



FACULTAD DE CIENCIAS AMBIENTALES

ESCUELA DE INGENIERÍA AMBIENTAL

“EFECTO DE LA APLICACIÓN DE BIOCHAR DERIVADO DE RESIDUOS VERDES Y ESTIÉRCOL DE CERDO, SOBRE EL BALANCE DE NITRÓGENO EN EL SISTEMA SUELO-PLANTA (SUELOS ALUVIALES Y ZEA MAYS L.) EN SAN RAMÓN (PERÚ)”

Tesis para Optar al Título Profesional de:

INGENIERÍA AMBIENTAL

Bach. MARIELA LEVEAU DÍAZ

Asesor:

Dr. BRENTÓN MARK LADD

LIMA – PERÚ

2018

ACTA DE SUSTENTACIÓN DE TESIS

Lima, 06 de agosto de 2018.

Los integrantes del Jurado de tesis:

Presidente: PhD. Julio Cesar Alegre Orihuela
Integrante: MSc. Javier Francisco Alvarado Llerena
Integrante: Ing. Rafael Antonio René Ponce Vargas

Se reúnen para evaluar la tesis titulada:

Efecto de la aplicación de biochar derivado de residuos verdes y estiércol de cerdo, sobre el balance de Nitrógeno en el sistema suelo-planta (suelos aluviales y *Zea mays* L.) en San Ramón (Perú)

Presentada por la bachiller:

- **Mariela Leveau Díaz**

Para optar el Título Profesional de **Ingeniero Ambiental**

Asesorada por:

- Dr. Brenton M. Ladd

Luego de haber evaluado el informe final de tesis y evaluado el desempeño de los estudiantes en la sustentación, concluyen de manera unánime () por mayoría simple () calificar a:

• Integrante 1: Mariela Leveau Díaz			Nota (escrito): Dieciséis
Aprobado ()	Aprobado - Muy buena <input checked="" type="checkbox"/>	Aprobado - Sobresaliente ()	Desaprobado ()

Los miembros del jurado firman en señal de conformidad.



Presidente del Jurado



Miembro del Jurado



Miembro del Jurado



Asesor

CONTENIDO

I.	RESUMEN.....	5
II.	INTRODUCCION.....	6
III.	MARCO TEORICO.....	8
2.1	Principales cultivos producidos en Chanchamayo.....	8
2.2	Biochar.....	8
2.3	Materia orgánica.....	11
2.4	Maíz.....	11
2.5	Ciclo del nitrógeno.....	14
IV.	MATERIALES Y METODOLOGÍA.....	17
2.6	Materiales.....	17
2.7	Metodología.....	18
2.8	Análisis de costos de abonamiento.....	24
V.	RESULTADOS.....	25
3.1	Tratamientos.....	25
3.2	Biomasa.....	26
3.3	Altura.....	31
3.4	Contenido de nitrógeno en la planta.....	32
3.5	Nitrogeno de Entrada en el sistema suelo-planta.....	35
3.6	Contenido de nitrógeno final en el suelo.....	36
3.7	Nitratos y Amonio.....	37
3.8	Balance de nitrógeno y determinación de pérdidas de nitrógeno.....	39
3.9	Análisis de costos de abonamiento.....	41
VI.	DISCUSION.....	42
4.1	Biomasa.....	42
4.2	Altura.....	42
4.3	Contenido de nitrógeno en la planta.....	43
4.4	Contenido de nitrógeno en el suelo.....	44
4.5	Nitratos y amonio.....	44
4.6	Balance de nitrógeno y determinación de pérdidas de nitrógeno.....	45
VIII.	REFERENCIA BIBLIOGRAFICAS.....	48
IX.	ANEXOS.....	54
	ANEXO 17.2.- Análisis de nitrogeno final en el suelo.....	79

INDICE DE TABLAS

Tabla 1.-Tipos de pirolisis.....	9
Tabla 2.- Modelo de hoja de cálculo dosis de aplicación por cada tratamiento.	19
Tabla 3.-. Parámetros y métodos de análisis .	21
Tabla 4.- Balance de aplicación de cada tratamiento.....	25
Tabla 5.-Resultados promedios de las fracción de biomasa y biomasa total ...	26
Tabla 6.-. Promedios de contenido de nitrógeno biomasa	34
Tabla 7.- Contenido de nitrógeno de entrada.....	35
Tabla 8.- Contenido de nitrógeno total y nitrógeno inorgánico promedio	37
Tabla 9.-Nitrógeno perdido promedio de cada uno de los tratamientos..	39
Tabla 10.- Resultados del análisis económico.	41

INDICE DE FIGURAS

Figura 1.- Relaciones entre el ciclo del nitrógeno.....	14
Figura 2.-Distribución de los tratamientos	20
Figura 3.- Rendimiento de maíz	27
Figura 4.- Biomasa por fracción y biomasa total	28
Figura 5.- Alturas del maíz.	31
Figura 6.-Contenido de nitrógeno por fracción .	33
Figura 7.-Contenido de nitrógeno en la biomasa total.....	34
Figura 8.-Contenido de nitrógeno total en el suelo.....	36
Figura 9.- a) Contenido de nitrato en el suelo.....	38
Figura 10.-Contenido de nitrógeno perdido por lixiviación y/o volatilización. ...	40

INDICE DE FOTOGRAFÍAS

Fotografía 1.- Fotografía que muestra el tamaño promedio de las mazorcas en cada uno de los tratamientos.	29
Fotografía 2.- Fotografía que muestra el tamaño promedio de los granos en las mazorcas en cada uno de los tratamientos.....	29
Fotografía 3.- Fotografía que muestra el tamaño promedio de las raíces en cada uno de los tratamientos.	30
Fotografía 4.- .- Fotografía que muestra el tamaño promedio de la altura de plantas dentro cada uno de los tratamientos.....	30

INDICE DE ANEXOS

ANEXO 1.- Análisis suelos San Ramón	55
ANEXO 2.- Contenido de Nitrogeno en el estiércol de Cerdo	56
ANEXO 3.- Contenido de Nitrogeno en el tratamiento T3 y T4	56
ANEXO 4.- Cálculo de la aplicación por cada tratamiento	58
ANEXO 5.- Data general de biomasa.....	59
ANEXO 6.-Tabla Resumen de datos de biomasa	63
ANEXO 7.- Tabla Resumen análisis estadístico ANOVAs para fracción de biomasa y biomasa total.....	63
ANEXO 8.- Altura de planta.....	64
ANEXO 9. Resumen análisis estadístico ANOVAs para la altura del maíz	69
ANEXO 10.- Porcentaje de nitrógeno en la hoja	70
ANEXO 11.-Porcentaje de nitrógeno en el fruto.....	70
ANEXO 12.- Porcentaje de nitrógeno en el tallo	71
ANEXO 13.- Porcentaje de nitrógeno en la raíz.....	73
ANEXO 14.- Contenido de nitrógeno en la planta.....	74
ANEXO 15. Resumen análisis estadístico ANOVAs para el contenido de nitrógeno en biomasa por fracciones y biomasa total.....	76
ANEXO 16.- Cálculo para determinar el Nitrógeno inicial en el suelo y el nitrógeno mineralizado de la materia orgánica.....	77
ANEXO 17.1.- Análisis de nitrógeno final en el suelo.....	78
ANEXO 17.2.- Análisis de nitrógeno final en el suelo.....	79
ANEXO 18.- Data del stock de nitrógeno final en el suelo	80
ANEXO 19.- Resumen análisis estadístico ANOVAs para el contenido de nitrógeno final en el suelo.....	82
ANEXO 20.- Contenido de Amonio y Nitrato en el suelo.....	83
ANEXO 21.- Resumen análisis estadístico ANOVAs para el contenido de nitratos y amonio	84
ANEXO 22 .-Balance de nitrógeno en el sistema Suelo-planta.....	85
ANEXO 23.- Resumen del análisis estadístico para la pérdida de nitrógeno.....	87
ANEXO 24.- Galería Fotográfica.....	88

I. RESUMEN

El objetivo fue evaluar el efecto de la aplicación de biochar derivado de residuos verdes y estiércol del cerdo, sobre el balance de nitrógeno en el sistema suelo-planta (suelos aluviales y *Zea mays L.*) en San Ramón (Perú).

La metodología consistió en producir biochar a partir de residuos verdes y estiércol de cerdo, en una cantidad proporcional, en la que ambos fueron sometidos a pirólisis durante 90 minutos en un horno Kon-tiki. Se formularon cinco (05) tratamientos: Control (T1), estiércol de cerdo (T2), Biochar (T3), Biochar con ajuste de pH (T4), Biochar con ajuste de pH y de relación C/N (T5). Se evaluó el peso de la biomasa de cada uno de los tratamientos y contenido de nitrógeno en el suelo y la planta para poder realizar el balance de nitrógeno. El presente diseño experimental, correspondió a un modelo de bloques completamente aleatorio (DBCA). Se utilizó ANOVA con un 95% de confianza y Tuckey al 0.05% mediante el software estadístico JMP 11.

El rendimiento de biomasa presentó la siguiente relación: $T5 > T4 > T3 > T2 > T1$, donde el tratamiento T1 fue el que presentó el menor rendimiento con una producción promedio de $0.41 \text{ t} \cdot \text{ha}^{-1}$ y el tratamiento T5 fue el que presentó mayor rendimiento alcanzando una producción de $5.71 \text{ t} \cdot \text{ha}^{-1}$. La misma tendencia se mantiene para la cantidad de Nitrógeno contenido en la biomasa, donde los tratamientos T5 ($221 \text{ kg N} \cdot \text{ha}^{-2}$), T4 ($152 \text{ kg N} \cdot \text{ha}^{-2}$) y T3 ($127.89 \text{ kg N} \cdot \text{ha}^{-2}$) presentan mayores contenidos de Nitrógeno, en comparación con el T2 ($72 \text{ kg N} \cdot \text{ha}^{-2}$) y T1 ($31.14 \text{ kg N} \cdot \text{ha}^{-2}$). Los tratamientos en base a biochar T3, T4 y T5, tuvieron pérdidas menores al 35%, mientras que el tratamiento T2, fue el que presentó mayores pérdidas con 58.86%.

