

UNIVERSIDAD NACIONAL JORGE BASADRE GROHMANN

Facultad de Ciencias Agropecuarias

Escuela Profesional de Agronomía

**EFEECTO DE TRES FUENTES DE MATERIA ORGÁNICA EN EL
RENDIMIENTO DEL CULTIVO DE MAÍZ AMARILLO DURO
(*Zea mays* L.) VAR. DEKALB – 7500 EN EL DISTRITO
LA YARADA LOS PALOS, TACNA**

TESIS

Presentado por:

Bach. JOSE RAFAEL PILCO ALVAREZ

Para optar el título profesional de:

INGENIERO AGRÓNOMO

TACNA - PERÚ

2024

UNIVERSIDAD NACIONAL JORGE BASADRE GROHMANN

Facultad de Ciencias Agropecuarias

Escuela Profesional de Agronomía

TESIS

“EFECTO DE TRES FUENTES DE MATERIA ORGÁNICA EN EL
RENDIMIENTO DEL CULTIVO DE MAÍZ AMARILLO DURO (*Zea mays*
L.) VAR. DEKALB – 7500 EN EL DISTRITO LA YARADA LOS PALOS,
TACNA”

TESIS SUSTENTADA Y APROBADA EL 27 DE SETIEMBRE DEL
2024; SIENDO EL JURADO CALIFICADOR:

PRESIDENTE:


Dr. OSCAR OCTAVIO FERNÁNDEZ CUTIRE

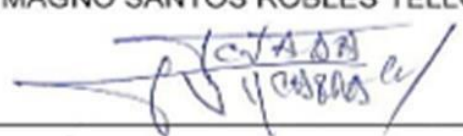
SECRETARIO:


MSc. NIVARDO NÚÑEZ TORREBLANCA

VOCAL:


MSc. MAGNO SANTOS ROBLES TELLO

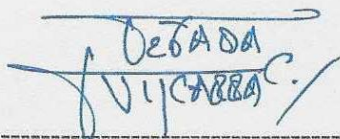
ASESOR:


Dr. JUAN CARLOS TEJADA VIZCARRA

CERTIFICADO DE SIMILITUD

Yo, Juan Carlos Tejada Vizcarra, en mi condición de asesor del trabajo tesis titulado: **"EFECTO DE TRES FUENTES DE MATERIA ORGÁNICA EN EL RENDIMIENTO DEL CULTIVO DE MAÍZ AMARILLO DURO (Zea mays L.) VAR. DEKALB – 7500 EN EL DISTRITO LA YARADA LOS PALOS, TACNA"**.
Presentado por el Bachiller JOSE RAFAEL PILCO ALVAREZ, para optar el título de Ingeniero Agrónomo. Habiendo cumplido con lo establecido en el reglamento de originalidad y de similitud de trabajos de investigación y producción intelectual, considerando que según la revisión, evaluación y análisis realizado a través del software de similitud textual Turnitin, cuenta con el nivel de similitud permitido cuyo porcentaje es 10%. Por lo que CERTIFICO LA SIMILARIDAD de la tesis está de acuerdo al nivel PERMITIDO, para continuar con los trámites correspondientes y para su publicación en el repositorio Institucional. Se emite el presente certificado con fines de continuar con los trámites respectivos para su obtención del título.

Tacna, 29 de octubre del 2024



Dr. Juan Carlos Tejada Vizcarra



Bach. Jose Rafael Pilco Alvarez



AGRADECIMIENTO

Deseo expresar mi más sincero agradecimiento a todas las personas que han aportado de diversas maneras a la culminación de este trabajo de investigación.

A mis padres, por su orientación, paciencia y apoyo constante a lo largo de mis estudios; por sus consejos y sugerencias que han sido fundamentales para consolidarme como profesional.

A mi asesor, Dr. Juan Carlos Tejada Vizcarra, por su constante apoyo, orientación y enseñanzas brindadas en mi etapa universitaria y para el desarrollo de la presente tesis.

Agradezco a mis amigos y compañeros de clase por compartir conmigo experiencias únicas durante mi desarrollo personal y vida universitaria.

DEDICATORIA

"A mis padres y a toda mi familia, cuya labor en el campo ha sido una fuente de inspiración para mí. Su dedicación, compromiso y sabiduría me enseñaron el valor de la tierra y el respeto por la naturaleza. Ser ingeniero agrónomo es para mí un honor y una responsabilidad, una forma de continuar su legado y contribuir al desarrollo sostenible de nuestro campo. A ellos dedico este trabajo, fruto de su amor y apoyo incondicional."

CONTENIDO

AGRADECIMIENTO	iv
DEDICATORIA	v
CONTENIDO	vi
ÍNDICE DE TABLA	xii
ÍNDICE DE FIGURA	xiv
ÍNDICE DE ANEXOS.....	xv
RESUMEN.....	xvi
ABSTRACT	xvii
INTRODUCCIÓN.....	1
CAPÍTULO I: DESCRIPCIÓN DEL PROBLEMA.....	2
1.1. Planteamiento del problema	2
1.2. Formulación del problema	4
1.2.1. Problema general	4
1.2.2. Problema específico	4
1.3. Justificación.....	5
CAPÍTULO II: OBJETIVOS E HIPÓTESIS DE LA INVESTIGACIÓN	7

2.1.	Objetivos	7
2.1.1.	Objetivo general	7
2.1.2.	Objetivo específico	7
2.2.	Hipótesis	7
2.2.1.	Hipótesis general.....	7
2.2.2.	Hipótesis específica.....	8
2.3.	Variables	8
2.3.1.	Variable independiente (X)	8
2.3.2.	Variable dependiente (Y).....	8
	CAPÍTULO III: MARCO TEÓRICO Y CONCEPTUAL	9
3.1.	Antecedentes	9
3.2.	Origen	12
3.3.	Taxonomía	13
3.4.	Morfología	14
3.4.1.	Raíz.....	14
3.4.2.	Tallo	14
3.4.3.	Hojas.....	15
3.4.4.	Inflorescencia pistilada (femenina).....	15

3.4.5. Inflorescencia estigmada (masculina).....	16
3.4.6. Mazorcas.....	16
3.4.7. Semillas.....	16
3.5. Fenología del maíz.....	16
3.5.1. Etapa vegetativa.....	18
3.5.2. Estadios reproductivos y desarrollo del grano	20
3.6. Producción nacional del Perú	22
3.6.1. Regiones productoras.....	23
3.6.2. Valor nutricional del maíz	24
3.7. Requerimientos agroclimáticos.....	25
3.7.1. Clima.....	25
3.7.2. Agua.....	26
3.7.3. Suelo.....	26
3.8. Diversidad racial de maíz en el Perú	27
3.9. Materia orgánica del suelo.....	28
3.9.1. Abonos orgánicos.....	29
3.9.2. Beneficios de aplicar materia orgánica a suelos agrícolas	29
3.9.3. Ventajas de los abonos orgánicos	30

3.9.4. Características de los estiércoles	31
3.10. Estiércoles.....	31
3.10.1. Tipos de estiércol	31
3.10.2. Formación del estiércol.....	36
3.10.3. Descomposición del estiércol	36
CAPÍTULO IV: MATERIALES Y MÉTODOS.....	39
4.1. Nivel de la investigación	39
4.1.1. Ubicación del campo experimental	39
4.1.2. Cultivos anteriores.....	39
4.2. Características del suelo y clima durante el experimento.....	39
4.2.1. Análisis de suelo en laboratorio	39
Resultado del análisis químico	40
4.2.2. Análisis para los tipos de estiércoles	43
4.2.3. Información de datos hidrometereológicos.....	44
4.3. Material experimental	45
4.3.1. Dekalb 7500	46
4.3.2. Estiércoles.....	46
4.4. Material de campo	46

4.5.	Metodología.....	46
4.5.1.	Tratamientos experimentales en estudio	46
4.6.	Variables de respuesta	47
4.6.1.	Altura de la planta	47
4.6.2.	Área foliar	47
4.6.3.	Peso de grano por unidad experimental	48
4.6.4.	Rendimiento de grano por hectárea.....	48
4.7.	Diseño experimental.....	48
4.7.1.	Características del campo experimental	48
4.7.2.	Croquis del campo experimental.....	49
4.8.	Análisis de datos	51
4.9.	Manejo del experimento	51
4.9.1.	Preparacion de los tratamientos	51
4.9.2.	Preparación de la parcela.....	52
4.9.3.	Siembra.....	52
4.9.4.	Riego.....	53
4.9.5.	Fertilización	53
4.9.6.	Desmalezado	65

4.9.7. Control de plagas y enfermedades	65
4.9.8. Cosecha	66
CAPÍTULO V: RESULTADOS	67
5.1. Altura de planta	67
5.1.1. Altura de planta a 35 días de siembra (cm)	67
5.1.2. Altura de planta a los 60 días de siembra (cm)	69
5.1.3. Altura de planta a los 122 días de siembra (cm)	70
5.2. Área foliar de planta de maíz (cm ²).....	73
5.3. Peso de grano por unidad experimental (kg)	74
5.4. Rendimiento de grano por hectárea (t/ha)	76
CONCLUSIONES	80
RECOMENDACIONES	81
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	82
ANEXOS	98

ÍNDICE DE TABLA

Tabla 1. Valor nutricional de tipos de cereales.....	25
Tabla 2. Cantidad de nutrientes en estiércol	35
Tabla 3. Resultados físico químicos de caracterización de suelo.....	40
Tabla 4. Análisis de materia orgánica	44
Tabla 5. Datos meteorológicos	44
Tabla 6. Extracción de nutrientes del cultivo de maíz.....	60
Tabla 7. Determinación de la cantidad de fertilizantes	61
Tabla 8. Eficiencia de los fertilizantes	62
Tabla 9. Fórmula de abonamiento	63
Tabla 10. Resultado de aporte de fuentes de materia orgánica	64
Tabla 11. Análisis de varianza para altura de planta (cm) de maíz a los 35 días de siembra	67
Tabla 12. Prueba de significación de Duncan para altura de planta (cm) a los 35 días de siembra	68
Tabla 13. Análisis de varianza para altura de planta de maíz (cm) a los 60 días de siembra	70
Tabla 14. Significación de Duncan para altura de planta (cm) a los 60 días de siembra.....	701

Tabla 15. Análisis de varianza para altura de planta de maíz (cm) a los 122 días de siembra	72
Tabla 16. Prueba de Duncan para altura de planta (cm) a los 122 días de siembra.....	73
Tabla 17. Análisis de varianza del área foliar en cultivo de maíz (cm ²)	73
Tabla 18. Prueba de Duncan para área foliar de planta de maíz (cm ²)	73
Tabla 19. Análisis de varianza peso de grano (kg) por unidad experimental	74
Tabla 20. Prueba de Duncan para peso de grano (kg) por unidad experimental	75
Tabla 21. Análisis de varianza para rendimiento de grano por hectárea (t/ha) en cultivo de maíz.....	76
Tabla 22. Prueba de Duncan para rendimiento de grano de maíz por hectárea (t/ha)	77

ÍNDICE DE FIGURA

Figura 1. Fenología del cultivo de maíz	18
Figura 2. Rubro destinado del grano de maíz en porcentaje.....	24
Figura 3. Aleatorización de tratamientos en el campo experimental	51
Figura 4. Curva de crecimiento de planta de maíz con las medidas realizadas a los 35, 60, y 122 días de siembra.....	74
Figura 5. Informe de análisis de suelo	104
Figura 6. Preparación de compostaje de las tres fuentes de estiércol ...	105
Figura 7. Incorporación de los tratamientos de estiércol (semicompostado).....	105
Figura 8. Primera medición de altura de planta, 35 dds	106
Figura 9. Planta de maíz en estado de floración.....	106

ÍNDICE DE ANEXOS

Anexo 1. <i>Datos de campo, altura de planta.....</i>	100
Anexo 2. <i>Datos de area foliar y peso de grano.....</i>	102
Anexo 3. <i>Resultados de laboratorio para la muestra de suelo.....</i>	104
Anexo 4. <i>Fotografías de manejo del experimento.....</i>	105

RESUMEN

Este estudio investigó el “Efecto de tres fuentes de materia orgánica en el rendimiento del cultivo de maíz amarillo duro (*Zea mays L.*) var. Dekalb – 7500 en el distrito La Yarada Los Palos, Tacna”. Los tratamientos fueron: T₁ (testigo); T₂ (estiércol de vacuno); T₃ (estiércol se de gallina); y T₄ (estiércol de ovino). El estiércol aplicado fue semi compostado durante 30 días e incorporado al suelo en la preparación de terreno; asimismo, las variables consideradas para evaluar las bondades del estiércol fueron; altura de planta a los 35; 60 y 122 días después de la siembra, donde las tres fuentes de estiércol son superiores a comparación del testigo, así también con respecto al rendimiento de grano se halló que las tres fuentes de estiércol mostraron estadísticamente ser mejores donde el tratamiento con estiércol de ovino semicompostado logró 5,76 t/ha, estiércol de vacuno obtuvo 5,5 t/ha y estiércol de gallina logró 5,42 t/ha; sin embargo, el tratamiento testigo produjo 3,5 t/ha.

De los resultados logrados se denota la influencia de las enmiendas orgánicas en la producción del cultivo, al mejorar significativamente las características del suelo agrícola y, en consecuencia, el rendimiento del cultivo.

Palabra clave: estiércol, maíz, ovino, gallina, vacuno.

ABSTRACT

This study investigated the “Effect of three sources of organic matter on the yield of hard yellow corn (*Zea mays L.*) var. Dekalb 7500 in the district of La Yarada Los Palos, Tacna.” The treatments were: T₁ (control), T₂ (cow manure), T₃ (chicken manure), and T₄ (sheep manure). The manure applied was semi-composted for 30 days and incorporated into the soil during the land preparation; likewise, the variables considered to evaluate the benefits of the manure were the plant height at 35, 60, and 122 days after planting, where the three sources of manure were superior in comparison to the control. Additionally, regarding grain yield, it was found that the three sources of manure statistically proved to be better, with the treatment of semi-composted sheep manure achieving 5,76 t/ha, cow manure obtaining 5,5 t/ha, and chicken manure achieving 5,42 t/ha; however, the control treatment produced 3,5 t/ha.

From the results obtained, the influence of organic amendments on the crop production is evident, significantly improving the characteristics of agricultural soil and, consequently, the yield of the crop.

Keyword: manure, corn, sheep, chicken, cattle.

INTRODUCCIÓN

El cultivo de maíz amarillo duro en el Perú se ha incrementado debido a la necesidad de cubrir la demanda de este grano. Los ganaderos de la costa y sierra peruana lo utilizan en gran manera como ensilado; otro sector es el avícola y las empresas que elaboran los concentrados, según las características del animal y su crianza. Esto ha motivado a los agricultores a mejorar sus variedades para cultivar, las cuales proporcionan mejores atributos según la genética y forma de adaptarse a diferentes regiones costeras.

Los factores económicos y la pandemia del 2019 han ocasionado diversas fluctuaciones en los precios de insumos vitales para nutrir y lograr rendimientos económicamente deseables para el sustento de los agricultores y población.

Por ello, surge la necesidad de aplicar estiércol en el cultivo de maíz, es considerado ecológico para mejorar la fertilidad del suelo y aumentar la producción de manera sostenible. El estiércol, proveniente de animales como vacas, cerdos o aves, es una fuente orgánica rica en nutrientes como nitrógeno, fósforo y potasio, esenciales para el crecimiento armonioso de las plantas, promoviendo una agricultura más resiliente y respetuosa con el medio ambiente.

CAPÍTULO I

DESCRIPCIÓN DEL PROBLEMA

1.1. Planteamiento del problema

En los últimos años, el maíz se ha consolidado como uno de los pilares fundamentales de la seguridad alimentaria global, junto con el arroz y el trigo, siendo reconocido como una de las tres gramíneas más extensamente cultivadas en el planeta. A lo largo del tiempo, diversas instituciones han llevado a cabo investigaciones con el propósito principal de mejorar el rendimiento y la producción de diferentes variedades de este cultivo (Instituto Interamericano de Cooperación para la Agricultura, 2015).

El maíz (*Zea mays L.*) es un cultivo de suma relevancia económica a nivel global, utilizado tanto en la alimentación humana y animal como en la producción de numerosos productos industriales. Su cultivo se ha expandido mundialmente debido a su capacidad para adaptarse a una amplia variedad de suelos y climas, siempre que se satisfagan sus necesidades agroecológicas.

