenibilidad en la degradación de materiales plásticos. 1ª edición. Bogotá, Colombia: Editorial VerdeEco. pp. 50-110.
- López, M. 2023. Influencia de la granulometría y la porosidad en la retención de humedad de los sustratos. 1ª edición. Lima, Perú: Editorial AgroInnovación. pp. 45-85.
- López, P. 2022. Producción global de frutilla: Datos y análisis. 1ª edición. Madrid, España: Ediciones Hortofrutícola. pp. 35-90.
- López, P. 2023. Beneficios del humus de lombriz en el crecimiento y producción agrícola. 1ª edición. Santa Cruz, Bolivia: Editorial Agrotech. pp. 30-75.
- López, P. 2023. Estructura y características del suelo en cultivos de frutilla. 1ª edición. Buenos Aires, Argentina: Editorial Agrotec. pp. 40-100.
- López, P., citado por Morales, J. 2022. Requerimientos hídricos y técnicas de riego en frutales. 1ª edición. Cochabamba, Bolivia: Ediciones Agronómicas. pp. 35-85.
- López, R. 2022. Control y manejo de plagas en cultivos de frutilla. 1ª edición. Santiago, Chile: Editorial Agropro. pp. 30-75.
- López, R., y Martínez, M. 2022. Determinación del momento óptimo de cosecha de frutilla. 1ª edición. Santiago, Chile: Editorial AgriCalidad. pp. 40-100.
- Martínez, A. 2022. Beneficios del humus de lombriz como abono orgánico en la producción agrícola. 1ª edición. Lima, Perú: Editorial AgroSostenible. pp. 50-110.
- Martínez, A. 2022. Composición física de los sustratos y su impacto en la agricultura hidropónica. 1ª edición. Quito, Ecuador: Editorial HidroAgro. pp. 45-95.
- Martínez, A. 2022. Incremento en la productividad de plantas utilizando humus de lombriz. 1ª edición. Bogotá, Colombia: Editorial EcoAgri. pp. 40-85.
- Martínez, A. 2023. Impacto del humus de lombriz en la retención de humedad y productividad de los suelos agrícolas. 1ª edición. Lima, Perú: Editorial AgroEco. pp. 30-90.
- Martínez, J. 2020. Optimización de la producción de frutilla en Bolivia. 2ª edición. Cochabamba, Bolivia: Editorial InnoAgro. 176 pp.

- Martínez, P. 2020. Desarrollo del cultivo de frutilla en Bolivia. 1ª edición. Santa Cruz, Bolivia: Editorial Agrovita. pp. 25-80.
- Martínez, P. 2020. Producción de frutilla en Bolivia: Evaluación de condiciones óptimas. 1ª edición. Santa Cruz, Bolivia: Editorial Agrovita. pp. 40-100.
- Martínez, P. (2022). Anatomía y manejo de la frutilla como cultivo perenne. Boletín de Horticultura Moderna, 28(4), 67-79. Disponible en: <https://bolethinorticultura.com/manejo-frutilla>
- Martínez, R. 2021. Factores que influyen en el rendimiento de la frutilla. 1ª edición. Santiago, Chile: Agroediciones. pp. 35-90.
- Martínez, R. 2021. Guía moderna para la plantación de frutales en invierno. 1ª edición. Madrid, España: Ediciones AgroInnova. pp. 40-95.
- Mendoza, C. (2013). Ecología del cultivo de frutilla. Editorial Agraria, 1ª ed., Instituto Interamericano de Cooperación para la Agricultura, San José, Costa Rica, pp. 45-68.
- Mendoza, C. 2013. Estudio morfológico del cultivo de frutilla. 1ª edición. La Paz, Bolivia: Editorial Agrícola. pp. 20-75.
- Mendoza, C. 2013. Uso de carpas solares para el cultivo de hortalizas. 1ª edición. La Paz, Bolivia: Editorial Agrotech. pp. 25-80.
- Mendoza, C. 2021. Estudio del desarrollo morfológico de la frutilla. 1ª edición. La Paz, Bolivia: Editorial AgroInnova. pp. 30-90.
- Mendoza, C. 2022. Estudio del valor nutricional de la frutilla. 1ª edición. La Paz, Bolivia: Editorial AgroInnova. pp. 40-100.
- Mendoza, C. 2023. Uso de botellas PET pintadas en cultivos verticales: Innovación y eficiencia en la agricultura urbana. 1ª edición. Quito, Ecuador: Editorial VerdeInnovación. pp. 50-110.
- Morales, A. 2022. Impacto ambiental del manejo inadecuado de residuos plásticos. 1ª edición. Bogotá, Colombia: Editorial EcoSostenible. pp. 30-85.

