

UNIVERSIDAD NACIONAL HERMILIO VALDIZÁN
FACULTAD DE CIENCIAS AGRARIAS
ESCUELA ACADÉMICO PROFESIONAL DE INGENIERÍA
AGRONÓMICA



Métodos de aplicación de humus líquido en la producción de biomasa vegetal y el rendimiento del maíz (*Zea mays L.*) variedad Blanco Urubamba, en condiciones edafoclimáticas de Huacrachuco, Marañón. 2015

TESIS PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE:
INGENIERO AGRÓNOMO

Carmen VEGA JARA

HUÁNUCO - PERÚ

2016

DEDICATORIA

A mi esposo Juan Kevin y mi hijita Adhara Siana para que el presente sea símbolo del inicio de muchos éxitos y progreso en nuestro hogar.

A mis padres Rómulo y Tarcila para que esto sirva como símbolo de superación en el suelo familiar.

A mis hermanas Liliana, Midiam, Sara y Yubitza para que continúen en el camino del progreso y futuro profesional.

AGRADECIMIENTOS

A DIOS por ser mi principal guía, por darme la fuerza necesaria para salir adelante y lograr alcanzar esta meta.

A mi Universidad Nacional Hermilio Valdizán de Huánuco, por darme la oportunidad de aprender y forjarme como profesional.

A mi Asesor: Dr. Santos Jacobo Salinas, por su valiosa colaboración y dedicación para la realización de esta tesis.

ÍNDICE

DEDICATORIA

AGRADECIMIENTO

RESUMEN

SUMMARY

	P
I. INTRODUCCIÓN	08
1.1. Problema general y específicos	09
1.2. Objetivo general y específicos	09
II. MARCO TEÓRICO	11
2.1. Fundamentación teórica	11
2.1.1. Abonamiento orgánico	11
2.1.1.1. Usos del Humus de lombriz	11
2.1.1.2. Obtención del humus de lombriz líquido	15
2.1.2. El maíz	16
2.1.2.1. Requerimientos edafoclimáticas	18
2.2. Antecedentes	24
2.3. Hipótesis	26
2.4. Sistema de variables	26
2.4.1. Definición operacional de variables	27
III. MATERIALES Y MÉTODOS	28
3.1. Lugar de ejecución del experimento	28
3.2. Tipo y nivel de investigación	29
3.3. Población, muestra y unidad de análisis	29
3.4. Tratamiento en estudio	29
3.5. Prueba de hipótesis	30
3.5.1. Diseño de investigación	30
3.5.2. Datos registrados	35
3.5.2.1. Biomasa vegetal	35
3.5.2.2. Componentes de rendimiento	35
3.5.3. Técnicas e instrumentos de recolección de datos	36
3.6. Conducción del trabajo de campo	37

3.6.1. Elección y preparación del terreno	37
3.6.2. Siembra	37
3.6.3. Deshierbos	38
3.6.4. Abonamiento	38
3.6.5. Riegos	40
3.6.6. Aporque	40
3.6.7. Control fitosanitario	40
3.6.8. Cosecha	40
IV. RESULTADOS	41
V. DISCUSIÓN	57
VI. CONCLUSIONES	65
VII. RECOMENDACIONES	66
VIII. LITERATURA CITADA	67
ANEXOS	73

RESUMEN

Título: Métodos de aplicación de humus líquido en la producción de biomasa vegetal y el rendimiento del cultivo de maíz (*Zea mays L.*) variedad Blanco Urubamba, en condiciones edafoclimáticas de Huacrachuco, Maraón. 2015.

El objetivo fue evaluar el efecto de dos métodos de aplicación de humus líquido en la producción de biomasa vegetal y rendimiento del cultivo de maíz (*Zea mays L.*) variedad Blanco Urubamba. El experimento fue realizado en la localidad de Huacrachuco con un diseño en DBCA con 3 repeticiones y 4 tratamientos. Los tratamientos fueron un testigo sin abonar, aplicación de humus líquido a la parte foliar de la planta, aplicación de humus líquido al suelo, un testigo fertilizado con NPK (dosis de 200-40-160). Se hizo un ANDEVA y el test de Duncan al 0.05 y 0.01 del margen de error para conocer el efecto de los tratamientos sobre la biomasa vegetal y rendimiento. Se realizó un análisis de regresión lineal simple para conocer la relación entre el rendimiento y la biomasa radical y aérea. Los resultados indicaron que los tratamientos con humus líquido aplicados a la parte foliar y en el suelo fueron estadísticamente iguales e igualaron con el testigo fertilizado con NPK. Los componentes del rendimiento mostraron los mayores valores del tratamiento con humus de lombriz líquido aplicado al suelo y a la planta, el tratamiento con NPK obtuvo valores intermedios y el testigo sin abonar los más bajos. Estos resultados sugieren que el humus de lombriz líquido aplicado al suelo o directamente a la planta es más eficiente que los fertilizantes químicos. Se recomienda a los agricultores usar el humus de lombriz en forma líquida aplicando semanalmente durante los primeros 40 días después de la siembra del cultivo de maíz.

PALABRAS CLAVES: Humus líquido – biomasa vegetal - rendimiento

SUMMARY

Title: Methods of applying liquid humus in the production of plant biomass and crop yield of corn (*Zea mays* L.) variety White Urubamba, under Huacrachuco, Marañón

The objective this thesis was to evaluate the effect of two methods of applying liquid humus, in the production of plant biomass and crop yield of corn (*Zea mays* L.), variety White Urubamba, soil and climatic conditions of Huacrachuco. The design was completely randomized blocks with 3 replications and 4 treatments, being in liquid humus to the soil and leaf of the crop, chemical fertilizers NPK doses 200-40-160 and the witness without paying. Statistical techniques were the analysis of variance and Duncan test 0.05 and 0.01 of significance and analysis of simple linear regression to relate performance with aerial and root biomass. The results conclude that the worm humus liquid applied to the soil and leaf of the plant generated the highest values of biomass and above chemical fertilization with NPK and the witness root biomass. Yield components showed the highest values with humus application of liquid worm to the ground, causing increased microbial activity in the soil and therefore more mineralization of organic matter, which would have generated greater availability of nutrients for plants, while NPK fertilization and the witness had the lowest yield values, suggesting that earthworm humus liquid applied to the soil or plant is more efficient than chemical fertilizers, improving grain yield of corn.

KEY WORDS: Liquid Humus - plant biomass – yield

I. INTRODUCCIÓN

El uso de fuentes minerales, como abastecedoras de nutrientes agrícolas, se ha reducido considerablemente debido a su elevado precio en el mercado mundial y además a la tendencia internacional de disminuir la quimización en la agricultura y con ello la contaminación ambiental. Una de las formas de nutrir a los cultivos, es el uso de abonos orgánicos, que pueden sustituir parcial o totalmente a la fertilización mineral. El humus de lombriz es la fuente orgánica con más perspectivas de utilización por su alto contenido en nutrientes, y el efecto agrícola sobre el rendimiento de los cultivos, ha sido un tema muy debatido en los últimos tiempos, existen reportes que indican similares efectos de este material a los fertilizantes químicos en la mejora de los rendimientos. Sin embargo, el empleo de este abono orgánico tiene como fundamental desventaja, el enorme volumen de material que hay que transportar, para lograr las equivalencias a los fertilizantes inorgánicos, por lo que se ha ideado la utilización de aspersiones foliares del humus líquido con lo que se reduce en gran medida los volúmenes a transportar, además favorece algunos procesos fisiológicos de las plantas por el efecto hormonal de las aspersiones foliares de estas soluciones.

Existen recomendaciones, que las aspersiones foliares de humus líquido no deben utilizarse en cultivos, donde las hojas se consuman en forma fresca como la col, la lechuga etc, debido al efecto nocivo, que pueda tener sobre la salud humana, la presencia de microorganismos en estas soluciones, que provienen de una actividad microbiológica muy activa.

Una de las formas de conocer la eficiencia de los abonos o fertilizantes, es midiendo rendimientos y/o materia seca vegetal. El uso eficiente de nutrientes por la planta se traduce en producción de biomasa vegetal (radical y aérea) y se refleja en el rendimiento final de granos. Por estas razones, la investigación se realizó aplicando humus líquido al suelo y a la parte foliar del cultivo, al mismo tiempo se comparó con un testigo sin

abonar y otro tratamiento fertilizado con NPK de origen químico. Utilizamos como planta indicadora al maíz para conocer los efectos de los tratamientos en la producción de biomasa vegetal y el rendimiento de granos en condiciones de campo.

La investigación permitió plantear el problema y los objetivos de la siguiente manera

1.1. Problema general

¿Cuál será el efecto de dos métodos de aplicación de humus líquido en la producción de biomasa vegetal y en el rendimiento del cultivo de maíz (*Zea mays L.*) variedad Blanco Urubamba, en condiciones de Huacrachuco?.

Problemas específicos:

1. ¿Cuál será el efecto de dos métodos de aplicación de humus líquido en la producción de biomasa aérea y radical de las plantas del cultivo de maíz (*Zea mays L.*) variedad Blanco Urubamba?
2. ¿Cuál será el efecto de dos métodos de aplicación de humus líquido en los componentes del rendimiento del cultivo de maíz variedad Blanco Urubamba?

1.2. Objetivo general

Evaluar el efecto de dos métodos de aplicación de humus líquido en la producción de biomasa vegetal y en el rendimiento del cultivo de maíz (*Zea mays L.*) variedad Blanco Urubamba

Objetivos específicos:

1. Evaluar el efecto de dos métodos de aplicación de humus líquido en la producción de biomasa aérea y radical de las plantas del cultivo de maíz (*Zea mays L.*) variedad Blanco Urubamba.

2. Medir el efecto de dos métodos de aplicación de humus líquido en los componentes del rendimiento del cultivo de maíz variedad Blanco Urubamba.

II. MARCO TEÓRICO

2.1. FUNDAMENTACIÓN TEÓRICA

2.1.1. Abonamiento orgánico

2.1.1.1. Usos del humus de lombriz

La lombricultura o cría intensiva de lombrices domesticados, es una actividad que se desarrolla en casi todo el mundo. Los estadounidenses fueron los primeros en explotarla y orientaron su trabajo a la obtención de carnada para pesca. Los europeos aprovecharon el estiércol y los residuos de materia orgánica para la obtención de carne y humus de lombriz; los árabes las utilizaron para la recuperación de suelos. En Latinoamérica (Brasil, Perú, Ecuador, Chile y Colombia) esta actividad se ha incrementado para obtener proteína de alta calidad como base alimentaria para animales y humanos, así como la obtención de lombrihumus, útil para abonar suelos, viveros e invernaderos (González, 2011). Actualmente, este abono tiene un uso muy generalizado como fertilizante orgánico, que revitaliza al suelo y hace asimilables a los nutrientes para las plantas, el factor agua es clave para aumentar la actividad biótica en el humus de lombriz (Fontini, 2012)

a) Características del humus de lombriz

El humus de lombriz ha producido a diferencia de las compostas elevada carga microbiana que beneficia a las plantas produciendo abono orgánico de alta calidad, para mejorar también la composición y estructura del suelo (Reinez *et al.*, 2011) otorgándole menos sensibilidad de los cultivos a la sequía (Gros, 1986). Ferruzzi (2012) afirma que el humus de lombriz debido a su enorme poder, sobre todo a la flora bacteriana debería ser llamado con más propiedad como elemento corrector, en lugar de elemento para abono.

El pH del humus de lombriz es siempre neutro, por eso constituye un neutralizador de los suelos, debido a que las lombrices segregan una sustancia llamada carbonato de calcio que neutraliza los ácidos de sus alimentos (Reinez *et al.*, 2011). Debido a que el pH de dicho material es neutro, se crea un medio desfavorable para la proliferación de ciertos parásitos. De ahí su interés por emplearlo en cultivos que se encuentren parasitados.

La composición y la calidad del lombrhumus están en función del valor nutritivo de los desechos que consume la lombriz. Un manejo adecuado de los desechos, una mezcla bien balanceada permite obtener un material de excelente calidad (Martínez, 2013). Antes de la aplicación de lombrhumus se requiere analizar la calidad del mismo, independientemente del contenido nutrimental que este posea. Esto es importante ya que la aplicación de lombrhumus inmaduro, puede favorecer el desarrollo de enfermedades criptogámicas y plagas, las cuales pueden dañar a las plantas, además de que afecten en una disminución de la producción (González, 2011). La calidad del humus de lombriz también depende de su granulometría. El más fino se aplica a las plantas con necesidades urgentes, el de granulometría media se utiliza en floricultura y horticultura y el grano más grueso se utiliza en frutales (Fuentes, 1999).

b) Características químicas y biológicas del humus de lombriz

Este abono orgánico incrementa la disponibilidad de elementos como Nitrógeno, Fósforo, Potasio y Azufre. Por otro lado, inhibe el crecimiento de hongos y bacterias que afectan a las plantas. Inactiva los residuos de plaguicidas gracias a su capacidad de absorción. Regula el incremento y la actividad de los nitritos del suelo. Mejora la capacidad de intercambio catiónico (Pérez, 2013). Al igual que la arcilla forma complejos absorbentes (Gros, 1986).

El humus favorece la acción de los abonos minerales, facilitando la absorción de los elementos fertilizantes a través de la membrana celular de

las raicillas. Por lo tanto en presencia de humus la planta puede absorber mayor cantidad de elementos fertilizantes que en su ausencia (Gros, 1986). Sirve de soporte a una multitud de microorganismos, que hacen del suelo un medio vivo. Estos microorganismos, que viven a expensas de él y contribuyen a su transformación, son tanto más numerosos y activos cuanto mayor cantidad existan en el suelo. Frente a las plantas se manifiesta favoreciendo su nutrición mineral. Mediante su descomposición gradual y lenta, por acción de los microorganismos del suelo se puede aprovisionar a las plantas en elementos nutritivos (Navarro y Navarro, 2012).

El mantenimiento del contenido en humus de un suelo a un nivel conveniente es esencial para la conservación de su fertilidad. En los suelos bien cultivados el contenido en humus es normalmente del 1,5 al 2 % pero puede alcanzar valores mayores (Gros, 1986).

Contenido químico. El humus de lombriz tiene duración ilimitada por lo que no se tiene que utilizar con caducidad, en comparación con los fertilizantes utilizados por los productores. En la Tabla 01, el dato colonia significa p. ej. 2×10^2 maíz/gramo significa que por cada gramo de abono vive una comunidad de 2 billones de colonias bacterianas, lo que hace posible su duración (Ferruzzi, 2012).

La acción de la lombriz transforma el nitrógeno contenido en los materiales orgánicos, en nitrato aprovechable para la actividad microbiana. Los productos nitrogenados provienen de las excreciones de orina eliminada a través de los nefridióporos en forma de ácido úrico y amonio (Gonzales, 2011). La mayoría de los nutrientes son absorbidos por las plantas en forma de cationes con carga eléctrica positiva. Los cationes retenidos por el complejo arcilla-humus de carga negativa, son fácilmente absorbidos por la planta (Simpson, 1991).

Tanto las arcillas como el humus poseen carga eléctrica negativa siendo esta la razón de que atraigan cationes, cargados positivamente, entre

los que figuran varios iones de importancia como el Potasio (K^+), Magnesio (Mg^+), Calcio (Ca^{++}) y micro elementos. La cantidad de cationes que pueden ser absorbidos por una arcilla o por un determinado tipo de humus (expresado en mili equivalencias por cien gramos) se denomina Capacidad de Intercambio Catiónico (CIC). Su valor es muy variable según de la arcilla o de humus de que se trate. Un humus totalmente descompuesto tiene una capacidad de intercambio catiónico (CIC) máxima siendo tres veces superior a la de la mejor arcilla (la montmorillonita) (Simpson, 1991).

Los nutrientes se hallan unidos al complejo de intercambio catiónico con la suficiente solidez como para resistir el lavado. El lavado de cationes es más intenso en zonas de elevada pluviosidad, de bajas temperaturas y en suelos con escasa capacidad de intercambio catiónico (Simpson, 1991).

Tabla 01: análisis químico de tres muestras de humus de lombriz

PARAMETRO	MUESTRA	MUESTRA	MUESTRA
	1	2	3
Humedad (%)	58.52	45.81	42.62
pH	7.11	7.54	7.23
Sustancias orgánicas (%)	44.82	56.37	57.09
Nitrógeno (%)	1.73	2.15	2.04
Fósforo (%)	1.42	1.81	3.48
Potasio (%)	1.44	2.18	1.52
Calcio (%)	6.74	9.21	9.01
Magnesio (%)	0.98	0.75	0.92
Carga bacteriana (colonias por gramo)	2.0×10^2	5.0×10^5	1.3×10^8

Fuente: Ferruzzi (2012)

1.1.1.2. Obtención del humus de lombriz líquido

El humus de lombriz líquido contiene la concentración de los elementos solubles más importantes presentes en el humus de lombriz sólido. Se obtiene tratando el material orgánico con agua, separando la solución enriquecida por diferentes vías como decantación, lixiviación, etc de la parte sólida. Almaguer *et al.* (2012) sugieren utilizar el método de lixiviación como el más eficiente. Además indican realizar la lixiviación utilizando un embudo con capacidad para 20 kg, depositan el humus sólido en el mismo y saturando con agua a razón de 5 lt de agua por kg de humus, colectando luego el humus lixiviado en otro recipiente.