En el Perú, el maíz amarillo duro es uno de los cultivos de mayor importancia socioeconómica, debido a que incide de manera significativa en los precios de alimentos básicos, cuya demanda supera los tres

millones de toneladas al año desde el 2010, de los cuales solo el 35% en el año 2014 fue producción nacional (Melgar, 2016).

En el año 2020, según MIDAGRI (2021), la producción de maíz amarillo duro (MAD) fue de 695 100 toneladas y la superficie sembrada fue de 242 635 hectáreas a nivel nacional. El rendimiento total nacional de MAD fue de 4 622 kilogramos por hectárea, siendo Ancash la región que presentó mayor rendimiento, siendo un total de 10 948 kg/ha, seguido de Lima que alcanzó un rendimiento de 9 761 kg/ha.

De acuerdo al Boletín Estadístico Mensual “Agro en Cifras” 2021. La región Tacna no presenta reportes sobre intenciones de siembra de este cultivo, así como datos sobre la superficie cosechada y rendimiento.

En el caso del maíz amarillo duro, este es el sustento económico para las familias que lo cultivan, gracias a su venta en grano seco, que es la más demandada por el sector pecuario. Asimismo, la agricultura familiar es una característica muy frecuente de nuestra localidad. Para la mayoría de los agricultores, se concluye que del total de su producción, aproximadamente el 80% está destinada para la producción de grano, la cual es generalmente usada para la alimentación de pollos, cerdos y vacunos; el 20% de la producción restante se destina para el forraje (alimentación de ganado lechero).

Por las razones expuestas, es necesario realizar estudios que permitan evaluar el comportamiento agronómico y productivo que alcanza el MAD en condiciones de La Yarada Los Palos, siendo este uno de los distritos de mayor desarrollo agropecuario de la Región Tacna. El distrito La Yarada Los Palos presenta suelos de textura franco arenosa, con materia orgánica deficiente y en algunos sectores con presencia de salinidad. Por ello también es importante realizar un estudio sobre la adecuada fuente de materia orgánica que permita el aprovechamiento de los nutrientes que se encuentran en el suelo y sean fácilmente asimilados por la planta, de esa manera alcanzar una óptima producción.

1.2. Formulación del problema

1.2.1. Problema general

¿Cuál será el efecto de la incorporación de tres fuentes de materia orgánica en el rendimiento del cultivo de maíz amarillo duro (*Zea mays* L.), var. DEKALB - 7500, en el distrito La Yarada Los Palos, Tacna?

1.2.2. Problema específico

¿Cuál de las tres fuentes de materia orgánica tendrá el mayor efecto en el rendimiento del cultivo de maíz amarillo duro (*Zea mays* L.), var. DEKALB - 7500, en el distrito La Yarada Los Palos, Tacna?

1.3. Justificación

El cultivo de maíz constituye una de las gramíneas más importantes a nivel mundial, motivo por el cual se realizan investigaciones que aporten propuestas de desarrollo sostenible utilizando diversas fuentes de materia orgánica, las cuales están disponibles para cada uno los productores de la región, y así poder tomar decisiones en relación con los costos y dosis adecuada de fertilización.

Los abonos orgánicos se han utilizado desde tiempos remotos y su influencia sobre la fertilidad de los suelos ha quedado demostrada, sin embargo, su composición química, el aporte de nutrientes a los cultivos y su efecto en el suelo varían según su procedencia, edad, manejo y contenido de humedad (Romero, Trinidad, García y Ferrera 2000). Además, el valor de la materia orgánica que contienen ofrece grandes ventajas que difícilmente pueden lograrse con los fertilizantes inorgánicos (Castellanos, 1980).

La utilización de materia orgánica es de gran interés porque ayuda a mejorar las características del suelo, físicas como la estructura, porosidad, aireación y retención de agua, y químicas como la capacidad de intercambio catiónico (CIC) y el pH. Por lo tanto, la producción de los cultivos se incrementa considerablemente. Desde una perspectiva

biológica, la materia orgánica fomenta el crecimiento de los microorganismos presentes en el suelo, que desempeñan un papel crucial en la descomposición de minerales que no son accesibles para las plantas. Estos microorganismos ayudan a transformar estos minerales en formas que las plantas pueden absorber, contribuyendo así a la fertilidad del suelo y al ciclo de nutrientes (Bünemann, Bossuyt, De Deyn, Six y Tidstrand, 2018; Paustian, Lehmann, Ogle, Reay y Robertson, 2016).

La utilización de materia orgánica en los cultivos es de gran importancia para los suelos agrícolas, ya que mejora la estructura e incrementa la disponibilidad de nutrientes, lo que permite llevar a cabo la producción de los cultivos y obtener así mayores rendimientos y productos de calidad.

El presente proyecto busca utilizar diferentes tipos de materia orgánica semicompostada como fuente principal de abonamiento, debido a las bondades que ofrece: mejora el suelo, obtención de productos de calidad y saludables, así como la disminución de la contaminación del medio ambiente al reducir el uso excesivo de productos químicos.

CAPÍTULO II

OBJETIVOS E HIPÓTESIS DE LA INVESTIGACIÓN

2.1. Objetivos

2.1.1. Objetivo general

Determinar el efecto de tres fuentes de materia orgánica en el rendimiento del cultivo de maíz amarillo duro (*Zea mays L.*), var. DEKALB - 7500, en el distrito La Yarada Los Palos, Tacna.

2.1.2. Objetivo específico

Identificar cuál de las tres fuentes de materia orgánica es la más adecuada para obtener el máximo rendimiento del maíz amarillo duro (*Zea mays L.*), var. DEKALB - 7500, en las condiciones del distrito La Yarada Los Palos, Tacna.

2.2. Hipótesis

2.2.1. Hipótesis general

Las tres fuentes de materia orgánica tienen un efecto positivo en el rendimiento del cultivo de maíz amarillo duro (*Zea mays L.*), var. DEKALB - 7500, en el distrito La Yarada Los Palos, Tacna.

2.2.2. Hipótesis específica

Al menos una de las tres fuentes de materia orgánica (estiércol semicompostado de vacuno, ovino y gallina) aumentará significativamente el rendimiento del cultivo de maíz amarillo duro (*Zea mays L.*), var. DEKALB - 7500, en el distrito La Yarada Los Palos, Tacna.

2.3. Variables

2.3.1. Variable independiente (X):

X₁: Estiércol semicompostado de vacuno 10 t/ha.

X₂: Estiércol semicompostado de gallina 10 t/ha.

X₃: Estiércol semicompostado de ovino 10 t/ha.

2.3.2. Variable dependiente (Y):

Y₁: Rendimiento de grano de maíz por unidad experimental

CAPÍTULO III

MARCO TEÓRICO Y CONCEPTUAL

3.1. Antecedentes

El rendimiento del cultivo de maíz amarillo duro (*Zea mays L.*) var. Dekalb 7508 ha sido objeto de varias investigaciones que analizan el impacto de los distanciamientos de siembra en sus características agronómicas y rendimiento por hectárea. En un estudio realizado en San Regis, El Carmen, Chincha, se utilizó un diseño experimental de bloques completamente al azar, evaluando aspectos como la altura de planta, el número de mazorcas y el peso de granos (Flores, 2017).

Los resultados de este estudio mostraron que los distanciamientos de siembra tienen un efecto significativo en la altura de planta y el número de mazorcas. En particular, los tratamientos que incluyeron distanciamientos de 0,90 x 0,40 m y 0,70 x 0,40 m presentaron resultados óptimos en términos de longitud de mazorcas y peso por hectárea. El tratamiento de 0,70 x 0,40 m resultó en un rendimiento destacado de 12,085.65 kg por hectárea, lo que sugiere que los agricultores podrían beneficiarse de la adopción de estos distanciamientos para maximizar la producción (Flores, 2017; Vega, 2017).

De acuerdo con Mamani Q. (2017) en su tesis titulada “Influencia de tres fuentes de materia orgánica en el rendimiento del cultivo de chía (*Salvia hispánica L.*) en el CEA III. Los Pichones – Tanca – 2015”, se evidenció que el tratamiento que proporcionó el mayor rendimiento en el cultivo de chía fue el correspondiente al estiércol de gallina (T₃), alcanzando una producción de 1 221 kg/ha. En segundo lugar, se ubicó el tratamiento con estiércol de ovino (T₂), que obtuvo un rendimiento de 1 141,45 kg/ha, seguido por el tratamiento con estiércol de vacuno (T₁), que alcanzó 962,457 kg/ha. A raíz de estos hallazgos, se sugiere llevar a cabo investigaciones adicionales en la región de Tacna, utilizando los mismos tratamientos en diferentes cultivos, con el objetivo de reducir el uso de fertilizantes químicos.

Según Castro V. (2016) en su tesis titulada “Efecto de cinco fuentes orgánicas sobre el desarrollo vegetativo y rendimiento del cultivo de melón (*Cucumis melo L.*) en la irrigación de la Yarada”, se determinó que el tratamiento con gallinaza (T₃) logró el rendimiento más elevado, alcanzando 33,79 t/ha. Este fue seguido por el tratamiento con cuy (T₄), que produjo 31,14 t/ha, y en tercer lugar se ubicó el tratamiento con estiércol de vacuno (T₂), que obtuvo 29,79 t/ha. Los rendimientos más bajos correspondieron a los tratamientos sin aplicación de fertilizantes (T₅ y t₀), con 25,18 y 22,36 t/ha respectivamente. A partir de estos resultados, el autor recomienda

fomentar el uso de prácticas de agricultura orgánica en la zona de la Yarada para reducir la dependencia de fertilizantes químicos en los cultivos.

Según Caldas (2018), la investigación tuvo como objetivo determinar el “efecto de los abonos orgánicos en el rendimiento del cultivo de maíz (*Zea mays L.*) variedad blanco Urubamba, en condiciones de Huacrachuco”. El estudio incluyó tres dosis de guano y un grupo de control ($D_1=0,68$ kg/planta de guano de isla, $D_2=0,90$ kg/planta de gallinaza, $D_3=0,113$ kg/planta de guano de cuy), con D_0 como testigo sin aplicación de fertilizantes. Se evaluaron varios parámetros, como el tamaño de la mazorca, el número de mazorcas por planta y el peso del grano. Los resultados mostraron que la dosis de guano de isla (T_1) a 1 t/ha fue la más efectiva, reportando un tamaño promedio de 11,41 cm de largo y 1,85 mazorcas por planta, indicando que la incorporación de guano de isla como abono de fondo favorece un mayor rendimiento en el cultivo de maíz.

Según Espinoza y Gamarra (2022), la investigación tuvo como objetivo evaluar el impacto de dos fuentes de abonamiento aplicadas durante la etapa vegetativa (V5, V10) y en la fase de espigado o panojamiento (VT) sobre el rendimiento de dos híbridos de maíz amarillo duro (*Zea mays L.*), específicamente Dekalb 7500 y Dekalb 7508, en la región de Barranca. Los resultados mostraron que el híbrido Dekalb 7500

alcanzó un rendimiento de 13,94 t/ha, mientras que el híbrido Dekalb 7508 registró 13,10 t/ha. Los hallazgos sugieren que la aplicación de fertilización líquida en las tres etapas fenológicas (V5, V10 y VT) del cultivo de maíz híbrido Dekalb 7500 contribuye a un incremento significativo en el rendimiento del cultivo.

3.2. Origen

El Perú es reconocido como el lugar de origen del maíz (Bonavia y Grobman, 1999). Paratori (1995) señala que el maíz (*Zea mays L.*) representa una de las aportaciones más significativas de América Latina a la agricultura global. Este cultivo fue fundamental en la dieta de las civilizaciones precolombinas y sigue siendo una fuente nutricional crucial para numerosos países de Centroamérica y la región andina en la actualidad.

Por otra parte, Goodman y Bird (1977) destacan que varios eventos históricos han contribuido a la diversificación del maíz, como el desarrollo de las culturas de distintos pueblos americanos, las migraciones, el descubrimiento de América y el subsiguiente movimiento de europeos. Goodman (1976) sostiene que la introgresión de germoplasma del teosinte al maíz, así como la divergencia evolutiva, han sido factores clave en la variabilidad que ha experimentado esta especie. Así, los cruzamientos y la

selección natural y humana han ampliado la diversidad genética de esta planta.

Las exploraciones realizadas en América del Norte y del Sur durante los siglos XV y XVI revelan que el maíz se cultivaba ampliamente desde Chile hasta la región de los Grandes Lagos en Estados Unidos y Canadá. En la actualidad, este cultivo se ha expandido a la mayoría de los países, gracias a los esfuerzos de los fitomejoradores (Aguilar, 1987; Ceballos, Ramirez y Rojas, 2016).

3.3. Taxonomía

Según Manrique (1997), citado por Mendieta (2015), que la ubicación taxonómica del maíz es la siguiente:

Reino: Vegetal

Clase: Monocotiledóneas

Orden: Graminales

Familia: Gramineae

Género: *Zea*

Especie: *Zea mays* L.

3.4. Morfología

3.4.1. Raíz

Según Quispe, Arroyo y Gorriti (2011), el sistema radicular del maíz se caracteriza por tener raíces fasciculadas, las cuales se dividen en varios tipos. La raíz seminal o principal, que se origina en el embrión, está compuesta por un grupo de una a cuatro raíces que proporcionan nutrientes a las semillas durante las primeras dos semanas de crecimiento, aunque pronto dejan de funcionar.

El sistema radicular del maíz es predominantemente adventicio, desarrollándose a partir de la corona de la planta. Además, se encuentran las raíces de sostén o soporte, que se originan en los nudos cercanos a la superficie del suelo y proporcionan mayor estabilidad a la planta. Estas raíces, además de su función de soporte, también realizan fotosíntesis. (Quispe, Arroyo y Gorriti, 2011)

Por último, Requis (2012) menciona las raíces aéreas, que son aquellas que no alcanzan el suelo y tienen un rol específico en la planta.

3.4.2. Tallo

De acuerdo con Manrique (1997), cuando las plántulas alcanzan una altura de entre 40 y 60 cm, el punto de crecimiento se eleva por encima del

suelo y presenta de 8 a 10 hojas. En esta fase, el tallo adquiere la forma de un pequeño cilindro piramidal que termina en punta, midiendo aproximadamente 20 cm de longitud y 2,5 cm de diámetro. A partir de este momento, el tallo comienza a alargarse de manera acelerada, dando inicio a un período de crecimiento en el que desarrolla una estructura longitudinal y cilíndrica muy delicada, que cuenta con entre 20 y 25 nudos, entrenudos, así como sus hojas y yemas axilares, y la panoja ya formada adecuadamente.

3.4.3. Hojas

Las hojas poseen una larga vaina que envuelve el entrenudo. El limbo es largo, un poco ancho y termina en punta, de bordes enteros y con nervaduras paralelas, su color usual es verde, pero se pueden encontrar hojas rayadas de blanco y verde o verde y púrpura (Quispe, Arroyo y Gorriti, 2011).

3.4.4. Inflorescencia pistilada (femenina)

La inflorescencia femenina corresponde a una espiga modificada. La espiga se presenta cubierta por brácteas u hojas envolventes y esta conjuntamente con las brácteas conforman la mazorca (Manrique, 1997).

3.4.5. Inflorescencia estigmada (masculina)

Se realiza en las últimas hojas de la planta, de siete a diez días antes de que comience a aparecer los estilos de la inflorescencia femenina (Manrique, 1999).

3.4.6. Mazorcas

La mazorca es densa y está completamente cubierta por hojas. En América del Sur, el eje de la inflorescencia se conoce como tusa, mientras que en México y América Central se le llama elote o corontas (Justiniano, 2010). Este término varía en diferentes regiones, reflejando la diversidad cultural y lingüística en torno al cultivo del maíz.

3.4.7. Semillas

Cada semilla en la mazorca es un fruto independiente que está insertado en el raquis cilíndrico o coronta; la calidad de granos producidos por mazorcas está limitada por el número de granos por hilera, al igual que otros cereales, el grano de maíz está constituido por pericarpio, endospermo y embrión (MINAGRI, 2012).