- Morales, J. 2022. Valor nutritivo y análisis químico del fruto de la frutilla. 1ª edición. Madrid, España: Editorial AgroNutrición. pp. 40-100.
- Morales, J. 2023. Parámetros de suelo y fertilidad para el cultivo de frutilla. 1ª edición. Cochabamba, Bolivia: Editorial AgroInnova. pp. 45-100.
- Morales, J. 2023. Temperaturas críticas y adaptación de la frutilla al cambio climático. 1ª edición. Santiago, Chile: Ediciones AgriClima. pp. 35-85.
- Morales, J. 2023. Técnicas de cultivo forzado en frutilla bajo condiciones artificiales. 1ª edición. Santiago, Chile: Ediciones Hortofrutícolas. pp. 40-95.
- Opisna, P. 2020. Cultivo moderno y producción de frutilla. 1ª edición. Buenos Aires, Argentina: Agroediciones. pp. 30-85.
- Pérez, A., González, L., Martínez, M., y Ruiz, F. 2018. Impacto del humus de lombriz en el cultivo de frutilla (*Fragaria sp.*). Buenos Aires, Argentina: Editorial AgriCiencia. pp. 120-135.
- Pérez, J. & Ramírez, A. 2021. Cultivo de frutilla en condiciones adversas: Adaptaciones y resultados. 1ª edición. Santa Cruz, Bolivia: Editorial AgroCientífica. 150 pp.
- Pérez, J. 2021. Adaptación de cultivos en regiones altiplánicas: Caso de la frutilla. 1ª edición. La Paz, Bolivia: Editorial UPEA. pp. 40-95.
- Pérez, J. 2022. Manejo y técnicas de plantación de frutilla en otoño. 1ª edición. Buenos Aires, Argentina: Editorial Agroactualidad. pp. 35-90.
- Pérez, M. 2021. Plagas y enfermedades comunes en la frutilla: Pulgones y su impacto. 1ª edición. La Paz, Bolivia: Ediciones Hortofrutícolas. pp. 25-75.
- Ramírez, J. 2022. Impacto del humus de lombriz en la germinación y desarrollo de plantines. 1ª edición. Santa Cruz, Bolivia: Editorial AgroVida. pp. 30-85.
- Ramírez, A. 2021. Sistemas orgánicos de producción agrícola: Retos y oportunidades. 1ª edición. La Paz, Bolivia: Editorial VerdeAndino. 190 pp.
- Rodríguez, L. 2020. Cultivo y técnicas de producción de frutilla. Barcelona, ES: Editorial Hortícola Moderna.

- Rodríguez, M. 2020. Maximización del rendimiento agrícola mediante cultivos verticales y reciclaje de materiales. 1ª edición. La Paz, Bolivia: Editorial AgroInnovación. pp. 25-80.
- Rodríguez, M. 2023. Reciclaje de plásticos y agricultura: Implementación de cultivos verticales con botellas PET. 1ª edición. Quito, Ecuador: Editorial VerdeSostenible. pp. 40-90.
- Salas, C. (2023). Evaluación de niveles crecientes de nutrientes en tres variedades de cebolla (*Allium Cepa L.*) Bajo riego por goteo en el norte de la paz. Universidad Publica El Alto El Alto-Bolivia.
- Sánchez, D. 2022. El humus de lombriz como mejorador biológico del suelo. 1ª edición. Lima, Perú: Editorial BioAgri. pp. 30-85.
- Smith, A., y Johnson, R. 2021. The historical spread and hybridization of strawberries. *Agricultural History Review*, 33(1), 45-57. Recuperado de <https://agriculturalhistory.com/strawberries-hybridization>
- Torres, F. 2022. Uso eficiente de recursos en cultivos sin suelo. 1ª edición. Oruro, Bolivia: Editorial Altiplano. pp. 35-80.
- Torres, L. 2022. Sostenibilidad agrícola en el altiplano: Prácticas y estrategias. 1ª edición. La Paz, Bolivia: Editorial SostenAgro. 200 pp.
- Torres, R. (2023). Desarrollo del sistema radicular en la frutilla: Factores que afectan el crecimiento. *Agricultura Moderna y Tecnología*, 18(1), 78-89. Disponible en: <https://agriculturamoderna.com/desarrollo-raices-frutilla>
- Villagrán, F. 2005. Manual de cultivo de la frutilla. 1ª edición. Santa Cruz, Bolivia: Ediciones Técnicas. pp. 20-75.
- Zamora, M. 2023. Sistemas de cultivo vertical bajo carpa solar y su impacto en la productividad agrícola. 1ª edición. La Paz, Bolivia: Editorial UPEA. pp. 45-90.