Villa (2010) sugiere preparar las aspersiones foliares de humus líquido a razón de 6 lt de humus por mochila de 16 lt de capacidad, o sea una proporción de 1:2.66. Según él, la dosis de humus líquido más recomendable por planta es de 15 ml en condiciones de maceta de 5 kg de capacidad, equivalente a 2390.4 lt ha⁻¹.

a) Ventajas y desventajas de la fertilización orgánica

Los abonos orgánicos repercuten directamente en las propiedades del suelo como la porosidad, textura, la capacidad de infiltración, consistencia y color, logrando de esta forma incrementos en los rendimientos de los cultivos (González, 2011). Según Hernández *et al* (2005) los tratamientos con abonos orgánicos de biosólidos y estiércol de bovino muestran la mayor producción de forraje envase seca, en comparación con los tratamientos con fertilizante químico y sin fertilizante.

La materia orgánica contribuye a mejorar las características físicas y químicas del suelo y a mejorar la estructura, textura e incrementa la capacidad de intercambio catiónico y aporta elementos nutritivos, todo lo anterior permite un mejor desarrollo radicular, mayor absorción de agua y sales minerales (González, 2011). Cabe resaltar que la aplicación de abonos orgánicos son una alternativa de fertilización viable para alcanzar niveles de

calidad óptimos en la producción de algunos cultivos y sin contaminar el medio ambiente (Fortis *et al.*, 2009).

Álvarez *et al.* (2014) mencionan que adicionar abonos orgánicos al suelo afecta el crecimiento de plantas de trigo como es la altura, el peso seco de la raíz, paja, grano y el peso total, además mencionan que el máximo rendimiento del cultivo se alcanza cuando la proporción de tierra: abono es menor, ya que dosis mayores ocasionan un efecto en detrimento del crecimiento del cultivo. Ochoa *et al.* (2013) al trabajar con té de composta en la producción de tomate mencionan que el rendimiento obtenido por los tratamientos orgánicos, tanto el de composta como el sustrato de composta, tuvieron un rendimiento inferior comparado con el uso de una solución nutritiva convencional, el té de composta aportó los nutrimentos requeridos para el cultivo de tomate aunque el rendimiento y el tamaño de fruto se vieron limitados.

2.1.2. El maíz

Desde el punto de vista biológico y genético, el maíz blanco es muy similar al amarillo. Se estima que la producción mundial actual de maíz blanco es de unos 65-70 millones de toneladas, cantidad que representa el 12-13 % de la producción mundial anual de todos los tipos de maíz. Más del 90 % del maíz blanco se produce en los países en desarrollo, donde representa la cuarta parte de la producción total de maíz y un poco menos de dos quintas partes de la superficie total de maíz. Se estima que la producción mundial de maíz blanco se ha expandido según una tasa de 2,4% anual entre 1979-1981 y 1989-2005 y la producción mundial ha continuado creciendo (Byerlee, 2010).

El maíz blanco Urubamba se cultiva desde tiempos antiguos, en la zona del Cusco, donde el manejo cultural del hombre ha influido en la calidad y características especiales de este producto. Desde la época pre inca hasta la actualidad se ha mantenido las prácticas culturales relacionadas como el proceso productivo y muchas formas de uso y

consumo. Esta variedad de maíz es más abundante en el departamento del Cusco (Perú), entre las provincias de Calca y Urubamba, desde el distrito de San Salvador hasta el centro poblado de Chilca en el distrito de Ollantaytambo. Ocupa aproximadamente 70 km de longitud a ambos márgenes del río Vilcanota o Willka mayu (río sagrado) a esta zona se le denomina Valle Sagrado de los Incas.

Huerta (2013) sostiene que esta variedad de maíz produce en las altitudes entre los 2 600 y los 3 050 msnm, con una temperatura templada que favorece el cultivo de este y otros productos. En el antiguo Perú, a este territorio se le conocía como “Qheswa”, que significa tierra templada de fondo de valle. Las provincias de Calca, distritos de: San Salvador, Písac, Taray, Coya, Lamay y Calca, y en la provincia de Urubamba, distritos de: Urubamba, Huayllabamba, Ollantaytambo, Yucay, y Maras son las que cultivan con mayor frecuencia. El nombre de maíz blanco corresponde al color del grano y se denomina gigante por el excepcional tamaño grande de sus granos. La denominación “Maíz Blanco Gigante Cusco” se usa desde 1950 por los productores del Valle Sagrado de los Incas, anteriormente se le conocía con el nombre de Maíz Blanco.

Posteriormente, luego de constatar el significado del nombre quechua con el cual se le conocía desde la antigüedad, se le agregó el término “Gigante”. Este nuevo término resulta de analizar el nombre quechua “paraqaysara”, el cual significa maíz (“sara”) y “*paraqay*” que describe además del color blanco, las características de: grano grande, harinoso y de textura suave, de forma aplanada, alimento nutritivo que satisface el hambre. Este nombre antiguo define de manera más amplia las características del producto, esto sumado al lugar geográfico de procedencia, contribuyó a la formación del nombre actual: Maíz Blanco Gigante Cusco. Los nombres quechuas asociados a este producto: es “sara”, “*Paraqay Sara*”: Maíz blanco de granos grandes y anchos. “*Paracay Sara*”: Maíz blanco y tierno “*Wayunqa*” : Mazorca de maíz que no ha

desarrollado y es un envoltorio de hojas denominadas “*panqas*”, hojas del maíz que cubren la mazorca.

2.1.2.1. Requerimientos edafo-climáticas del maíz

a) Clima

Pedrol *et al.* (2012) afirman que la temperatura para la siembra del maíz es de 10 °C, la temperatura óptima para el desarrollo del ciclo vegetativo y reproductivo es de 18 °C como mínimo. Temperaturas altas aceleran las etapas de desarrollo, lo que puede limitar el crecimiento. La temperatura afecta más a la tasa de crecimiento del cultivo (que es máxima entre 28 a 31 °C si no hay restricciones de otros recursos). Noches cálidas no son beneficiosas para el maíz, pues la respiración es muy activa y la planta utiliza importantes reservas de energía a costa de la fotosíntesis realizada durante el día. Si las temperaturas son excesivas durante la emisión de polen y el alargamiento de los estilos puede producirse problemas de aborto.

Por otro lado, las temperaturas muy bajas y heladas antes de la maduración sin que haya producido la total transformación de los azúcares del grano en almidón, se interrumpe el proceso de forma irreversible, quedando el grano blando y con un secado mucho más difícil, ya que cuando cesa la helada, los últimos procesos vitales de la planta se centran en un transporte de humedad al grano.

Rosso *et al.* (1999) en encontraron para la localidad de Oliveros una alta asociación (r^2 : 0.94) entre lluvias de diciembre y enero con rendimientos de maíz. Son frecuentes en esta área déficits hídricos de diferente intensidad en dichos meses. Las estimaciones de las necesidades de agua en maíz oscilan entre 500 y 600 mm, dependiendo de la fecha de siembra, ciclo del cultivar y condiciones climáticas del año. El periodo con mayor exigencia de agua, es el que va desde 15 días antes hasta 30 días después de la floración. Un "stress" causado por deficiencia de agua en el período de floración puede ser motivo de una merma del 6 al 13 % por día, en el

rendimiento final. Esa pérdida se reduce al 3-4 % por día si el "stress" ocurre en otros períodos. Cuando la hoja se seca, aproximadamente 30 a 35 días después de la floración, el cultivo no debería recibir más agua. Como es lógico, la exigencia de agua varía según la fase del cultivo; esa exigencia se puede expresar bajo forma de un coeficiente, producto de la relación entre la evapotranspiración del cultivo y la evapotranspiración potencial (Pedrol, 2012).

Melchiorri (2013) afirma que la radiación solar también es otro factor importante, es fuente de energía para la planta cuando ésta se independiza de la semilla que le dio origen. Cuando no hay restricciones de agua y nutrientes, este recurso puede tornarse limitante para alcanzar altos rendimientos. Con frecuencia se utiliza el Cociente Foto térmico (Q), que es la relación entre la cantidad de energía incidente y la temperatura, para caracterizar un ambiente. A mayor cociente foto térmica mejores condiciones para generar rendimiento, ya que implica alta radiación y/o temperaturas relativamente bajas, que aseguran una adecuada duración de las etapas de desarrollo.

b) Suelos

Canales (1999) sostiene que el maíz se adapta a diferentes tipos de suelos. Prefiere pH comprendido entre 6 y 7, pero se adapta a condiciones de pH más bajo y más elevado, e incluso se da en terrenos calizos, siempre que el exceso de cal no implique el bloqueo de micro elementos. FAO (Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y Alimentación - 2014) recomienda suelos franco-limosos o franco-arcillosos, fértiles y profundos, ricos en materia orgánica con una buena capacidad de retención de agua, pero bien drenados para no producir encharques que originen asfixia radicular. Cook (1989) menciona que el maíz no crece y se desarrolla en una amplia gama de estos produciendo mejor en suelos franco arcillosos, bien drenados, el contenido de materia orgánica sea abundante además que tenga una buena disponibilidad de nutrientes, asimismo se debe descartar

para su cultivo suelos arcillosos, pesados y fríos por poseer condiciones adversas de aireación y permeabilidad.

c) Requerimientos nutricionales del maíz

Los nutrientes más limitantes de la producción de maíz son el Nitrógeno, Fósforo, Potasio y Azufre, una deficiencia de alguno de ellos podría afectar drásticamente a los rendimientos. Al igual que en otros cultivos la necesidad de azufre del maíz es más baja en relación al requerimiento del nitrógeno, y similar a la del fósforo. La siguiente tabla muestra los requerimientos de nutrientes de este cultivo (Álvarez *et al*, 2014):

Tabla 02: Requerimiento, índice de cosecha y exportación en grano de nitrógeno, fósforo y azufre del cultivo de maíz

Nutriente	Requerimiento (kg t ⁻¹)	Índice de cosecha	Exportación (kg t ⁻¹)
Nitrógeno	22	0,68	15
Fósforo	4	0,75	3
Potasio	19	0,21	4
Azufre	4	0,25	1

Fuente: IPNI (2009)

Bonilla (2010) afirma que el maíz absorbe casi todo el nitrógeno en forma de NO₃, pero este sólo se almacena en el suelo en pequeñas cantidades, a causa de la lixiviación y desnitrificación. Otros nutrientes fundamentales son el fósforo y el potasio, los que generalmente se aplican al momento de la siembra. La relación en cuanto a necesidades de N, P y K es de 1.00:0.38:1.19 respectivamente. En cuanto al fósforo, la mayor cantidad que la planta necesita es absorbida continuamente por intercepción radicular en forma de H₂PO₄ y HPO₄. El periodo crítico de su utilización por la planta, se extiende desde la germinación hasta los 45 días. En lo que respecta al Potasio (K), el cultivo de maíz de 10 t/ha toma más de 100 kg/ha, la mayor

disponibilidad de nitrógeno incrementa los requerimientos de K. Así también la planta toma el S en forma de SO_4 .

d) Absorción de nutrientes y producción de biomasa vegetal en plantas de maíz

En las últimas décadas, el cultivo de maíz ha presentado un incremento continuo en productividad, como resultado de un conjunto de prácticas de manejo implementadas, junto con el progreso del mejoramiento genético. Este incremento en productividad trae aparejado un aumento de la materia seca total y, en consecuencia, de la acumulación o absorción de nutrientes (Karlen *et al.*, 1987). El requerimiento de N de maíz varía con el rendimiento del cultivo y los factores que gobiernan la determinación del mismo (clima, genotipo, prácticas de manejo). Así como el Nitrógeno, el Fósforo también es indispensable para el metabolismo de la planta porque está relacionado con el crecimiento, transferencia genética y otros procesos metabólicos en la planta (Ciampitti *et al.*, 2010).

Según reportes del Andrade *et al.* (1996), un buen rendimiento de maíz requiere absorber muchos nutrientes. Actualmente se conoce mucho sobre cómo crece y acumula nutrientes. La tabla 03, muestra la absorción total de nutrientes y la producción de materia seca en el grano y en el tallo de un cultivo de maíz que rindió 11 t ha^{-1} .

Tabla 03. Absorción de nutrientes por el cultivo de maíz con rendimiento de 11 t ha^{-1}

	N	P₂O₅	K₂O	Mg	S	Materia seca
Grano	190	78	54	18	16	9 774
Tallo	78	34	215	38	18	8 960

Fuente: Andrade *et al.* (1996)

El 43 % de sus requerimientos de N se da en los primeros 50 días. Es durante esta época que las hojas se desarrollan y la planta está formando la espiga y las futuras mazorcas pero antes de la formación del grano y elote

definitivo. La tasa de absorción de N máxima es de 4 kg/ha/día, esto es alrededor de 40 días después de la emergencia. En este momento se debe asegurar la suficiente cantidad de N en el cultivo. Después, durante la formación del elote son necesarios aproximadamente 153.4 kg de N/ha.

En cuanto al fósforo, el maíz absorbe el 30 % de su requerimiento de P_2O_5 durante los primeros 50 días. Este elemento es vital para el desarrollo inicial de la raíz y la plántula. La absorción de P_2O_5 depende en gran medida de la temperatura del suelo y humedad. En lo que respecta al K_2O , el maíz absorbe cerca del 75 % de su requerimiento durante los primeros 50 días. La tasa de absorción de K máxima es de 5 kg/ha/día durante el segundo periodo de crecimiento de 25 días. El K es vital para el buen funcionamiento de los estomas de la hoja, en la producción y translocación de azúcares a toda la planta y especialmente a los elotes en desarrollo (Bremmer, 1965).

Valladares (2014) afirma que el maíz tiene una estrecha relación entre rendimiento y la producción de biomasa aérea, la cual depende de la cantidad de radiación fotosintética activa interceptada por el canopeo. Al principio incrementa su peso lentamente, a medida que produce más hojas y al estar expuestas a la luz del sol, la velocidad con la que se acumula la materia seca se incrementa rápidamente. Las hojas se desarrollan antes que otros órganos superficiales como el tallo, elote, flor, etc. Cuando la planta tiene alrededor de 10 hojas, la velocidad de acumulación de materia seca es rápida. Esta velocidad de acumulación de materia seca en las partes aéreas de la planta es constante a través del tiempo, casi hasta la madurez de la planta.

La materia seca producida en la planta consiste en materiales orgánicos que resultan de la fotosíntesis y de los procesos subsecuentes, requieren de los elementos químicos. Durante las épocas tempranas de crecimiento, el sistema radicular es pequeño y muchas veces el suelo está frío, lo que limita la absorción de nutrientes. La determinación del patrón de acumulación y absorción de nutrientes en diferentes periodos de crecimiento

de los cultivos, podrían ser de utilidad en la determinación de las épocas más apropiadas de fertilización y aplicación de nutrientes, y con ello incrementar la eficiencia de su utilización e incremento en la producción de los cultivos.

Se ha encontrado que el fraccionamiento de la dosis de N, afecta el patrón de absorción del elemento durante el ciclo de cultivo, y aplicaciones de N después de 6 semanas redujo el rendimiento (Reeves *et al.*, 1993). Otros factores como déficit y/o excesos de agua durante el ciclo de cultivo, y propiedades o características del suelo como pH, disponibilidad de nutrientes entre otros, afectan la utilización de nutrientes por el cultivo y la eficiencia de uso de las diferentes fuentes de Nitrógeno.

Delgado (2002) señaló que las máximas tasas de absorción de N por el maíz ocurren en los primeros 45 días del ciclo de cultivo. Y las deficiencias hídricas en la etapa de floración y llenado de granos, lo cual posiblemente no afecten a la absorción de N, pero si la acumulación de materia seca. Waldren (1983) indica la notable sensibilidad del maíz a déficit hídrico durante la etapa de floración y llenado de grano. Por otro lado, Delgado (2004) en otro de sus trabajos vio que el 60 % de la materia seca se acumula en los primeros 60 días después de la siembra con una tasa de absorción máximos de $440 \text{ kg ha}^{-1} \text{ día}^{-1}$.