3.5. Fenología del maíz

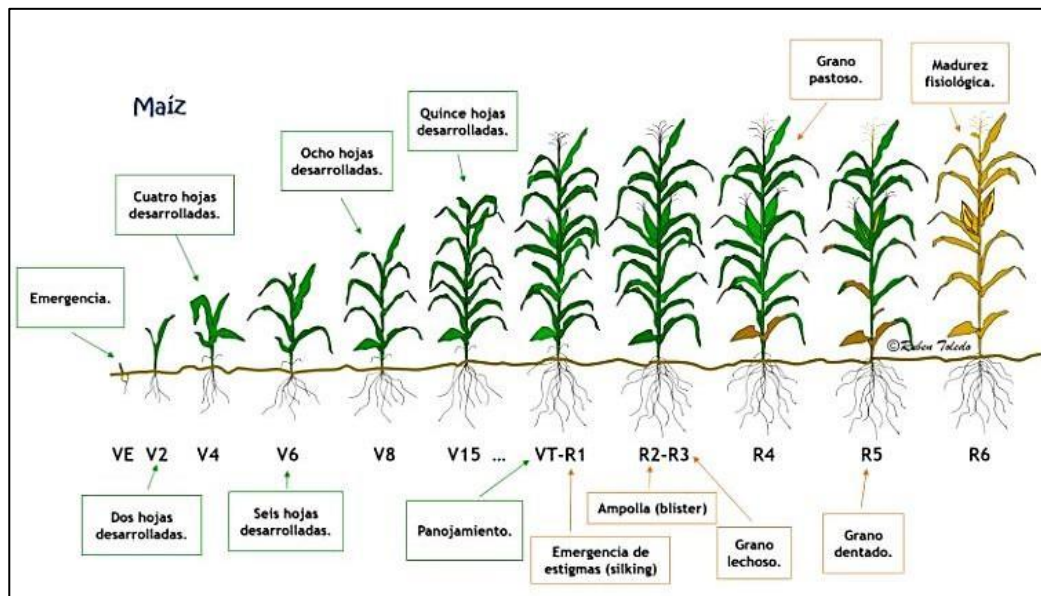
Según Manrique, (1997). A los 20 o 30 días de la germinación, las plántulas alcanzan 15 a 20 cm de altura y el punto de crecimiento apical aún se encuentra debajo de la superficie del suelo y continúa produciendo nuevas hojas.

Por otro lado, el sistema para clasificación de etapas o estadios utilizado por la Universidad de Iowa (Iowa State University of Science and Technology) por Ritchie, Hanway y Benson (1986) divide el desarrollo de la planta en las etapas vegetativa y reproductiva.

Estadios Vegetativos son representados por dos etapas (1) germinación y emergencia, se entiende por germinación a la serie de procesos que incluye la imbibición o absorción de agua por parte de la semilla hasta que emerge la radícula, la emergencia desde que emerge la radícula hasta la aparición del coleóptilo sobre el suelo y el (2) Desarrollo del Sistema Radical. (Bewley y Black, 1994)

Figura 1

Fenología del cultivo de maíz



Fuente: Ritchie, G. y Hanway, J. (1982).

3.5.1. Etapa vegetativa

Las fases del estadio vegetativo (V) del maíz se clasifican de V1 a V(n), donde (n) representa la última hoja desarrollada antes del inicio del paojamiento (VT) para la variedad en estudio (Ritchie, Hanway y Benson, 1986). Según Fassio, Carriquiry, Tojo y Romero (1988), durante el estadio V3, el ápice del tallo, que actúa como el punto de crecimiento, se encuentra por debajo de la superficie del suelo. En esta fase, se establecen todas las hojas y espigas que la planta podrá desarrollar en el futuro.

En el estadio V5, que ocurre aproximadamente a los 20 días, el ápice del tallo continúa estando justo por debajo de la superficie del suelo y la altura total de la planta alcanza cerca de 20 cm. Al llegar al estadio V6, el punto de crecimiento sobresale por encima del suelo, marcando el inicio de un periodo de rápida elongación del tallo, durante el cual las raíces adventicias se convierten en el sistema radicular predominante. (Fassio, Carriquiry, Tojo y Romero, 1988).

En la fase V9, cada nudo aéreo comienza a desarrollar una espiga potencial, a excepción de los seis a ocho nudos que se encuentran por debajo de la panoja. Al principio, el crecimiento de cada espiga es más rápido que el de la espiga que se origina en el nudo superior. Cuando la planta alcanza la fase V10, se observa un aumento notable en la acumulación de materia seca, un proceso que se prolongará hasta las etapas avanzadas de la fase reproductiva. Para cumplir con esta necesidad, la planta requiere grandes cantidades de nutrientes y agua del suelo (Hochholdinger, Hoecker y Langer, 2008; Duvick, 2005).

En la fase V12, que ocurre aproximadamente 48 días después de la emergencia, se define el número de hileras en cada espiga y su tamaño. Al llegar a la fase V15, que se presenta 56 días después de la emergencia, la planta de maíz tiene en promedio 14 hojas, y alcanza 15 hojas a los dos

meses, estando a solo 10 a 12 días de iniciar la etapa R1. En este momento, las barbas de las espigas superiores comienzan a desarrollarse (Ritchie, Hanway y Benson, 1986; Edmeades, Bolanos y Ribaut, 2004).

3.5.2. Estadios reproductivos y desarrollo del grano

Los seis estadios reproductivos se centran principalmente en el desarrollo del grano y sus partes. Los estadios R2, R3 y R4 generalmente se aplican a todos los granos de la mazorca, considerándose aquellos que están ubicados en la parte media. Por otro lado, la descripción de los granos en las fases R5 y R6 se refiere a todos los granos presentes en la mazorca (Fassio, Carriquiry, Tojo y Romero, 1998; Duvick, 2005).

En condiciones de campo, en cada planta la panoja libera el polen antes de que las barbas hayan emergido de la espiga, pero continúa liberando varios días después de que las barbas están listas para ser polinizadas, en total una semana o más. (Kiesselbach, 1949).

R1: Este estadio comienza cuando algunas barbas son visibles fuera de las vainas. La polinización ocurre cuando los granos de polen se depositan sobre las barbas. Este periodo de cuatro semanas que rodea la floración es crucial para la aplicación de riego (Fassio, Carriquiry, Tojo y Romero, 1998; Ritchie, Hanway y Benson, 1986).

R2: En este estadio, conocido como ampolla, el embrión se desarrolla lentamente, con la radícula, el coleóptilo y la primera hoja embrionaria ya formados. La mazorca está cerca de alcanzar su tamaño máximo, mientras que las espigas comienzan a secarse (Ritchie, Hanway y Benson, 1986; Duvick, 2005).

R3: También denominado estadio lechoso, que ocurre entre 18 y 22 días después de la emergencia de las barbas, se caracteriza por granos de color amarillo externamente y un líquido interno blanco lechoso, resultado de la acumulación de almidón. En esta fase, el embrión crece rápidamente, los granos muestran una rápida acumulación de materia seca y contienen aproximadamente un 80% de humedad. Las divisiones celulares en el endospermo han terminado, por lo que el crecimiento se debe principalmente a la expansión celular y a la acumulación de almidón dentro de las células (Fassio, Carriquiry, Tojo y Romero, 1998; Ritchie, Hanway y Benson, 1986).

R4: o pastoso (24-28 días después de emergencia de barbas) en esta etapa normalmente ya se han formado cuatro hojas embrionarias y el embrión ha crecido considerablemente en tamaño con respecto a la etapa R3 (Ritchie, Hanway y Benson, 1986).

R5: También conocido como estadio dentado, este periodo ocurre entre 35 y 40 días después de la emergencia de las barbas. Durante esta fase, los granos comienzan a secarse, comenzando por la parte superior, donde se forma una capa dura de almidón de color blanco. Las condiciones adversas en esta etapa pueden reducir el rendimiento al afectar el peso de los granos, sin impactar el número total de granos (Fassio, Carriquiry, Tojo y Romero, 1998; Ritchie, Hanway y Benson, 1986).

R6: Este estadio, que representa la madurez fisiológica, se da entre 55 y 65 días después de la emergencia de las barbas. Se caracteriza por el hecho de que todos los granos en la espiga han alcanzado su peso seco máximo, y se forma una abscisión marrón o negra en la zona de inserción del grano a la mazorca, conocida como punto negro o capa negra. Esta abscisión es un excelente indicador de la máxima acumulación de materia seca y marca el final del crecimiento del grano. En esta etapa, el promedio de humedad del grano es del 30-35%, aunque puede variar según los cultivares y las condiciones ambientales (Ritchie, Hanway y Benson, 1986; Duvick, 2005).

3.6. Producción nacional del Perú

La producción nacional de maíz amarillo en el país se mantiene en un promedio de aproximadamente 1,2 millones de toneladas. Esta

producción se compone en un 76% de granos importados y en un 24% de la producción local. En 2022, la producción de maíz amarillo duro experimentó una leve disminución, registrando 1,25 millones de toneladas, lo que representa una caída del 1,3% en comparación con 2021 (Ministerio de Agricultura y Riego, 2023; FAO, 2022).

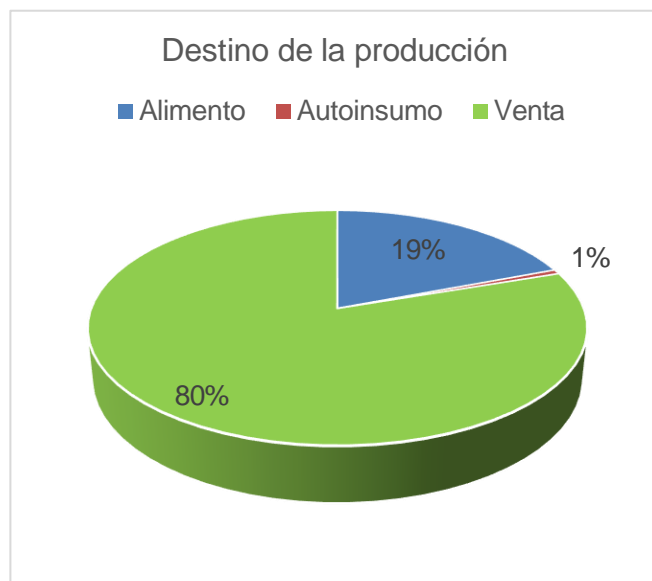
En el año 2022, los precios en chacra se incrementaron respecto a los años anteriores. Esa tendencia permitió que su precio promedio fuera de S/ 1,39 por kilogramo, en el 2021 fue de S/ 1,22 por kilogramo (MIDAGRI, 2023).

3.6.1. Regiones productoras

En Perú, la producción de maíz amarillo duro se distribuye en dieciocho regiones, con un 71,6% de la producción nacional concentrada en San Martín (24%), Amazonas (15%), Piura (12%), La Libertad (10,2%) y Lambayeque (10,3%) (Agraria.pe, 2022; INEI, 2022).

Figura 2

Rubro destinado del grano de maíz en porcentaje



Fuente: (Agraria.pe, 2022; INEI, 2022).

3.6.2. Valor nutricional del maíz

Los granos de maíz son los órganos de almacenamiento de la planta, contienen almidones, proteínas y micronutrientes. La calidad nutricional y la integridad de los granos de maíz están influenciadas por muchos factores, incluyendo la genética, el medio ambiente y el procesamiento del grano, los procedimientos de cocción, la nixtamalización y la fermentación (Urango, 2016).

Tabla 1

Valor nutricional de tipos de cereales

Cereales	Humedad	Proteína	Lípidos	Carbohidratos	Fibra	Minerales
Trigo	12,6	11,3	1,8	59,4	13,2	1,7
Centeno	13,6	9,4	1,7	60,3	13,0	1,9
Maiz	11,3	8,8	3,8	65,0	9,8	1,3
Cebada	12,1	11,1	2,1	62,7	9,7	2,3
Avena	13,1	10,8	7,2	56,2	9,8	2,9
Arroz	13,0	7,7	2,2	73,7	2,2	1,2
Mijo	12,0	10,5	3,9	68,3	3,8	1,6

Nota: tomado de Urango (2016).

3.7. Requerimientos agroclimáticos

3.7.1. Clima

La temperatura media ideal para el crecimiento del maíz debe oscilar entre 21,2 y 24 °C. Durante el día, las temperaturas óptimas se sitúan entre 25 y 30 °C, mientras que las condiciones nocturnas ideales varían entre 15 y 18 °C. Es importante señalar que estos rangos pueden cambiar según la fase de desarrollo del cultivo; durante el período de madurez, las temperaturas óptimas tienden a ser ligeramente más altas. Además, el impacto de la temperatura es más significativo en la etapa de crecimiento que en la de floración. El maíz, al igual que otros cereales, responde al fotoperiodo, y su desarrollo se ve afectado por noches demasiado cálidas,

ya que el calor puede llevar a la pérdida de los productos de la fotosíntesis durante la respiración nocturna de la planta (Bianco, 2003; Ritchie, Hanway y Benson, 1986).

El cultivo del maíz requiere de mucha insolación, por ello, no son aptas las áreas con un elevado índice de nubosidad (Escobar y Aldunate 1987).

3.7.2. Agua

El maíz es un cultivo de regadío, exigente en agua, que necesita aproximadamente unos 5 mm al día. (Bullock y Anderson, 1998).

3.7.3. Suelo

El maíz es un cultivo que necesita suelos estructurados, fértiles y profundos que permitan el desarrollo de las raíces, que eviten los encharcamientos siendo al mismo tiempo capaces de almacenar agua, y que permitan un aprovechamiento óptimo de los nutrientes (Bullock y Anderson, 1998).

El suelo desempeña un papel fundamental en la interacción con los genes del maíz, lo que puede restringir su potencial genético para el desarrollo radicular. Por ejemplo, suelos que presentan un mal laboreo, poca profundidad o condiciones ambientales desfavorables limitan el

crecimiento de las raíces. Esta restricción en el desarrollo radicular afecta la capacidad de la planta para explorar el suelo, lo que a su vez impacta negativamente en un aspecto crítico de la relación suelo-planta: la disponibilidad de agua (Rodríguez y De León, 2008; Cernay, Fuchs y Wenzel, 2016).

La limitación en la exploración radicular también puede llevar a una menor absorción de nutrientes esenciales, afectando así el crecimiento y rendimiento del cultivo. Las condiciones edáficas, como la compactación y la salinidad, pueden agravar este problema, reduciendo aún más el potencial de producción del maíz (Huang, Yu y Zheng, 2020; Zhan, Zhang y Sun, 2021).

3.8. Diversidad racial de maíz en el Perú

La primera evaluación de la diversidad del maíz en Perú se llevó a cabo en la década de 1950 y se publicó en 1961 por Alexander Grobman, Wilfredo Salhuana y Ricardo Sevilla, con la colaboración del Dr. Paul Mangelsdorf, quien era profesor de genética en la Universidad de Harvard. Este trabajo permitió identificar un total de 49 razas diferentes de maíz (Grobman, Salhuana, Sevilla, y Mangelsdorf (1961)).

3.9. Materia orgánica del suelo

Menciona que la materia orgánica del suelo está constituida por todo tipo de residuo orgánico (vegetal o animal) que es incorporado al suelo (Guerrero, 1996).

El uso de materia orgánica se ha convertido en un pilar fundamental para el desarrollo de la agricultura orgánica. Sin embargo, es un error asumir que la agricultura orgánica se limita a la simple exclusión de productos sintéticos. Esta práctica debe tener en cuenta dos elementos clave: (a) la diversidad tanto estructural como de procesos, y (b) el manejo ecológico del suelo y la nutrición (Brenes, 2003; Reganold y Wachter, 2016).

Los abonos orgánicos de origen animal constituyen el enfoque tradicional de las prácticas de fertilización orgánica, constituyendo una de las mejores formas para elevar la actividad biológica de los suelos, además sostiene que los residuos orgánicos son atacados, transformados y descompuestos por la mesofauna del suelo, así como los microorganismos quienes llevan a cabo la descomposición de la materia orgánica, produciendo anhídrido carbónico, agua, nitrógeno en forma amoniacal y nítrica, etc., proceso denominado mineralización (Grijalva, 1995).

Uno de los aspectos más relevantes del uso de abonos orgánicos es que contribuye a la mejora de diversas propiedades físicas, químicas y biológicas del suelo. En este contexto, estos abonos desempeñan un papel crucial, ya que incrementan la capacidad del suelo para absorber nutrientes, los cuales serán aportados más adelante mediante fertilizantes minerales o inorgánicos (Cervantes, 2008; Gutiérrez, 2015; Paredes, Gómez y Torres, 2020).

3.9.1. Abonos orgánicos

Los abonos orgánicos son sustancias que están constituidas por desechos de origen animal, vegetal o mixto que se añaden al suelo con el objeto de mejorar sus características físicas, biológicas y químicas (Coronado, 1995).

Estos pueden consistir en residuos de cultivos preparados con las mezclas de los compuestos antes mencionados (Coronado, 1995).