8. ANEXOS

Anexo 1. Análisis del suelo de estudio en el Centro Experimental de Kallutaca

Universidad Mayor de San Andrés
Facultad de Ciencias Puras y Naturales
Instituto de Ecología
Laboratorio de Calidad Ambiental



Informe de Ensayo: S17/21

Página 1 de 1

INFORME DE ENSAYO DE SUELOS S17/21

Cliente:	AGRONOMÍA - UPEA
Solicitante:	Ing. Victor Paye Huaranca
Dirección del cliente:	C/Nardin Rivas, Nro. 380
Procedencia de la muestra:	Kallutaca
	Provincia: Los Andes
	Departamento: La Paz
Punto de muestreo:	Horti - 1
Responsable del muestreo:	Ing. Victor Paye Huaranca
Fecha de muestreo:	01 de julio de 2021
Hora de muestreo:	09:00
Fecha de recepción de la muestra:	01 de julio de 2021
Fecha de ejecución del ensayo:	Del 01 al 20 de julio, 2021
Caracterización de la muestra:	Suelo Horizonte A
Tipo de muestra:	Simple
Envase:	Bolsa Nylon
Código LCA:	17-1
Código original de muestra:	H-1 Suelo

Resultado de Análisis

Parámetro	Método	Unidad	Límite de determinación	H-1 Suelo 17-1
pH acuoso	ISRIC 4		1 - 4	6,7
Conductividad eléctrica	ASPT 6	µS/cm	1,0	554
Fósforo disponible (P)	ISRIC 14-3	P /mg*kg-1	1,5	17
Nitrógeno total	ISRIC 6	%	0,0014	0,55
Carbón orgánico	ISRIC 5	%	0,060	3,1
Materia orgánica	ISRIC 5	%	0,10	5,3
Sodio intercambiable	ISRIC 9	cmolc/kg	0,00083	0,99
Potasio intercambiable	ISRIC 9	cmolc/kg	0,0053	0,92
Calcio intercambiable	ISRIC 9	cmolc/kg	0,016	9,5
Magnesio intercambiable	ISRIC 9	cmolc/kg	0,00083	5,2
Acidez intercambiable	ISRIC 11	cmolc/kg	0,050	< 0,050
Carbonatos	ISRIC 13-61	Cualitativo	-	Ausente
Textura				
Arena	DIN 18 123	%	2,5	11
Limo	DIN 18 123	%	1,1	18
Arcilla	DIN 18 123	%	1,1	71
Clase textural	DIN 18 123			Arcilla

- International Soil Reference and Information Center (ISRIC)
- Análisis de Suelos y Plantas tropicales (ASTP)

* Los resultados de este informe no deben ser modificados sin la autorización del LCA.
* La difusión de los resultados debe ser en su integridad.

La Paz, Julio 30 de 2021

Ing. Jaime Chincheros Paniagua
Responsable Laboratorio de Calidad Ambiental

CC: Archivo
JChica



Campus Universitario: Calle 27 de Cota Cota, La Paz, Telf/Fax: 2772522
Casilla Correo Central 10077, La Paz - Bolivia

Anexo 2. Análisis de agua de estudio en el Centro Experimental de Kallutaca

Universidad Mayor de San Andrés
Facultad de Ciencias Puras y Naturales
Instituto de Ecología
Laboratorio de Calidad Ambiental



Informe de Ensayo: A 71/21

Página 1 de 1

INFORME DE ENSAYO EN AGUA A 71/21

Cliente:	UPEA - AGRONOMÍA
Solicitante:	Ing. Victor Paye Huaranca
Dirección del cliente:	Nardin Rivas, Nro. 850
Procedencia de la muestra:	Comunidad de Kallutaca
	Provincia: Los Andes
	Departamento: La Paz
Punto de muestreo:	Pozo -1, Horti
Responsable del muestreo:	Ing. Victor Paye Huaranca
Fecha de muestreo:	13 de agosto de 2021
Hora de muestreo:	11:30
Fecha de recepción de la muestra:	16 de agosto de 2021
Fecha de ejecución del ensayo:	Del 16 al 30 de agosto, 2021
Caracterización de la muestra:	Agua de Pozo
Tipo de muestra:	Simple
Envase:	Botella Pet
Código LCA:	71 - 1
Código original :	P-1 Agua de Pozo