La biomasa radical del maíz se compone de dos tipos de raíces: raíces seminales que se originan del embrión (temporáneos), y raíces adventicias que se originan del tallo después de la germinación (permanentes). El sistema seminal puede persistir y ser funcional durante toda la vida de la planta (Fox *et al.*, 1986). El sistema adventicio empieza a desarrollarse cerca de VE (emergencia del coleóptilo a la superficie) y las primeras raíces empiezan a alongarse a partir del primer nodo durante V1 (primera hoja visible). Dado que la radícula y las raíces seminales laterales comienzan el crecimiento directamente de la semilla, la profundidad a la cual se desarrollan inicialmente depende de la profundidad de la siembra. El

crecimiento de estas raíces decrece después de VE y es casi inexistente en el estado V3 (Ritchie *et al.*, 1986). Las raíces adventicias, al igual que las seminales, crecen primero horizontalmente y después en profundidad. Si la temperatura del suelo aumenta, hay menor crecimiento horizontal. El crecimiento horizontal puede abarcar un área de 2.5 m de diámetro (Fox *et al.*, 1986).

2.2. ANTECEDENTES

Existen investigaciones que estudiaron los efectos del abonamiento orgánico sobre el crecimiento y desarrollo tanto de la parte aérea, radical y rendimiento de los cultivos, así tenemos.

Blessing y Hernández (2008) en “Comportamiento de variables de crecimiento y rendimiento en maíz (*Zea mays* L.) Variedad NB-6 bajo prácticas de fertilización orgánica y convencional en la finca el Plantel 2007-2008” donde evaluaron variables del crecimiento y rendimiento como: altura de planta, diámetro de tallo, número de hojas, área foliar, longitud de mazorca, diámetro de mazorca, número de hileras por mazorca, número de granos por hilera, número de granos por mazorca, peso de mil granos y rendimiento. Ellos reportaron diferencias significativas entre las variables de crecimiento tomadas en diferentes momentos, así también variables de rendimiento como longitud y diámetro de mazorca que fueron las determinantes para las diferencias de rendimiento entre los tratamientos. Los mayores rendimientos, así como las mayores acumulaciones de materia orgánica en los suelos fueron obtenidos con el manejo orgánico que con manejo convencional. Dentro de los abonos orgánicos usaron humus de lombriz en sus formas sólida y líquida, sobresaliendo las aplicaciones en líquidas que las formas sólidas.

Almaguer y López (2014) utilizaron ensayos de macetas para comparar dos métodos de aplicación de humus líquido utilizando al maíz como planta indicadora. Ellos reportaron que las concentraciones de P_2O_5 y K_2O en el suelo aumentaron con aplicaciones del biofertilizante en el suelo y

no con aplicaciones en la parte foliar de la planta. El efecto de las aplicaciones foliares se vieron en la velocidad de crecimiento del maíz, que fue superior con aplicaciones foliares. Las concentraciones foliares de NPK se incrementaron tanto con aplicaciones al suelo como a la planta; sin embargo, sugieren que este trabajo se debe volcar en el campo donde existen otros factores que interaccionan e influyen sobre los resultados.

Jerónimo y Larios (2003) realizaron un estudio en dos áreas experimentales para comparar el uso de fertilizante mineral completo (12-30-10) y tratamientos orgánicos utilizando humus de lombriz líquido (20 y 10 lt/ha). Ellos informaron que aplicaciones foliares de 20 lt/ha eran los indicados para aumentar los rendimientos y resultó ser la más rentable reflejando una ganancia de 1.21 dólar por cada dólar invertido en el tratamiento.

Almaguer, Reyes y Reyes (2012) realizaron un trabajo titulado "Evaluación del efecto del humus líquido obtenido por tres métodos, en condiciones de maceta y de campo, utilizando maíz (*Zea mays* L.) y remolacha azucarera (*Betta vulgaris* L.) respectivamente. Ellos utilizaron 3 métodos para obtener las soluciones de humus líquido por decantación, lixiviación y té de humus, usaron como control al humus sólido. Reportaron que el método por lixiviación fue el mejor tanto en condiciones de maceta y campo.

En investigación en macetas de fertilización orgánica foliar en maíz llevada a cabo por Cracogna *et al* (2000) no encontraron efecto benéficos de la pulverización de extracto de humus de lombriz líquido sobre el cultivo de maíz.

Otros investigadores han demostrado que el rendimiento de los cultivos de grano guardan relación con la materia orgánica de suelos, y que los incrementos de la fracción orgánica en el suelo son mayores con el abonamiento orgánico que con labores convencionales (Ladha *et al.*, 2003;

Reussi Calvo, 2013; Divito *et al.*, 2011). Lo cual sustenta los tratamientos de humus de lombriz líquido realizado al suelo en este trabajo.

2.3. HIPÓTESIS

Hipótesis de investigación (H_i)

Existe efecto diferencial de los dos métodos de aplicación de humus líquido en la producción de biomasa vegetal y en el rendimiento del cultivo de maíz (*Zea mays L.*) variedad Blanco Urubamba.

Hipótesis específicas:

- a. Existe diferencia significativa entre los dos métodos de aplicación de humus líquido en la producción de biomasa aérea y radical de las plantas del cultivo de maíz variedad Blanco Urubamba.
- b. Los componentes del rendimiento del cultivo de maíz, variedad Blanco Urubamba son afectados por los dos métodos de aplicación de humus líquido.

2.4. SISTEMA DE VARIABLES

Variable independiente : Métodos de aplicación de humus líquido

Variable dependiente 1 : Biomasa vegetal (materia seca) del maíz

Indicadores:

Biomasa aérea (materia seca): %

Biomasa radical (materia seca): %

Variable dependiente 2 : Rendimiento

Indicadores : Número de granos por m² (número de granos por mazorca, número de mazorcas por planta y número de plantas por m²): N^o de granos por metro cuadrado, peso de granos (peso de 1000 granos): g

Variable interviniente : Condiciones edafoclimáticas

2.3.1. Definición operacional de variables

Objetivo específico	Variable	Dimensión	Indicador	Definición operacional
Evaluar el efecto de dos métodos de aplicación de humus líquido en la producción de biomasa aérea y radical de las plantas del cultivo de maíz (<i>Zea mays L.</i>) variedad Blanco Urubamba.	Biomasa vegetal	Biomasa aérea (materia seca)	%	Refleja la eficiencia de uso de energía en conversión de carbono que más adelante será fuente importante de asimilados para los granos. Resulta de extraer todo el agua de la parte foliar y se calcula con la siguiente fórmula: $\frac{(\text{peso húmedo} - \text{peso seco})}{\text{peso húmedo}} * 100$
		Biomasa radical (materia seca)	%	Es la materia seca de las raíces de la planta, que sirven de sostén y para la absorción de nutrientes y agua. Resulta de extraer todo el agua de las raíces de la planta y se calcula con la siguiente fórmula: $\frac{(\text{peso húmedo} - \text{peso seco})}{\text{peso húmedo}} * 100$
Medir el efecto de dos métodos de aplicación de humus líquido en las componentes del rendimiento del cultivo de maíz variedad Blanco Urubamba.	Número de granos por m ² :	(a) Número de granos por mazorca,	Nº	Son los parámetros que se usan para calcular rendimiento de granos en términos numéricos. Las componentes más importantes del rendimiento de granos de maíz son: número de granos por m ² y el peso de granos. Del producto de estos dos valores se puede conocer el peso por m ² y por ha. Con el fin de conocer el número de granos por m ² , se medirán: (a) número de granos por mazorca, (b) número de mazorcas por planta, y (c) número de plantas por m ² .
		(b) Número de mazorcas por planta	Nº	
		(c) número de plantas por m ²	Nº	
	Peso de granos	Peso de 1000 granos	g	Para medir el peso de granos, se pesarán 1 000 granos y se hallará el promedio de peso por cada grano.

III. MATERIALES Y MÉTODOS

3.1. LUGAR DE EJECUCIÓN

La investigación se realizó en condiciones edafoclimáticas de Huacrachuco cuya posición geográfica y ubicación política es la siguiente:

Posición geográfica

Latitud Sur : 8° 31` 35”
Longitud Oeste : 76° 11` 28”
Altitud : 2 920 msnm.

Ubicación política

Región : Huánuco
Provincia : Marañón
Distrito : Huacrachuco
Localidad : Huacrachuco

La temperatura promedio es de 17 °C y precipitaciones estacionales. Las temperaturas más bajas se registran en los meses de junio a agosto, estas variaciones hacen que Huacrachuco tenga un clima templado hasta templado frío. El suelo es de origen transportado aluvial con pendiente moderada, poseen una capa arable hasta 40 cm de profundidad. Éste suelo es de uso intensivo donde anteriormente se cultivaron maíz y cebada en condiciones de secano y sin uso de fertilización inorgánica.

3.2. TIPO Y NIVEL DE INVESTIGACIÓN

Tipo de investigación

Aplicada, porque generó conocimientos tecnológicos expresados en métodos adecuados de aplicación de humus de lombriz líquido.

Nivel de investigación

Experimental, porque se manipuló la variable independiente métodos de aplicación de humus y se evaluó sus efectos en la variable dependiente producción de biomasa vegetal (materia seca) y en el rendimiento del maíz y se comparó con dos testigos sin fertilizar y con NPK de origen inorgánico.

3.3. POBLACIÓN, MUESTRA Y UNIDAD DE ANÁLISIS

Población

Constituida por 720 plantas de maíz de todo el experimento.

Muestra

Constituida por 120 plantas de maíz de las áreas netas experimentales (ANE), 10 plantas de cada parcela tomadas en forma aleatoria del ANE.

Tipo de muestreo

Probabilístico en forma de Muestra Aleatorio Simple (MAS), porque cualquiera de las semillas de maíz al momento de la siembra tuvo la misma probabilidad de formar parte de las muestras. Y cualquiera de las planta de maíz del ANE tienen la misma probabilidad de formar parte de la población muestral. La unidad de análisis es la parcela con las plantas de maíz.

3.4. TRATAMIENTOS EN ESTUDIO

Los tratamientos fueron 4 detallados en la siguiente tabla:

Tabla 04: Tratamientos en estudio.

Tratamientos	Características	Concentración de humus liquido (*) en proporción de humus: Agua	Cantidad de humus liquido por cada aplicación/planta
T1 (101, 201, 301)	Sin abonar	--	--
T2 (102, 202, 302)	Aspersiones foliares semanalmente	1:5	50 ml
T3 (103, 203, 303)	Aplicaciones semanales de	1:5	50 ml

	humus líquido al suelo		
T4 (104, 204, 304)	Fertilización con NPK	NPK: 200-40-160	

Fuente: Elaboración propia.

(*)La obtención del humus líquido se realizó por el método de lixiviación, utilizando un embudo con capacidad para 1 kg, en el cual se depositó el humus sólido, luego se saturó y añadió de poco a poco agua 5 lt de agua por cada kg de humus. Se colectó el humus lixiviado en otro recipiente previamente pasado por un tamiz de 2 mm de diámetro. (Almaguer *et al.*, 2012).

3.5. PRUEBA DE HIPÓTESIS

3.5.1. Diseño de investigación.

Experimental, en el Diseño de Bloques Completamente al Azar (DBCA), con 4 tratamientos y 3 repeticiones haciendo un total de 12 unidades experimentales.

El análisis se ajustó al siguiente modelo aditivo lineal.

$$Y_{ij} = u + T_i + \beta_j + \varepsilon_{ij}$$

Donde:

Y_{ij} = Respuesta correspondiente al elemento de la j-ésimo bloque del i-ésimo tratamiento.

u = Media general

T_i = efecto del i – ésimo tratamiento

β_j = efecto del j-ésimo bloque

ε_{ij} = Efecto del error experimental

Se utilizó el Análisis de Variancia (ANDEVA) al 0.05 para determinar la significación estadística entre repeticiones y tratamientos. Para la comparación de los promedios se utilizó la Prueba de Duncan al 0.05 y 0.01 de margen de error, con el Programa Estadístico Infostat versión 2013.

Tabla 5: Análisis de varianza (ANDEVA)

Fuente de variabilidad (FV)	Grados de Libertad (GL)
Tratamientos (t-1)	3
Bloques (b-1)	2
Error (t-1) (b-1)	6
Total tr- 1	11

Fuente: Elaboración propia.

CARACTERÍSTICAS DEL CAMPO EXPERIMENTAL.

Campo experimental:

A: Longitud del campo experimental	: 22.00 m.
B: Ancho del campo experimental	: 14.80 m.
C: Área de calles y caminos (325.60 m ² -230.40m ²)	: 95.2 m ²
D: Área total del campo experimental (22 m x 14.80 m)	: 325.60 m ²
E: Área de unidades experimentales sin calles ni caminos:	102.40 m ²

Característica de los bloques:

A: Número de bloques	: 3
B: Tratamiento por bloque	: 4
C: Longitud del bloque	: 12.80 m.
D: Ancho de bloque	: 6.0 m.
E: Área total del bloque	: 76.80 m ² .
F: Ancho de las calles	: 1 m.

Características de la parcela experimental:

A: Longitud de la parcela	: 6 m.
B: Ancho de la parcela	: 3.20 m.
C: Área total de la parcela (6m.x 3.2m.)	: 19.20 m ² .

D: Área neta de parcela (1.60m. x 2m.) : 3.20 m².

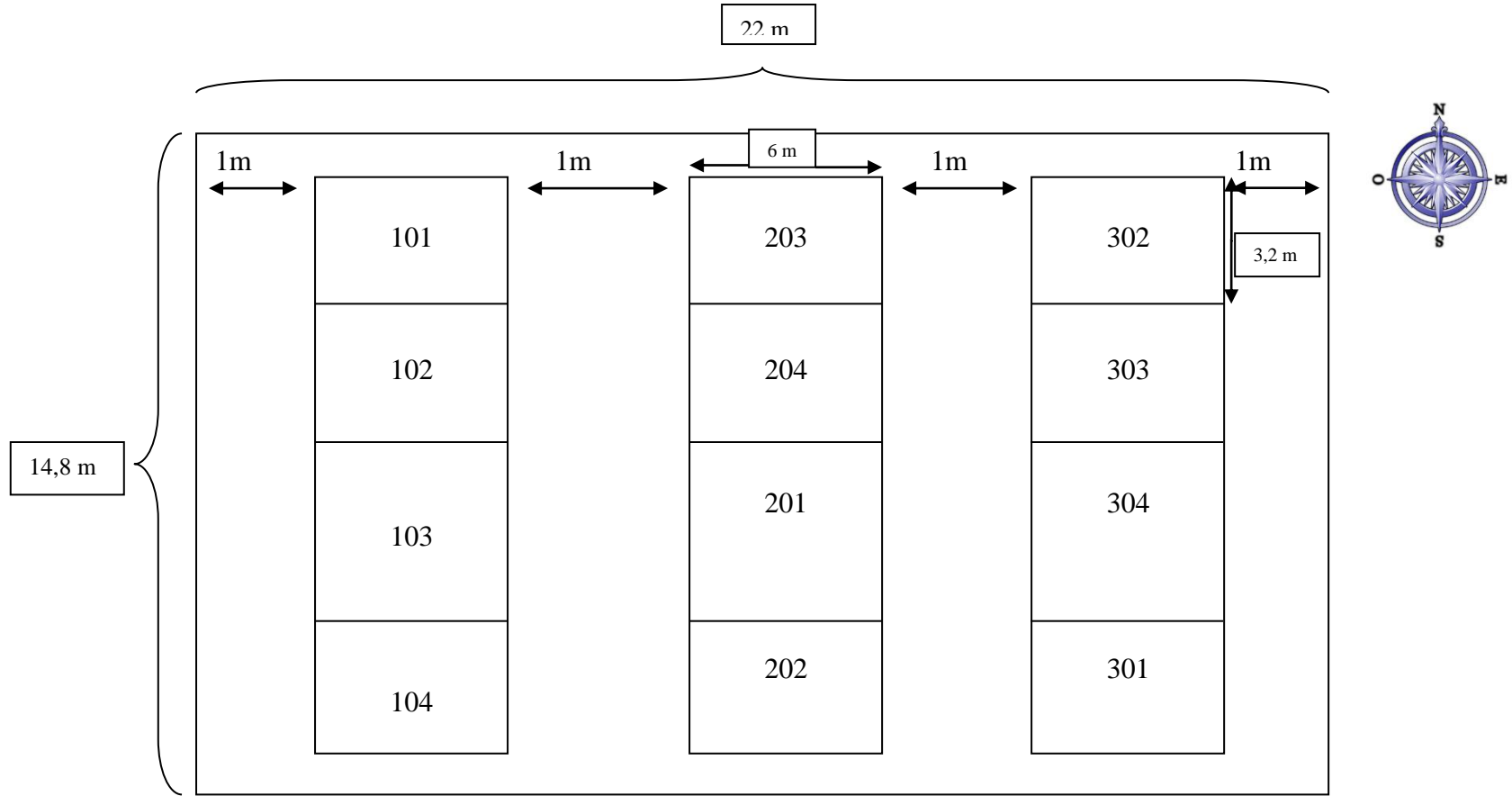
Características de los surcos:

A. Longitud de surcos : 5.6 m.

B. Distanciamiento entre surcos : 0.80 m.

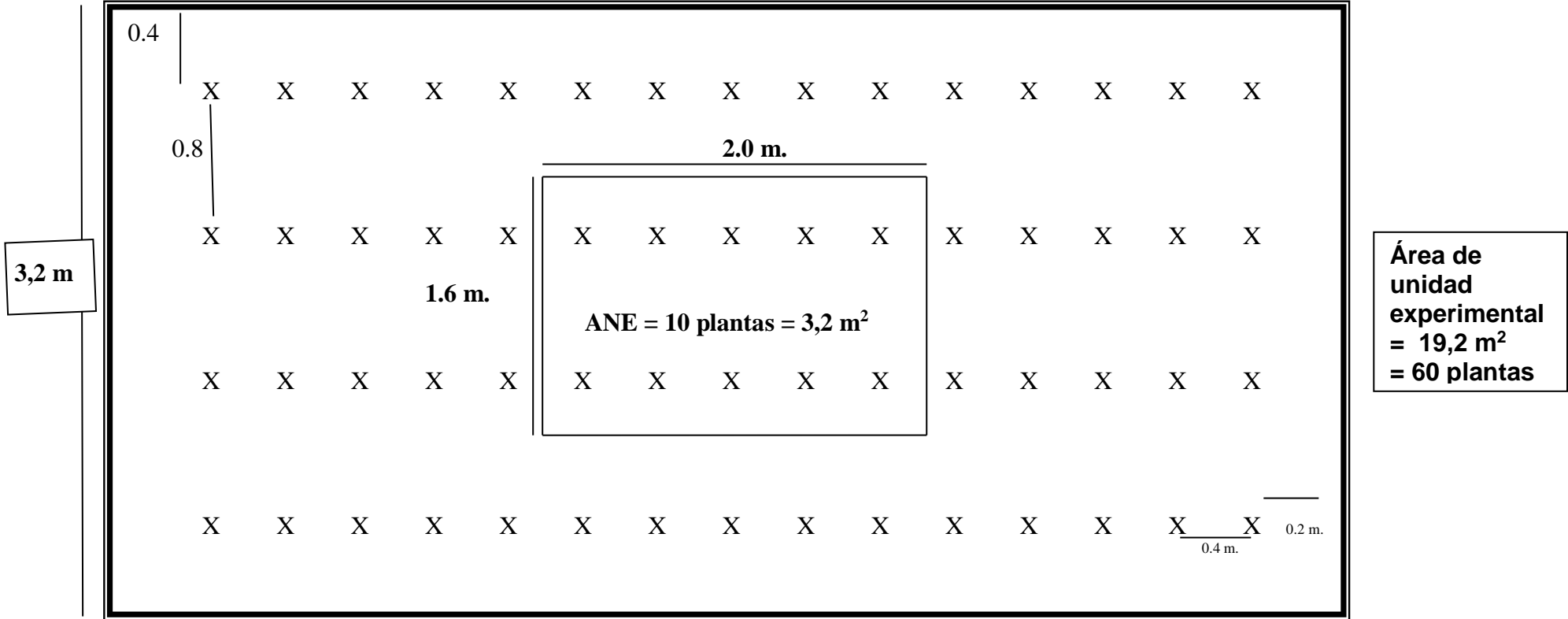
C. Distanciamiento entre plantas : 0.40 m.

CROQUIS DEL CAMPO EXPERIMENTAL



CROQUIS DE LA UNIDAD EXPERIMENTAL

6 m



3.5.2. Datos registrados

3.5.2.1. Biomasa vegetal

a) biomasa aérea (materia seca de la parte foliar).

Se tomó 05 muestras por unidad experimental. El cálculo fue el resultado de la diferencia de pesos fresco y seco de la parte foliar de la planta, cuando llegó la planta a la madurez fisiológica. El secado se realizó al aire libre con el uso de la radiación solar, hasta que las muestras alcanzaron un peso constante. Se calculó en unidades con la fórmula de cálculo siguiente:

$$M. S. = \frac{(\text{peso húmedo} - \text{peso seco})}{\text{peso húmedo}} * 100$$

b) biomasa radical (materia seca de raíces).

Al igual que para la parte foliar, se calculó mediante la diferencia de pesos fresco y seco de raíces de cada planta. Se hizo 5 muestreos por parcela, luego se secó en estufa para obtener el peso seco. La fórmula utilizada fue la misma que para biomasa aérea en unidades de %.

3.5.2.2. Componentes del rendimiento

Se tomó registro de las dos componentes más importantes de los rendimientos, número de granos por m² y peso de granos. Estos componentes del rendimiento de maíz, a su vez provienen de otros parámetros que a continuación se indica:

A) Número de granos por m². Para determinar este valor se registró los siguientes parámetros:

a) Número de granos por mazorca

Se tomó al azar 5 plantas del área neta experimental y se extrajeron las mazorcas para contar el número de granos por mazorca.

b) Número de mazorcas por planta

Se tomó 10 plantas al azar del área neta experimental y se contó el número de mazorcas por planta.

c) Número de plantas por unidad de superficie (m²)

Se contaron las plantas del área neta experimental por metro cuadrado y se obtuvo el promedio.

B) Peso de granos**a) Peso de 1000 granos**

Se tomó al azar 1000 granos de cada unidad neta experimental y se registró su peso, para luego calcular el peso de cada grano.

3.5.3. Técnicas e instrumentos de recolección y procesamiento de la información**A) Técnicas****Análisis de contenido**

Fue el estudio y análisis de manera objetiva y sistemática de los documentos leídos sobre el tema de investigación.

Fichaje

Permitió recolectar la información bibliográfica para elaborar el marco teórico que sustente la investigación.

Observación

Permitió obtener información de las observaciones realizadas directamente sobre las variables dependientes.

B) Instrumentos

Fichas

Donde se registró la información producto del análisis del documento en estudio, estas fueron: Registro o localización (fichas bibliográficas y hemerográficas) y Documentación e investigación (fichas textuales o de transcripción, resumen, comentario).

Libreta de campo

Se registró las observaciones realizadas sobre las variables dependientes, así como las actividades agronómicas y culturales realizadas durante el trabajo de campo.

3.6. CONDUCCIÓN DEL TRABAJO DE CAMPO

3.6.1. Elección y preparación del terreno

El terreno elegido fue plano con buen drenaje para evitar el empozamiento del agua y permitir una buena aireación. La toma de muestras para el análisis de suelo fue a través del método de muestreo en zigzag, de los primeros 20 cm de profundidad. Los análisis físicos y químico se realizaron en la Universidad Nacional Santiago Antúnez de Mayolo – Huaraz. El resultado del análisis químico del suelo se muestra en el Anexo 9.

La cruz del terreno se realizó con tracción animal aprovechando las primeras lluvias, para lograr la germinación de las semillas de malezas y de esa manera eliminarlas. Se realizó con el fin de modificar la estructura del suelo y lograr un ambiente adecuado para la siembra, emergencia y desarrollo del cultivo.

3.6.2. Siembra

Se realizó el 21 de noviembre del 2015. La semilla fue obtenida del Instituto Nacional de Investigación Agraria Santa Ana de Huancayo. La

semilla fue tratada previamente con Thiophanate Methyl a razón de 200 g por 100 kg de semilla, para evitar problemas fúngicos a la siembra se realizó colocando tres semillas por golpe ubicados en las costillas del surco, con distanciamientos de 0.40 m entre plantas y el distanciamiento entre surcos de 0.80 m y a una profundidad de 5 cm.

3.6.3. Deshierbos

Se realizó a los 30 días después de la siembra (21 de diciembre-2015) en forma manual, con el objetivo de favorecer el desarrollo normal de las plantas y evitar la competencia con las malezas en cuanto a luz, agua y nutrientes. Al mismo tiempo se aplicó una segunda fertilización inorgánica a las parcelas con los tratamientos con NPK. Se usó a la urea (46%N) como fuente nitrogenada, al superfosfato triple de calcio (46%P₂O₅) como fuente de fósforo y al cloruro de potasio (60%K₂O) como fuente de potasio.

3.6.4. Abonamiento

La preparación del insumo fue en proporción de 1:5 de humus:agua. Es decir en 6 litros de preparado (insumo) se usó 5 litros de agua y 1 litro de humus líquido. Se realizó aplicaciones semanales a la planta y al suelo según el tratamiento correspondiente. El tratamiento de humus líquido aplicado al suelo se inició desde de la siembra hasta los 40 días de la siembra. El tratamiento de humus líquido aplicado a la planta se inició desde los 8 días después de la siembra hasta los 40 días después de la siembra.

Tabla 6: Cantidad de humus líquido aplicado al suelo y planta.

Tratamiento de aplicación foliar				Tratamiento de aplicación al suelo			
Cantidad de humus por una aplicación por planta (en 50ml de insumo)	Cantidad de humus por una aplicación por parcela de 19.2 m ²	Cantidad de humus por una aplicación por hectárea	Cantidad de humus usado durante todo el experimento (5 aplicaciones)	Cantidad de humus por una aplicación por planta (en 50 ml de insumo)	Cantidad de humus por una aplicación por parcela de 19.2 m ²	Cantidad de humus por una aplicación por hectárea	Cantidad de humus usado durante todo el experimento (6 aplicaciones)
8.33 ml	500 ml	260 lt	2.5 lt	8.33 ml	500 ml	260 lt	3 lt
N=0.17 g P=0.25 g K=0.17 g	N=10 g P=15 g K=10 g	N=5.2 kg P=7.8 kg K=5.2 kg	N=50 g P=75 g K=50 g	N=0.17 g P=0.25 g K=0.17 g	N=10 g P=15 g K=10 g	N=5.2 kg P=7.8 kg K=5.2 kg	N=60g P=90 g K=60 g

Fuente: Elaboración propia.

*Riqueza de humus utilizado: N=2%, P=3%, K=2%.

3.6.2. Riegos

Se realizó riegos de acuerdo a las necesidades hídricas de la planta en forma oportuna.

3.6.3. Aporque

Se realizó cuando la planta alcanzó una altura de 45 cm (09 de enero) a los 20 días después del primer deshierbo, no muy profundo, con el objetivo de favorecer una adecuada humedad del terreno y propiciar un buen sostenimiento del área foliar, para evitar el tumbado y también prevenir el ataque de plagas y enfermedades.

3.6.4. Control fitosanitario

No se tuvo la incidencia de plagas ni enfermedades.

3.6.5. Cosecha

Se realizó el día 28 de mayo de 2016 a los 189 días (6 meses y 7 días) después de la siembra, se realizó en forma manual, cuando los granos completaron su madurez fisiológica, en ese momento se registraron también los datos de los componentes del rendimiento; es decir cuando los granos presentaban en la base un color marrón con tono oscuro y cuando las 3 ó 4 primeras pancas de las mazorcas estaban secas y se abrían por sí solas. Luego se dejó secar en un lugar seco hasta que los granos obtengan un aproximado de 12 a 14 % de humedad.

IV. RESULTADOS

4.1. BIOMASA VEGETAL

4.1.1. Biomasa aérea (materia seca de la parte foliar)

Los resultados del análisis de varianza indican que existió efecto significativo de los tratamientos sobre la biomasa aérea ($p < 0.01$) (**Tabla 6**). El p-valor de tratamientos es inferior a 0.01 por lo cual estadísticamente hubo diferencia entre los tratamientos. Por el contrario, no hubo diferencia significativa entre las repeticiones o bloques porque el p-valor es superior a 0.01 (**Tabla 6**).

Tabla 06: Análisis de Varianza para biomasa aérea (%).

Fuente de Variabilidad	GL	SC	CM	Fc	p-valor
Tratamientos	3	166.06	55.35	10.07	0.009**
Repeticiones	2	24.75	12.37	2.25	0.186 ^{ns}
Error experimental	6	32.99	5.50		
Total	11	223.79			

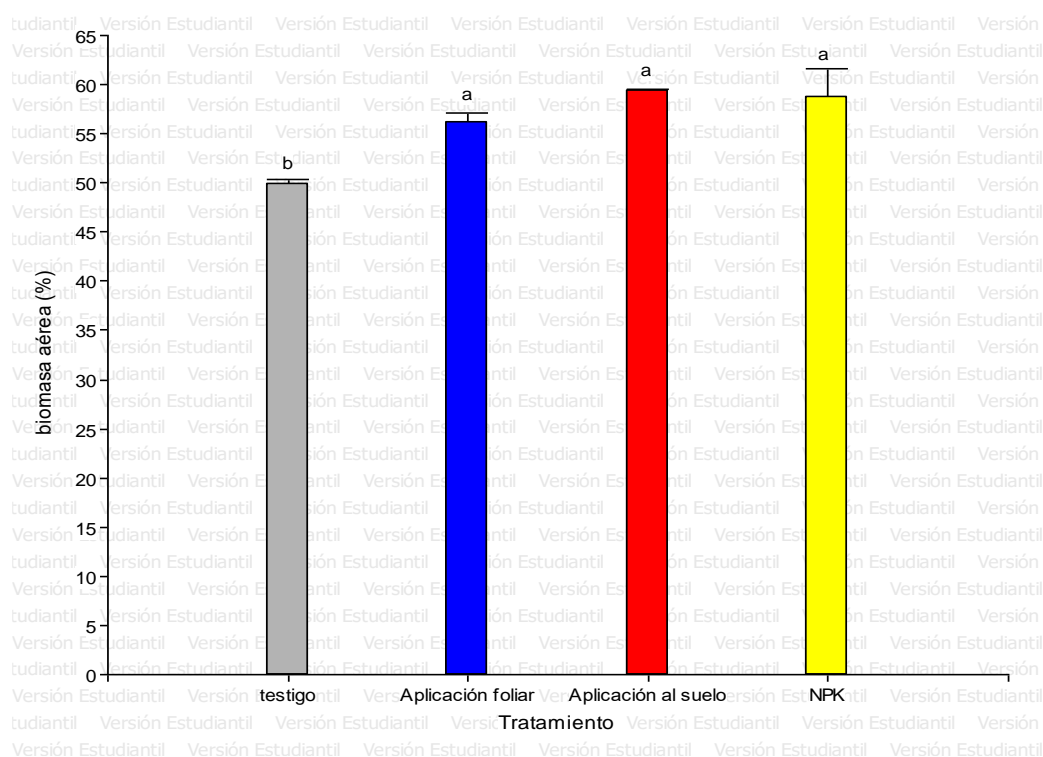
CV = 4.18 %

Sx: = 4.51

El test de Duncan indica que el tratamiento testigo sin abonar es el único tratamiento que presentó el promedio más bajo de biomasa aérea (49.94 %) (**Tabla 7, Figura 1**). Es decir en 100 gramos de biomasa aérea, 49.94 gramos fue materia seca. Vale aclarar que la materia seca es indicador de la eficiencia de uso de recursos (radiación, agua y nutrientes). Para el caso del testigo, la eficiencia de uso de recursos fue del 49.94 %. Los demás tratamientos no fueron distintos entre sí y presentaron promedios de biomasa aérea entre 56.16 % y 59.36 %.

Tabla 07: Prueba de significación de Duncan para biomasa aérea (%)

OM	Tratamientos	Promedio %	Significación	
			0.05	0.01
1°	Aplicación al suelo (T3)	59.36	a	a
2°	NPK (T4)	58.71	a	a
3°	Aplicación foliar (T2)	56.16	a	a
4°	Testigo (T1)	49.94	b	b

**Figura 01:** Biomasa aérea (%) de los tratamientos. Los cambios de letra simbolizan diferencia significativa ($p > 0.05$) entre tratamientos y las barras son el error estándar.

4.1.2. Biomasa radical (materia seca de raíces)

La **Tabla 8** muestra que hubo efecto significativo de los tratamientos sobre la biomasa radical. El p-valor de los tratamientos fue de 0.001 (inferior a 0.01). No así para las repeticiones o bloques, donde no se vio diferencia entre los bloques o repeticiones porque el p-valor es de 0.759 (superior a 0.01).