3.9.2. Beneficios de aplicar materia orgánica a suelos agrícolas

Desde el punto de vista físico, la materia orgánica mejora la estructura del suelo, participa en el intercambio tanto de aniones como de cationes, es un regulador coloidal que aglutina los suelos arenosos y afloja los suelos arcillosos para formar agregados convenientes, que ayudan

tanto a la retención de humedad como al drenaje interno y la infiltración del agua en el suelo (Schawentesius, Gómez y Blas, 2007).

Desde el punto de vista biológico, la materia orgánica provee energía para el desarrollo de los microorganismos del suelo, los cuales son importantes para degradar los minerales que no son disponibles a las plantas, por ejemplo, los microorganismos fijadores de Nitrógeno necesitan de materia orgánica en descomposición que libere Carbono, sin este elemento la fijación de Nitrógeno sería imposible (Schawentesius, Gómez y Blas, 2007).

Sin la materia orgánica, los fertilizantes químicos no logran una respuesta adecuada, ya que esta última actúa como una esponja que capta agua y nutrientes, los cuales se liberan gradualmente para ser utilizados por las plantas. Además, la materia orgánica tiene la capacidad de absorber líquidos y retener hasta 16 veces su peso (Schawentesius, Gómez y Blas, 2007).

3.9.3. Ventajas de los abonos orgánicos

La materia orgánica presenta diversas ventajas significativas para el suelo, como la capacidad de aligerar suelos pesados o arcillosos, lo que mejora su estructura y facilita el drenaje. Además, al absorber los rayos solares, contribuye a aumentar la temperatura del suelo, creando un

ambiente más favorable para el crecimiento de las plantas. Su presencia también potencia la capacidad de retención de agua y nutrientes, lo que es crucial para el desarrollo vegetativo. Asimismo, aporta grandes cantidades de nitrógeno, un nutriente esencial para las plantas, y favorece la vida microbiana, lo que promueve un ecosistema saludable en el suelo (Instituto de Investigación y Recursos Renovables, 1996).

3.9.4. Características de los estiércoles

La cantidad de estiércol que puede producir un animal en un año varía de acuerdo a la alimentación, el tipo de cama (arena, aserrín, paja) y con la especie así mismo, menciona que el estiércol total está constituido por las deyecciones sólidas, líquidas y el tipo de cama (Guerrero, 1996).

3.10. Estiércoles

Los estiércoles son los excrementos de animales, generados como desechos durante la digestión de los alimentos que ingieren. Estos estiércoles tienen un impacto positivo en las propiedades biológicas, físicas y químicas de los suelos, mejorando su fertilidad y salud (Duran, 2004).

3.10.1. Tipos de estiércol

Hay varios tipos de excrementos animales que son recomendables para el uso agrícola. El estiércol de equino es especialmente valioso debido a su elevado contenido de celulosa. El estiércol de vaca se considera muy bueno como sustrato inicial y fuente de alimento durante el cultivo. Aunque el estiércol de ternero es similar al de vaca, generalmente se prefiere el de vaca. Por otro lado, el estiércol de ovino es bastante efectivo, aunque su disponibilidad puede ser limitada. En cuanto al estiércol de porcino, no se sugiere su uso al principio, mientras que el estiércol de conejo se considera un excelente alimento. Si se utiliza en su forma original, debe ser oxigenado antes de aplicarlo. Es importante que el pH del estiércol sea neutro para garantizar su eficacia (Guerrero, 1996).

a) Estiércol de vacuno

Este tipo de estiércol es el más significativo y se produce en mayor cantidad en las explotaciones rurales. Su aplicación beneficia a todas las plantas y suelos, ya que mejora la consistencia de la tierra arenosa, proporciona ligereza a los suelos arcillosos y enfría los suelos cálidos, calizos y margosos. Es el estiércol que actúa de manera más prolongada y uniforme. La duración de su eficacia depende principalmente del tipo de alimentación que reciben los animales que lo producen. El estiércol más efectivo proviene de animales de engorde que reciben una dieta adecuada,

mientras que los animales en mal estado, cuyo alimento principal es la paja, generan un abono de calidad inferior y menos valioso (Guerrero, 1996).

El estiércol es el más importante de los abonos orgánicos debido a su composición; el estiércol de bovinos fermenta despacio y demuestra acción prolongada, es recomendado para suelos arenosos y áridos, la bovinaza es el abono orgánico que más abunda y que se dispone más fácilmente sin embargo su composición en nutrientes es pobre especialmente fósforo con relación a otras materias orgánicas (Giaconi,1998).

b) Estiércol de ovino

El estiércol de ovino es un fertilizante orgánico altamente valorado en la agricultura debido a sus notables propiedades nutricionales. Este tipo de estiércol destaca por su alta concentración de nutrientes, especialmente fósforo (P) y potasio (K), superando en estas cantidades al estiércol de ganado vacuno. Además, es menos ácido que otros estiércoles, lo que lo convierte en una opción favorable para mejorar la calidad del suelo sin perjudicar el crecimiento de las plantas, siempre que no se utilice en su forma fresca, ya que esta podría dañar los cultivos debido a su alta temperatura de descomposición (grandeza calórica) (Raza Merina, s.f.; Sagrario, 2022).

El uso de estiércol de ovino en la agricultura contribuye significativamente a mejorar la estructura del suelo, aumentando su porosidad y capacidad de retención de agua. Esto, a su vez, favorece el desarrollo de las raíces, permitiendo una mejor exploración del sustrato. También se ha demostrado que su aplicación ayuda a controlar las malezas, aunque es crucial que esté compostado para evitar la introducción de semillas indeseadas en el suelo. Por lo tanto, el estiércol de ovino no solo es un recurso valioso para enriquecer el suelo, sino que también promueve la sostenibilidad agrícola a través de su capacidad para mejorar la fertilidad y la salud general de los cultivos (Raza Merina, s.f.; Sagrario, 2022).

La cantidad de estiércol de ovino que se aplica por hectárea en un campo agrícola puede variar según varios factores, incluyendo el tipo de cultivo, la calidad del suelo y las prácticas de manejo agrícola. Sin embargo, una recomendación general basada en estudios agronómicos sugiere una aplicación de entre 10 a 20 toneladas por hectárea (Smith, George, Doran, Koenig, Klonsky y De Moura, 2011).

c) La gallinaza como abono

La cantidad que debe aplicarse es de 20 a 25 t/ha. Sin quedar en contacto directo con las plantas hortícolas, porque son sensibles (FAO,1978).

La gallinaza es relativamente rica en fósforo, y su disponibilidad en cantidades suficientes puede ayudar a compensar la deficiencia de este nutriente presente en otros tipos de estiércol. Además, se ha observado que los efectos positivos de la aplicación de estiércol perduran durante varios años (Teuscher y Adler, 1995).

Tabla 2

Cantidad de Nutrientes en estiércol

ESPECIE	HUMEDAD (%)	NITRÓGENO (%)	FÓSFORO (%)	POTASIO (%)	CALCIO (%)	MAGNESIO (%)
Vaca (*)	83,2	1,67	1,08	0,56		
Caballo (*)	74,0	2,31	1,15	1,30		
Oveja (*)	64,0	3,81	1,63	1,25		
Llama (*)	62,0	3,93	1,32	1,34		
Vicuña (*)	65,0	3,62	2,00	1,31		
Alpaca (*)	63,0	3,60	1,12	1,29		
Cerdo (*)	80,0	3,73	4,52	2,89		
Gallina (*)	53,0	6,11	5,21	3,20		
Conejo (**)	---	2,40	1,40	0,60		
Lombriabono de vacuno (**)	---	1,80	2,27	0,95	6,23	0,66
Lombriabono de Conejo (**)	---	1,76	2,95	1,18	7,29	0,97
Lombriabono de oveja (**)	---	1,92	3,89	0,79	5,98	0,80
Harina de sangre (**)	---	1,50	1,30	0,70		
Harina de huesos (**)	---	2,0-4,0	22-25			

Nota: Tomado de Fertilizantes Orgánicos T & C. 2005

3.10.2. Formación del estiércol

El estiércol es una fuente significativa de nutrientes para las plantas. Aproximadamente la mitad del nitrógeno presente en el estiércol se encuentra en forma amoniacal, lo que lo hace casi inmediatamente disponible para las plantas si se gestiona adecuadamente. El nitrógeno restante está compuesto por diversas formas orgánicas que no son accesibles directamente para las plantas. Para que el nitrógeno orgánico sea absorbido, debe convertirse en nitrógeno amoniacal. Este proceso de liberación, que es microbiano, está influenciado por la temperatura y la humedad del suelo, y puede continuar durante dos a tres años tras su aplicación. Dependiendo del tipo de estiércol y de su manejo, entre el 25% y el 75% del nitrógeno del estiércol está disponible en el año de aplicación. Además, se estima que alrededor de la mitad del nitrógeno se liberará en el año siguiente y así sucesivamente (Narea y Valdivieso, 2002).

3.10.3. Descomposición del estiércol

La descomposición del estiércol animal puede disminuir la cantidad de patógenos microbianos presentes en estos excrementos. Este efecto se atribuye a la fase de alta temperatura que ocurre durante el proceso de descomposición aeróbica. No se establece un tiempo específico entre la

aplicación del estiércol y la cosecha de los cultivos, ya que los patógenos se reducen durante esta fase térmica (Narea y Valdivieso, 2002).

Las altas temperaturas se mantienen mediante el manejo adecuado de los montículos de estiércol, considerando factores como la relación carbono/nitrógeno, la humedad y la ventilación. Cuanto más prolongada sea esta fase caliente, mayor será la probabilidad de eliminar los agentes patógenos. El tiempo requerido para erradicar estos patógenos puede variar dependiendo de las condiciones y los insumos utilizados en el proceso de descomposición. Controlar la temperatura del montículo es fundamental para asegurar que se alcancen las temperaturas necesarias para eliminar los patógenos. Una estrategia recomendada es voltear el montículo cuando la temperatura descienda a 100 °F, lo que asegura una mezcla adecuada y un calentamiento efectivo del material. (Narea y Valdivieso, 2002).

Controlar que mueran las semillas de la maleza no es una medida adecuada de calentamiento para matar patógenos (Palencia, 1985).

El compostaje es un proceso complejo llevado a cabo por diversos microorganismos que, en presencia de oxígeno, utilizan el nitrógeno (N) y el carbono (C) disponibles para generar su propia biomasa. Durante este

proceso, los microorganismos producen calor y un sustrato sólido, que, aunque tiene menor contenido de C y N, es más estable y se conoce como compost. Al descomponer la materia orgánica, se identifican varias etapas en el compostaje, las cuales dependen de la temperatura generada durante la descomposición. Además, hay una fase de maduración que varía en duración, donde la materia orgánica adquiere características y olores típicos (Roman y Pantoja, 2013).

La proporción de C/N es un indicador que influye en el proceso de descompostaje, así como para evaluar la madurez del compost, ya que el valor desciende mientras se aumenta la descomposición, por ejemplo si un compostaje se inicia con una relación C/N de 36, conforme continúa el proceso de compostaje la relación C/N disminuirá progresivamente hasta 10. Valores mínimos de C/N inferiores a 10 indican, nitrógeno en altas concentraciones, sin embargo una alta relación C/N 25, elevada presencia de carbono (Garro, 2016).

CAPÍTULO IV

MATERIALES Y MÉTODOS

4.1. Nivel de la investigación

Según el nivel de investigación fue experimental

4.1.1. Ubicación del campo experimental

Se realizó en la cooperativa 60, distrito La Yarada Los Palos de la Provincia Tacna, ubicado a 62 msnm, 18° 10' 46" latitud sur y 70° 27' 47" latitud oeste. Del propietario Roberto Pilco Mamani.

4.1.2. Cultivos anteriores

Los cultivos anteriormente establecidos, fueron las siguientes hortalizas: cebolla, y pimiento; todas fueron de tallo corto y se cultivaron en su respectiva estación según cultivo.

4.2. Características del suelo y clima durante el experimento

4.2.1. Análisis de suelo en laboratorio

Según las muestras enviadas a laboratorio se tienen los siguientes resultados.

Tabla 3

Resultados físico y químicos de caracterización de suelo

Resultado del análisis físico	
Arena	83%
Limo	6,8%
Arcilla	10%
Textura	Franco arenoso
Resultado del análisis químico	
CO ₃ Ca %	0,63
M.O %	0,02
CE mS/cm	1,68
pH	6,7
N %	0,02
P ppm	2,56
K ppm	444
CIC meq/100 gs	9,04

Fuente: Elaboracion propia, muestras enviadas al laboratorio de análisis de suelos de la Universidad Nacional Jorge Basadre Grohmann

Análisis físico del suelo

El análisis físico del suelo revela una composición dominada por arena, con un 83%, seguido por un 6,8% de limo y un 10% de arcilla. Esta composición indica que el suelo tiene una textura franco arenosa. Los suelos franco arenosos son conocidos por su excelente drenaje y aireación,

lo que favorece el crecimiento de las raíces y la actividad microbiológica. Sin embargo, su capacidad para retener agua y nutrientes es limitada, lo que puede requerir una gestión más intensiva en términos de riego y fertilización para mantener la salud de los cultivos.

Análisis químico del suelo

En cuanto a los resultados del análisis químico, se observa que el contenido de carbonato de calcio (CO_3Ca) es de 0,63%, lo cual es relativamente bajo y no debería interferir significativamente con la disponibilidad de otros nutrientes. La materia orgánica (M.O) es alarmantemente baja, con solo un 0.02%. La materia orgánica es esencial para mejorar la estructura del suelo, aumentar su capacidad de retención de agua y proporcionar nutrientes esenciales a las plantas. Por lo tanto, se recomienda encarecidamente la adición de compost o estiércol para aumentar el contenido de materia orgánica.

La conductividad eléctrica (CE) del suelo es de 1,68 mS/cm, lo que indica una salinidad moderada. Este nivel de salinidad puede afectar negativamente a los cultivos sensibles a la sal, por lo que es importante monitorear y gestionar adecuadamente la salinidad del suelo para evitar problemas de crecimiento. El pH del suelo es de 6,7, lo que es ligeramente ácido y se encuentra dentro del rango óptimo para la mayoría de los

cultivos, ya que favorece la disponibilidad de la mayoría de los nutrientes esenciales.

En cuanto a los nutrientes específicos, el contenido de nitrógeno (N) es extremadamente bajo, con solo un 0.02%. Dado que el nitrógeno es crucial para el crecimiento y desarrollo de las plantas, se recomienda la aplicación de fertilizantes nitrogenados para corregir esta deficiencia. El fósforo (P), con un valor de 2,56 ppm, también es muy bajo. El fósforo es esencial para el desarrollo de las raíces y la floración, por lo que la aplicación de fertilizantes fosfatados es necesaria. Por otro lado, el potasio (K) está presente en una cantidad adecuada de 444 ppm, lo cual es beneficioso para la regulación del agua en las plantas y la resistencia a enfermedades.

Finalmente, la capacidad de intercambio catiónico (CIC) del suelo es de 9.04 meq/100 g. La CIC es un indicador de la capacidad del suelo para retener y liberar nutrientes. Un valor de 9.04 meq/100 g es moderado, adecuado para muchos cultivos, aunque se podría mejorar con un aumento en la materia orgánica para optimizar la retención de nutrientes y la fertilidad del suelo.

El cultivo de maíz (*Zea mays L.*) requiere un rango específico de pH y conductividad eléctrica (CE) para un crecimiento óptimo. El pH ideal del

suelo para el maíz se sitúa entre 6,0 y 7,5, lo que asegura una disponibilidad adecuada de nutrientes esenciales como nitrógeno, fósforo y potasio. Un pH ligeramente ácido a neutral facilita la absorción de estos nutrientes vitales para el desarrollo del maíz (Agrownet, 2024; Seed Co Group, 2024).

En cuanto a la conductividad eléctrica, que mide la salinidad del suelo, el maíz tolera niveles de CE de hasta 1,7 mS/cm. Sin embargo, valores superiores pueden comenzar a afectar negativamente el crecimiento y rendimiento del cultivo. Es crucial monitorear y mantener la CE dentro de estos límites para evitar problemas de salinidad que pueden perjudicar la absorción de agua y nutrientes por parte de las plantas (Greenlife, 2024).

4.2.2. Análisis para los tipos de estiércoles

Para la ejecución del presente trabajo de investigación fue necesario determinar el contenido nutricional de las fuentes de estiércol, para luego formular una aplicación de fertilizantes.