Por lo tanto se concluye que las enmiendas en base a biochar tienen un efecto positivo en el rendimiento del cultivo del maíz. El biochar en combinación con un fertilizante nitrogenado como la urea tiene mayores efectos positivos en el rendimiento que el biochar solo. La cantidad de nitrógeno en la biomasa del cultivo, es mayor en aquellas que están tratadas en base a biochar. La pérdida de nitrógeno resulta ser menor cuando se aplica biochar al suelo. Los tratamientos en base a biochar no resultan ser rentables, debido a la elevada tasa de aplicación y al costo de producción de los tratamientos.

II. INTRODUCCION

En las últimas décadas, las malas técnicas agrícolas y el uso excesivo de fertilizantes, especialmente, aquellos que contienen iones amonio, han tenido repercusiones negativas en el ambiente, amenazando el equilibrio natural de sus componentes suelo, agua y atmósfera (IPNI 1999, Martínez *et al.*, 2011). En el Perú el consumo de fertilizante, ha tenido un crecimiento muy significativo, ya que en entre los años 2001 al 2013, el volumen de importación de fertilizantes se incrementó de 656 447 a 905 798 toneladas, siendo los de la clase nitrogenada uno de los más demandados (INEI, 2014). Los fertilizantes amoniacales como la urea y los fosfatos mono - y biamónico, son rápidamente convertidos en nitratos a través del proceso de nitrificación, liberando ácidos y por lo tanto, incrementando la acidez de la parte superior del suelo (Campillo & Sadzawka, 1993; Gomero & Velazques, 1999). Esta acidez tiene efectos nocivos sobre el crecimiento de las plantas, ya que afecta la disponibilidad de nutrientes y por lo tanto el rendimiento del cultivo (IPNI 1999). De igual manera, los nitratos actualmente constituyen la principal “fuente de contaminación difusa” de las aguas (superficiales y subterráneas), pues estos son altamente solubles y no son retenidos por las cargas negativas de los coloides del suelo, lo que facilita su libre movimiento a través del perfil del suelo hacia los acuíferos (Arumi *et al.*, 2005; Martínez *et al.*, 2009; Martínez *et al.*, 2011). En la atmósfera, los gases ricos en nitrógeno como el óxido nitroso y nítrico, se generan principalmente en suelos agrícolas, debido al elevado uso de fertilizante. El óxido nítrico es causante de fenómenos como el smog o la lluvia ácida, y el óxido nitroso es un gas de efecto invernadero, que tiene un poder de calentamiento 300 veces superior al CO₂, permaneciendo en la atmósfera por un largo tiempo (Boixadera & Cortés, 2000; IPCC, 2006, Martínez *et al.*, 2011).

El mal manejo de los suelos en el Perú, ha desencadenado problemas de salinización, pérdida de la fertilidad y mal drenaje en los suelos (CEPES, 2015). Un claro ejemplo de ello, es la degradación del más del 15% del territorio peruano en los últimos 20 años, que afectó a casi 11% de la población (INEI, 2013a). Si esta tendencia se mantiene, se calcula que al año 2100, el 64% del territorio peruano podría estar afectado por procesos de esta naturaleza (MINAM, 2014). Según el Banco Mundial, en el Perú la degradación del suelo representa un costo de entre 0,3% y 0,4% como porcentaje del PBI. Por lo tanto, el desarrollo de tecnologías agrícolas que incrementen la productividad de los cultivos sin daños al ambiente, especialmente al suelo, es esencial para mantener la seguridad y productividad de los alimentos (FAO, 2012). Es así como a través de investigaciones, el biochar aparece como una estrategia para mejorar la salud y productividad del suelo, la seguridad alimentaria y como una propuesta para mitigar gases de efecto invernadero a través de su aplicación en el suelo; pues mejora el pH, la Capacidad de Intercambio Catiónico (CIC) y la capacidad de retención de agua. Asimismo, el biochar retiene y mejora la disponibilidad de los nutrientes en el suelo como el nitrógeno y el fósforo ya que reduce la pérdida de estos por evaporación (Lehmann & Rondon, 2006; Lehmann y Joseph, 2009;

Blackwell *et al.*, 2009; Sparkes & Stoutjesdijk, 2011; Manya, 2012). Algunos estudios demuestran que la producción y aplicación del biochar en el suelo reduce las emisiones de óxido nitroso (N₂O) por la estabilidad de la biomasa pirolizada y, por tanto, la reducción de emisiones por descomposición de la misma y por los efectos directos de la aplicación del biochar sobre el suelo (Woolf *et al.*, 2010, Rondon *et al.*, 2005, Zhang *et al.*, 2010, 2011; Song *et al.*, 2016). La incorporación del biochar en el suelo, podría regular los procesos del ciclo del nitrógeno, y así contribuir a mitigar la contaminación de acuíferos por lixiviación de nitratos, reducir las emisiones nitrogenadas y aumentar la eficacia de los fertilizantes aumentando el volumen de producción de cultivos en el Perú. Por lo tanto es de gran importancia “Evaluar el efecto de la aplicación de biochar derivado de residuos verdes y estiércol del cerdo, sobre el balance de nitrógeno en el sistema suelo-planta (suelos aluviales y *Zea mays L.*) en San Ramón (Perú).

III. MARCO TEORICO

2.1 Principales cultivos producidos en Chanchamayo

En la actualidad, el desarrollo del eje San Ramón-La Merced en el Valle de Chanchamayo, se basa en el café, así como también de árboles frutales. Las pocas terrazas aluviales con los suelos más fértiles contienen grandes plantaciones de cítricos como naranjas (*Citrus aurantium*), mandarinas (*Citrus reticulata*) y toronjas (*Citrus x paradisi*); paltas (*Persea americana*), papayas (*Carica papaya*) y otros árboles frutales que frecuentemente se cosechan en las laderas de las colinas. La piña (*Ananas comosus*), otro cultivo que se produce a escala comercial, se planta por lo general en suelos pobres inclinados. En pequeños lotes también se planta maíz (*Zea mays*), frijoles (*Phaseolus vulgaris*), maní (*Arachis hypogaea*) y yuca (*Manihot esculenta*), así como plátano (*Musa paradisiaca*) como cultivos de subsistencia (OEA, 1987).

2.2 Biochar

El término Biochar, se refiere al grano fino y poroso similar en apariencia al carbón vegetal, el cual se produce a partir de la transformación de distintos tipos de biomasa mediante la técnica denominada pirolisis, que consiste en la descomposición térmica de la materia orgánica bajo un aporte de oxígeno limitado (Abenza, 2012). La estructura interna está compuesta principalmente de una fase de carbono amorfo con un pequeño porcentaje de hojas de grafeno intercalados dentro del material (Lehmann & Joseph, 2009). Estos dos componentes estructurales en el biochar permiten aumentar la disponibilidad de nutrientes en muchos tipos de suelo, especialmente cuando se utiliza en combinación con compost

2.2.1. Historia del biochar

La investigación y estudio del biochar como enmienda de suelos es reciente, sin embargo la idea del biochar como una enmienda del suelo no es nueva ya que se remonta como hace 2000 años, donde el biochar se ha utilizado a lo largo de la cuenca del Amazonas por los nativos como una enmienda del suelo para la retención de nutrientes en suelos pobres. Este suelo se conoce como terra preta o "tierra oscura" y se vende comúnmente como tierra para macetas en los mercados de Brasil, debido a su alto contenido de nutrientes. Los antropólogos creen que terra preta fue el resultado de la cocción por incendios y la colocación intencional de carbón vegetal en el suelo (Glaser *et al.*, 2002). Se pueden encontrar publicaciones científicas desde el siglo XIX y XX acerca del carbón vegetal en suelos, en países como China e Inglaterra e incluso más antiguas como se menciona en un libro de Japón de 1967 (Lehmann & Joseph, 2009; Abenza, 2012).

2.2.2. Producción del biochar

Warren (2012), indica que el biochar es producido por descomposición térmica del material orgánico bajo un suministro limitado de oxígeno a temperaturas relativamente bajas (<700°C) que pueden abarcar desde la torrefacción o combustión (200-300°C, con un tiempo de reacción largo) hasta pirólisis (>300°C, con diferentes tiempos de reacción), y gasificación (>800°C, con un tiempo de reacción corta). Por medio de los procesos de pirólisis y la gasificación de la biomasa, es posible obtener tres productos resultantes: gas de síntesis (*syngas*), bioaceite y el biochar (Sohi *et al.*, 2009; García *et al.*, 2010). En la Tabla 1, se puede observar los tipos de procesos y productos resultante de la descomposición térmica de la biomasa.

Tabla 1.-Tipos de pirolisis y transformación de la materia prima inicial en subproductos pirolíticos.

Proceso	Temperatura de pirólisis	Tiempo de residencia	Líquido (bioóleo)	Sólido (biochar)	Gas (syngas)
Pirólisis rápida	Moderada (~500°C)	Corto (<2s)	75% (25% agua)	12%	13%
Pirólisis lenta	Baja moderada (450°-650°C)	Largo	30% (75% agua)	35%	35%
Gasificación	Elevada (<800°C)	Largo	5% (5% agua)	10%	85%

Fuente: Shoi *et al.* (2009)

La pirolisis es un proceso termoquímico por el cual se pueden obtener productos más estables de la transformación de la biomasa de materiales orgánicos en un sistema cerrado en ausencia o casi ausencia de oxígeno que genera syngas por sus siglas en inglés (principalmente hidrógeno, metano y monóxido de carbono), bio-aceite (alcoholes, aceites, alquitranes y ácidos) y biochar (principalmente C y contiene O, H, N y cenizas) . Los productos de la pirólisis, independientemente del diseño del reactor, son influenciados por la materia prima y los parámetros de operación como: temperatura, tasa de calor y tiempo de residencia del material. La pirólisis se clasifica en lenta, rápida y pirolisis flash, en la pirolisis lenta, se trabajan con temperaturas por encima de los 400°C, el tiempo de reacción es de minutos a días y se tiene un rendimiento de 35% de biochar. Para la pirolisis rápida es usual manejar temperaturas cercanas a los 500°C y tiempos de residencia de vapor cortos, con un rendimiento de entre 10% a 30% de

biochar. En la pirólisis flash, la biomasa es usada y es calentada rápidamente, obteniéndose rendimientos de hasta un 60% (Brownsort, 2009; Warren, 2012).