Tabla 08: Análisis de Varianza para biomasa radical (%)

Fuente de Variabilidad	GL	SC	CM	Fc	p-valor
Tratamientos	3	125.48	41.83	19.03	0.001**
Repeticiones	2	1.26	0.63	0.29	0.759 ^{ns}
Error experimental	6	13.19	2.20		
Total	11	139.93			

CV = 2.76

Sx = 3.57

La **Tabla 09** muestra la diferencia de biomasa radical entre los tratamientos según la prueba de Duncan tanto al 5% y 1%. Sólo el tratamiento testigo sin abonar fue inferior en materia seca de raíces en comparación con los demás tratamientos. Los tratamientos con aplicaciones de humus líquido al suelo, aspersion de humus líquido a la parte foliar y fertilización con NPK no fueron distintos estadísticamente. Sin embargo, el humus aplicado al suelo presentó el valor más alto de biomasa radical (55.74%) (**Tabla 09, Figura 02**). Vale aclarar que la biomasa radical es las materias secas de las raíces, producto de la eficiencia de uso del agua, nutrientes y radiación por las plantas.

Tabla 09: Prueba de significación de Duncan para biomasa radical (%)

OM	Tratamientos	Promedio %	Significación	
			0.05	0.01
1°	Aplicación al suelo (T3)	55.74	a	a
2°	Aplicación foliar (T2)	55.70	a	a
3°	NPK (T4)	55.45	a	a
4°	Testigo (T1)	48.17	b	b

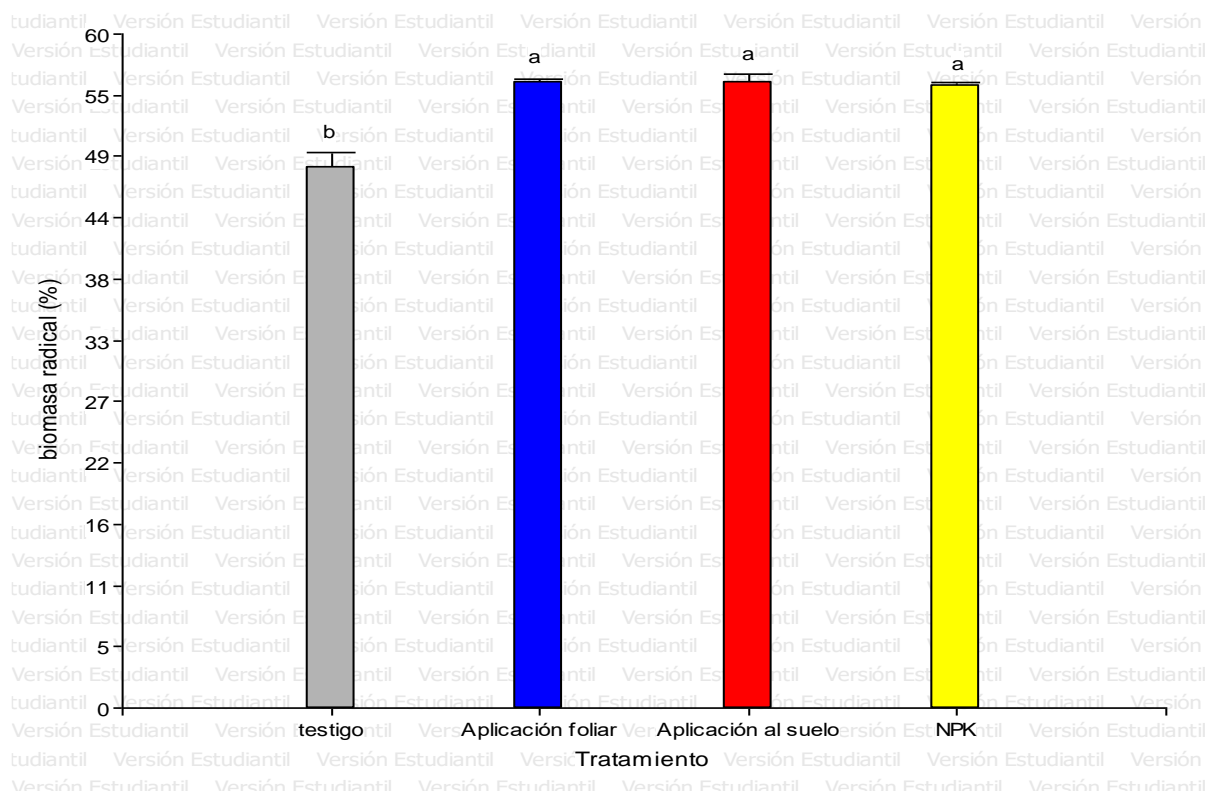


Figura 02: Biomasa radical (%) de los tratamientos. Las letras que no son iguales indican, que existen diferencia significativa ($p>0.05$) entre tratamientos y las barras son el error estándar.

Relación entre el rendimiento y biomasa

Se analizó la relación entre el rendimiento y la biomasa aérea y radical (**Figuras 03 y 04**). El objetivo de estas relaciones es corroborar la eficiencia de uso de recursos (agua, radiación y nutrientes) de las plantas que se traduce luego en rendimiento de granos. Los coeficientes de ajuste de estas relaciones indican que existe una estrecha relación entre la producción de biomasa aérea y radical con el rendimiento de granos obtenidos. Sin embargo, la biomasa radical explicó el rendimiento de granos más que la biomasa aérea. Porque el R^2 de la **Figura 04** es mayor que el R^2 de la **Figura 03**. Lo cual sugiere que de ambas biomasa, la más importante es el crecimiento de las raíces, del cual dependen en mayor grado los rendimientos.

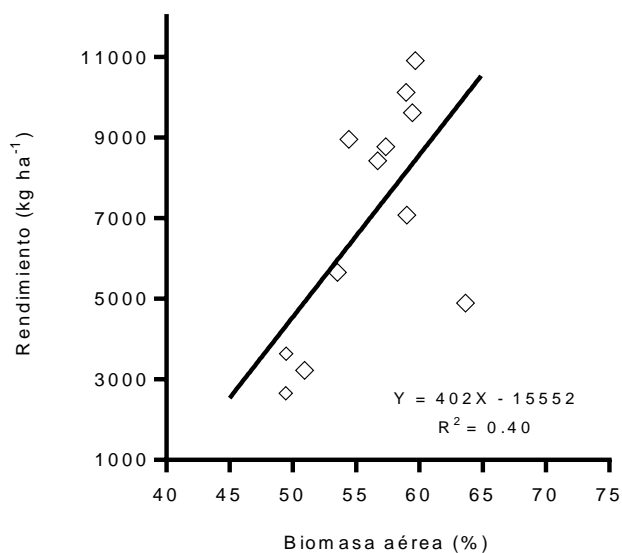


Figura 03: Relación entre el rendimiento y la biomasa aérea.

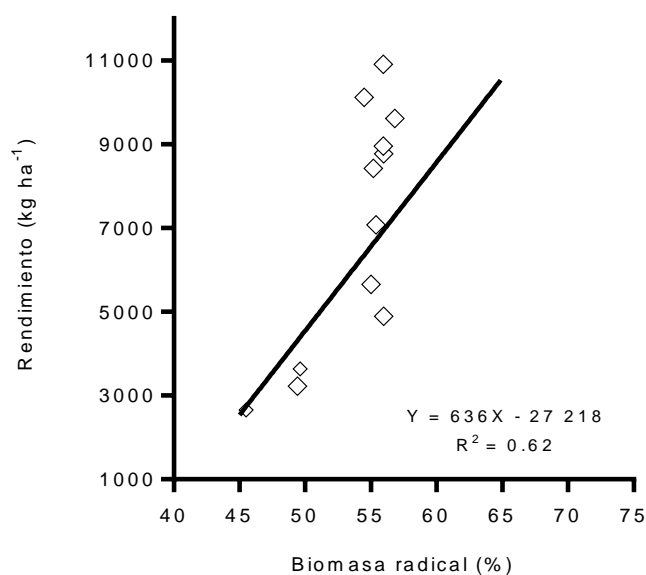


Figura 04: Relación entre el rendimiento y la biomasa radical.

4.2. COMPONENTE DEL RENDIMIENTO

4.2.1. Número de granos por m²

a) Número de granos por mazorca

El análisis de varianza para número de granos por mazorca indica que hubo efecto de los tratamientos de aplicación de humus de lombriz líquido porque el p-valor es menor a 0.01 y no se vio diferencia entre las

repeticiones (**Tabla 10**). El coeficiente de variación (CV) para número de granos por mazorca fue de 6.53%.

Tabla 10: Análisis de Varianza para número de granos por mazorca

Fuente de Variabilidad	GL	SC	CM	Fc	p-valor
Tratamientos	3	25342.12	8447.37	24.41	0.0009 **
Repeticiones	2	457.52	228.76	0.66	0.5502 ^{ns}
Error experimental	6	2076.29	346.05		
Total	11	27875.93			

CV = 6.53

Sx = 50.43

El test de Duncan mostró diferencia entre los promedios de los tratamientos (**Tabla 11**). Tanto al 5 % y 1 % de nivel de significancia se vio que el humus líquido aplicado al suelo y el de aplicación foliar superaron en número de granos por mazorca respecto a los demás tratamientos. El tratamiento testigo ocupó el último lugar (**Figura 05**).

Tabla 11: Prueba de significación de Duncan para número de granos por mazorca

OM	Tratamientos	Promedio No.	Significación	
			0.05	0.01
1°	Aplicación al suelo (T3)	340.53	a	a
2°	Aplicación foliar (T2)	311.00	a	ab
3°	NPK (T4)	270.60	b	bc
4°	Testigo (T1)	218.07	c	c

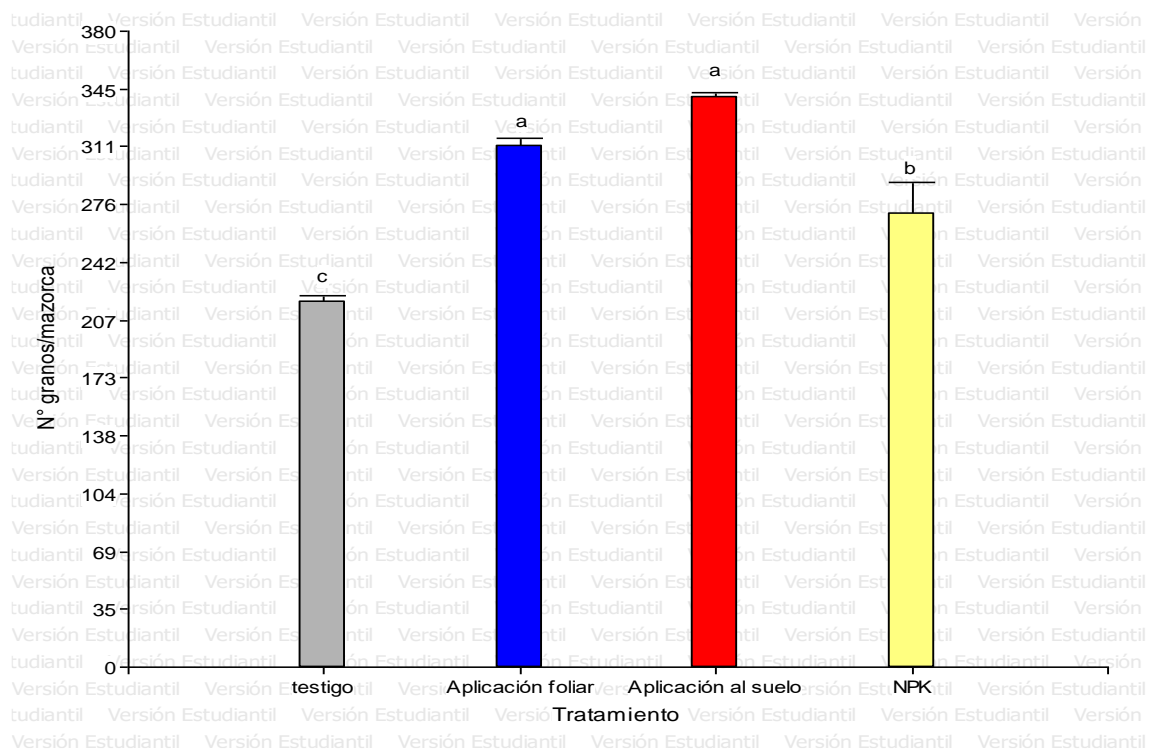


Figura 05: Número de granos/mazorca de los tratamientos. Los cambios de letra simbolizan diferencia significativa ($p > 0.05$) entre tratamientos y las barras son el error estándar.

b) Número de mazorcas por planta

El análisis de varianza para número de mazorcas por planta indicó diferencia significativa entre los tratamientos y no diferencia entre los bloques (**Tabla 12**). El valor p de los tratamientos fue menor a 0.01 lo que significa alta diferencia significativa entre los tratamientos, sin embargo el p-valor de los bloques o repeticiones fue superior a 0.01 por lo que no es significativo estadísticamente. El coeficiente de variación (CV) de número de mazorcas por planta fue de 6.50%.

Tabla 12: Análisis de Varianza para número de mazorcas por planta

Fuente de Variabilidad	GL.	SC.	CM	Fc	p-valor
Tratamientos	3	0.70	0.23	26.13	0.0008 **
Repeticiones	2	0.02	0.01	1.13	0.3847 ns
Error experimental	6	0.05	0.01		
Total	11	0.77			

CV = 6.50

Sx = 0.26

La prueba de Duncan para el número de mazorcas por planta tanto al 5% y 1% de nivel de significación indicó que los tratamientos de aplicación al suelo y a la parte foliar de la planta no fueron distintos entre sí y fueron superiores a los tratamientos testigo sin abonar y al NPK (Tabla 13, Figura 06).

Tabla 13: Prueba de significación de Duncan para número de mazorcas por planta

OM	Tratamientos	Promedio No.	Significación	
			0.05	0.01
1°	Aplicación al suelo (T3)	1.70	a	a
2°	Aplicación foliar (T2)	1.67	a	a
3°	NPK (T4)	1.30	b	b
4°	Testigo (T1)	1.13	b	b

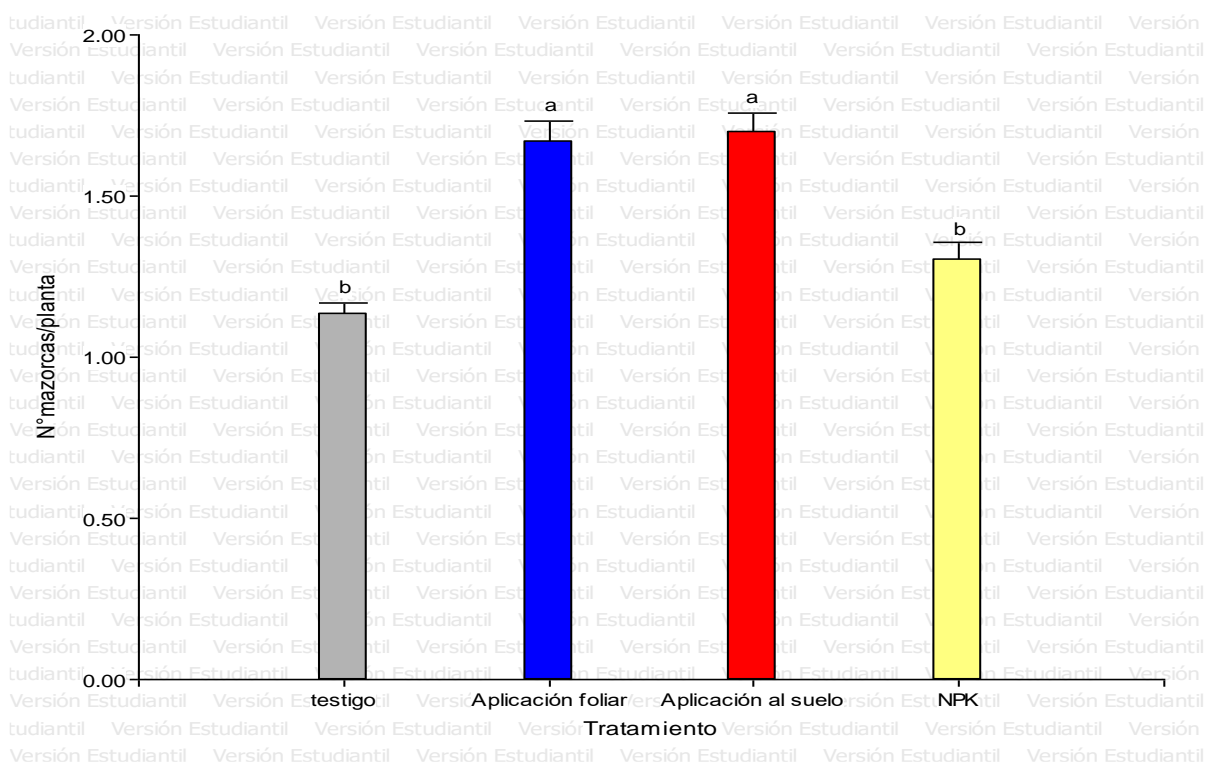


Figura 06: Número de mazorcas por planta por tratamientos. Los cambios de letra simbolizan diferencia significativa ($p > 0.05$) entre tratamientos y las barras son el error estándar.

c) Número de plantas por unidad de superficie (m²)

En el área neta experimental de cada parcela se realizó la medición del número de plantas por m². La **Tabla 14** muestra que no hubo diferencia entre tratamientos, tampoco entre los bloques o repeticiones porque los p-valor de ambas fuentes de variación fueron superiores a 0.01.