Tabla 4

Análisis de materia orgánica

Componentes	E. ovino	E. vacuno	E. gallina
Materia orgánica %	2,43	1,4	2,45
Nitrogeno %	1,43	1,48	1,34
Fosforo ppm	19,36	15,55	14,27
Potasio ppm	522	600	553
Humedad %	50,93	56,6	37,9
pH	7,7	7,8	7,2
C.E. mS/cm	2,6	3,34	2,31

Fuente: Elaboracion propia, muestras enviadas al laboratorio de análisis de suelos de la Universidad Nacional Jorge Basadre Grohmann

De los valores hallados para distintas fuentes de estiércol, contiene valores similares de nutrientes esenciales para el desarrollo del cultivo de maíz; cabe resaltar que el potasio se halla en rango de 522 a 600 ppm. Ello se debería a la alimentacion de los mismos animales. El pH está cercano al neutro; asimismo la conductividad eléctrica es aceptable para incorporarlo al suelo sin perjudicar al cultivo por sembrar.

4.2.3. Información de datos hidrometereológicos

Tabla 5

Datos meteorológicos

Periodo Mes/año 2024	Temperatura °C < , >		Humedad relativa (%)	Precipitación (mm)
Enero	26,4	17,7	86,2	0,0
Febrero	28,2	19,5	84,1	0,0
Marzo	27,6	18,3	87,4	0,0
Abril	26,4	16,8	87,3	0,0
Mayo	22,5	16,3	88,5	0,0
Junio	21,2	16,4	87,4	0,0

Nota: información obtenida de la estación meteorológica La Yarada Los Palos (Senamhi, 2018).

La información recabada del Senamhi indica temperaturas que oscilan entre 21 a 28 °C, la temperatura mínima fue de 16 a 19 °C; éstas temperaturas no afectaron el desarrollo del trabajo de investigación, además se sujetan al requerimiento climático según indica Bianco, (2003); la precipitación fue nula, la humedad relativa fue adecuada para el desarrollo fenológico del maíz.

4.3. Material experimental

Como material experimental se usó plantas de maíz del híbrido amarillo duro Dekalb 7500, se obtuvo la semilla de la empresa AGROVIC que cuenta con una amplia y exitosa trayectoria en el ámbito agrícola. Así también se utilizó diferentes tipos de estiércol semicompostado.

4.3.1. Dekalb 7500

Es un híbrido de maíz amarillo duro que presenta mejores características de mazorca, llegando a tener de 16 a 20 hileras de grano, de tusa delgada; su periodo vegetativo es de 120 a 150 días; se adapta a suelos de la costa. Es un híbrido de doble propósito, para uso ganadero (forraje) y concentrado para las granjas avícolas. Así también la población buscada a cosecha es de 72 000 a 75 000 pl/ha.

4.3.2. Estiércoles

Los distintos estiércoles se obtuvieron de granjas establecidas en La Yarada Los Palos, el guano de gallina, se adquirió de comerciantes que ofrecen estiércol para las distintas campañas de hortalizas y frutales; cabe destacar que se adquirió estiércol fresco de reciente campaña 2024.

4.4. Material de campo

Estiércol semicompostado de vacuno, ovino y gallina.

4.5. Metodología

4.5.1. Tratamientos experimentales en estudio

T₁: Sin aplicación (testigo)

T₂: Estiércol semicompostado de vacuno 10 t/ha

T₃: Estiércol semicompostado de gallina 10 t/ha

T₄: Estiércol semicompostado de ovino 10 t/ha

4.6. Variables de respuesta

4.6.1. Altura de la planta

Se llevó a cabo un monitoreo de diez plantas seleccionadas aleatoriamente en la unidad experimental. Utilizando una cinta métrica, se midió la altura de cada planta desde su base, es decir, el cuello, hasta la hoja más alta, y se realizó una evaluación adicional desde el punto de inserción del tallo hasta la inflorescencia masculina. Las mediciones de altura se registraron en tres momentos diferentes: a los 35 días cuando inicia el crecimiento vegetativo, 60 días en la etapa de macollaje y 122 días después de la siembra cuando la planta ha completado su crecimiento vegetativo.

4.6.2. Área foliar

Se evaluó 10 plantas tomadas al azar de la unidad experimental neta, con una cinta métrica se midió, desde la base de la hoja hasta la parte apical. Para determinar el área foliar se utilizó la siguiente fórmula:
Área = largo x ancho x 0,75.

Si una planta tiene 10 hojas en total, se realiza el procedimiento 10 veces utilizando la fórmula, una vez por cada hoja, después de realizar este procedimiento se procede a sumar y se obtiene el área total de la planta.

Es así que se realizó para las 10 plantas tomadas al azar por cada unidad experimental.

4.6.3. Peso de grano por unidad experimental

Se evaluó todas las plantas de la unidad experimental neta (40 plantas), con una balanza de precisión. El peso del grano se midió una vez realizado el secado del maíz se prosedió a desgranar los granos y realizar el pesado.

4.6.4. Rendimiento de grano por hectárea

Se realizó los cálculos correspondientes para determinar el rendimiento de grano por hectárea. El peso del grano se midió una vez realizado el secado del maíz durante 15 días.

4.7. Diseño experimental

Se utilizó el diseño de bloques completos al azar (DBCA), se empleará cuatro tratamientos y cuatro repeticiones.

4.7.1. Características del campo experimental

a. Características de la parcela experimental

- Largo: 24,0 m
- Ancho: 8,0 m

- Área total: 192 m²

b. Características de los bloques

- Largo: 6,0 m
- Ancho: 8,0 m
- Área total: 48 m²

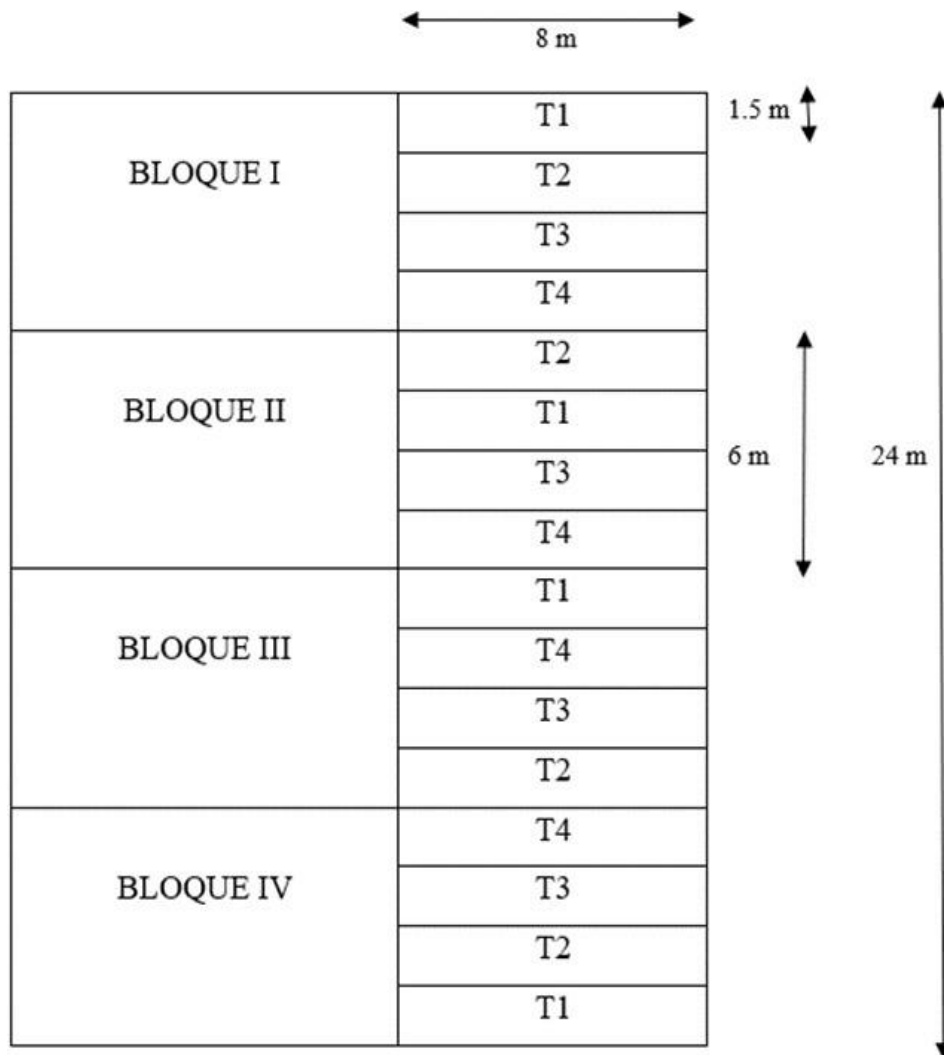
c. Característica de la unidad experimental

- Largo: 8,0 m
- Ancho: 1,50 m
- Área: 12 m²
- Separación entre golpes: 0,40 m
- Distanciamiento entre líneas: 1,5 m
- Número de plantas por golpe: 2
- Cantidad de semillas por hectárea: 33 333

4.7.2. Croquis del campo experimental

Figura 3

Aleatorización de tratamientos en el campo experimental



Fuente: Elaboración propia

4.8. Análisis de datos

Se utilizó el análisis de varianza (ANVA) considerando el modelo del Diseño de Bloques Completos al Azar. La prueba estadística fue F a un nivel de significación de 0,05 (5%). Se utilizó la prueba de comparación de medias.

4.9. Manejo del experimento

4.9.1. Preparacion de los tratamientos

Conforme a lo establecido en el experimento se recolectó tres fuentes de estiércol provenientes de granjas y criaderos de ganado de ovino y vacuno.

Se destinó un área donde se procedió a precompostar los estiércoles, de manera independiente cada una, se incorporó agua al estiércol hasta el punto de saturación; se dejó que iniciara la descomposición en camellón; se fue humedeciendo periódicamente; por un periodo de un mes, ello contribuirá en la reducción de sales y no afectó el desarrollo radicular de la semilla de maíz.

4.9.2. Preparación de la parcela

Se seleccionó un área libre de malezas y con buena textura de suelo para favorecer el crecimiento de la semilla, se incorporó estiércol según los tratamientos.

Tratamientos: ya definido el área de las parcelas y unidades experimentales de 1,5 x 8 m, se aplicó 12 kg de estiércol semicompostado por cada unidad experimental (12 UE), al testigo no se le aplicó estiércol semicompostado realizando los siguientes cálculos a base de 10t/ha de estiércol.

$$10\ 000\ \text{m}^2 \quad \text{—————} \quad 10\ 000\ \text{kg de estiércol}$$

$$12\ \text{m}^2 \quad \text{—————} \quad x\ \text{kg de estiércol}$$

$$X = 12\ \text{kg de estiércol/UE}$$

4.9.3. Siembra

Al tratarse de semilla de maíz, la siembra se realizó luego de 8 días de remojo del suelo, se hoyó a cada 40 cm en la cual se depositó 3 semillas de maíz amarillo duro, sembrados a 4 cm de profundidad. La siembra se efectuó cuando el suelo estaba húmedo, ello permite una correcta germinación del grano de maíz. Posterior a la emergencia se realizó el deshierbe y se quedó con dos plantas de maíz por golpe.

La siembra se realizó en enero, debido a que el maíz es de temporada de primavera, verano; siendo su periodo vegetativo de cuatro meses.

4.9.4. Riego

El riego previo a la siembra fue imprescindible, ya que influirá en la germinación homogénea de la variedad, el suministro de agua fue continuo de tal manera que asegure un suelo con capacidad de campo; la demanda hídrica se eleva en los puntos críticos de la fenología del maíz; factor que determina la producción de grano.

4.9.5. Fertilización

Determinamos el peso de la capa arable (PCA)

D. Aparente.	1	t/m ³
Profundidad.	0,2	metros
Área 1 ha.	10 000	m ²
PCA.	2 000	t

Cálculo del peso de la capa arable

El cálculo se realiza de la siguiente manera:

$$PCA = D. \text{ aparente} \times \text{profundidad} \times \text{área}$$

Sustituyendo los valores del cuadro:

$$PCA = 1 \text{ t/m}^3 \times 0,2 \text{ m} \times 10\,000 \text{ m}^2$$

$$PCA = 2\,000 \text{ t}$$

El cuadro proporciona una fórmula sencilla pero efectiva para calcular el peso de la capa arable de un suelo agrícola en una hectárea, utilizando la densidad aparente y la profundidad del suelo. Este tipo de cálculos es crucial para entender la cantidad de suelo disponible para el cultivo y para planificar adecuadamente las prácticas agrícolas.

La densidad aparente del suelo es un parámetro crucial en la evaluación de la calidad y manejo del suelo agrícola. En suelos franco arenosos, la densidad aparente suele oscilar entre 1,4 y 1,6 g/cm³, aunque valores mayores pueden restringir el crecimiento de las raíces de las plantas (USDA-NRCS, 2019; University of Florida, 2020).

Cálculo del nitrógeno mineralizable

Para calcular la cantidad de nitrógeno mineralizable en una hectárea de suelo, se utilizan los valores proporcionados en el cuadro:

Determinamos nitrógeno mineral

PCA	2 000
M.O. %	0,02
F.C. %	5%
T.M.%	2%
% Disp.	30%
kg/N/ha/año	0,12

Nitrógeno mineralizable = PCA x M.O. x F.C. x T.M. x % Disp.

Nitrógeno mineralizable = 2 000 t x 0,02 x 0,05 x 0,02 x 0,3

Nitrógeno mineralizable = 0,012 t

Convertimos toneladas a kilogramos

0,012 t = 12 kg

F.C. % (Factor de Conversión):

- Valor: 5%
- Este valor indica el porcentaje de la materia orgánica que se convierte en nitrógeno mineralizable anualmente.

T.M. % (Tasa de Mineralización):

- Valor: 2%
- Esta tasa representa la fracción de la materia orgánica total que se mineraliza en forma de nitrógeno disponible para las plantas cada año.

% Disp. (Disponibilidad):

- Valor: 30%

- Este porcentaje indica la fracción del nitrógeno total mineralizado que está disponible para las plantas en el suelo.

Este valor de 12 kg/N/ha/año es una estimación de la cantidad de nitrógeno mineral que estará disponible para las plantas en el transcurso de un año en una hectárea de suelo agrícola con las condiciones y características dadas. Esta información fue vital para el manejo adecuado de la fertilización y para asegurar que el cultivo reciba la cantidad necesaria de nitrógeno para un crecimiento óptimo.

Cálculo del Fósforo Disponible

Para calcular la cantidad de fósforo disponible en una hectárea de suelo, se utilizan los valores proporcionados en el cuadro:

Determinamos Fosforo (P)

PCA	2 000
Pppm	2,56
F.C.	2,29
% Disp.	25%
KgP205/ha	2,93

Fósforo disponible = PCA x Pppm x F.C. x % Disp.

Fósforo disponible = 2 000 t x 2,56 ppm x 2,29 x 0,25

Convertimos las partes por millón a una fracción:

2,56 ppm = 2,56 mg/kg

Dado que 1 ppm es equivalente a 1 mg/kg y considerando el PCA

PCA x Pppm = 2 000 t x 2,56 mg/kg

Convertimos toneladas a kilogramos:

2 000 t = 2 000 000 kg

Luego multiplicamos por la concentración del fósforo:

2 000 000 kg x 2,56 mg/kg = 5 120 000 mg = 5,12 kg

Ahora aplicamos el Factor de Conversión y el % de disponibilidad

5,12 kg x 2,29 x 0,25 = 2,93 kg

Finalmente, el valor obtenido es aproximadamente 2,93 kg de P₂O₅ por hectárea.

El fósforo es un nutriente esencial para el crecimiento de las plantas, ya que desempeña un papel clave en la fotosíntesis, la transferencia de energía y la formación de estructuras celulares. La disponibilidad de fósforo

en el suelo puede ser limitada debido a su baja solubilidad y alta fijación en formas no disponibles para las plantas.

Cálculo del potasio disponible

Para calcular la cantidad de potasio disponible en una hectárea de suelo, se utilizan los valores proporcionados en el cuadro:

Determinamos Potasio (K)

PCA	2 000
Kppm	444
F.C.	1,205
% Disp.	40%
KgK₂O/ha	428,02

Potasio disponible = PCA x Kppm x F.C. x % Disp.

Potasio disponible = 2 000 t x 444 ppm x 1,205 x 0,4

Convertimos las partes por millón a una fracción:

444 ppm = 444 mg/kg

Dado que 1 ppm es equivalente a 1 mg/kg y considerando el PCA

PCA x Kppm = 2 000 t x 444 mg/kg

Convertimos toneladas a kilogramos:

2 000 t = 2 000 000 kg

Luego multiplicamos por la concentración de potasio:

$$2\,000\,000\text{ kg} \times 444\text{ mg/kg} = 888\,000\,000\text{ mg} = 888\text{ kg}$$

Ahora aplicamos el F.C. y el porcentaje de disponibilidad:

$$888\text{ kg} \times 1,205 \times 0,4 = 428,02\text{ kg}$$

Finalmente, el valor obtenido es aproximadamente 428,02 kg de K₂O por hectárea.