2.2.3. Efectos del biochar sobre el suelo y la planta

El biochar como una enmienda del suelo aumenta la capacidad de intercambio catiónico (CIC) del suelo, lo que representa la capacidad del suelo para retener nutrientes y ser absorbidos por las plantas, permitiendo que los microorganismos estén más activos, lo que lleva a una mejora de la fertilidad y estructura del suelo, así como la capacidad de almacenamiento de agua (Fowles, 2007; Glaser *et al.*, 2000). Esto aumenta el crecimiento microbiano, que permite aumentar el pH del suelo, aumentando la absorción de pesticidas y metales pesados, que puede prevenir efectos tóxicos a las plantas (Major, 2009). La superficie porosa de biocarbón permite al suelo retener el agua de manera más eficiente y reducir la liberación de nitrógeno en el agua subterránea, mejorando la calidad del agua (Lehmann *et al.*, 2006). La aireación del suelo también se mejora drásticamente debido a la macroporosidad del biochar (Lehmann & Joseph, 2009). La utilización de biochar puede mejorar casi cualquier tipo de suelo, en especial suelos con bajos niveles de nutrientes y dónde las precipitaciones son escasas (Lehmann *et al.*, 2006). Las investigaciones indican que biocarbón es más estable que cualquier otra enmienda del suelo y su capacidad de retener nutrientes es más eficaz que la de cualquier otra materia orgánica utilizada en el suelo (Lehmann & Joseph, 2009).

2.2.4. La disponibilidad de nutrientes

La disponibilidad de nutrientes será diferente dependiendo del tipo de suelo y las condiciones ambientales presentes en el suelo. Hay tres niveles de disponibilidad de nutrientes en todo tipo de suelos. Nutrientes no disponibles (en las estructuras cristalinas de feldespatos, arcillas y micas), donde las plantas no lo pueden utilizar. Nutrientes fijos que se vuelven lentamente a disposición de las plantas durante la estación de crecimiento. Los nutrientes disponibles (fácilmente intercambiables), que las plantas pueden absorber fácilmente. Estos nutrientes se llevan a cabo en la superficie de las partículas de arcilla y materia orgánica en el suelo y se liberan con facilidad cuando las plantas absorben los nutrientes de la solución del suelo (Bruce, 1990).

Las condiciones en las que se maneja la pirolisis y la materia prima utilizada también afecta la composición del biochar, produciendo diferencias significativas en el contenido y disponibilidad de los nutrientes para las plantas (Gaskin *et al.*, 2007; Sparkes & Stoutjesdijk, 2011). Los biochars derivados de estiércol y de animales son relativamente ricos en nutrientes si se comparan con los de plantas. De los biochar producidos de plantas, los de madera generalmente tienen niveles bajos de nutrientes mientras que los de hojas y de residuos de alimentos procesados tienen niveles más altos de nutrientes. Sin embargo, el biochar más que incrementar la cantidad de nutrientes en el suelo, permite que

el suelo almacene o retenga nutrientes, lo que podría reducir la lixiviación de los mismos (Sparkes & Stoutjesdijk, 2011).

2.2.5. Efecto del pH

El pH se usa comúnmente para evaluar la disponibilidad de nutrientes y la toxicidad potencial de iones, ya que estas características del suelo alteran fuertemente los niveles de pH (Plant *et al.*, 2011). El pH del suelo influye sobre todo en la disponibilidad de nutrientes. Investigaciones anteriores acerca de biochar revela una tendencia al aumento de pH del suelo con la aplicación de éste. Esto es debido a que la materia orgánica proveniente del biochar tiene una carga negativa en la superficie, aumentando la composición alcalina en el suelo (Lehmann & Stephen, 2009). El pH de la mayoría de los biochar de pirólisis lenta puede ir de 7.5 a 10.5, sin embargo, se pueden encontrar valores desde cuatro hasta arriba de 12 con otros tipos de pirólisis (Lehmann *et al.*, 2011). La relación entre la temperatura de pirolisis y el pH del biochar resultante es directa, dónde a mayor temperatura, mayor será el pH del biochar (Lehmann *et al.*, 2011; Muter *et al.*, 2014).

2.3 Materia orgánica

Reacciona con los metales formando complejos de cambio o quelatos. La adsorción puede ser tan fuerte que queden estabilizados, como el caso del Cu, o formen quelatos también muy estables, como puede pasar con el Pb y Zn. En muchos casos se forman complejos organometálicos lo que facilita la solubilidad del metal, la disponibilidad y dispersión porque pueden degradarse por los organismos del suelo, lo que conduce a una persistencia de la toxicidad (Rulkens *et al.*, 1995).

2.4 Maíz

El maíz una gramínea alta, anual, con vainas foliares que se superponen y láminas alternadas anchas. Posee espigas (inflorescencias femeninas encerradas por "chalas") y flores que, en conjunto, forman grandes panojas terminales o inflorescencias masculinas. Se propaga por semillas producidas mayormente por fecundación cruzada (alógama) y depende del movimiento del polen por el viento (Gear, 2006).

El maíz (*Zea mays*), es considerado como una de las primeras plantas cultivadas por el hombre hace aproximadamente 10 000 años. Wilkes (1979), menciona que la evidencia más antigua del maíz como alimento humano proviene de algunos lugares arqueológicos en México, donde algunas pequeñas mazorcas de maíz fueron encontradas en cuevas de los habitantes primitivos. Otros autores como Mangelsdorf & Reeves (1959), afirman que el maíz se habría originado la zonas altoandinas de Bolivia, Ecuador y Perú. Dichos autores justifican esta hipótesis en la presencia de maíz reventón en América del Sur y la amplia diversidad genética presente en los maíces andinos, especialmente en

las zonas altas de Perú. Existe una amplia diversidad genética en toda la región que ha sido centro de origen del maíz (Gear, 2006).

El maíz amarillo duro es uno de los cultivos más importantes del Perú, es el segundo cultivo transitorio, cultivado por 198 563 productores en 261 577 hectáreas, que representa el 13,7% de la superficie agrícola con cultivos transitorios (INEI, 2013b). En la actualidad en la costa peruana los agricultores utilizan diferentes tecnologías en el manejo agronómico del cultivo de maíz amarillo duro. Algunas de ellas no son apropiadas para las diferentes zonas maiceras, generando pérdidas, bajos rendimientos y altos costos en su producción, lo que no permite al cultivo expresar su máximo potencial (Agrobanco, 2010).

2.4.1. Abonamiento del Maíz

Los fertilizantes o abonos constituyen un factor decisivo en la obtención de abundantes cosechas rentables económicamente en los sistemas de la agricultura moderna. Estos deben ser aplicados de forma apropiada de acuerdo a las necesidades de las plantas antes de la siembra, a la siembra o durante el período de crecimiento (Vega, 1997).

2.4.2. Plagas de insectos que atacan al maíz

La intensidad de plagas en el maíz se acentúa en las siembras de primavera-verano o mientras persistan altas temperaturas ambientales. En el cuadro 1, se observa una cartilla con información de insecticidas de acuerdo al tipo de plaga que se presenta en el cultivo de maíz.

Cuadro 1.- Cartilla de aplicación para el control de plagas en el maíz

Nombre de plaga	Insecticidas	Forma de aplicación	Dosis de aplicación		
			Kg/ha	l/ha	ml/cil
Gusano de Tierra (<i>Agrotis sp</i>)	Lorsban 480 E	Pulverización		1-1.5	400-500
Perforadores de plantas <i>Elasmopalpus lignosellus</i>	Lannate 90 PM	Rocío	Aplicar de 120-150 gr por 25 Kg de semilla. Disueltos en 1 L a 1.5 L de agua		
Gusanos cortadores <i>Feltia sp.</i>	Lorsban 480 E	Pulverización	-	1-1.5	400-500
	Fenkil 3% PS	Espolvoreo	10-15 Kg/Ha	-	-
Gusano cogollero <i>Spodoptera frugiperda</i>	Larvin 375 F	Aspersión/ Pulverización	-	0.075-1	-
	Intrepid 2F	Pulverización	-	0.25	125
	Absolute 60 SC	Pulverización	-	0.075-0.1	-
	Lorsban 480 E	Pulverización	-	1-1.5	400-500
	Beta-Baytroide 125 SC	Pulverización	-	0.1	50
	Lannate 90 SP	Rocío	Aplicar de 120-150 gr por 25 Kg de semilla. Disueltos en 1 L a 1.5 L de agua		
Barreno o cañero <i>Diatrea saccharalis</i>	SV-85 PM	Pulverización	1-2.5		
Gusano de la mazorca <i>Heliothis zea</i>	Larvin 375 F	Aspersión/ Pulverización	-	1.0-1.5	-
Trips	Pyrinex 48 EC	Pulverización		0.75-1	

Fuente: Elaboración Propia.

2.5 Ciclo del nitrógeno

Es fundamental poseer una clara visión de las transformaciones del N y de otros nutrientes en el suelo para estimar las dinámicas del suministro de nutrientes en el mismo. (IPNI, 2012). El nitrógeno entra en la biosfera por fijación química y biológica del nitrógeno molecular (N₂) y se remueve de la misma por desnitrificación. La determinación cuantitativa de los diferentes compartimientos orgánicos y minerales, está relacionada con la disponibilidad de nutrientes y su susceptibilidad de alteración debido al manejo, sistemas de producción y procesos del suelo, donde estos compartimientos estén involucrados (Ceron & Aristizábal, 2012). La dinámica del nitrógeno en la biosfera comprende principalmente la fijación biológica del nitrógeno (N₂), la mineralización, la amonificación, la nitrificación, la desnitrificación, la fijación de ion amonio y la inmovilización, procesos que se detallan a continuación:

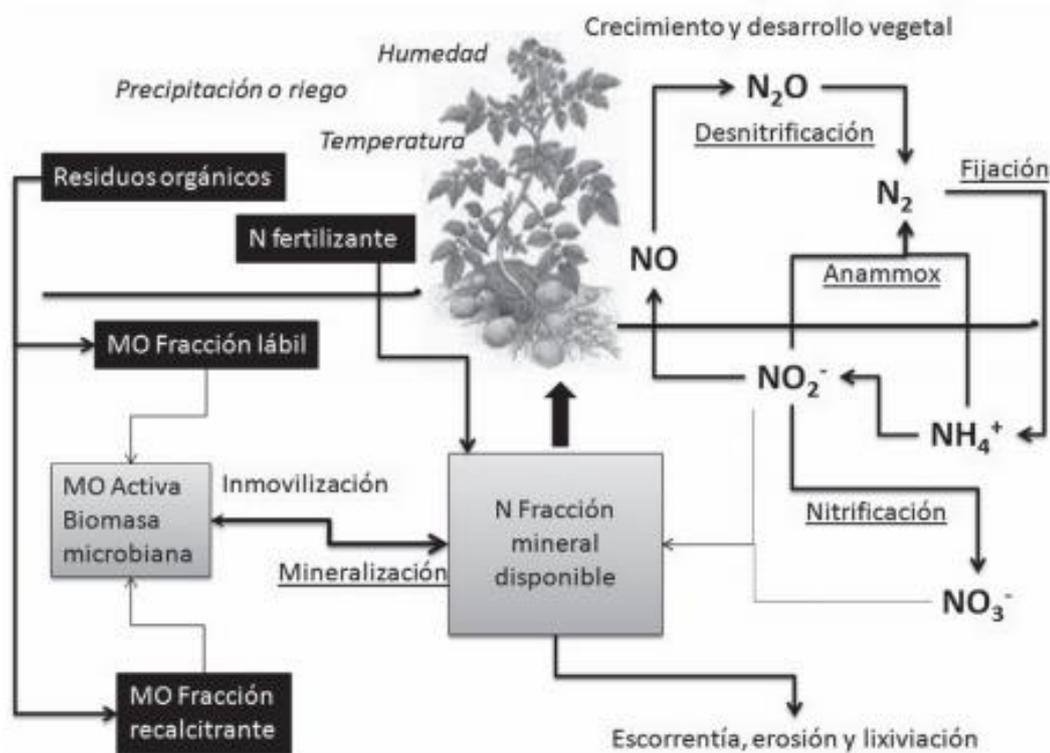
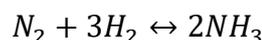


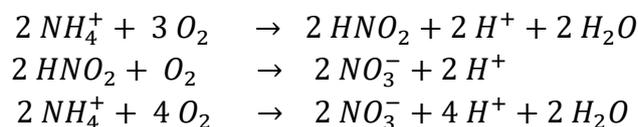
Figura 1.- Relaciones entre el ciclo del nitrógeno y los comportamientos orgánicos y minerales. Los cuadros negros son las entradas al sistema, los grises las fracciones disponibles, sin recuadro procesos y factores que tienen influencia en la disponibilidad de nitrógeno (MO: Materia Orgánica). Fuente: (Ceron & Aristizábal, 2012)

- a) Fijación biológica del nitrógeno, es el proceso en el cual el nitrógeno atmosférico (N₂), se reduce hasta convertirse en forma asimilable para la planta, de acuerdo a la siguiente reacción:



Esto se debe a que el nitrógeno en estado gaseoso (N_2), no puede ser asimilado por las plantas, ya que éstas sólo pueden utilizarlos en formas de nitrato (NO_3^-) o amonio (NH_4^+). La fijación depende de la capacidad de algunos microorganismos para convertir el nitrógeno en formas asimilables para las plantas mediante la acción del complejo enzimático nitrogenasa, donde la mayor parte del nitrógeno fijado en los ecosistemas terrestres se realiza mediante la asociación simbiótica bacterias de los géneros *Rhizobium*, *Azotobacter* y *Azospirillum* (Fernández-Pascual *et al.*, 2002). La fijación de nitrógeno la realiza una bacteria o un microorganismo determinado y en un cultivo determinado; siempre se realiza en la planta, nunca en suelo (Tello, 2004).

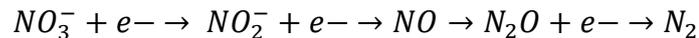
- b) Mineralización, proceso que ocurre en la parte superior del suelo, donde se transforman los compuestos nitrogenados orgánicos complejos a compuestos inorgánicos más sencillos. Este proceso es afectado por la composición de los residuos orgánicos (residuos animales y vegetales), la relación C/N, la relación ácidos/bases y el contenido de minerales (Tello, 2004). La mineralización de N del suelo proviene principalmente de la materia orgánica proporcionando del 50 al 80% de las necesidades de N de los cultivos, donde las formas orgánicas de N constituyen hasta el 90% del N total en la capa arable de los suelos minerales. Curtin & Wen, (1999), mencionan que a pesar de la gran cantidad de N que se encuentra en el suelo, se estima que sólo del 1 al 3% del total de N orgánico es mineralizado.
- c) Amonificación, es el proceso donde NH_4^+ puede oxidarse hasta (NO_2^-) y (NO_3^-). El amonio es el producto final de la degradación de los compuestos nitrogenados de la materia orgánica; las condiciones favorables para que se lleve a cabo este proceso son las temperaturas entre 30°C-35°C. Si no se da la liberación del amonio no se llevará a cabo el proceso de nitrificación (Tello, 2004).
- d) Nitrificación, proceso por el cual el NH_4^+ se oxida hasta (NO_3^-), el cual es realizado por un grupo reducido de microorganismos autótrofos especializados (principalmente Nitrobacterias), que obtienen su energía de este proceso oxidativo. Este proceso se divide en dos etapas:



El amonio puede ser oxidado a nitrato, asimilado por microorganismos para la síntesis celular, absorbido por las plantas, inmovilizado por microorganismos, perderse por lixiviación o por desnitrificación (Tello, 2004).

- e) Desnitrificación, proceso de reducción biológica realizado en el suelo por un gran número de microorganismos anaerobios facultativos. En condiciones de anaerobiosis estos microorganismos utilizan el (NO_2^-) y

(NO₃⁻) en lugar de O₂ como aceptores de electrones, produciendo gases nitrogenados (NO, N₂O, N₂), este proceso puede expresarse:



Hauck, (1981), estima que en promedio, del 25 al 30% del N aplicado como fertilizante se pierde por este proceso, el cual es promovido por humedad elevada, pH neutro, elevadas temperaturas del suelo, baja tasa de difusión de oxígeno, presencia de materia orgánica y nitratos solubles (Tello, 2004).

- f) Fijación del ión amonio, proceso por el cual el ión amonio (NH₄⁺) es absorbido por los minerales de arcilla cargados negativamente. En la solución suelo el nitrato se encuentra usualmente en mayor concentración que el (NH₄⁺), excepto en los suelos ácidos.
- g) Inmovilización, se denomina inmovilización al proceso opuesto a la mineralización. Es la transformación de N inorgánico (NH₄⁺, NO₃⁻ y NO₂⁻) del suelo en N orgánico, realizada por los microorganismos cuando absorben N mineral y lo transforman en el N constituyente de sus células y tejidos. Cuando la cantidad de N mineral en el suelo aumenta, ocurre mineralización neta. En cambio, cuando se retira N mineral ya existente en el suelo, ocurre inmovilización neta. Este efecto neto es muy importante, pues determina la cantidad de N mineral disponible para las plantas no fijadoras de N en casos en que no se fertilice con este nutriente (Jansson & Persson, 1982).

IV. MATERIALES Y METODOLOGÍA

2.6 *Materiales*

Insumos:

- Semilla de maíz Variedad “Marginal 28 Tropical”
- Residuos verdes
- Estiercol de cerdo
- Urea
- Ácido fosfórico

Equipos:

- GPS
- Balanza digital de 5 Kg AND EK-6100i
- Kon-Tiki (Horno de acero galvanizado para producir biochar)
- Potenciómetro METROHM 916
- Picadora

De campo:

- Balanza de Kg ELECTRONIC SF-480
- Baldes de 20 L
- Balanza de 50 Kg
- Bolsas plásticas de 10 L
- Bolsas de papel
- Bolsas Ziplock
- Botas
- Costales
- Cintas marcadoras
- Estacas de madera
- Guantes
- Lampa
- Machete
- Marcadores
- Pala
- Pico
- Rafia 150 m
- Tijera de poda
- Tamiz 10 mm
- Wincha de 50 m

De Gabinete:

- Calculadora
- Cámara fotográfica
- Hojas
- Lapiceros
- Libreta de apuntes

- Regla
- Laptop

De Laboratorio:

- Agua destilada
- Baguetas de vidrio
- Beaker de 50 ml
- Pipeta
- Frascos

2.7 Metodología

3.2.1. Área de estudio

El proyecto se llevó a cabo en la estación experimental de la Asociación Peruana para la Promoción del Desarrollo Sostenible (APRODES), ubicada en el distrito de Naranjal, Provincia de Chanchamayo, Región Junín, ubicada a 950 msnm con coordenadas UTM: N 456829; E 8768552; Zona 18.

3.3.1. Biochar

Se recolectó entre 200 y 300 kilogramos de residuos verdes provenientes de la poda de parque y jardines de la Municipalidad en Lurín, que están compuestos por una mezcla de recorte de césped, ramas, hojas. Se produjo biochar a partir de la mezcla de residuos verdes y estiércol de cerdo, ambos bajo la misma proporción a una temperatura entre 350°C y 550°C, fueron sometidos a pirolisis de baja temperatura, durante 90 minutos en un Kon-Tiki

3.3.2. Montaje del cultivo de maíz

Para la evaluación del efecto de los tratamientos, se plantó maíz (*Zea mays* L.) de la variedad de amarillo duro "Marginal 28 Tropical" (INIA). El período de ciclo de vida del maíz se llevó a cabo entre los meses de mayo a setiembre del 2016. De acuerdo a las recomendaciones de dimensiones siembra (0.8 m entre surcos y 0.50 entre golpe, con dos plantas por golpe), brindadas por el INIA (2008), el área utilizada por cada dos plantas de maíz fue 0.4 m².

3.3.3. Diseño Experimental

La dosis de aplicación se formuló de acuerdo a la necesidad nutricional del maíz (175 kg N/ha) recomendada por el Departamento de Industrias Primaria de Nueva Gales del Sur (DPI NSW) en Australia, el contenido de N y el porcentaje de humedad resultante de cada tratamiento de acuerdo al análisis de laboratorio, y el tamaño de la parcela. En la Tabla 2, se observan las variables que se tomaron en cuenta para la formulación de los tratamientos.

Tabla 2.- Modelo de hoja de cálculo que contiene los parámetros para determinar la dosis de aplicación por cada tratamiento.

Tratamientos*	(g/kg)	t/ha**	kg/parcela***	% Humedad	kg/parcela
T1(Control)					
T2	a	b	c	d	E
T3	...	...	...	...	...
T4	...	...	...	...	...
T5	...	...	...	...	...