Tabla 14: Análisis de Varianza para número de plantas por m².

Fuente de Variabilidad	GL.	SC.	CM	Fc	p-valor
Tratamientos	3	3.58	1.19	2.26	0.1814 ^{ns}
Repeticiones	2	2.17	1.08	2.05	0.2093 ^{ns}
Error experimental	6	3.17	0.53		
Total	11	8.92			

CV = 4.13

Sx = 0.90

El análisis de Duncan corrobora la falta de diferencia del número de plantas por m² entre los tratamientos al no presentar diferencia significativa (**Tabla 15, Figura 7**).

Tabla 15: Prueba de significación de Duncan para número de plantas por m²

OM	Tratamientos	Promedio No.	Significación	
			0.05	0.01
1º	Aplicación al suelo (T3)	18.00	a	a
2º	NPK (T4)	18.00	a	a
3º	Aplicación foliar (T2)	17.67	a	a
4º	Testigo (T1)	16.67	a	a

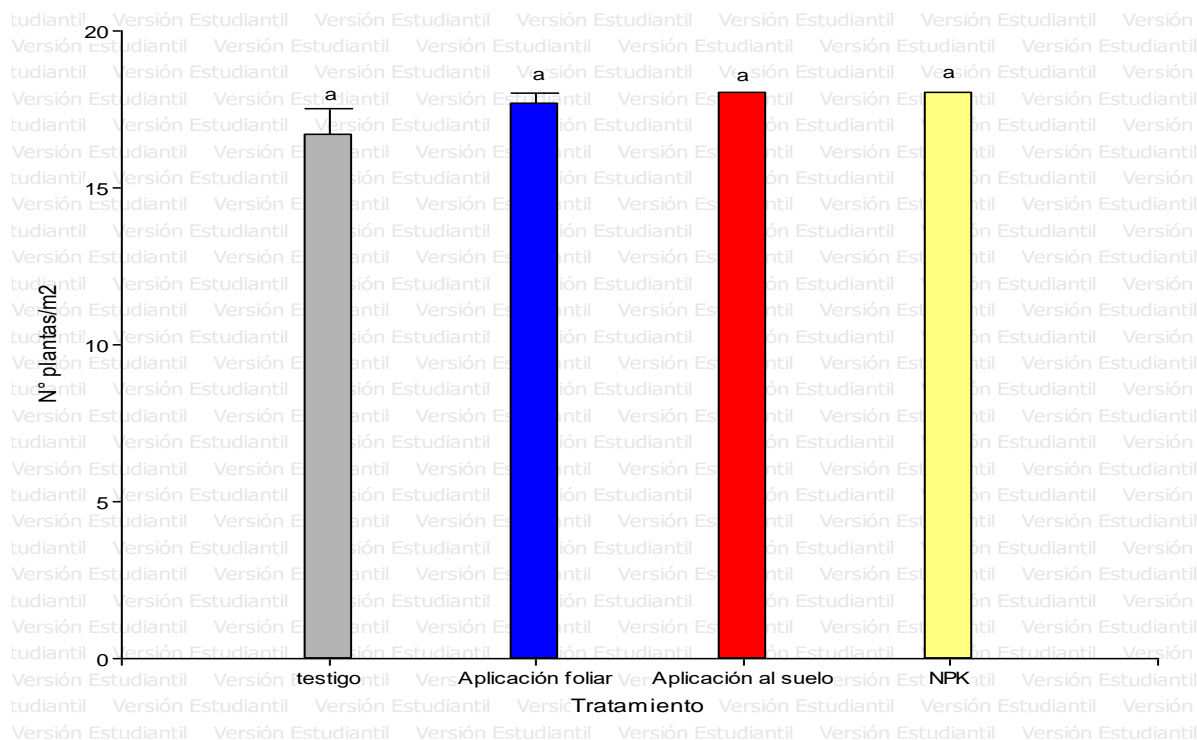


Figura 07: N° de plantas por m² de los tratamientos. Los cambios de letra simbolizan diferencia significativa ($p > 0.05$) entre tratamientos y las barras son el error estándar.

d) Número de granos por m²

A partir de los datos registrados anteriormente como subcomponentes del número de granos por m² se estimó este parámetro usando la siguiente fórmula:

$$\text{N}^\circ \text{ granos/m}^2 = \text{N}^\circ \text{ plantas/m}^2 \times \text{N}^\circ \text{ mazorcas/planta} \times \text{N}^\circ \text{ de granos/mazorca}$$

El análisis de varianza para el número de granos por m² indicó que hubo diferencia entre los tratamientos de aplicación, sin embargo, los bloques no fueron distintos entre sí (**Tabla 16**). El p-valor de los tratamientos fue de 0.0002, inferior a 0.01, lo cual indicó alta significancia. No así para las repeticiones, el p-valor fue de 0.238 indicando un resultado no significativo en cuanto a diferencia entre los bloques (**Tabla 16**).

Tabla 16: Análisis de Varianza para número de granos por m².

Fuente de Variabilidad	GL	SC	CM	Fc	p-valor
Tratamientos	3	71580950.85	23860316.95	42.58	0.0002**
Repeticiones	2	2060975.78	1030487.89	1.84	0.2383ns
Error experimental	6	3361925.12	560320.85		
Total	11	77003851.76			

CV = 9.96

Sx = 2 645.82

La prueba de comparación entre los promedios de los tratamientos indicaron que la aplicación de humus líquido al suelo y a la parte foliar de la planta fueron iguales y superiores al Testigo sin abonar y NPK. Cuando se hizo la comparación entre los tratamientos al nivel de significancia del 5 % (0.05) se vio que el testigo sin fertilizar ocupó el último lugar y los tratamientos con aplicación al suelo y foliar ocuparon los primeros lugares (**Tabla 17, Figura 6**), sin embargo las diferencias entre NPK y Testigo desaparecieron cuando se compararon los promedios al nivel de significancia del 1% (**Tabla 17**).

Tabla 17: Prueba de significación de Duncan para número de plantas por m²

O.M.	Tratamientos	Promedio No.	Significación	
			0.05	0.01
1º	Aplicación al suelo (T3)	10 426.20	a	a
2º	Aplicación foliar (T2)	9 141.60	a	a
3º	NPK (T4)	6 372.24	b	b
4º	Testigo (T1)	4 133.65	c	b

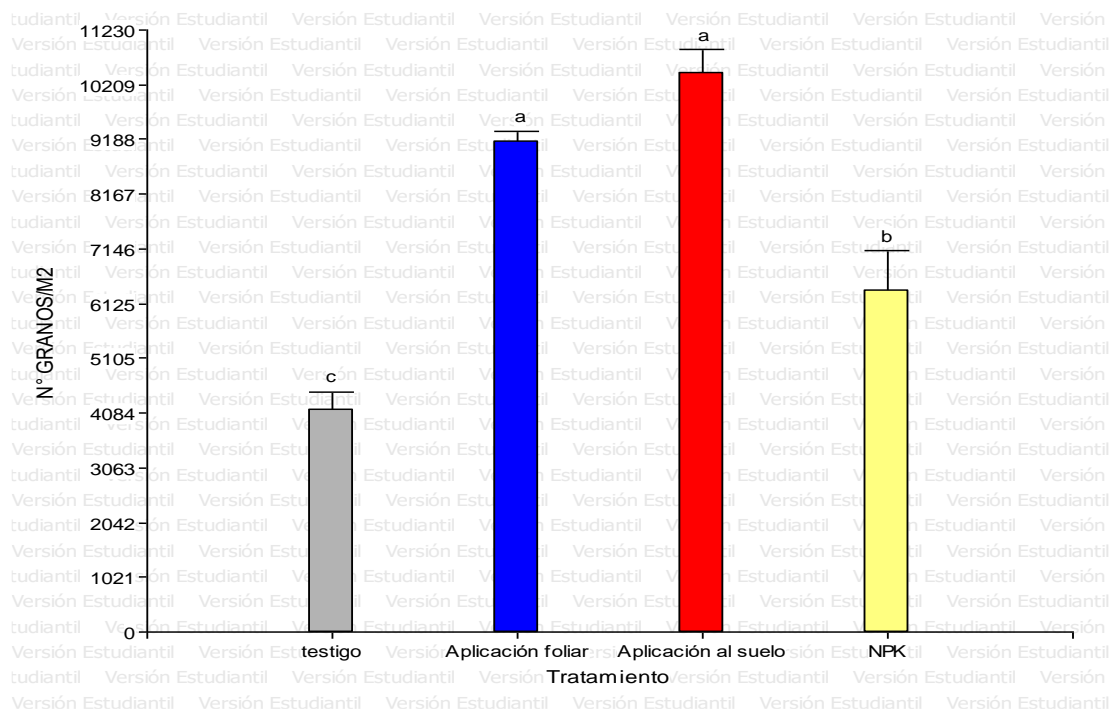


Figura 08: N° de granos por m² de los tratamientos. Los cambios de letra simbolizan diferencia significativa ($p > 0.05$) entre tratamientos y las barras son el error estándar.

4.2.2. Peso de granos

a) Peso de 1 000 granos

La **Tabla 18** muestra el análisis de varianza para el peso de 1 000 granos. El p-valor de tratamientos es menor a 0.01, lo que indica que la diferencia entre los tratamientos fue altamente significativa. No así, las repeticiones donde no hubo diferencia significativa.

Tabla 18: Análisis de Varianza para peso de 1000 granos (g).

Fuente de Variabilidad	GL	SC	CM	Fc	p-valor
Tratamientos	3	822.92	274.31	128.25	<0.01**
Repeticiones	2	3.17	1.58	0.74	0.5160 ^{ns}
Error experimental	6	12.83	2.14		
Total	11	838.92			

C.V. = 1.61%

Sx = 8.73

La prueba de Duncan indica que los tratamientos de aplicación de humus líquido al suelo y a la parte foliar fueron estadísticamente iguales y superiores a los demás tratamientos y, el testigo sin abonar tuvo el valor más bajo en peso de 1000 granos (Tabla 19, Figura 7).

Tabla 19: Prueba de significación de Duncan para peso de 1 000 granos

OM	Tratamientos	Promedio g	Significación	
			0.05	0.01
1°	Aplicación al suelo (T3)	98.00	a	a
2°	Aplicación foliar (T2)	95.33	a	ab
3°	NPK (T4)	92.33	b	b
4°	Testigo (T1)	76.67	c	c

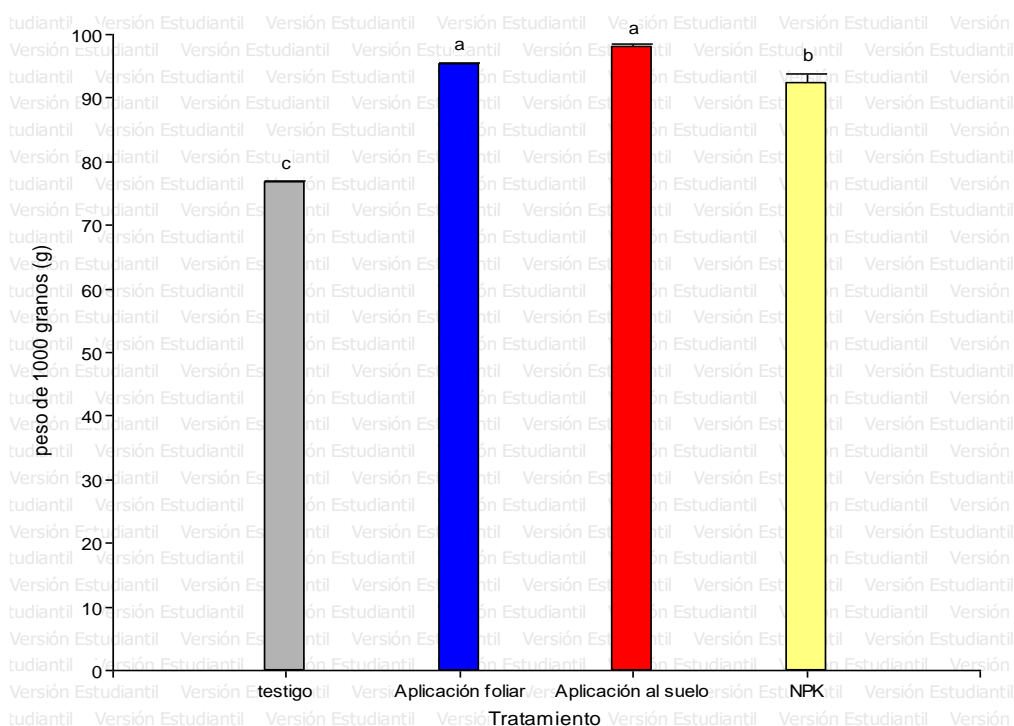


Figura 9: Peso de 1 000 granos (g) de los tratamientos. Los cambios de letra simbolizan diferencia significativa ($p > 0.05$) entre tratamientos y las barras son el error estándar.

b) Rendimiento por hectárea

El análisis de varianza del rendimiento de granos por hectárea resultó con diferencia significativa entre los tratamientos (p -valor <0.01) (**Tabla 20**). Por el contrario, no existe diferencia entre los bloques porque el p -valor fue superior a 0.01 por lo tanto no significativa la diferencia entre bloques (**Tabla 20**).

Tabla 20: Análisis de Varianza para rendimiento por hectárea (kg ha^{-1})

Fuente de Variabilidad	GL	SC	CM	Fc	p-valor
Tratamientos	3	87566569.79	29188856.60	74.53	$<0.01^{**}$
Repeticiones	2	1593572.69	796786.34	2.03	0.2116^{ns}
Error experimental	6	2349910.29	391651.72		
Total	11	91510052.77			

CV = 8.95

Sx = 2 884.28

Comparando los promedios de rendimiento al nivel de significación del 5% el tratamiento humus líquido al suelo presentó el mayor rendimiento de granos por ha y el testigo el más bajo (3171 kg ha^{-1}) (**Tabla 21, Figura 8**). Al nivel de significancia del 1% los tratamientos humus líquido al suelo y humus líquido por aspersión foliar fueron iguales estadísticamente y superiores a los demás tratamientos, siendo el testigo el que rindió 03 veces menos que el tratamiento de aplicación al suelo (**Tabla 21**).

Tabla 21: Prueba de significación de Duncan para rendimiento en (kg ha^{-1})

O.M.	Tratamientos	Promedio Kg ha^{-1}	Significación	
			0.05	0.01
1º	Aplicación al suelo (T3)	10 212.57	a	a
2º	Aplicación foliar (T2)	8 713.74	b	a
3º	NPK (T4)	5 872.04	c	b
4º	Testigo (T1)	3 171.26	d	c

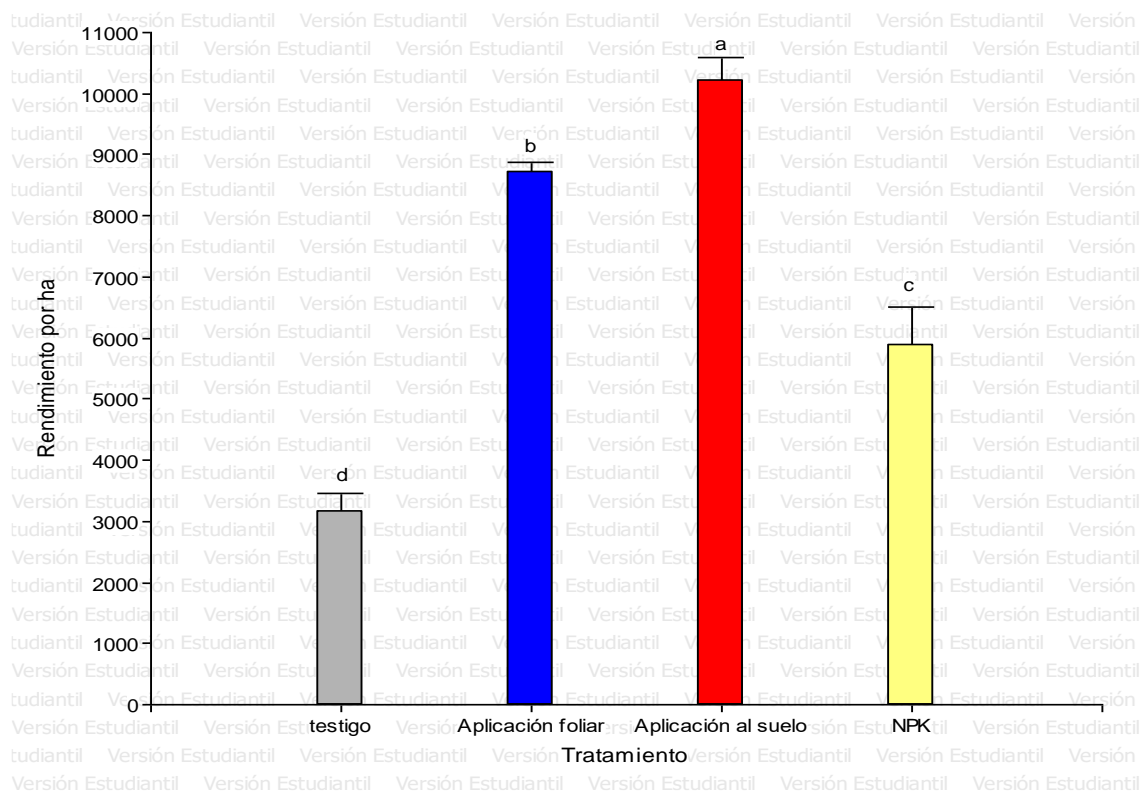


Figura 10: Rendimiento de granos por hectárea (kg ha⁻¹) de los tratamientos. Los cambios de letra simbolizan diferencia significativa ($p > 0.05$) entre tratamientos y las barras son el error estándar.