El potasio es un nutriente esencial para el crecimiento de las plantas, desempeñando un papel clave en la regulación del balance hídrico, la activación de enzimas y la fotosíntesis. La disponibilidad de potasio en el suelo es crucial para el desarrollo saludable de los cultivos.

Extracción de Nutrientes por el Maíz (*Zea mays L.*)

Tabla 6

Extracción de nutrientes del cultivo de maíz

CULTIVO		NOMBRE CIENTÍFICO			
Maíz		<i>Zea mays L.</i>			
EXTRACCIÓN POR TONELADA (kg/ton)					
N	P ₂ O ₅	K ₂ O	CaO	MgO	S
22,00	4,00	19,00	3,00	3,00	4,00
REQUERIMIENTO PARA PRODUCIR EN TONELADAS					
10			TONELADAS		

N	P2O5	K2O	CaO	MgO	S
220,00	40,00	190,00	30,00	30,00	40,00

Fuente: Requerimientos nutricionales del maíz Betrán Aso, J. (2018).

El cuadro proporciona información sobre la cantidad de nutrientes que el cultivo de maíz (*Zea mays L.*) extrae del suelo por cada tonelada de producción, así como el requerimiento total de nutrientes para producir 10 toneladas de maíz. A continuación, se interpreta cada uno de los valores y su importancia para la fertilidad del suelo y la gestión de nutrientes.

El conocimiento de estos valores es crucial para la gestión de nutrientes en el suelo agrícola. La fertilización adecuada basada en estos requerimientos asegura que el maíz reciba todos los nutrientes esenciales en las cantidades correctas, promoviendo un crecimiento óptimo y maximizando el rendimiento del cultivo (Brady y Weil, 2016; Sylvia, Fuhrmann, Hartel y Zuberer, 2005; Johnston y Syers, 2009; Mengel y Kirkby, 2001).

Determinación de la cantidad de fertilizantes

Tabla 7

Determinación de la cantidad de fertilizantes

Determinamos cantidad de fertilizante aplicar			
Procedencia	N kg/ha	P2O5 kg/ha	K2O kg/ha

Extracción del cultivo	220,00	40,00	190,00
Suelo (según análisis)	0,12	2,93	428,01
Total a fertilizar	219,88	37,06	-238,01

Fuente: Elaboración propia

Análisis e interpretación

Nitrógeno (N): Se requiere aplicar 219,88 kg/ha de N, lo cual es casi igual a la extracción del cultivo (220,00 kg/ha). Esto sugiere que el suelo tiene una disponibilidad muy baja de N, por lo que es fundamental aplicar una cantidad significativa de fertilizante para satisfacer las necesidades del cultivo.

Fósforo (P₂O₅): Se requiere aplicar 37,06 kg/ha de P₂O₅, lo que indica que el suelo proporciona aproximadamente 2,93 kg/ha, lo cual no cubre las necesidades del cultivo (40,00 kg/ha). Por lo tanto, también se necesita aplicar fósforo para alcanzar los requerimientos del cultivo.

Potasio (K₂O): En este caso, se observa que el total a fertilizar es -238,016 kg/ha, lo que indica que el suelo tiene una cantidad excesiva de K₂O (428,01 kg/ha) en comparación con la extracción del cultivo (190,00 kg/ha). Esto sugiere que no se necesita aplicar potasio y, de hecho, podría ser perjudicial debido al exceso presente en el suelo.

La interpretación de este cuadro señala la necesidad de aplicar nitrógeno y fósforo al cultivo, mientras que el potasio no solo no necesita aplicación, sino que su exceso podría requerir una gestión adecuada para evitar problemas de toxicidad o desequilibrio nutricional en el cultivo. Esta evaluación es crucial para asegurar un manejo eficiente de los nutrientes y maximizar el rendimiento del cultivo (Havlin, Beaton, Tisdale y Nelson, 2014; Brady y Weil, 2010).

Tabla 8

Eficiencia de los fertilizantes

Fertilizante	% Eficiencia
Nitrogenados	60%
Fosforados	25%
Potásicos	70%
Enmienda calcicas	70%

Fuente: Aplicación eficiente de los fertilizantes. Sociedad Colombiana de la Ciencia del Suelo, Marín Morales, J.G. (1982).

Los cálculos de la cantidad de fertilizante necesaria, considerando la eficiencia de cada tipo de fertilizante, son los siguientes:

Nitrógeno (N):

Cantidad a aplicar: 366,47 kg/ha

Fósforo (P₂O₅):

Cantidad a aplicar: 148,28 kg/ha

Potasio (K₂O):

Cantidad a aplicar: -340,02 kg/ha (un valor negativo indica que hay un exceso de potasio en el suelo, por lo que no se requiere aplicación adicional).

Estos resultados indican cuántos kilogramos de cada fertilizante se deben aplicar por hectárea para satisfacer las necesidades de los cultivos, teniendo en cuenta la eficiencia de absorción de cada uno.

Fórmula de abonamiento

Tabla 9

Fórmula de abonamiento

N	P₂O₅	K₂O
366,47	148,28	-340,02

Fuente: Elaboración propia

La fórmula de abonamiento para el cultivo de maíz sugiere aplicar 366.47 kg/ha de nitrógeno (N) y 148.28 kg/ha de fósforo (P₂O₅), necesarios para el crecimiento del cultivo. Sin embargo, el valor negativo de -340.02 kg/ha de potasio (K₂O) indica que no se debe aplicar más, ya que el suelo

ya tiene un exceso de este nutriente, lo que podría afectar la absorción de otros nutrientes.

Aporte de las fuentes de material orgánica

Tabla 10

Resultado de aporte de fuentes de materia orgánica

Componente	E. Ovino	E. Vacuno	E. Gallina
Materia Orgánica	243,00 kg/ha	140,00 kg/ha	245,00 kg/ha
Nitrógeno	143,00 kg/ha	148,00 kg/ha	134,00 kg/ha
Fósforo	193,60 kg/ha	155,50 kg/ha	142,70 kg/ha
Potasio	5 220,00 kg/ha	6 000,00 kg/ha	5 530,00 kg/ha

Fuente. Elaboración propia

Los resultados según el análisis de los componentes de materia orgánica, nitrógeno, fósforo y potasio en kilogramos por hectárea (kg/ha) para diferentes tipos de estiércol, con una aplicación de 10 toneladas por hectárea (10 000 kg/ha), estos resultados suman como aporte a la fórmula de abonamiento obtenida anteriormente.

a. Materia Orgánica:

$$\text{M.O (kg/ha)} = \left(\frac{\text{Porcentaje de M.o.}}{100} \right) \times \text{Cantidad aplicada (kg/ha)}$$

b. Nitrógeno:

$$N \text{ (kg/ha)} = \left(\frac{\text{Porcentaje de Nitrógeno}}{100} \right) \times \text{Cantidad aplicada (kg/ha)}$$

c. Fósforo:

$$P \text{ (kg/ha)} = \left(\frac{\text{Fósforo en ppm}}{1\ 000} \right) \times \text{Cantidad aplicada (kg/ha)}$$

d. Potasio

$$K \text{ (kg/ha)} = \left(\frac{\text{Potasio en ppm}}{1\ 000} \right) \times \text{Cantidad aplicada (kg/ha)}$$

4.9.6. Desmalezado

La actividad de deshierbo se efectuó a la tercera semana, luego se volvió al mes del primer deshierbo, para lo cual fue necesario que el suelo esté en capacidad de campo; ello facilita un rápido trabajo de deshierbo, se evita de esta manera el estrés en los plantines de maíz.

4.9.7. Control de plagas y enfermedades

La aplicación de pesticidas agrícolas fue según el monitoreo realizado semanalmente, siendo crucial a los 15 días de germinado, al mes de la siembra; antes de la etapa de floración de la mazorca, y etapa de llenado de grano (lechoso), la principal plaga es el gusano cogollero, y la presencia de la mosca euxesta sp; las aplicaciones químicas de insecticidas

se realizaron por la tarde, tomando las medidas respectivas de manipuleo de pesticidas; los insecticidas usados:

- Kñon 30 ml/20 l, para el control de gusanos y mariposas
- Fastac 25 ml/20 l, control de larvas de noctuidos y pulgones
- Tifon 40 ml/20 l, control de gusanos de suelo y escarabajos
- Adherente (super wett) 8 ml /20 l, adherente
- Silifarm (adherente penetrante) 5 ml/20l

Las dosis se utilizaron para ser aplicado por medio de la mochila de capacidad de 20 litros.

4.9.8. Cosecha

La actividad de cosecha se efectuó a finales del mes de mayo, el cultivo de maíz ya ha alcanzado la madurez botánica, los granos de maíz ya se encuentran duros y de color amarillo, característico de la variedad; en primer lugar se cosecha la mazorca, luego se corta desde la base del tallo la planta para que se pueda secar en campo.

CAPÍTULO V
RESULTADOS

5.1. Altura de planta

5.1.1. Altura de planta a 35 días de siembra (cm)

Para la variable dependiente altura de planta (cm) se realizó las mediciones a los 35 días después de la siembra, obteniéndose los siguientes datos.

Tabla 11

Análisis de varianza para altura de planta (cm) de maíz a los 35 días de siembra

F.V.	gl	SC	CM	F	Sig. $\alpha = 0,05$ y $0,01$
Bloques	3	3,79	1,26	1,53	3,86 6,99 NS
Tratamiento	3	173,95	57,98	70,12	3,86 6,99**
Error	9	7,44	0,83		
Total	15	185,18			

CV 1,7 %

NS: no significativo

** altamente significativo

Fuente. Elaboración propia

De la tabla se aprecia que para bloques, no hubo diferencias estadísticas, para tratamientos se halló una alta heterogeneidad estadística; lo que indicaría que al menos un tratamiento es superior con respecto a los demás, su coeficiente de variación fue de 1,7 %.

Tabla 12

Prueba de significación de Duncan para altura de planta (cm) a los 35 días de siembra

OM	Tratamiento	Promedios	Significancia $\alpha = 0,05$
1	Estiércol de Ovino	56,8	a
2	Estiércol de Gallina	55,3	b
3	Estiércol de Vacuno	53,95	b
4	Testigo	48,1	c

Fuente. Elaboración propia

De la prueba de Duncan, se obtuvo los siguientes promedios para altura de planta (cm) a los 35 días después de la siembra, para el tratamiento con estiércol de ovino, fue el de mayor tamaño con 56,8 cm de altura de planta en cultivo de maíz, seguido del estiércol de gallina y vacuno, con 55,3 cm y 53,95 cm respectivamente; el tratamiento testigo fue

el de menor promedio y ocupó el cuarto lugar con 48,10 cm; debido a que no se incorporó materia orgánica en la preparación de terreno al testigo.

5.1.2. Altura de planta a los 60 días de siembra (cm)

Tabla 13

Análisis de varianza para altura de planta de maíz (cm) a los 60 días de siembra

F.V.	gl	SC	CM	F	Sig. $\alpha = 0,05$ y $0,01$
Bloques	3	2,29	0,76	0,44	3,86 6,99 NS
Tratamiento	3	323,79	107,93	61,78	3,86 6,99**
Error	9	15,72	1,75		
Total	15	341,8			

CV: 1,00 % NS: no significativo ** altamente significativo

Fuente. Elaboración propia

De la tabla con respecto a la altura de planta (cm) a los 60 días posteriores a la siembra; para bloques no se halló diferencias estadísticas, sin embargo para tratamientos se halló una alta disparidad significativa; ello indicaría que un tratamiento aplicado es superior con respecto a los demás tratamientos, el coeficiente de variación hallado fue de 1,00 %.

Tabla 14

Significación de Duncan para altura de planta (cm) a los 60 días de siembra

OM	Tratamientos	Promedios	Significancia =0,05	α
1	Estiércol de Ovino	135,4	a	
2	Estiércol de Gallina	134,35	a	
3	Estiércol de Vacuno	133,95	a	
4	Testigo	124,25		b

Fuente. Elaboración propia

De la tabla, La prueba de significación de Duncan indicó que los mayores promedios obtenidos estadísticamente corresponden para los tratamientos de estiércol de ovino, gallina y vacuno; con medidas de 135,4; 134,35 y 133,95 cm de altura planta respectivamente, el tratamiento testigo fue el de menor promedio con 124,25 cm.

5.1.3. Altura de planta a los 122 días de siembra (cm)

Tabla 15

Análisis de varianza para altura de planta de maíz (cm) a los 122 días de siembra

F.V.	gl	SC	CM	F	Sig. $\alpha = 0,05$ y $0,01$
Bloques	3	53,3	17,77	1,85	3,86 6,99 NS
Tratamiento	3	1 311,06	437,02	45,46	3,86 6,99**
Error	9	86,52	9,61		
Total	15	1 450,88			

CV: 1,49 % NS: no significativo ** altamente significativo

Fuente. Elaboración propia

De la tabla, análisis de varianza para altura de planta; se halló para bloques una nula diferencia, para tratamientos se halló una alta heterogeneidad estadística; según este último reflejaría que al menos un tratamiento posee un resultado superior respecto a otros tratamientos aplicados, el coeficiente de variación obtenido fue de 1,49 %.

Tabla 16

Prueba de Duncan para altura de planta (cm) a los 122 días de siembra

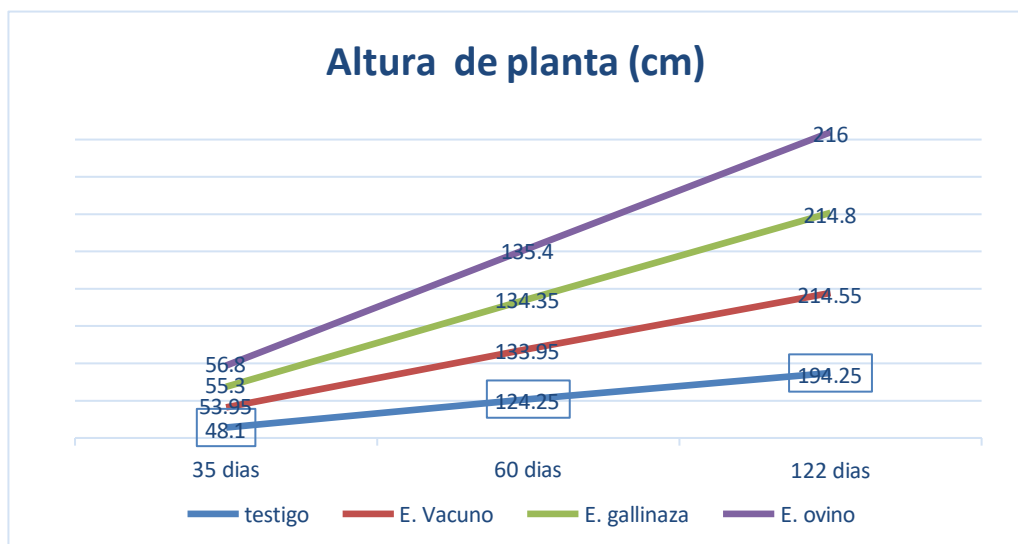
OM	Tratamiento	Promedios	Significancia $\alpha = 0,05$
1	Estiércol de Ovino	216	a
2	Estiércol de Gallina	214,8	a
3	Estiércol de Vacuno	214,55	a

4	Testigo	194,25	b
---	---------	--------	---

Fuente. Elaboración propia

La prueba de comparación de medias según Duncan para altura de planta, analizados los datos se logró determinar los tratamientos con mayores rendimientos estadísticamente; la aplicación de estiércol de ovino con 216,0 cm; estiércol de gallina con 214,8 cm y estiércol de vacuno con 214,55 cm son los que ocupan el primer lugar a diferencia del tratamiento testigo que fue el de menor promedio con 194,25 cm; debido a que no se aplicó ninguna enmienda orgánica.

Figura 4. Curva de crecimiento de planta de maíz con las medidas realizadas a los 35, 60, y 122 días de siembra



Fuente. Elaboración propia

5.2. Área foliar de planta de maíz (cm²)

Tabla 17

Análisis de varianza del área foliar en cultivo de maíz (cm²)

F.V.	gl	SC	CM	F	Sig. α =0,05 y 0,01
Bloques	3	1 041,79	347,26	1,29	3,86 6,99 NS
Tratamiento	3	35 921,54	11 973,85	44,38	3,86 6,99**
Error	9	2 428,09	269,79		
Total	15	3 9391,41			

CV: 2,98 %

NS: no significativo

** altamente significativo

Fuente. Elaboración propia

Según la tabla que antecede, se ha obtenido para fuente bloques una significancia nula, por tanto, los resultados fueron homogéneos y la elección del diseño fue acertada; para la fuente tratamientos hubo una elevada significancia, en consecuencia, un promedio de los tratamientos aplicados influyó en gran manera sobre el área foliar, el coeficiente de variación hallado fue de 2,98%; considerado aceptable dadas las condiciones del experimento.