Fuente: Elaboración propia. * T1 = Control, T2 = Estiércol de Cerdo, T3= Biochar, T4= Biochar con ajuste de pH y T5= Biochar con ajuste de pH y relación C/N. ** Aplicación formulada en base al requerimiento nutricional del maíz. *** Dosis de aplicación para una parcela de 4 m²

Al tratamiento T4, se le adicionó tres (03) litros de ácido fosfórico por cada 250 Kg de biochar obtenido, esto con el fin de ajustar el pH. Para ajustar el pH y la relación C/N del tratamiento T5, se adicionó tres (03) litros de ácido fosfórico por cada 250 Kg de biochar obtenido y 24 gramos por cada kilo de biochar producido respectivamente.

Las letras presentadas en la Tabla 2 se refieren:

a) Resultado del análisis de laboratorio acerca del contenido de nitrógeno. Los resultados indican el contenido en gramos del nitrógeno por cada kilogramo de muestra.

b) Es la cantidad de tratamiento que se debe agregar al suelo para obtener 175 kg N/ha por cada uno de los tratamientos. Para encontrar este valor se aplicó la siguiente regla:

$$a \text{ N}(g) \rightarrow 1 \text{ (kg Muestra)}$$

$$175 \text{ kgN} \rightarrow b \text{ (T Muestra)}$$

$$b = \frac{175 \text{ kg N} \times 1 \text{ kg Muestra}}{a \cdot 10^{-3} \text{ kg N}} \times \frac{t}{1000 \text{ kg}}$$

c) Es la cantidad de tratamiento en kilogramos que se debe agregar en un área de 4 m²:

$$c = b \left(\frac{t}{ha} \times 0.004ha \times \frac{1000Kg}{1t} \right)$$

d) El porcentaje de humedad de cada tratamiento. Este parámetro se analizó en el Laboratorio de la Universidad Científica del Sur bajo el método gravimétrico. (Topp & Ferré, 2002)

$$e = c + (c \times \%Humedad)$$

Se trabajó con cinco tratamientos, y cinco repeticiones por cada uno de ellos. Cada tratamiento se aplicó en una parcela con dimensiones de 2m x 2m, con 1 metro de distancia de separación entre cada parcela, como se observa en la Figura 2. En cada parcela de 4 m², los diferentes tratamientos se aplicarán en los primeros 10 cm del suelo.

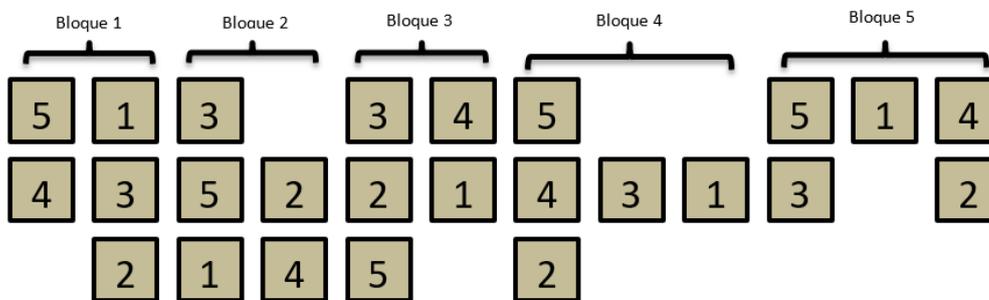


Figura 2.-Distribución de los tratamientos dentro de cada uno de los bloques de repeticiones.

3.3.4. Modelo estadístico

El presente diseño experimental, corresponde a un modelo de bloques completamente aleatorizado (DBCA).

3.3.5. Análisis estadístico

Para los análisis estadísticos se utilizó un análisis de varianza de una sola vía (ANOVA) y se realizó un análisis de comparación de medias a través de Tukey mediante el software estadístico JMP versión 11 – con un nivel de confianza de 95%.

3.3.6. Parámetros Evaluados

En cada tratamiento se determinó Biomasa seca, altura, y nitrógeno en la planta. Adicionalmente se analizó en el suelo el contenido de nitratos, nitritos, amonio y nitrógeno total. En la Tabla 3 se muestra los métodos utilizados para cada parámetro.

Tabla 3.-. Parámetros y métodos de análisis que se realizaron a cada uno de los tratamientos.

Parámetro	Método
Biomasa seca	Peso de hojas, tallos, raíces y mazorca
Altura	(Betancourt <i>et al</i> , 1998)
Nitrógeno total en el suelo	Método Kjeldahl
Nitratos (NO ₃ ⁻)	Electrodos selectivos
Amonio (NH ₄ ⁺)	Electrodos selectivos
Nitrógeno en la planta	Método Kjeldahl
Volatilización y/o lixiviación	Balace de nitrógeno

Biomasa Seca: Se extrajeron las plantas de cada una de las parcelas. Estas fueron fraccionadas en sus componentes: hojas, tallos, raíces y mazorca y acondicionadas en bolsas de papel. Una vez codificadas, fueron colocadas en la estufa a temperatura constante de 65°C por 48 horas (Mayanga, 2011).

Altura: Se midió la altura desde la superficie del suelo, intercepción de la parte inicial de la raíz con el cuello de la planta, hasta el último nudo del tallo donde se sostiene o emerge la panoja (Mayanga, 2011).

Nitrógeno en el suelo: Se extrajo un kilogramo de muestra de suelo de cada una de las parcelas al final de la experimentación (a los 150 días). Las muestras fueron enviadas al laboratorio de análisis de suelos, plantas y fertilizantes de la Universidad Nacional Agraria La Molina, para determinar el nitrógeno total por medio del método de Kjeldahl.

Nitratos (NO₃⁻) y Amonio (NH₄⁺): Se determinó por medio del método de electrodos selectivos. (Arango & Perez, 2005). A los 124 días, se insertó en el suelo de cada una de las parcelas cuatro sondas de color naranja y cuatro sondas de color morado; las cuales fueron retiradas luego de 20 días. Estas sondas llamadas PRS (Plant Root Simulator), poseen membranas que ayuda a determinar la cantidad de aniones (nitratos) y cationes (amonio) respectivamente en el suelo. El análisis de dichas membranas se realizó en el laboratorio de Western Ag Innovations (<https://www.westernag.ca/innovations/technology/basics>).

Nitrógeno en la planta: A los 124 días, cuando se dio la floración, se recolectó muestras de hojas representativas de cada una de las plantas, para determinar nitrógeno foliar. Siguiendo la metodología descrita por Álvarez *et al.*, (2016), a los 150 días cuando la mazorca ya se había terminado de desarrollar, se recolectó el resto de biomásas (mazorca, raíz, tallo y hojas), las cuales fueron separadas y secadas en un horno durante tres días a una temperatura de 60 °C. Luego cada una de las partes del cultivo fue pesada, para poder determinar la biomasa total y de las fracciones del cultivo. Una muestra de cada una de las fracciones fueron enviadas al Laboratorio de análisis de suelos, plantas y fertilizantes de la Universidad Nacional Agraria La Molina, para determinar nitrógeno por el método Kjeldahl. Finalmente el % N de cada una de las fracciones fue multiplicada por la biomasa correspondiente y así se determinó el contenido de nitrógeno total en el cultivo.

Balance de Nitrógeno

El balance de masa de nitrógeno se realizó considerando las entradas y salidas del sistema suelo-cultivo en cada uno de los tratamientos de acuerdo al modelo modificado planteado por Errebhi *et al.* (1998); Meinsinger *et al.* (2008), Giletto & Echeverría (2013); citados por Walter *et al.* (2015). Dónde:

$$N_{entrada} = N_{salida}$$

$$N_{entrada} = N_{is} + N_{min} + N_{atm} + N_{fer}$$

$$N_{salida} = N_{ap} + N_{fs} + N_{vol} + N_{lix}$$

Donde:

- N_{is} : Nitrógeno inicial en el suelo
- N_{min} : Nitrógeno mineralizado (M.O)
- N_{atm} : Nitrógeno fijado por la atmósfera
- N_{fer} : Nitrógeno aportado por fertilización
- N_{ap} : Nitrógeno absorbido por la planta
- N_{fs} : Nitrógeno final en el suelo
- N_{vol} : Nitrógeno perdido por volatilización
- N_{lix} : Nitrógeno perdido por lixiviación

Para determinar la cantidad de nitrógeno inicial en el suelo (N_{is}) se usó la ecuación utilizada por Vásquez *et al.*, (2014) para determinar el stock de carbono, en este caso nitrógeno:

$$Stock\ de\ Nitrogeno\ (kg\ m^{-2}) = nitrogeno(kg\ t^{-1}) \times BD(t\ m^{-3}) \times Z(m)$$

Dónde:

- BD: Densidad aparente
- Z: Profundidad

Para encontrar la densidad aparente, se tomó la muestra en base a un área de 1000 cm³, y a una profundidad de 10 cm. La densidad aparente resultante fue de 0.0012514 kgcm⁻³. Para el contenido de nitrógeno (*kg t⁻¹*) se usó el porcentaje de nitrógeno inicial en el suelo; que de acuerdo a los resultados de laboratorio fue 0.06%. De acuerdo estudios, se sabe que sólo el 2.5% del nitrógeno total del suelo constituye las formas de nitrógeno que son asimilables por las plantas (amonio cambiante, nitratos y nitritos). Por lo tanto, del contenido de nitrógeno total, sólo se consideró el 2.5% para realizar el balance.

El nitrógeno mineralizado (N_{min}), se encontró a través del contenido de M.O inicial en el suelo, que de acuerdo a los análisis de laboratorio fue de 4.42% (Ver Anexo 1). De acuerdo a Graetz (1997), la materia orgánica del suelo contiene cerca del 5% de N total. Al igual que para el caso anterior, sólo el 2.5% del N total del suelo para realizar balance.

La cantidad de N fijado por la atmósfera (N_{atm}), es un parámetro muy difícil de medir, debido a la amplia gama de microorganismo fijadores de nitrógeno. Para determinar este valor, se tomó como referencia la cantidad de nitrógeno atmosférico fijado propuesto por Ofori *et al.* (1987) en un sistema intercalado de maíz y trigo (58.8 kgNha⁻¹). Se consideró este valor, debido a que el terreno dónde se implantó el experimento estaba cubierto previamente de leguminosas forrajeras.

El nitrógeno aportado por la fertilización (N_{fer}) está en base a la necesidad nutricional del maíz (175 kgNha⁻¹), que es lo que se añadió a cada uno de los tratamientos.