4.2.3. Análisis de componentes principales

La **figura 11** es el análisis de componentes principales que resume todos los resultados en un solo gráfico. El eje 1 (CP1) explicó el 89,6% de la variabilidad de los datos y el eje 2 (CP2) explicó sólo el 9.5% de la variación. Estos porcentajes son suficientes para explicar los resultados usando los dos ejes (CP1 y CP2). En la figura se puede ver que los tratamientos humus líquido con aplicación al suelo y aspersion foliar obtuvieron los mayores valores en N° plantas/m², biomasa aérea, biomasa radical, peso de 1 000 granos, N° granos/mazorca, rendimiento por ha, N° granos/m² y N° mazorcas/planta. Por su lado el tratamiento de fertilización con NPK obtuvo los valores de todas estas variables medidas en términos intermedios. Por el contrario, el testigo sin abonar obtuvo los valores más bajos de todos los parámetros medidos.

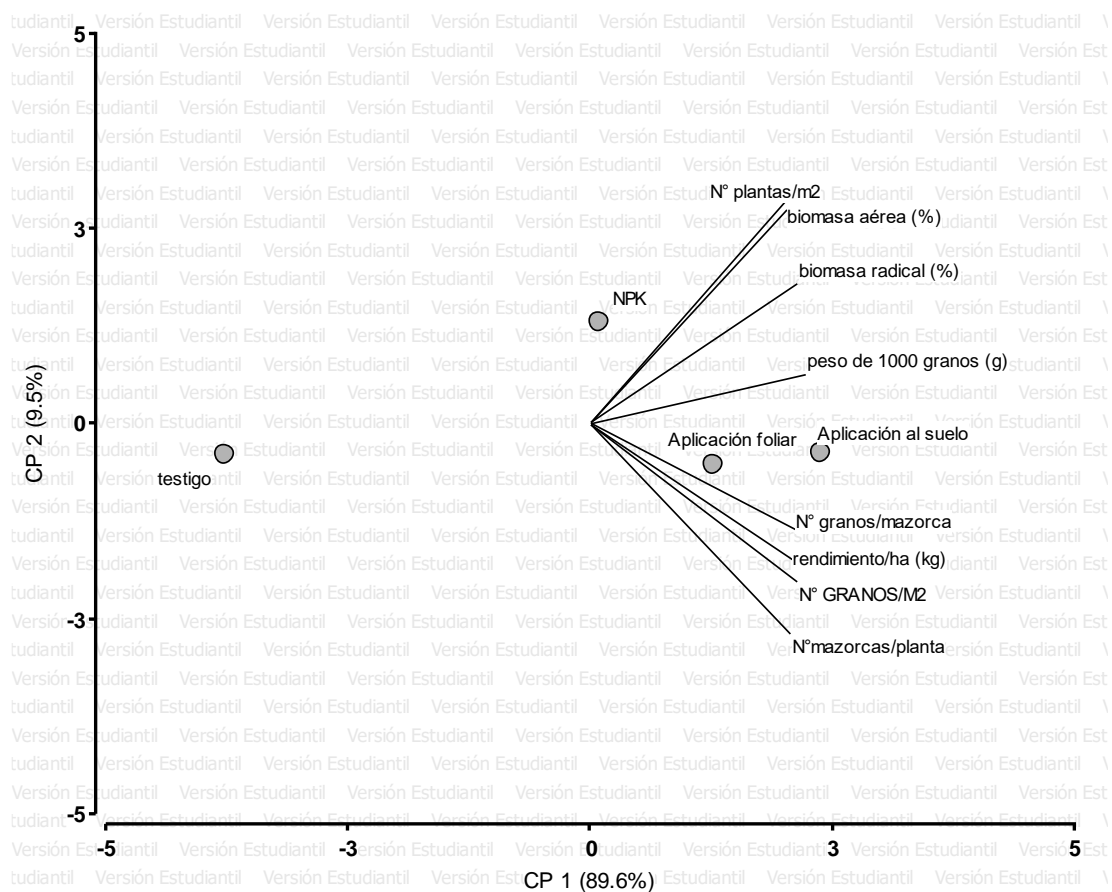


Figura 11: Análisis de componentes principales (ACP). Los vectores indican el peso relativo de cada variable sobre los ejes. El N° plantas/m² (número de plantas por m²), biomasa aérea (%), biomasa radical (%), peso de 1000 granos (g), N° granos/mazorca (N°), rendimiento por hectárea (kg ha⁻¹), N° de granos/m² y N° de mazorcas/planta (N°). Los redondeles llenos indican la posición de los tratamientos relacionados con los pesos relativos de los parámetros medidos.

V. DISCUSIÓN

5.1. BIOMASA VEGETAL

5.1.1. Biomasa aérea (materia seca de la parte foliar)

La biomasa aérea varió con los tratamientos (**Tabla 6**). El testigo produjo 16% menos biomasa aérea respecto al tratamiento de aplicación de humus al suelo que ocupó el primer lugar (**Tabla 7**). Estos resultados pueden ser explicados por la falta de recursos como nutrientes del suelo para las plantas, ya que al testigo no se aplicó ningún abono. La variable biomasa aérea es la materia seca que produce la planta en la parte aérea. La materia seca es el resultado de la eficiencia de uso de los recursos disponibles para la planta durante su ciclo de cultivo. Estos recursos pueden ser nutrientes, agua y radiación.

Tollenaar y Lee (2011) indicaron que la eficiencia de utilización de un recurso puede definirse como la acumulación de materia seca por unidad de radiación, agua y/o nutriente absorbido. Los resultados indican que la biomasa aérea de los demás tratamientos (aplicación del humus líquido al suelo, por aspersión foliar y fertilización con NPK) fueron superiores al testigo sin abonar (**Tabla 7, Figura 1**). Esto puede ser debido a un mayor crecimiento de la parte aérea con la disponibilidad de nutrientes para la planta.

Amanullah (2004) y Pietrobón (2012) sostienen que las distintas dosis de Nitrógeno permitían un mayor crecimiento de la planta, generando hojas más grandes que permitían una mayor intercepción de la radiación, con lo cual se producía mayores fotosíntesis que se traduce en más materia seca. Los tratamientos humus al suelo, humus a la parte foliar y fertilización con NPK obtuvieron estadísticamente iguales valores de biomasa aérea (**Tabla 7, Figura 1**). Según Jacomino (2010) el humus de lombriz tiene la característica de comportarse como hormona estimuladora del crecimiento

vegetal. Estos reportes podrían explicar la alta eficiencia del humus de lombriz líquido en la generación de biomasa.

5.1.2. Biomasa radical (materia seca de raíces)

La materia seca producida en las raíces también fue variable con los distintos tratamientos (**Tabla 8**). Se vio diferencia sólo del tratamiento testigo sin abonar, el que presentó el promedio de biomasa radical más bajo en comparación con los demás tratamientos (**Tabla 9**). Los tratamientos aplicación de humus líquido al suelo, a la parte foliar y fertilización con NPK fueron estadísticamente iguales (**Tabla 9, Figura 2**). Esto sugiere que el uso de humus líquido tiene la misma eficiencia de uso de nutrientes por las plantas que los fertilizantes químicos. La materia seca (biomasa radical) producida en las raíces es el resultado de la eficiencia de uso de nutrientes y agua (Tollenaar y Lee, 2011).

Este parámetro permitió conocer el efecto de la disponibilidad de nutrientes para las plantas en cuanto a crecimiento y desarrollo de raíces. Cuando no se usa fertilizante o algún abono como el humus, se ve una menor biomasa radical, afectando no solo al rendimiento de granos sino también a un menor retorno de rastrojos, lo que se traduce en menor contenido de materia orgánica para el suelo. Por lo tanto, se sugiere fertilizar con humus líquido porque éste tiene la misma eficiencia que los fertilizantes químicos.

Álvarez *et al* (2010) sugirieron que el mantenimiento de la capacidad productiva del suelo requiere integrar prácticas de nutrición vegetal y de mejoramiento del suelo, para lo cual se necesita aplicar prácticas agroecológicas como el abonamiento orgánico. Ante una mayor producción de biomasa, el riesgo de perder carbono y nutrientes del suelo es menos, porque los rastrojos al devolverse al suelo constituyen la mayor fuente de materia orgánica de los suelos. Con lo cual no solo se incrementan los rendimientos, sino también se nutre al suelo para las próximas campañas.

5.1.3. Relación entre el rendimiento y biomasa

Las **figuras 3 y 4** muestran que el rendimiento fue altamente dependiente de la producción de biomasa tanto de la parte aérea como de las raíces. Andrade *et al* (1996) indicaron que la tasa de crecimiento de las plantas afectan al rendimiento final del cultivo de maíz. El incremento en tamaño de hojas y tamaño de las plantas mejoran la captura y el aprovechamiento de la radiación el cual se refleja en mayores rendimientos de granos de maíz. La mayor captura de radiación se transforma en una mayor producción de materia seca tanto en la parte aérea o radical de las plantas (Pietrobon *et al* 2012). Los cuales podrían explicar nuestros resultados obtenidos.

Las **figuras 3 y 4** muestran que la biomasa radical estuvo más relacionada con el rendimiento (mayor R^2) que la biomasa aérea. Lo cual es razonable porque la absorción de nutrientes es principalmente por las raíces. Ante una mayor disponibilidad de nutrientes, las raíces podrían haber absorbido más nutrientes lo cual habría permitido un mayor crecimiento de raíces que de la parte foliar. La respuesta a rendimiento por efecto del humus líquido y NPK puede deberse, en parte, al aporte de Nitrógeno y Fósforo ya que el Potasio está disponible en grandes cantidades en los suelos de nuestra región. En los resultados se puede ver que la aplicación de humus al suelo como a la planta indistintamente mejoraron la biomasa aérea y radical, posiblemente debido a una estimulación de la actividad microbiana en el suelo (con aplicación de humus líquido al suelo) y a la mayor absorción de nutrientes por medio de los estomas en el caso de las aspersiones foliares. Pietrobon *et al* (2012) también vieron que la aplicación de abonos orgánicos al suelo provocaba una mayor actividad microbiana en el suelo que permitía una mayor disponibilidad de nitrógeno y fósforo en el suelo.

5.2. COMPONENTE DEL RENDIMIENTO

5.2.1. Número de granos por m²

a) Número de granos por mazorca

El análisis de varianza y prueba de Duncan para el número de granos por mazorca mostró efecto significativo de los tratamientos en estudio (**Tabla 10 y 11**). Los tratamientos de abonamiento con humus líquido al suelo y por aspersión a la parte foliar de la planta fueron iguales estadísticamente y superiores a los demás tratamientos donde el testigo ocupó el último lugar (**Tabla 11, Figura 5**). El número de granos por mazorca se sustenta en la tasa de crecimiento de la planta (Andrade *et al* 1996). Ante una mayor tasa de crecimiento de la planta existe un mayor tamaño de mazorca y por ende más granos en cada mazorca.

Este fenómeno obedece a la disponibilidad de nutrientes, como se sabe una planta mejor nutrida tiene una mayor tasa de crecimiento. De manera similar, Contreras *et al* (2012) sostienen que cuando se aumentó la disponibilidad de Nitrógeno en el suelo, el cultivo interceptó mayor cantidad de radiación solar con lo que obtuvo un mayor número de granos por unidad de superficie, lo cual mejoró la eficiencia de uso de radiación.

Los resultados muestran que la aplicación de humus líquido permitió obtener mayor número de granos por mazorca que el fertilizante químico (**Figura 5**) lo cual sugiere mayor eficiencia de uso de nutrientes provenientes del humus líquido que de los fertilizantes químicos. Como era de esperarse el testigo sin abonar produjo menos granos por mazorca (**Figura 5**). Estos resultados demuestran que el uso del humus de lombriz puede ser una buena alternativa de uso que permite incrementar los rendimientos salvaguardando el medio ambiente. No existen evidencias de este tipo en nuestra región, aunque en la literatura internacional muestran mayores efectos de fertilizantes químicos sobre los abonos orgánicos, esto porque usaron altas dosis de fertilizantes químicos.

b) Número de mazorcas por planta

El número de mazorcas por planta de los tratamientos de aplicación de humus líquido al suelo y por aspersión a la parte foliar de la planta fueron estadísticamente iguales y superiores a los tratamientos con NPK y testigo (**Tabla 12 y 13**). Esto puede ser explicado porque el crecimiento y desarrollo de las plantas obedecen a la disponibilidad de recursos como nutrientes en el suelo como lo afirmaron otros investigadores (Contreras *et al* 2012; Pietrobón *et al* 2012). El número de mazorcas por planta es un indicador importante del rendimiento, ante un mayor desarrollo la planta puede emitir más mazorcas fértiles que luego se traducirán en mayor rendimiento de granos.

c) Número de plantas por unidad de superficie (m²)

El número de plantas por m² fue estadísticamente igual para todos los tratamientos y no se vio diferencia ni entre los bloques (**Tabla 14 y 15, Figura 7**). Esto es razonable porque las plantas emergen igual en distintas situaciones de disponibilidad de recursos, pero las diferencias se ven a medida que las plantas crecen.

d) número de granos por m²

Las variables anteriormente estudiadas (número de granos/mazorca, número de mazorcas/planta y número de plantas/m²) permitieron estimar el número de granos/m². Los resultados mostraron que los tratamientos con humus líquido al suelo y aspersión a la planta fueron los que permitieron un mayor número de granos/m², mientras que los tratamientos de fertilización con NPK y testigo sin abonar mostraron los valores más bajos (**Tabla 16 y 17**). Esto podría ser explicado por el efecto positivo del humus de lombriz líquido el cual suministra el Nitrógeno, Fósforo en gran medida más que los demás nutrientes. Álvarez *et al* (2010) obtuvieron los mayores rendimientos de maíz con humus de lombriz y Bocashi con el cual aumentaron los rendimientos en un 23.1 % y 17.9 % respectivamente. Corroborando la mayor eficiencia de uso de nutrientes cuando el abono es suministrado en forma líquida.

Estos reportes y nuestros resultados sugieren la importancia del manejo integrado de fertilizantes y abonos orgánicos para mejorar la producción de maíz. Almaguer *et al* (2012) obtuvieron mayor número de granos/m² con aplicaciones de humus de lombriz líquido a la parte foliar de la planta. Ellos explican que sus resultados se deben a que las aplicaciones foliares favorecen el desarrollo morfo fisiológico del cultivo por el efecto bioestimulantes que le proporciona a la planta. Jacomino (2010) refirió que una de las características más sobresalientes del humus de lombriz es su capacidad de comportarse como hormona estimuladora del crecimiento vegetal. Según Vázquez y Torres (2006) los agentes reguladores del crecimiento que provocan un alargamiento de las yemas apicales, la cual es la giberelinas el cual favorece el desarrollo de las flores, aumenta el poder germinativo y la dimensión de los frutos.