Resultado de Análisis

Parámetro	Método	Unidad	Limite de determinación	P-1 Agua de Pozo 71 - 1
Alcalinidad total	EPA 310.1	mg CaCO ₃ /l	5,0	43
Acidez	EPA 305.1	mg CaCO ₃ /l	2,0	< 2,0
Bicarbonatos	EPA 310.1	mg/l	6,0	43
Boro	AZOMETINA -H	mg/l	0,040	0,043
Calcio	EPA 215.1	mg/l	0,32	11
Carbonatos	EPA 310.1	mg/l	3,0	< 3,0
Cloruros	SM-4500-Cl-B	mg Cl/l	0,020	2,3
Conductividad eléctrica	EPA 120.1	µS/cm	1,0	162
Dureza total	SM 2340 - B	mg CaCO ₃ /l	1,0	50
Fósforo soluble	EPA 365.2	P-PO ₄ ³⁻ mg/l	0,010	< 0,010
Magnesio	EPA 242.1	mg/l	0,18	5,5
Nitrógeno total	EPA 351.1	mg/l	0,30	0,77
pH	EPA 150.1		1 - 14	6,7
Potasio	EPA 258.1	mg/l	0,21	2,8
Sodio	EPA 273.1	mg/l	0,019	12
Sulfatos	SM 4500-SO4=E	mg/l	1,0	29
Cobre	EPA 220.2	mg/l	0,050	< 0,0050
Hierro	EPA 236.2	mg/l	0,050	0,27
Manganeso	EPA 243.2	mg/l	0,020	< 0,020
Niquel	EPA 249.1	mg/l	0,040	< 0,040
Cinc	EPA 289.2	mg/l	0,038	< 0,038

SM = Standard Methods (For the Examination of Water and Wastewater)
EPA= Environmental Protection Agency (Sampling and Analysis Methods)
Los resultados de este informe, no deben ser modificados sin la autorización del LCA.
La difusión de los resultados debe ser en su integridad.

La Paz, 30 de Agosto de 2021

Ing. Jaime Chincheros Paniagua
Responsable Laboratorio de Calidad Ambiental

JCH/LCA



Campus Universitario: Calle 27 de Cota Cota, La Paz, Telf/Fax: 2772522
Casilla Correo Central 10077, La Paz - Bolivia

Anexo 3. Análisis de humus de lombriz

Universidad Mayor de San Andrés
 Facultad de Ciencias Puras y Naturales
 Instituto de Ecología
 Laboratorio de Calidad Ambiental


 LCA
 Calidad Ambiental

Informe de Ensayo: MO 16/23 Página 1 de 1

INFORME DE ENSAYO EN HUMUS DE LOMBRIZ MO 16/23

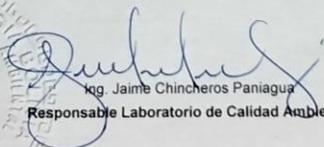
Solicitante: Entidad: Dirección del cliente: Procedencia de la muestra: Punto de muestreo: Responsable del muestreo: Fecha de muestreo: Hora de muestreo: Fecha de recepción de la muestra: Fecha de ejecución del ensayo: Caracterización de la muestra: Tipo de muestra: Envase: Código LCA: Código original :	Wilson Choque Condori- Royvin Arenas Apuri UNIVERSIDAD PÚBLICA DE EL ALTO Z/Villa Ingenio, C/6 de Junio Kalluitaca Departamento: La Paz Kalamarca Wilson Choque Condori- Royvin Arenas Apuri 13 de septiembre de 2023 07:00 20 de septiembre, 2023 Del 20 de septiembre 4 de octubre, 2023 Humus de Lombriz Simple Bolsa plástica 16- 1 H. Lombriz
--	--

Resultado de Análisis

Parámetro	Método	Unidad	Límite de determinación	H. Lombriz 16- 1
pH acuoso	ISRIC 4		1 - 4	7,6
Conductividad eléctrica	ASPT 6	µS/cm	1,0	3000
Fósforo total	Metodo calcinación/ASPT 91	mg/kg	0,40	4951
Materia organica	Calcinacion	%	5,0	37
Nitrógeno total	ASPT-88	%	0,0030	1,3
Potasio total	Microwave Reaction System/EPA 258.1	mg/kg	8,0	5722

Los resultados de este informe no deben ser modificados sin la autorización del LCA.
 La difusión de los resultados debe ser en su integridad.