El stock de nitrógeno final en el suelo (N_{fs}), fue encontrado aplicando la misma ecuación de Vásquez *et al.*, (2014) que se aplicó para el stock inicial, y teniendo en cuenta sólo el 2.5% para el balance. El nitrógeno absorbido por la planta (N_{ap}) fue hallado multiplicando el porcentaje de nitrógeno por la cantidad de biomasa de cada una de las fracciones, luego estas fueron sumadas para encontrar la cantidad total de nitrógeno absorbido por la planta.

El nitrógeno perdido por volatilización (N_{vol}) y por lixiviación (N_{lix}) se encontró por diferencia balance de masas, quedando la siguiente igualdad:

$$N_{vol} + N_{lix} = N_{is} + N_{min} + N_{atm} + N_{fer} - N_{ap} - N_{fs}$$

Manejo agronómico del Maíz:

Se mantuvo un manejo integrado agronómico durante todo el ciclo vegetativo del maíz, a fin de evitar plagas, el cual incluye lo siguiente:

- Manejo de malezas: Todos los meses se realizó una faena para eliminar las malezas.
- Control de plagas: Se realizó una identificación física semanal. Cuando se presentaron plagas, se procedió a la identificación y aplicación de un plaguicida correspondiente

2.8 Análisis de costos de abonamiento

Para este análisis se supone que el maíz puede ser vendido por 1.20 soles / kg (soles = moneda peruana) usando cifras publicadas por el Ministerio de Agricultura del Perú ([http://minagri.gob.pe/portal/boletin-de-maiz-amarillo -duro / maíz - 2016](http://minagri.gob.pe/portal/boletin-de-maiz-amarillo-duro/maiz-2016)). El costo de la urea (1.4 soles / kg), el costo del ácido fosfórico (5.6 soles / litro), y el costo del biochar se obtuvo de los cálculos propios realizados para el proyecto B4SS ([http://biochar.international/the -biochar-for-sustainable-soils-b4ss-project / Perú /](http://biochar.international/the-biochar-for-sustainable-soils-b4ss-project/Peru/)). El tipo de cambio utilizado para este análisis es 1 USD = 3.4 PEN.

V. RESULTADOS

3.1 *Tratamientos*

La dosis de aplicación se formuló de acuerdo la necesidad nutricional del maíz (175 Kg N/ha) recomendada por el Departamento de Industrias Primaria de Nueva Gales del Sur (DPI NSW) en Australia y el contenido de N resultante de cada tratamiento. En los Anexos 2 y 3, se observa el resultado de laboratorio del contenido de nitrógeno de los tratamientos T2, T3 y T4 respectivamente. En la Tabla 4, se presenta el cálculo de la cantidad de aplicación por cada tratamiento cada para un área de 4 m². Un mayor alcance de este balance se presenta en el Anexo 4.

Tabla 4.- Balance de aplicación de cada tratamiento

Tratamientos*	N (g/Kg)	t/ha**	Kg/plot	% Humedad	Kg/plot ***
T1(Control)					
T2	0.84	20.83	8.33	26.8	10.57
T3	0.64	27.34	10.94	19.2	13.038
T4	0.64	27.34	10.94	5.6	11.55
T5	0.68	25.74	10.29	11.4	11.47

*Fuente: Elaboración propia. * T1 = Control, T2 = Estiércol de Cerdo, T3= Biochar, T4= Biochar con ajuste de pH y T5= Biochar con ajuste de pH y relación C/N. ** Aplicación formulada en base al requerimiento nutricional del maíz. *** Dosis de aplicación incluyendo el porcentaje de humedad y el tamaño de la parcela.

La dosis de aplicación para los tratamiento T2, T3, T4 y T5 fue de 10.57, 13.04, 11.55 y 11.47 kilogramos por parcela respectivamente. Esta cantidad aplicada incluye el porcentaje de humedad de cada uno de los tratamientos; el Tratamiento T2, fue el que presentó mayor contenido de humedad con 26.8%, mientras que el tratamiento T4, fue el que presento menor contenido de humedad alcanzado sólo 5.6 %. Como se observa en la Tabla 4, el tratamiento T3 es el que mayor dosis de aplicación requirió (13.04 Kg) para alcanzar los 175 Kg N/ha mientras que el T2 fue el de menor dosis de aplicación (10.57 Kg).

3.2 Biomasa

Solo el tratamiento T5 (biochar con ajuste de pH, y relación C/N) tuvo un efecto significativo (“p” <0.0022) sobre el rendimiento del maíz tanto en las fracciones de biomasa como la biomasa total en comparación con el Tratamiento T1 (Control) como se puede observar en la Figura 4. . En el Anexo 5, se encuentra la data general de la biomasa y el Anexo 7 presenta la tabla con el resumen estadístico ANOVA para la fracción de biomasa y biomasa total.

También podemos observar que los promedios de fracción de biomasa y biomasa total de los tratamientos mantiene la siguiente tendencia: T5>T4>T3>T2>T1, dónde el promedio de biomasa total para el tratamiento T5 fue 210.64 gramos por planta, mientras que para el tratamiento T1 sólo llego a alcanzar los 30.81 gr por planta, como se puede observar en la Tabla 5.

Tabla 5.-Resultados promedios de las fracción de biomasa y biomasa total

Tratamiento	Fracciones de biomasa (g)				Biomasa Total (g)
	Frutos	Hojas	Tallo	Raíces	
T1	8.09	11.06	7.88	3.78	30.81
T2	49	18.86	20.54	8.74	99.95
T3	58.86	23.86	22.95	12.31	117.99
T4	62.75	25.12	24.42	12.32	136.94
T5	114.12	34.06	40.67	21.22	210.06

*Fuente: Elaboración propia. Dónde: T1 = Control, T2 = Estiércol de Cerdo, T3= Biochar, T4= Biochar con ajuste de pH y T5= Biochar con ajuste de pH y relación C/N.

Con los valores de producción obtenidos por planta de cada tratamiento, se estimó el rendimiento de biomasa de fruto en términos de toneladas por hectárea (tha^{-1}), asumiendo que el área ocupada por dos plantas equivale a 0.4 m^2 . En la Figura 3, se puede observar una diferencia de 5.30 tha^{-1} en el rendimiento a favor del tratamiento T5 comprado con el Control. En la Figura 5 y 6, se muestra el tamaño de las mazorcas dentro de cada uno de los tratamientos.

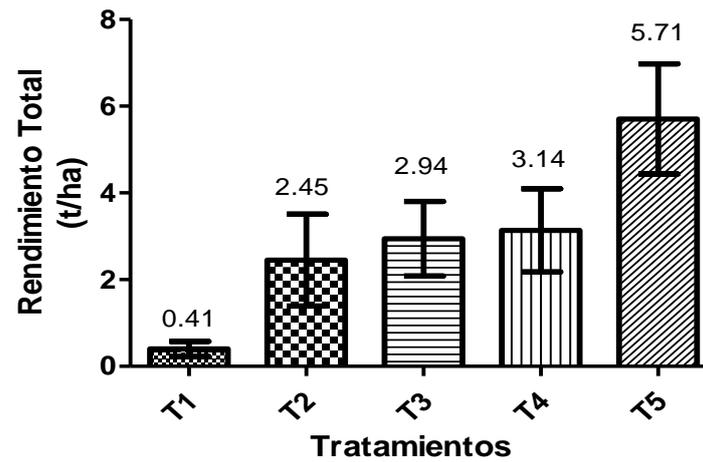


Figura 3.- Rendimiento de maíz en cada uno de los tratamientos expresados en toneladas por hectarea. Dónde: T1 = Control, T2 = Estiércol de Cerdo, T3= Biochar, T4= Biochar con ajuste de pH y T5= Biochar con ajuste de pH y relación C/N.