5.2.2. Peso de granos

a) Peso de 1000 granos

El componente peso de 1000 granos fue distinto para los tratamientos (**Tabla 18**). Los tratamientos de aplicación de humus líquido al suelo y a la parte foliar de la planta fueron iguales y superiores a los demás tratamientos. El testigo sin abonar presentó el promedio más bajo de peso de 1000 granos (**Tabla 19**). El objetivo de medir esta variable fue para conocer el peso de cada grano el que se usaría como estimador del rendimiento de granos por hectárea. Muchos autores han indicado que el peso de los granos varía menos que el número de granos por mazorca con las distintas situaciones de disponibilidad de recursos. Lo cual ha llevado a los fitomejoradores a generar variedades con más capacidad de generar número de granos si se desea aumentar los rendimientos y a no darle mucha importancia a la cualidad de peso de granos (Espinosa *et al.* 2004).

Sin embargo, nuestros resultados muestran que el peso de los granos también aporta significativamente y de manera importante a los rendimientos finales de granos por hectárea. Faraldo *et al.* (2011) indicaron que la

eficiencia de uso de nutrientes se puede representar por la cantidad de materia seca por unidad del recurso captado. La mayor productividad de un cultivo puede lograrse por el aumento en la captura de recursos y/o eficiencia de su uso. Lo cual se refleja en el peso de los granos.

Por otro lado, nuestros resultados mostraron que el tratamiento de fertilización química con NPK presentó un valor distinto y más bajo que con aplicaciones de humus. Lo cual sugiere que el humus de lombriz es mejor alternativa para aumentar el peso de granos en relación a los fertilizantes químicos.

b) Rendimiento por hectárea

El análisis de varianza y el test de Duncan indicaron que los rendimientos por hectárea variaron con los tratamientos (**Tabla 20 y 21**). El rendimiento de granos por hectárea varió entre 3 171 kg/ha y 10 212 kg/ha entre los tratamientos. El valor más bajo correspondió al testigo sin abonar y el más alto al abonado con humus líquido al suelo. Existe diferencia significativa entre los distintos tratamientos ($p < 0.01$) (**Tabla 20**). El rendimiento fue 68 % más alto con la aplicación de humus líquido al suelo que con el testigo sin abonar. Cuando se compararon los tratamientos humus líquido y la fertilización química se vio que el rendimiento fue un 42 % más alto con el humus líquido aplicado al suelo que con el tratamiento de fertilización química con NPK (**Tabla 21 y Figura 10**).

El efecto positivo del humus líquido aplicado al suelo puede relacionarse con el suministro de nutrientes al suelo, lo cual pudo haber estimulado a la actividad microbiana del suelo. Álvarez *et al* (2010) indicaron que el humus de lombriz provocaba la mayor mineralización de la materia orgánica del suelo en un experimento en México. Sin embargo, no existen evidencias locales porque en nuestra región ha sido menos estudiado el uso del humus líquido.

Cabe señalar que el incremento en rendimiento por efectos del humus de lombriz fue aplicado durante el ciclo de crecimiento y madurez del cultivo. Con lo cual se habría generado la continua mineralización de la materia orgánica del suelo durante todo el ciclo de crecimiento del cultivo y, una buena disponibilidad de nutrientes durante el periodo crítico (floración y llenado de granos) cuando el cultivo requiere más nutrientes para destinar más fotoasimilados a los granos. Kyung-Hwa *et al* (2004) señalaron que en suelos de China la biomasa microbiana se multiplicaba rápidamente con la aplicación de abonos orgánicos al suelo.

Los resultados obtenidos son una evidencia clara de la eficiencia de los abonos orgánicos sobre los fertilizantes químicos. Esto sugiere una nueva alternativa de uso para los agricultores maiceros de la región y a la vez permite salvaguardar el medio ambiente.

CONCLUSIONES

a. No existen diferencias significativas en biomasa aérea y radical entre los métodos de aplicación de humus líquido aplicado al suelo y por aspersión a la parte foliar del cultivo de maíz variedad Blanco Urubamba, mientras que el tratamiento testigo sin abonar generó menos biomasa aérea y radical. El rendimiento de granos por ha estuvo estrechamente relacionado con las variables biomasa aérea y biomasa radical.

b. Los componentes del rendimiento del maíz: número de granos/m² y peso de 1000 granos no fueron distintos estadísticamente son iguales con los dos métodos de aplicación de humus líquido aplicados al suelo y a la parte foliar de la planta. Sin embargo, el tratamiento de fertilización química con NPK obtuvo valores intermedios, mientras que el testigo sin abonar presentó los valores más bajos de rendimiento.

c. En cuanto al rendimiento de granos/ha, el tratamiento de aplicación de humus líquido al suelo superó ligeramente al tratamiento por aspersión foliar a la planta. Mientras que el tratamiento testigo sin abonar rindió menos que los demás tratamientos. La aplicación de humus líquido al suelo permitió aumentar el rendimiento de granos por ha en un 42 % más que cuando se fertilizó con fuentes químicas con NPK.

RECOMENDACIONES

- a. Aplicar humus de lombriz en forma líquida tanto al suelo como por aspersión a la parte foliar del cultivo de maíz a fin de obtener mejores rendimientos, además porque este abono es más amigable con el medio ambiente.
- b. Repetir estos ensayos con otras dosis de aplicación y otros abonos orgánicos y, en otras localidades de la región con el fin de validar el método y tipo de abono orgánico más eficiente para el cultivo de maíz.
- c. Generar investigaciones en cuanto a momentos y dosis de aplicación de humus de lombriz líquido al cultivo de maíz con el objetivo de buscar la dosis óptima económica para el cultivo de maíz que permita buenos retornos económicos.

LITERATURA CITADA

1. Almaguer, J. 2012. Evaluación del efecto del humus líquido obtenido por tres métodos, en condiciones de maceta y de campo, utilizando maíz (*Zea mays* L.) y remolacha azucarera (*Betta vulgaris* L.) respectivamente. Rev. DELOS 5(15):1-6. Disponible en: <http://www.eumed.net/rev/delos/15/llhp.html>.
2. Álvarez, S. JD. 2014. Manejo integrado de fertilizantes y abonos orgánicos en el cultivo de maíz. Fitotecnia, Agro ciencia. 44(5).
3. Álvarez, D. 2010. Manejo integrado de fertilizantes y abonos orgánicos en el cultivo de maíz. AGROCIENCIA 44:575-586.
4. Amanullah. 2004. Physiology of partitioning of assimilates and yield of maize as affected by plant density, rate and timing of nitrogen application. Thesis for the degree Ph. D. in Agriculture. Univ. of Agriculture, Peshawar, Pakistan. 253 p.
5. Andrade F., H. Echeverría, N. González, S. Uhart y Darwich N. 1996. Requerimientos de nitrógeno y fósforo de los cultivos de maíz, girasol y soja. Boletín Técnico No. 134. EEA INTA Balcarce. Argentina.
6. Andrade, F. H. 1996. Radiation use efficiency of maize grown in a cool area. Field Crops Res. 28: 345 354.
7. Bonilla, N. 2010. Manual de recomendaciones del cultivo de maíz-San José. C.R. INTA 2010. ISBN 978-9968-586-00-9. P. 72.
8. Bremner J.M. 1965. Organic nitrogen in soils. p. 93–132. In W.V. Bartholomew and F.E. Clark (ed.) Soilnitrogen. Agron. Monogr. 10. ASA, Madison, WI.

9. Byerlee, D., and Heise P.W. 2010. "Evolution of the African Maize Economy." In D. Byerlee and C.K. Eicher (eds.), *Africa's Emerging Maize Revolution*. Boulder, Colorado: Lynne Rienner Publishers.
10. Canales. 1999. El cultivo del Maíz. [En línea]. [Consulta octubre 2008] .Disponible en: <http://canales.ideal.es/canalagro/datos/herbaceos/cereales/maiz3.htm>
11. Ciampitti I.A. & Vyn T.J. 2010. A comprehensive study of plant density consequences on nitrogen uptake dynamics of maize plants from vegetative to reproductive stages. *Field Crops Research* (accepted).
12. Contreras, R. A. 2012. Eficiencia en el uso de la radiación por híbridos de maíz de valles altos de México. *Rev. Fitotec. Mex.* 35 (2): 161–169.
13. Cook G. W. 1989. *Fertilizantes y usos*. Ed. CSAS México D.F. 958 p.
14. Delgado, R. 2002. Evaluación de crecimiento del maíz y absorción nitrógeno bajo diversas condiciones de disponibilidad del elemento en un Mollisol de Venezuela. *Agronomía Trop.* 52(1):5-28.
15. Delgado, R. 2004. Efectos de época de aplicación y tipo de fertilizante nitrogenado sobre el patrón de acumulación de materia seca y nitrógeno del maíz en un ultisol y un molisol de Venezuela. *Agronomía Trop.* 54(4): 461-480.
16. Espinosa, E. 2004. Rendimiento de grano y sus componentes en poblaciones prolíficas de maíz, en dos densidades de siembra. *Rev. Fitotec.* 27:39-41.
17. Faraldo, M. L. 2011. Eficiencia en el uso del agua y radiación en maíz, girasol y soja en la región oriental de la pampa, Argentina. *Agronomiatropica.* 61 (1): 47-57.

18. Ferruzi, C. 2012. Manual de Lombricultura. Ed. Mundi-Prensa. Madrid, España. p. 7-36.
19. Fontini, T. 2012. Humus de lombriz, un huerto para disfrutar. Disponible on-line: <http://unhuertoparadisfrutar.blogspot.com.ar/>
20. Fortis, H. M. 2009. Aplicación de abonos orgánicos en la producción de maíz forrajero en riego por goteo. TERRA Latinoamericana. Universidad Autónoma Chapingo. 27 (4):335.
21. Fox, R. H. 1986. Nitrogen fertilizer source, and method and time of application effects on no-till corn yields and nitrogen uptake. Agron. 1. 78:741-746.
22. Fuentes, Y. JL. 1999. El suelo y los fertilizantes, 5 ed. Ediciones Mundi-Prensa, Madrid, España p. 123-174.
23. González, N. A. 2011. Desarrollo metodológico del proceso de formación de bulbos en *Lilium* sp, a partir de bulbillos hipógeos crecidos en diferentes proporciones de lombricomposta. Tesis Maestría. Toluca, México, Universidad Autónoma del Estado de México. p. 71.
24. Gros, A. 1986. Abonos guía práctica de la fertilización. "El humus y la vida microbiana del suelo" 7 ed. España, p. 141-169.
25. Hernández, H. JM. 2005. Aplicación de lodos residuales, estiércol bovino y fertilizante químico en el cultivo de sorgo forrajero. Revista Internacional de Contaminación ambiental. 21(01):35.

26. Huerta, E. 2013. Asistencia Técnica dirigida en comercialización de maíz. UNALM y Agro banco. Disponible en: <http://www.agrobanco.com.pe/>
27. Jacomino, I. 2010. Evaluación del efecto de tres métodos de obtención de humus líquido sobre el rendimiento de la remolacha (*Beta vulgaris* L.). Trabajo de diploma. Facultad de Ciencias Agropecuarias de Montaña del Escambray. Universidad de Sancti Spiritus. 31 p.
28. Karlen D.L. 1987. Drymatter, N, P and K accumulation rates by corn on Norfolk loamysand. *Agronomy Journal* 79: 649-656.
29. Kyung-Hwa, H. C. 2004. Urea-nitrogen transformation and compost-nitrogen mineralization in three different soils as affected by the interaction between both nitrogen inputs. *Biol. Fertility Soils* 39:193-199.
30. Martínez, C.C. 2013. Potencial de la lombricultura. Editorial Lombricultura Técnica Mexicana. México, p. 57-60.
31. Melchiorri R.JM. y Papparotti, O.F. 2013. Fertilización nitrogenada en maíz: Uso del método del balance. *En Producción intensiva de maíz. Serie de extensión nº 11. INTA E.E.A. Paraná.*
32. Navarro, B. S. y Navarro, G. G. 2012. Química Agrícola. El suelo y los elementos químicos esenciales para la vida vegetal. Editorial Mundi-Prensa, España. p. 53-59.
33. Ochoa, M. E. 2013. Té de composta como fertilizante orgánico en la producción de tomate en invernadero. *15(3):245-250.*
34. FAO (Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y Alimentación). 2014. Guía de la fertilización y nutrición vegetal.

35. Pedrol, H. M. 2012. El cultivo de maíz y las condiciones climáticas. Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria.
36. Pérez, M. 2013. Efecto de cuatro sustratos en el endurecimiento de vitroplasma de mora (*Rubus glaucus* Benth) variedad "risaralda", en el municipio de las Sabanas, departamento de Madrid. Facultad de Agronomía.
37. Pietrobón, M. 2012. Densidad de plantas en el cultivo de maíz (*Zea mays* L.) y su efecto sobre la eficiencia de uso de nitrógeno. Tesis para optar al título de Magister Scientiae en Producción Vegetal. Facultad de Ciencias Agrarias, Universidad Nacional de Mar del Plata. Balcarce, Buenos Aires, Argentina.
38. Pietrobón, M; HO. 2012. Eficiencia de uso de radiación y rendimiento en el cultivo de maíz bajo densidades de plantas diferentes. Disponible on line: <http://www.congresodemaiz.com.ar/areas/manejo/EFICIENCIA-DE-USO-DE-RADIACION-Y-RENDIMIENTO-EN-EL-CULTIVO-DE-MAIZ-BAJO-DENSIDADES-DE-PLANTAS-DIFERENTES.pdf>.
39. Reeves, D. W. 1993. Timing nitrogen applications for com in a winter legume conservation-tillage system. Agron. 1.85:98-106.
40. Reinez, A. M. 2011. Lombricultura, una biotecnología para la sustentabilidad. Zapopan, Jalisco, México, Editorial Fundación Produce Jalisco, A.C. 54 p.
41. Ritchie, 1. T. 1986. Water dynamics in the soil-plant-atmosphere system. Plant and Soil. 58:81-96.

42. Rosso. 1999. Requerimientos hídricos de cultivos de granos. Tercer seminario de actualización técnica. Fertilización en cultivos extensivos y forrajeras. Pub. No. 40. SSSA-ASA. Madison, Wisconsin USA.
43. Simpson, K. 1991. Abonos y Estiércoles. España. Editorial Acribia, S.A. Zaragoza. p. 11-26.
44. Tollenar, M. y Lee E. A. 2011. Strategies for enhancing grain yield in maize (pp: 37-82). In: J. Janick (ed.). Plant Breeding Reviews. Wiley Blackwell.
45. Valladares, C. A. 2014. Requerimientos nutricionales y cálculos de fertilizantes. Cultivos de grano APV-350. 12 p.
46. Vázquez, E. y Torres, S. 2006. Fisiología vegetal. Parte 2. Editorial Félix Varela. Ciudad Habana. Cuba. 451 p.
47. Villa, O. 2010. Obtención y evaluación de humus de lombriz en estado líquido en condiciones controladas utilizando el cultivo de maíz (*Zea mays* L.) como planta indicadora. Tesis en opción al Título de Ingeniero Agrónomo. FAME.UNISS. Cuba. 29p.
48. Waldren, R. P. 1983. Como P.187-211. In: LD. Teare and M.M. Pees (ed.) Crop-water Relations. John Wiley and Sons, New York, USA.

ANEXOS

TRABAJO DE CAMPO

Figura 12: Preparación de terreno



Figura 13: Siembra





Figura 14: Abonamiento.









Figura 15: Deshierbo.



Figura 16: Aporque**Figura 16: Control Fitosanitario**



Figura 17: Cosecha





FIGURA 18: Constatación de ejecución de tesis por el COORDINADOR DE LA UNHEVAL, Director de la AGENCIA AGRARIA DE MARAÑÓN.



RESULTADO DEL ANÁLISIS DE SUELO



UNIVERSIDAD NACIONAL
"Santiago Antúnez de Mayolo"
FACULTAD DE CIENCIAS AGRARIAS
 CIUDAD UNIVERSITARIA – SHANCAYAN
 Telefax. 043-426588 - 106
HUARAZ – REGIÓN ANCASH



RESULTADOS DEL ANÁLISIS DE FERTILIDAD

SOLICITANTE : Vega Jara Carmen.
MUESTRA : M: 01
UBICACIÓN : Huacrachuco - Marañón

Muestra	Textura (%)			Clase Textural	pH	M.O %	Nt. %	P ppm	K ppm	C.E dS/m.
	Arena	Limo	Arcilla							
597	41	20	39	Franco arcilloso	6.15	2.090	0.105	22	85	0.059

RECOMENDACIONES Y OBSERVACIONES ESPECIALES:

La muestra es de textura franco arcilloso, se caracteriza por tener una reacción ligeramente ácida, medianamente rica en materia orgánica y en nitrógeno, medianamente rico en fósforo y pobre en potasio, no tiene problemas de salinidad.

Huaraz, 28 de diciembre del 2015.



Ing. M.Sc. Guillermo Castro Romero
 JEFE DEL LABORATORIO DE ANÁLISIS DE SUELOS Y AGUAS