Tabla 18

Prueba de Duncan para área foliar de planta de maíz (cm²)

OM	Tratamiento	Medias	Significancia =0,05	α
1	Estiércol de vacuno	590,52	a	
2	Estiércol de gallina	572,77	a	
3	Estiércol de ovino	569,76	a	
4	Testigo	469,8		b

Fuente. Elaboración propia

De acuerdo a los resultados logrados en la prueba de significancia de Duncan; el mejor tratamiento estadísticamente corresponde a estiércol de vacuno con 590,52 cm²; estiércol de gallina con 572,77 cm² y también el estiércol de ovino que obtuvo 569,76 cm²; considerados superiores y similares; por tanto se comportan y contribuyen de manera similar sobre el área foliar.

5.3. Peso de grano por unidad experimental (kg)

Tabla 19

Análisis de varianza peso de grano (kg) por unidad experimental

F.V.	gl	SC	CM	F	Sig. $\alpha = 0,05$ y $0,01$
Bloques	3	1,12	0,37	2,22	3,86 6,99 NS
Tratamiento	3	18,81	6,27	37,39	3,86 6,99**
Error	9	1,51	0,17		
Total	15	21,43			

CV: 6,76 %

NS: no significativo

** altamente significativo

Fuente. Elaboración propia

De la tabla análisis de varianza, se aprecia que no hubo diferencias estadísticas para bloques, lo cual indicaría un buen diseño experimental; para tratamientos se obtuvo una alta desigualdad significativa; ello se atribuye a que al menos un tratamiento se distingue sobre los demás con un promedio superior, el coeficiente de variación hallado fue de 6,76%, siendo aceptable.

Tabla 20

Prueba de Duncan para peso de grano (kg) por unidad experimental

OM	Tratamiento	Promedio	Significancia $\alpha = 0,05$
1	Estiércol de Ovino	6,92	a
2	Estiércol de Vacuno	6,6	a
3	Estiércol de Gallina	6,51	a

4	Testigo	4,2	b
---	---------	-----	---

Fuente. Elaboración propia

Según Duncan, para peso de grano, se ha obtenido los promedios de mayor a menor, los tratamientos con mayores promedios estadísticamente; fueron la aplicación de estiércol de ovino con 6,92 kg; estiércol de vacuno con 6,6 kg y finalmente con 6,51 kg el estiércol de gallina; a diferencia del testigo que logró 4,2 kg por unidad experimental; según el marco teórico desarrollado se debería a las limitaciones de disponibilidad de nutrientes y retención de humedad, entre otros.

5.4. Rendimiento de grano por hectárea (t/ha)

Tabla 21

Análisis de varianza para rendimiento de grano por hectárea (t/ha) en cultivo de maíz

F,V,	gl	SC	CM	F	Sig. $\alpha = 0,05$ y $0,01$
Bloques	3	0,77	0,26	2,22	3,86 6,99 NS
Tratamiento	3	13,05	4,35	37,74	3,86 6,99**
Error	9	1,04	0,12		
Total	15	14,85			

CV: 6.73 % NS: no significativo ** altamente significativo

Fuente. Elaboración propia

De la tabla, análisis de varianza para rendimiento de grano por hectárea (t/ha) se halló datos homogéneos para bloques, lo que indicaría que el diseño propuesto es aceptable; en cambio para la fuente tratamiento, hubo resultados diferidos de alta significancia, evidencia que la aplicación de estiércol influyo en la variable de estudio, o al menos un tratamiento es superior respecto a los demás; el coeficiente de variación obtenido fue de 6,73%, aceptable para el experimento.

Tabla 22

Prueba de Duncan para rendimiento de grano de maíz por hectárea (t/ha)

OM	Tratamiento	Medias	Significancia $\alpha = 0,05$
1	Estiércol de Ovino	5,76	a
2	Estiércol de vacuno	5,50	a
3	Estiércol de Gallina	5,42	a
4	Testigo	3,5	b

Fuente. Elaboración propia

Según Duncan, para rendimiento de grano, los tratamientos con mayores promedios estadísticamente; fueron la aplicación de estiércol de

ovino con 5,76 t/ha, seguido de estiércol de vacuno con 5,5 t/ha y con 5,42 t/ha obtenido con el estiércol de gallina; ocuparon el primer lugar estadísticamente; a diferencia del Testigo. Según los análisis de suelo indicaron que es un suelo ligeramente salino, dada las condiciones de la ubicación del experimento, sin embargo al tratarse de un suelo franco arenoso, facilita la movilidad de los nutrientes en la zona radicular; los análisis efectuados a las diferentes fuentes de materia orgánica, detallaron que todas contienen alto contenido de potasio (ppm), lo cual eleva la salinidad del medio, el cual es atenuado por materia orgánica presente que actúa como buffer (neutro), ello permite que el sistema radicular absorba la mayor cantidad de nutrientes adyacentes.

Según investigaciones realizadas con aplicaciones de diferentes fuentes de materia orgánica confieren un incremento de los rendimientos y características particulares según el cultivo, en el presente trabajo el mayor resultado se obtuvo con la aplicación de estiércol de ovino la cual contenía un pH y CE adecuado, no mostró un elevado nivel de salinidad.

Según lo hallado por Caldas (2018), indicó que el tratamiento con guano de isla obtuvo el mayor tamaño de mazorca y cantidad de mazorcas por planta, en la cual fue seguido del tratamiento donde utilizó estiércol de gallina; quien ocupó un segundo lugar.

Otra investigación efectuada por Espinoza y Gamarra (2022), al realizar aplicaciones líquidas de abonos, logró un rendimiento de 13 t/ha para Dekalb 7500. Considerado superior al hallado en la presente investigación. En lo que los factores bióticos y abióticos hayan influenciado sobre el polen y dificultado la fecundación del grano.

CONCLUSIONES

El presente estudio evaluó el efecto de diferentes tipos de estiércol semicompostado (ovino, vacuno y gallina) en el rendimiento del cultivo de maíz amarillo duro, variedad Dekalb 7500. Los resultados obtenidos indican que la aplicación de estiércol de ovino resultó el de mayor rendimiento promedio de grano, alcanzando 5,76 t/ha. Si bien los tres tratamientos con estiércol mostraron un efecto positivo y significativo en comparación con un testigo sin fertilización orgánica, el estiércol de ovino superó estadísticamente a los demás tratamientos.

Los tres tratamientos con estiércol semicompostado resultaron superiores y similares estadísticamente; donde el estiércol de ovino logró 5,76 t/ha, seguido de estiércol de vacuno con 5,5 t/ha y 5,42 t/ha lo obtuvo el estiércol de gallina, consolidándose la importancia y efectos de la materia orgánica en la producción de los cultivos.

RECOMENDACIONES

Se recomienda la aplicación de estiércol de ovino semi compostado como fuente de fertilización orgánica para la producción de maíz amarillo duro (híbrido Dekalb 7500). El precompostaje previo a su aplicación garantiza una rápida disponibilidad de nutrientes. Una dosis de 16,5 toneladas por hectárea, combinada con prácticas de manejo integrado como la rotación de cultivos y el monitoreo de plagas y enfermedades, puede contribuir a aumentar la productividad y mejorar la calidad del suelo, promoviendo así un sistema de producción más sostenible.

La aplicación de estiércol semicompostado representa una alternativa viable y sostenible para la fertilización del maíz. Sin embargo, es necesario continuar investigando para optimizar su uso y evaluar su impacto a largo plazo. Se recomienda a los agricultores realizar análisis de suelo y estiércol de manera regular, ajustar las dosis de fertilización en función de los resultados obtenidos y complementar el estiércol semi compostado con fertilizantes minerales cuando sea necesario. La transferencia de esta tecnología a través de programas de extensión agrícola es fundamental para promover su adopción y mejorar la sostenibilidad de los sistemas de producción.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Agricultural Experiment Station, University of Nebraska. USA. 101 p.

Agrownet. (2024). Understanding Maize Soil Requirements for Successful Maize cultivation. Recuperado de Agrownet.

Agraria.pe. (2022). Producción nacional de maíz amarillo duro alcanzó las 1.233.000 toneladas en 2022. <https://agraria.pe/noticias/produccion-nacional-de-maiz-amarillo-duro-alcanzo-las-1233000-toneladas-en-2022-40552.html>

Aguilar, H. (1987). *El Maíz en los trópicos, mejoramiento y producción*. Editorial Universitaria 125p.

Bewley, J.; Black, M. (1994). *Seeds: germination, structure and composition. In Seeds: physiology of development and germination*. 2. ed. New York, Plenum. p. 1-3.

Betrán Aso, J. (2018). Requerimientos nutricionales del maíz. En Guía práctica de la fertilización racional de los cultivos en España. Recuperado de Boletín Agrario.

Bianco, A., L. Astigarraga, F. Hernández, N. Nuñez Y R. Mello. (2003). *Evaluación de ensilajes de maíz (ciclo medio y ciclo largo). II*.

Rendimiento, relación grano-planta, producción y composición de la leche en vacas Holando. XVII. Reunión de la Asociación Latinoamericana de Producción Animal (ALPA). La Habana, Cuba. Memorias. Pp. 2363 – 2367.

Bonavia, D., y Grobman, A. (1999). Origin and domestication of maize. In J. F. A. Ocampo & F. R. B. L. García (Eds.), *Advances in the maize research* (pp. 23-40). Lima: Instituto de Investigaciones de la Amazonía Peruana.

Brady, N.C., y Weil, R.R. (2016). *The Nature and Properties of Soils.* Pearson.

Brenes, L. (2003). *Producción orgánica: algunas limitaciones que enfrentan los pequeños productores.* Manejo Integrado de Plagas y Agroecología 70: 7-18.

Bullock, D y D Anderson. (1998). *Evaluation of the Minolta SPAD-502 Chlorophyll Meter for Nitrogen Management in Corn.* Journal of Plant Nutrition. 54 pp.

Bünemann, E. K., Bossuyt, H., De Deyn, G. B., Six, J., y Tidstrand, J. (2018). Soil organic matter: The key to the sustainable future of soils. *Soil Biology and Biochemistry*, 125, 25-28.

Caldas, Yeni (2018). "Efecto de los abonos orgánicos en el rendimiento del cultivo de maíz (*Zea mayz* L.) Variedad blanco Urubamba en condiciones agroecológicas de la localidad de San Cristobal 2018. Huanuco – Perú.

Castellanos R., J.Z. (1980). *El estiércol como fuente de nitrógeno. Seminarios Técnicos* 5 (13). Instituto Nacional de Investigaciones Forestales y Agropecuarias-Secretaría de Agricultura y Recursos.

Castro V. (2016). *Efecto de cinco fuentes orgánicas sobre el desarrollo vegetativo y rendimiento del cultivo de melón (*Cucumis melo* L.) en la irrigación de la Yarada*. Tesis para optar título de ingeniero agrónomo. Universidad Nacional Jorge Basadre Grohmann. Tacna, Perú.

Ceballos, H., Ramirez, J. D., y Rojas, F. (2016). Origin and domestication of maize. In J. F. A.

Cernay, C., Fuchs, J., y Wenzel, H. (2016). Impact of Soil Properties on Root Development in Maize. *Journal of Agronomy*, 108 (3), 104-112.

Cervantes, F. A. (2008). *Abonos orgánicos*. Consultado on line 03 de enero de 2021 Site web:<http://www.inia.cl/medios/biblioteca/boletines/NR40198.pdf>

Colombia p. 23.

Coronado, M. (1995). *Agricultura orgánica versus agricultura convencional*.

Davalos A. (2017). *Diversidad de maíz (Zea mays L.) en la selva peruana*. Región Lima, Perú. Tesis ingeniero agrónomo.

Duran, E. (2004). *Manual de Cultivos Orgánicos y Alelopatía*.

Durán, L; Henríquez, C. (2007). *Caracterización química, física y microbiológica de vermicompostes producidos a partir de cinco sustratos orgánicos (en línea)*. Agronomía Costarricense. v. 31. no. Consultado 25 mar. 2012. Edit. INIAP pp 10-22.

Duvick, D. N. (2005). Genetic progress in yield of U.S. maize (*Zea mays L.*). *Maydica*, 50(3), 193-202.
<https://doi.org/10.1016/j.fieldcropres.2005.02.002>

Escobar, A y Aldunate, P. (1987). *la evolución tecnológica del cultivo del maíz durante el siglo XX*.

Edmeades, G. O., Bolanos, J., & Ribaut, J. M. (2004). Phenotypic and genetic improvement of maize. In C. W. Smith & J. T. C. B. (Eds.),

Advances in maize production (pp. 107-139).

<https://doi.org/10.1016/j.fcr.2004.07.006>

Espinoza, Omar, Gamarra y Katherin (2022) *Rendimiento comparativo de dos híbridos de maíz amarillo duro con dos fuentes de abonamiento aplicados en diferentes etapas fenológicas, en Barranca, Perú.*

FAO, IT. (1978). *Suelos y fertilizantes*. México, Dirección General de Educación y Tecnología Agropecuaria, tercera edición.

FAO. (2022). *Perspectivas de cultivos y situación alimentaria*. Roma: Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura.

Fassio, A.; Carriquiry, A.; Tojo C.; Romero, R. (1998). *Maíz: Aspectos sobre fenología*. Uruguay. 51 p.

Flores, M. E. (2017). Distanciamientos de siembra y rendimiento de maíz (*Zea mays L.*) híbrido amarillo duro Dekalb 7508 en condiciones edafoclimáticas de San Regis-El Carmen-Chincha-2017.

Franco G. (2012). *Evaluación de rendimiento forrajero de 20 cultivares de maíz (Zea mays) en la localidad de Pachia- Tacna*. Región Tacna, Perú. Tesis ingeniero agrónomo.

- Garro, Jorge. (2016) *El suelo y los abonos organicos*, Instituto Nacional de Innovación y Transferencia en Tecnología Agropecuaria.
- Giaconi, V. (1998). *Cultivo de hortalizas*. Sexta edición actualizada. Editorial Universitaria, Santiago Chile.
- Goodman M. (1976). *Maize*. En *Simmonds N.W.* (ed.). Evolution of crop plants. Longman Group Ltd. London, UK. p. 128-136.
- Goodman, M.; BIRD, R. 1977. *Races of maize IV: tentative groupings of 219 Latin American races*. Econ. Bot. 31:204 - 221. USA.
- Greenlife. (2024). Expert Guide To Maize Farming In Kenya. Recuperado de Greenlife.
- Grijalva, J. (1995). *Principios de Fertilización*. Manual Nº 30 Quito Ecuador.
- Grobman, A., Salhuana, W., Sevilla, R., y Mangelsdorf, P. (1961). Clasificación de la diversidad del maíz en Perú.
- Guerrero, A. (1996). *El suelo, los abonos y la fertilización de los cultivos*. Madrid – España.
- Gutiérrez, D. (2015). *Manejo de suelos y fertilidad en agricultura sostenible*. Lima: Instituto Nacional de Innovación Agraria.

Havlin, J. L., Beaton, J. D., Tisdale, S. L., & Nelson, W. L. (2014). Soil Fertility and Fertilizers (8th ed.). Pearson.

Huang, Y., Yu, M., & Zheng, S. (2020). Soil Quality and Its Impact on Crop Growth: A Review. *Agricultural Sciences*, 11(3), 100-115.

Hidráulicos. Torreón, Coahuila, México.

Hochholdinger, F., Hoecker, N., & Langer, M. (2008). The maize root system: the architecture and its significance. *Maize Genetics Cooperation Newsletter*, 82, 28-30.

Huallpa J. (2019). *Efecto de nitrógeno y fósforo en el rendimiento de maíz morado (Zea mays) variedad canteño en el Centro Experimental Agrícola III Los Pichones-Tacna, Perú.* Tesis ingeniero agrónomo.

Instituto Nacional de Estadística e Informática (INEI). (2022). Estadísticas sobre la producción agrícola en Perú. <https://www.inei.gob.pe>

Instituto Interamericano de Cooperación para la Agricultura (IICA). (2003). *La cadena de valor de maíz en el Perú.* Diagnóstico del estado actual, tendencias y perspectivas. pp. 14-16 Instituto Nacional de Innovación Agraria (INIA), Tecnología en Maíz –2015.