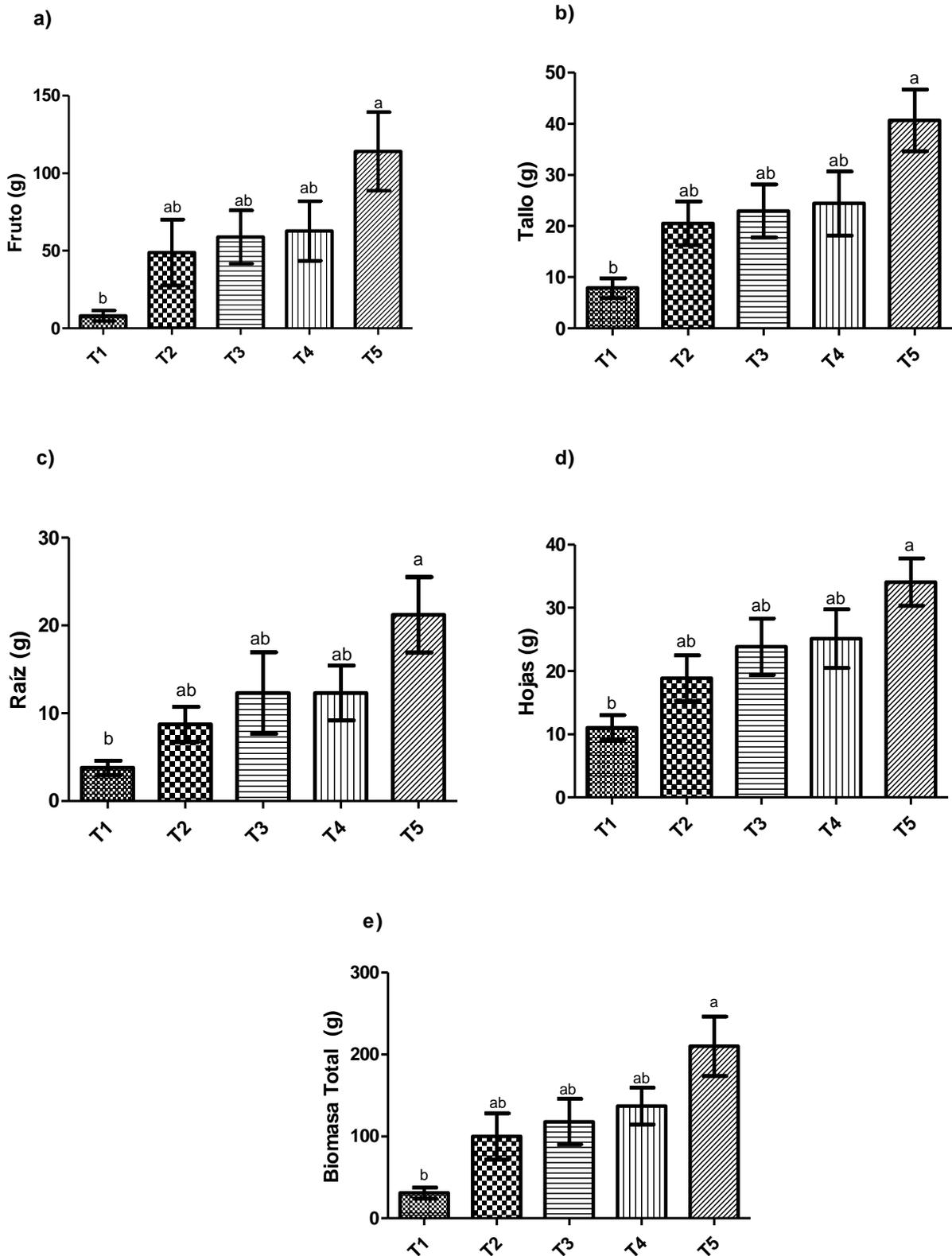


Figura 4.- Biomasa por fracción y biomasa total contenido en cada uno de los tratamientos. a) Fruto, b) Tallo, c) Raíz, d) Hojas, e) Biomasa total. Dónde: T1 = Control, T2 = Estiércol de Cerdo, T3= Biochar, T4= Biochar con ajuste de pH y T5= Biochar con ajuste de pH y relación C/N.



Figura 5.- Fotografía que muestra el tamaño promedio de las mazorcas en cada uno de los tratamientos. Dónde: T1 = Control, T2 = Estiércol de Cerdo, T3= Biochar, T4= Biochar con ajuste de pH y T5= Biochar con ajuste de pH y relación C/N.



Figura 6.- Fotografía que muestra el tamaño promedio de los granos en las mazorcas en cada uno de los tratamientos. Dónde: T1 = Control, T2 = Estiércol de Cerdo, T3= Biochar, T4= Biochar con ajuste de pH y T5= Biochar con ajuste de pH y relación C/N.



Figura 7.- Fotografía que muestra el tamaño promedio de las raíces en cada uno de los tratamientos. Dónde: T1 = Control, T2 = Estiércol de Cerdo, T3= Biochar, T4= Biochar con ajuste de pH y T5= Biochar con ajuste de pH y relación C/N.



Figura 8 .- Fotografía que muestra el tamaño promedio de la altura de plantas dentro cada uno de los tratamientos

3.3 Altura

Se encontró una diferencia de 66.9 cm en la altura a favor del tratamiento T5 comprado con el Control. La altura dentro de los tratamientos mantiene la siguiente tendencia: T5>T4>T3>T2>T1 como se observa en la Figura 5, dónde el maíz respondió positivamente en aquellos tratamientos a base de biochar, sin embargo, sólo el tratamiento T5 (biochar con ajuste de pH, y relación C/N) mostró un efecto significativo (“p” <0.006) sobre la altura de la planta en comparación con el Control. En la Fotografía 4, se muestra el la altura promedio del maíz dentro de cada uno de los tratamiento. En el Anexo 8 la data de la altura de las plantas por tratamiento y en el Anexo 9 contiene de resumen de análisis estadístico ANOVA para la altura del maíz.

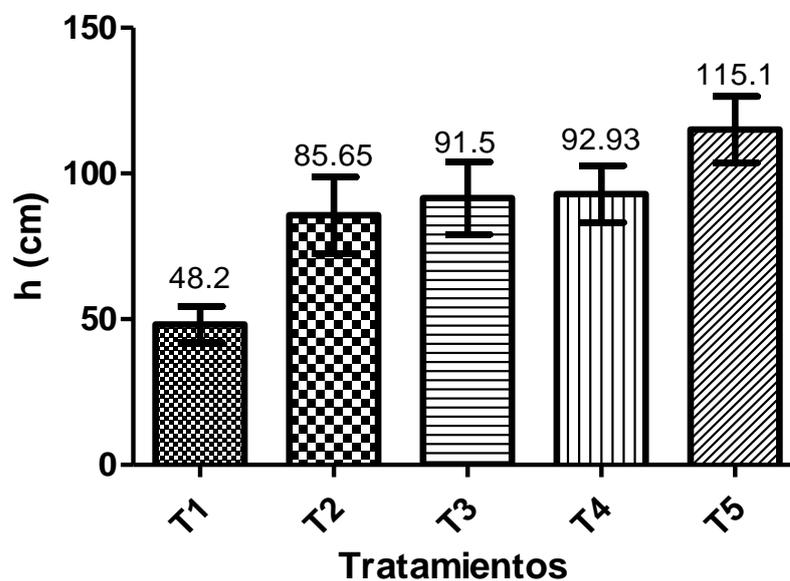


Figura 9.- Altura del maíz, expresados en centimetro. Dónde: T1 = Control, T2 = Estiércol de Cerdo, T3= Biochar, T4= Biochar con ajuste de pH y T5= Biochar con ajuste de pH y relación C/N.

3.4 Contenido de nitrógeno en la planta

Existen diferencias significativas entre los tratamientos T1, T2 y T5 con respecto al contenido de nitrógeno en la biomasa total ($p < 0.0018$) en comparación con los tratamientos T3 y T4, los cuales no presentan diferencias significativas con respecto a los demás tratamientos como se puede observar en la Figura 6. En los Anexos 10, 11, 12 y 13 se encuentra el porcentaje de nitrógeno por cada una de las fracciones. En el Anexo 14 se encuentra la data general del contenido de nitrógeno en cada una de las plantas y en el Anexo 15 la tabla de resumen de análisis estadístico ANOVA para el contenido de nitrógeno en las fracciones de biomasa y biomasa total respectivamente.

Asimismo se observa que el contenido de nitrógeno en cada una de las fracciones del cultivo, así como también en la biomasa total, mantiene la siguiente tendencia: $T5 > T4 > T3 > T2 > T1$. El mayor contenido de nitrógeno se localizó en el fruto y las hojas, como se puede observar en la Figura 6 y Tabla 6.

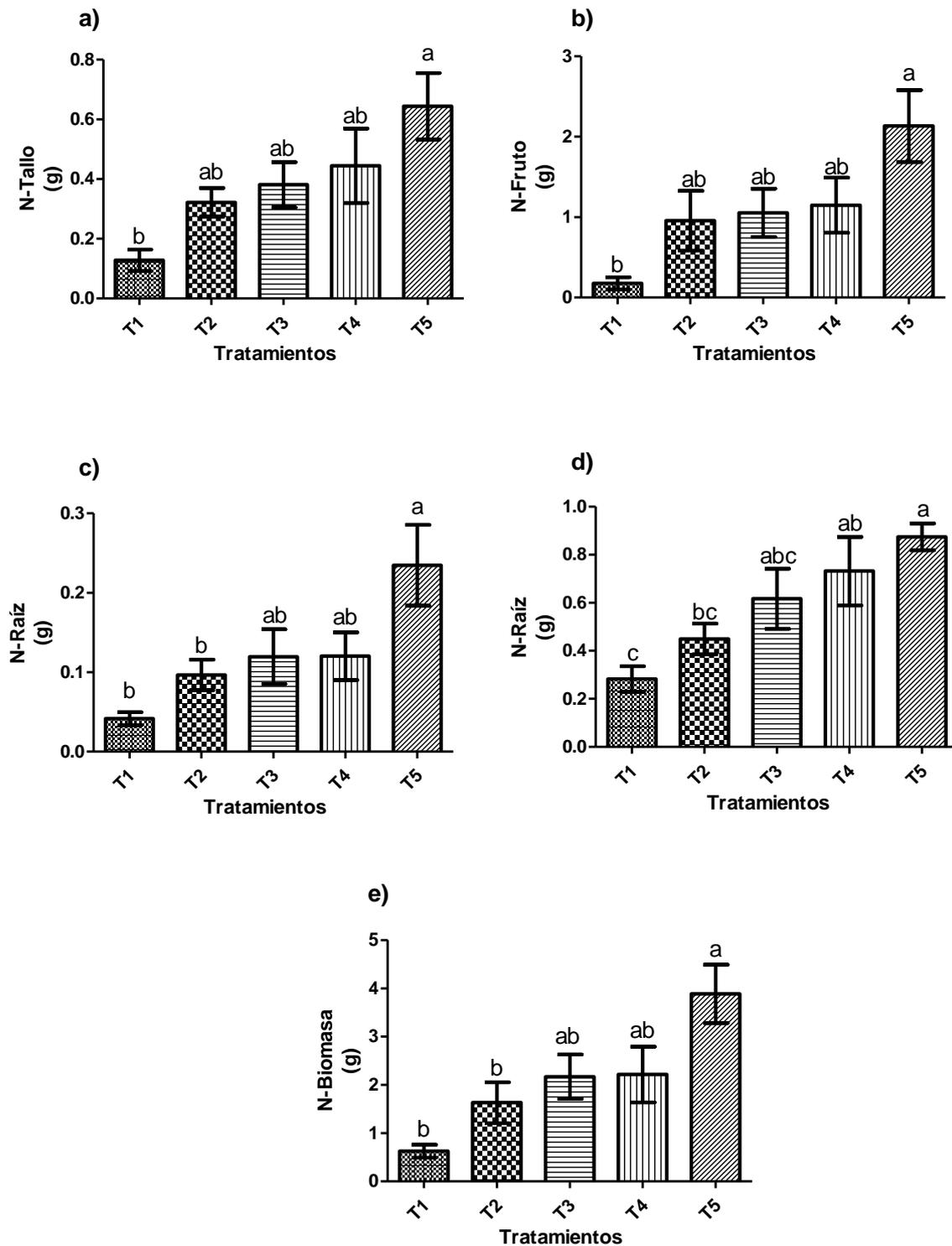


Figura 10.-Contenido de nitrógeno por fracción y en biomasa total contenido en cada uno de los tratamientos. Dónde: a) Tallo, b) Fruto, c) Raíz, d) Hojas, e) Biomasa total Dónde: T1 = Control, T2 = Estiércol de Cerdo, T3= Biochar, T4= Biochar con ajuste de pH y T5= Biochar con ajuste de pH y relación C/N.