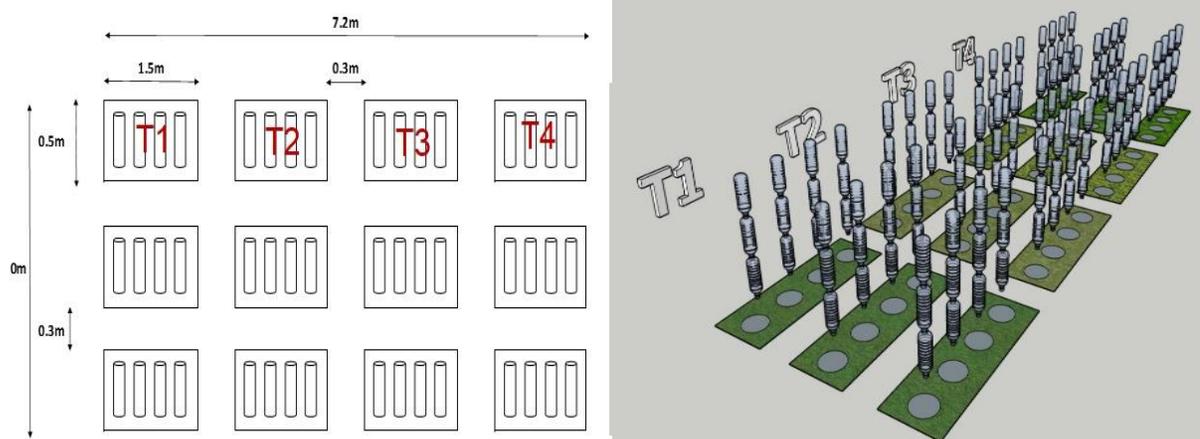
La Paz, 10 de octubre de 2023


 Ing. Jaime Chincheros Paniagua
 Responsable Laboratorio de Calidad Ambiental


 INSTITUTO DE ECOLOGIA
 LABORATORIO DE CALIDAD AMBIENTAL
 FCPN - UMSA
 La Paz - Bolivia

Campus Universitario: Calle 27 de Cota Cota, La Paz, Telf./Fax: 2772522
 Casilla Correo Central 10077, La Paz - Bolivia

Anexo 4. Croquis del experimento, realizado en el periodo de estudio en la Estación Experimental de Kallutaca



Anexo 5. Detalle del costo de inversión por tratamiento

	T1 (0%)	T2(10%)	T3 (20%)	T4 (30%)
Costo de plantines	12	12	12	12
Costo de humus	0	30	30	30
Costo de turba, 2 yutes	10	10	10	10
Costo clavos, 1 bolsa	2,5	2,5	2,5	2,5
Costo alambre, 2 rollos	5	5	5	5
Costo mano de obra	100	100	100	100
Costo de contenedores vertica	0	0	0	0
Costo de riego	0	0	0	0
Costo total de la inversion	129,5	159,5	159,5	159,5

Anexo 6. Detalle de venta por tratamiento

Tratamiento	% Humus	N° Plantas	Produccion g/planta	Total kg/planta	Venta por kg	Venta total
T1	0	36	334,5	12,01	30	360,3
T2	10	36	362	13	30	390
T3	20	36	469	16,86	30	505,8
T4	30	36	494	17,79	30	533,7

Anexo 7. Calculo ingreso bruto por tratamiento

Tratamiento	Rendimiento Kg	Precio	Total
T1	12,01	30	360,3
T2	13	30	390
T3	16,86	30	505,8
T4	17,79	30	533,7

Anexo 8. Calculo ingreso neto por tratamiento

Tratamiento	ingreso bruto	costo de pro	total
T1	360,3	129,5	230,8
T2	390	159,5	230,5
T3	505,8	159,5	346,3
T4	533,7	159,5	374,2

Anexo 9. Calculo B/C

Tratamiento	ingreso bruto	costo de pro	Total
T1	360,3	129,5	2,8
T2	390	159,5	2,44
T3	505,8	159,5	3,2
T4	533,7	159,5	3,34

Anexo 10. Plantines para la investigación

Anexo 11. Preparación de las botellas pet**Anexo 12. Preparación del sustrato por tratamiento****Anexo 13. Colgando las botellas pet y llenado del sustrato**

Anexo 14. Etapa de desarrollo



Anexo 15. Toma de datos de la variables





Anexo 16. análisis de grados Brix, laboratorio