Instituto de Investigación y Recursos Renovables (1996). *Manual de Prácticas Agroecológicas de los Andes*, Ecuatorianos. Editorial ABYALA. Quito- Ecuador, pp. 17- 58. Instituto Interamericano de cooperación para la agricultura.

Johnston, A. E., y Syers, J. K. (2009). *Nutrient Management for Sustainable Crop Production in Asia*. International Potash Institute.

Justiniano, E. (2010). *Fenología e intensidad de color en corontas del maíz morado (Zea mayz L.) en sus diferentes estados de desarrollo en la localidad de La Molina*. (Tesis de Maestría): Universidad Nacional Agraria La Molina, Lima Perú.

Kiesselbach, T. (1949). *The structure and reproduction of corn*. ed.

Mamani H. (2022). *Caracterización morfológica, fisiológica y molecular de tres razas de maíz (Zea mays L.) cultivada en medios con alto contenido de boro, Tacna 2019*. Tesis doctorado en ciencias ambientales.

Mamani Q. (2017). *Influencia de tres fuentes de materia orgánica en el rendimiento del cultivo de chía (Salvia hispánica L.) en el distrito La Yarada Los Palos-Tacna, Perú*. Tesis ingeniero agrónomo.

- Marín Morales, J.G. (1982). Aplicación eficiente de los fertilizantes. Sociedad Colombiana de la Ciencia del Suelo. Recuperado de Agrosavia.
- Manrique Z. (2015). *Evaluación de producción de forraje de cultivares de maíz (Zea mays L.) bajo condiciones de suelos salinos del Valle de Ite*. Tacna – Perú. Tesis ingeniero agrónomo.
- Manrique, A. (1999). *El maíz morado Peruano*. Lima, Perú: INIA - Dirección General de Transferencia de Tecnología.
- Manrique, A. (1997). *El maíz en el Perú*. Segunda edición. Consejo
- Melgar, J.M. (2016). *Cultivo de Semillas Transgénicas del Maíz Amarillo Duro en el Perú*.
- Mengel, K., y Kirkby, E. A. (2001). Principles of Plant Nutrition. Kluwer Academic Publishers.
- MIDAGRI, Ministerio de Desarrollo Agrario y Riego (2021). *Boletín Estadístico Mensual “El Agro en Cifras” mes Julio*. Dirección General de Estadística, Seguimiento y Evaluación de Políticas / Dirección de Estadística e Información Agraria.

MIDAGRI. (2023). *Observaciones Commodityt, Maiz Amarrillo Duro*.
Ministerio de agricultura y riego.

MINAGRI. (2012). *Maíz amiláceo, principales aspectos de la cadena agroproductiva*. Lima, Perú: Dirección General de Competitividad Agraria. Recuperado de <http://agroaldia.minagri.gob.pe/biblioteca/download/pdf/agroeconomía/agroeconomíamaízamiláceo.pdf>

MINAM. (2019). *Línea base de la diversidad genética del maíz peruano con fines de bioseguridad*. Lima, Perú.

Narea, G. y Valdivieso, C. (2002). *Agricultura orgánica. Situación actual, desafíos y técnicas de producción*. Servicio Agrícola y Ganadero, Departamento de Protección Recursos Naturales Renovables. Chile.

Paustian, K., Lehmann, J., Ogle, S., Reay, D. S., y Robertson, G. P. (2016). Climate-smart soils. *Nature*, 532(7597), 49-57. <https://doi.org/10.1038/nature17174>

Paredes, C., Gómez, A., y Torres, (2020). *Uso de fertilizantes orgánicos en la agricultura*. *Revista de Ciencias Agrarias*, 37(2), 123-134.

Palencia O. (1985). *Programa de nutrición vegetal*, informe anual. Guatemala, Instituto Nacional Forestal.

Paratori, O. (1995). *El Cultivo del Maíz. Instituto de Investigaciones Agropecuarias. Centro Regional de Investigación*. La Platina. Santiago de Chile. 170 p.

Quispe, J., Arroyo, K., y Gorriti, A. (2011). *Características morfológicas y químicas de 3 cultivares de maíz morado (Zea mays L.) en Arequipa-Perú*. Revista de la sociedad química del Perú, v.77 n.3 Lima jul./set. Recuperado de http://www.scielo.org.pe/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1810634X2011000300006.

Raza Merina. (s.f.). Estiércol de oveja: propiedades y usos. Recuperado de <https://razamerina.com/>

Reganold, J. P., y Wachter, J. (2016). Organic farming in the twenty-first century. *Nature Plants*, 2, 15221. <https://doi.org/10.1038/nplants.2015.221>

Requis, F. (2012). *Manejo agronómico del maíz morado en los valles interandinos del Perú*. Lima, Perú: INIA Recuperado de

89.http://repositorio.inia.gob.pe/bitstream/inia/124/6/RequisManejo_agron%C3%B3mico_ma%C3%ADz_morado.pdf.

Ritchie, S.; Hanway, J.; Benson, G. (1986). *How a corn plant develops*. Ames, Iowa State University. Special report no. 48. USA. 21 p.

Rodríguez, R, y De León, C. (2008). *El cultivo del maíz, temas selectos*. Edición, Mundi Prensa México. Vol. 1, 127p.

Roman, P.; Pantoja, A. (2013). Manual de compostaje del agricultor, experiencia en America Latina. FAO.

Romero L., María Del R., Trinidad S., Antonio, García E., Roberto y Ferrara C., Ronald, (2000). *Producción de papa y biomasa microbiana en suelo con abonos orgánicos y minerales*. *Agrociencia* 34: 261-269.

Seed Co Group. (2024). 11 Keys to Achieve 11 Tonnes/Ha Maize. Recuperado de Seed Co Group.

Sagrario, A. (2022). *Beneficios del estiércol ovino en la agricultura*. Recuperado de Agricultura y Ganadería.

Smith, R., George, M., Doran, M., Koenig, R., Klonsky, K., y De Moura, R. (2011). *Manure Application Guidelines for Central Coast*

Vegetables. University of California Agriculture and Natural Resources. Recuperado de <https://anrcatalog.ucanr.edu/pdf/7248.pdf>.

Soilquality.org.au. (2004). Bulk Density - Measurement. Recuperado de Soil Quality.

Schawentesius, R.; R, Gómez, C. M. A. y Blas, B.H. (2007). *México orgánico. Experiencias, Reflexiones, Propuestas*. Universidad Autónoma de Chapingo.

Sylvia, D. M., Fuhrmann, J. J., Hartel, P. G., y Zuberer, D. A. (2005). *Principles and Applications of Soil Microbiology*. Pearson.

Teuscher, H; y Adler, R. (1995). *El suelo y su fertilidad*. México, Continental.

University of Florida. (2020). Critical bulk density values for different soil textures. Recuperado de University of Florida.

Urango, Luz Amparo, (2016) *Components del maíz en la nutrición humana; algunos componentes generales, particulares y singulares del maíz en Colombia y México*.

USDA-NRCS. (2019). Soil Health – Bulk Density/Moisture/Aeration.

Recuperado de USDA-NRCS.

Zhan, Y., Zhang, H., y Sun, X. (2021). Soil Compaction and Its Effects on Crop Root Growth. *Soil & Tillage Research*, 213, 105140.

Zeballos G. (2015). *Efecto de microorganismos eficaces en el rendimiento de cultivares de maíz forrajeros (Zea mays L.) en el C.P.M. Los Palos. Región Tacna, Perú.* Tesis ingeniero agrónomo.

BIBLIOGRAFÍA ADICIONAL

- Cruz-Macías, Wel Oliveín, Rodríguez-Larramendi, Luis Alfredo, Salas-Marina, Miguel Ángel, Hernández-García, Vidal, Campos-Saldaña, Rady Alejandra, Chávez-Hernández, Moisés Hussein, y Gordillo-Curiel, Alder. (2020). Efecto de la materia orgánica y la capacidad de intercambio catiónico en la acidez de suelos cultivados con maíz en dos regiones de Chiapas, México. *Terra Latinoamericana*, 38(3),475-480. Epub 12 de enero de 2021.<https://doi.org/10.28940/terra.v38i3.506>
- Daza Torres, Martha Constanza. (2014). Aplicación de compost de residuos de flores en suelos ácidos cultivados con maíz (*Zea mays L.*). *Revista Ciencias Técnicas Agropecuarias*, 23(3), 22-30. Recuperado en 22 de junio de 2021, de http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S2071-00542014000300004&lng=es&tlng=es.
- E, Abdelsalam, NR, Mansour, MA, (2020). Potencial de las formas de estiércol orgánico y potasio sobre el crecimiento y la producción de maíz (*Zea mays L.*). *Sci Rep* 10, 8752(2020). <https://doi.org/10.1038/s41598-020-65749-9>

Hamid, IA, Yahaya, WAW y Zawawi, NZ (2020). Cambios en el carbono orgánico del suelo bajo cultivo continuo. *Investigación en agricultura, ganadería y pesca*, 7 (2), 175–181. <https://doi.org/10.3329/ralf.v7i2.48857>

Tamakloe, M., Koledzi, E., Aziable, E., Tcha-Thom, M. y Krou, N. (2021) Impacto de la madurez de los compost sobre el crecimiento y los parámetros agronómicos del maíz (*Zea mays L.*). *Revista Estadounidense de Química Analítica*, 12, 29-45. doi: 10.4236 /ajac.2021.122003

Vega Santisteban, L. C. (2017). Distanciamientos de siembra y rendimiento del maíz (*Zea mays L.*) híbrido amarillo duro DEKALB DX 7088 en condiciones edafoclimáticas de Cholón Marañón. Universidad Nacional Hermilio Valdizán. <https://hdl.handle.net/20500.13080/2058>.

Žydelis, R, Dechmi, F, Isla, R, Weihermüller, L, Lazauskas, S. (2021). Comportamiento del modelo CERES-Maíz bajo fertilización mineral y orgánica en condiciones climáticas memorables. *Revista de agronomía*.2021;1132472490.<https://doi.org/10.1002/agj2.20636>

ANEXOS

Anexo 1

Datos de campo, altura de planta

Altura de planta 35 dds (cm)

Tratamiento	Repeticiones				Promedio
	R ₁	R ₂	R ₃	R ₄	
T ₁	48,00	48,00	48,40	48,00	48,10
T ₂	53,80	53,40	54,20	54,40	53,95
T ₃	53,60	56,40	56,60	54,60	55,30
T ₄	55,40	57,20	56,40	58,20	56,80

Altura de planta a 60 dds (cm)

Tratamiento	Repeticiones				Promedio
	R ₁	R ₂	R ₃	R ₄	
T ₁	124,80	125,20	125,60	121,40	124,25
T ₂	134,40	133,20	133,80	134,40	133,95
T ₃	134,60	133,40	133,60	135,80	134,35
T ₄	136,20	135,80	135,40	134,20	135,40

Altura de planta a los 122 dds (cm)

Tratamiento	Repeticiones				Promedio
	R₁	R₂	R₃	R₄	
T ₁	195,20	198,60	194,60	188,60	194,25
T ₂	221,00	213,80	212,80	210,60	214,55
T ₃	215,00	217,00	211,00	216,20	214,80
T ₄	217,80	215,00	214,80	216,40	216,00

Anexo 2

Datos de área foliar y peso de grano

Área foliar (cm²)

Tratamiento	Repeticiones				Promedio
	R ₁	R ₂	R ₃	R ₄	
T ₁	471,25	472,06	464,34	471,56	469,81
T ₂	575,60	568,51	579,79	638,19	590,52
T ₃	577,16	582,17	559,64	572,09	572,76
T ₄	568,80	565,22	569,51	575,51	569,76

Peso de grano por unidad experimental (kg)

Tratamiento	Repeticiones				Promedio
	R ₁	R ₂	R ₃	R ₄	
T ₁	3,45	4,36	4,69	4,28	4,20
T ₂	5,91	6,58	6,89	7,03	6,60
T ₃	6,15	5,96	7,02	6,89	6,51
T ₄	7,12	7,1	6,89	6,55	6,92

Datos de Rendimiento (t/ha)


Tratamiento	Repeticiones				Promedio
	R ₁	R ₂	R ₃	R ₄	
T ₁	2,88	3,63	3,91	3,57	3,49
T ₂	4,93	5,48	5,74	5,86	5,50
T ₃	5,13	4,97	5,85	5,74	5,42
T ₄	5,93	5,92	5,74	5,46	5,76

Anexo 3

Resultados de laboratorio para la muestra de suelo

Figura 5

Informe de análisis de suelo



UNIVERSIDAD NACIONAL JORGE BASADRE GROHMANN
FACULTAD DE CIENCIAS AGROPECUARIAS
ESCUELA PROFESIONAL DE AGRONOMIA
LABORATORIO CENTRAL DE ANALISIS

INFORME DE ANALISIS N°012-023 LCA-ESAG

I. INFORMACION PRELIMINAR

SOLICITANTE	: José Rafael Pico Álvarez	REGION	: TACNA
DIRECCION	: La Yarada coop. 60 Lt. 16	PROVINCIA	: TACNA
TIPO DE MUESTRA	: Suelo N° M-01	DISTRITO	: LA YARADA LOS PALOS
SERVICIO SOLICITADO	: Análisis Caracterización de Suelo		
FECHA DE MUESTREO	: 07 de Diciembre del 2023		
ZONA DE MUESTREO	: Cooperativa 60 La Yarada – Tacna		
CULTIVO ANTERIOR	: no especifica		
CULTIVO A INSTALAR	: no especifica		
PRESENTACION	: Bolsa de polietileno		
FECHA DE RECEPCION	: 07 de Diciembre del 2023		
FECHA DE ANALISIS	: 22 de Diciembre del 2023		

II. RESULTADO ANALISIS DE CARACTERIZACION EN SUELOS

COD.LAB.	ANALISIS MECANICO				ANALISIS QUIMICO				ELEMENTOS DISPONIBLES		
	ARENA %	ARCILLA %	LIMO %	CLASE TEXTURAL	CO ₃ Ca %	pH	C.E. mS/cm	MAT.ORG. %	NITROG %N.	FOSFORO ppm P	POTASIO ppm K
012.023	83.12	10	6.88	A. Fr.	0.63	6.70	1.68	0.020	0.020	2.66	444.6

Abreviaturas: A. Fr.= Arena franca C.E.= Conductividad Eléctrica mSm = milisiemens por cm = mmho Por cm %=Porcentaje
 ppm = partes por millón pH Y C.E. =extracto/suelo 1:2.5 CO₃Ca =Carbonato de Calcio

COD.LAB	CAPACIDAD DE INTERCAMBIO DE CATIONES CAMBIABLES					CIC Capacidad de Intercambio Catiónico meq/100gs	PSI Porcentaje de sodio Intercambiable %
	Ca ⁺⁺ meq/100gs	Mg ⁺⁺ meq/100gs	K ⁺ meq/100gs	Na ⁺ meq/100gs	Acidez Cambiable H ⁺ Al ⁺⁺⁺		
012.023	3.1	2.66	2.22	1.06	0.0	9.04	11.72

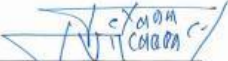
Abreviaturas: CIC=capacidad de Intercambio Catiónico meq/100gs = milequivalentes x 100gs de suelo
 PSI= Porcentaje de sodio Intercambiable

III. INTERPRETACION DE LOS ANALISIS DE CARACTERIZACION


COD. LAB	CO ₃ Ca	pH	C.E.	MAT. ORG.	NITROG.	FOSFORO	POTASIO
012.023	Deficiente	Neutro	Ligeramente salino	Deficiente	Bajo	Bajo	Muy Alto

COD. LAB	CAPACIDAD DE INTERCAMBIO BASES CAMBIABLES				CIC	PSI
	Ca ⁺⁺	Mg ⁺⁺	K ⁺	Na ⁺		
012.023	Muy bajo	Bajo	Muy alto	Bajo	Muy bajo	Ligeramente sódico

Tacna, 22 de Diciembre del 2023
 Realizado por:



Dr. Juan Carlos Tejada Vizcarra
Responsable Lab. Central de análisis – ESAG.



Tania M. Quispe
Ing. Agrónomo Analista ESAG.

Anexo 4

Fotografías de manejo del experimento

Figura 6

Preparación de compostaje de las tres fuentes de estiércol



Figura 7

Incorporación de los tratamientos de estiércol (semicompostado)



Figura 8

Primera medición de altura de planta, 35 dds



Figura 9

Planta de maíz en estado de floración