Tabla 6.-. Promedios de contenido de nitrógeno fracción de biomasa y biomasa total.

Tratamiento	Nitrogeno en las fracciones de biomasa (g)				Nitrogeno Biomasa Total (g)
	Frutos	Hojas	Tallo	Raíces	
T1	0.18	0.28	0.13	0.042	0.61
T2	0.96	0.45	0.32	0.097	1.63
T3	1.05	0.62	0.38	0.12	2.17
T4	1.15	0.73	0.44	0.12	2.22
T5	2.13	0.87	0.64	0.24	3.89

*Fuente: Elaboración propia. Dónde: T1 = Control, T2 = Estiércol de Cerdo, T3= Biochar, T4= Biochar con ajuste de pH y T5= Biochar con ajuste de pH y relación C/N.

Con estos datos y el área específica ocupada por el cultivo, se calculó el contenido de nitrógeno que contiene una planta en términos de kilogramos por hectárea (kgNha^{-1}), los valores promedios se observan en la Figura 7.

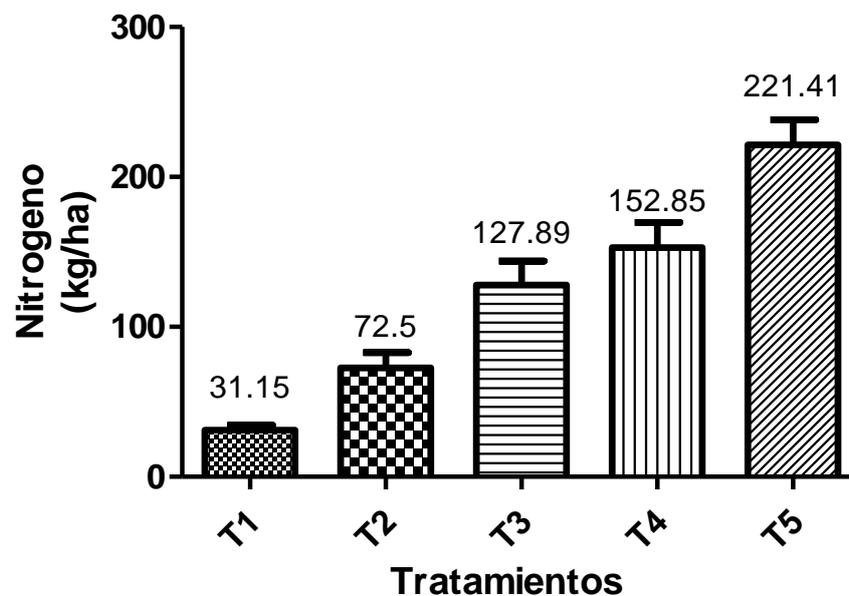


Figura 11.-Contenido de nitrógeno en la biomasa total, expresados en kilogramos sobre metro cuadrado. Dónde: T1 = Control, T2 = Estiércol de Cerdo, T3= Biochar, T4= Biochar con ajuste de pH y T5= Biochar con ajuste de pH y relación C/N.

3.5 Nitrogeno de Entrada en el sistema suelo-planta

El contenido de nitrógeno inicial total fue de 0.06%, el cual representa un stock de 900 kgNha⁻¹. A este resultado se le aplicó el 2.5% para determinar el valor de Nis, resultando así un total de 22.5 kgNha⁻¹. El contenido de stock de M.O en el suelo fue de 66300 kgha⁻¹, dónde el 5% de nitrógeno mineralizado resultante fue 3315 kgha⁻¹. Este es el contenido de nitrógeno total que se mineralizará durante todo un año, siendo 1362.33 kgha⁻¹ la cantidad representativa para los 150 días que duró el cultivo. A este resultado se le aplicó el 2.5% para determinar el Nmin, resultando así un total de 34.06 kgNha⁻¹. En el Anexo 16, se puede observar los cálculos para determinar el Nis y Min.

Para el contenido de nitrógeno fijado por la atmósfera (Natm) se tomó un valor de 58.8 KgNha⁻¹añadido, mientras que el nitrógeno añadido por fertilización (Nfer) fue de 175 kgNha⁻¹ para cada uno de los tratamientos. Los valores de Nis, Nmin, Natm y Nfer fueron sumados para encontrar la cantidad del Nitrógeno de entrada. En la Tabla 7, se observa que todos los tratamientos a excepción del Control el valor del nitrógeno de entrada es de 290.36 kgNha⁻¹.

Tabla 7.- Contenido de nitrogeno de entrada entrada en el sistema suelo plata, confromado por el nitrógeno inicial en el suelo (Nis), el nitrógeno mineralizado de la materia orgánica(Nmin), el nitrógeno por fijacion atmosférica (Natm) y el nitrógeno añadido por fertilizantes(Natm).

Tratamientos	Nis (kg/ha)	N min (kg/ha)	N atm (kg/ha)	N fer (kg/ha)	N entrada (kg/ha)
T1	22.5	34.06	58.8	0	115.36
T2	22.5	34.06	58.8	175	290.36
T3	22.5	34.06	58.8	175	290.36
T4	22.5	34.06	58.8	175	290.36
T5	22.5	34.06	58.8	175	290.36

*Fuente: Elaboración propia. Dónde: T1 = Control, T2 = Estiércol de Cerdo, T3= Biochar, T4= Biochar con ajuste de pH y T5= Biochar con ajuste de pH y relación C/N.

3.6 Contenido de nitrógeno final en el suelo

En la Figura 8, se puede observar que el tratamiento T3 fue donde se encontró mayor contenido de nitrógeno total final en el suelo, alcanzando $2627.94 \text{ kgNha}^{-1}$, mientras que el tratamiento T5 con $1564.25 \text{ kgNha}^{-1}$ fue el que contuvo menor cantidad de nitrógeno total en el suelo, valores que se pueden observar en la Tabla 8. Sólo el tratamiento T5 y T3 fueron significativamente diferentes a los demás tratamientos ($p < 0.0024$). La data general del contenido de nitrógeno total en el suelo y el resumen de análisis estadístico ANOVA se presentan los Anexo 17, 18 y 19 respectivamente.

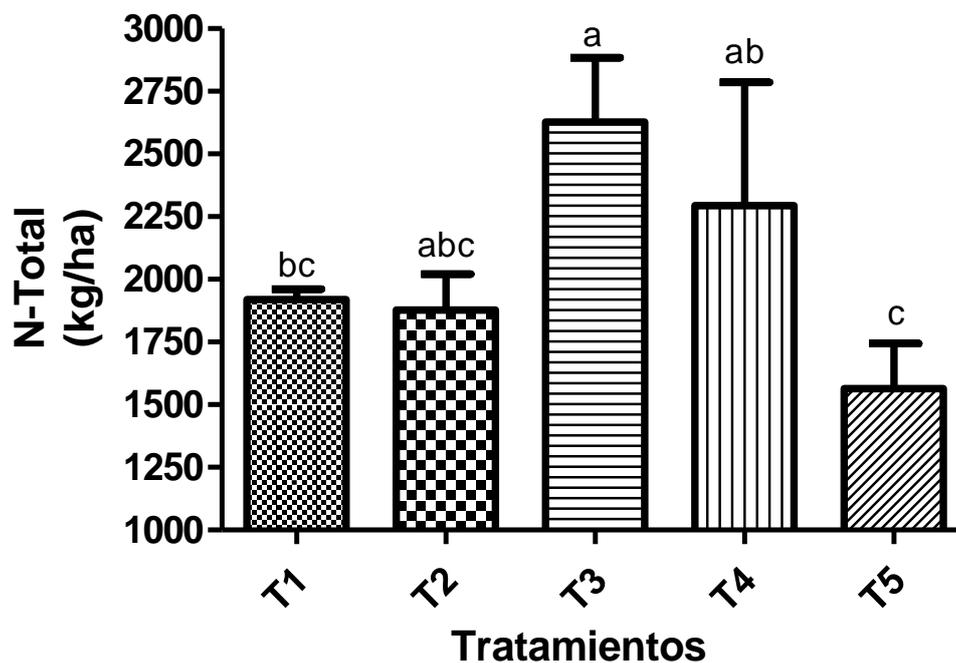


Figura 12.-Contenido de nitrógeno total en el suelo, expresado en kilogramos sobre hectàrea. Dónde: T1 = Control, T2 = Estiércol de Cerdo, T3= Biochar, T4= Biochar con ajuste de pH y T5= Biochar con ajuste de pH y relación C/N.

Una vez obtenido el stock de nitrógeno total en el suelos, se aplicó el 2.5% para encontrar el Nitrógeno final del suelo (Nfs) contenido en cada uno de las parcelas. La Tabla 8, presenta el promedio de contenido de nitrógeno inorgánico por cada uno de los tratamientos.

Tabla 8.- Contenido de nitrógeno total y nitrógeno inorgánico promedio por cada uno de los tratamientos al final de la experimentación

Tratamientos	N-Total (Kg/ha)	N-inorgánico (Kg/ha)
T1	1918.81	47.97
T2	1877.1	46.93
T3	2627.94	65.7
T4	2294.23	57.36
T5	1564.25	39.11

*Fuente: Elaboración propia. Dónde: T1 = Control, T2 = Estiércol de Cerdo, T3= Biochar, T4= Biochar con ajuste de pH y T5= Biochar con ajuste de pH y relación C/N.

3.7 Nitratos y Amonio

Los valores de nitrato son más altos en comparación con el amonio como se observa en la Figura 9. No se halló diferencia significativa ($p < 0.0024$) entre tratamientos en ninguno de los dos parámetros mencionados anteriormente. Con respecto al nitrato, los resultados muestran la siguiente tendencia: T2>T1>T3>T5>T4, dónde el mayor y menor contenido de nitratos se localizó en los tratamientos T2 con $302 \mu\text{gNcm}^{-2}$ y T4 $156 \mu\text{gNcm}^{-2}$ respectivamente.

Para el caso del amonio, la tendencia seguida por los resultados obtenidos es la siguiente: T1>T2>T3>T4>T5, dónde el mayor y menor contenido de amonio se localizó en los tratamientos T1 con $0.94 \mu\text{gNcm}^{-2}$ y T5 $0.48 \mu\text{gNcm}^{-2}$ respectivamente. En los Anexos 20 y 21 se encuentra la base de datos del contenido de nitratos y amonio, y la tabla resumen del análisis estadístico ANOVA de ambos parámetros.

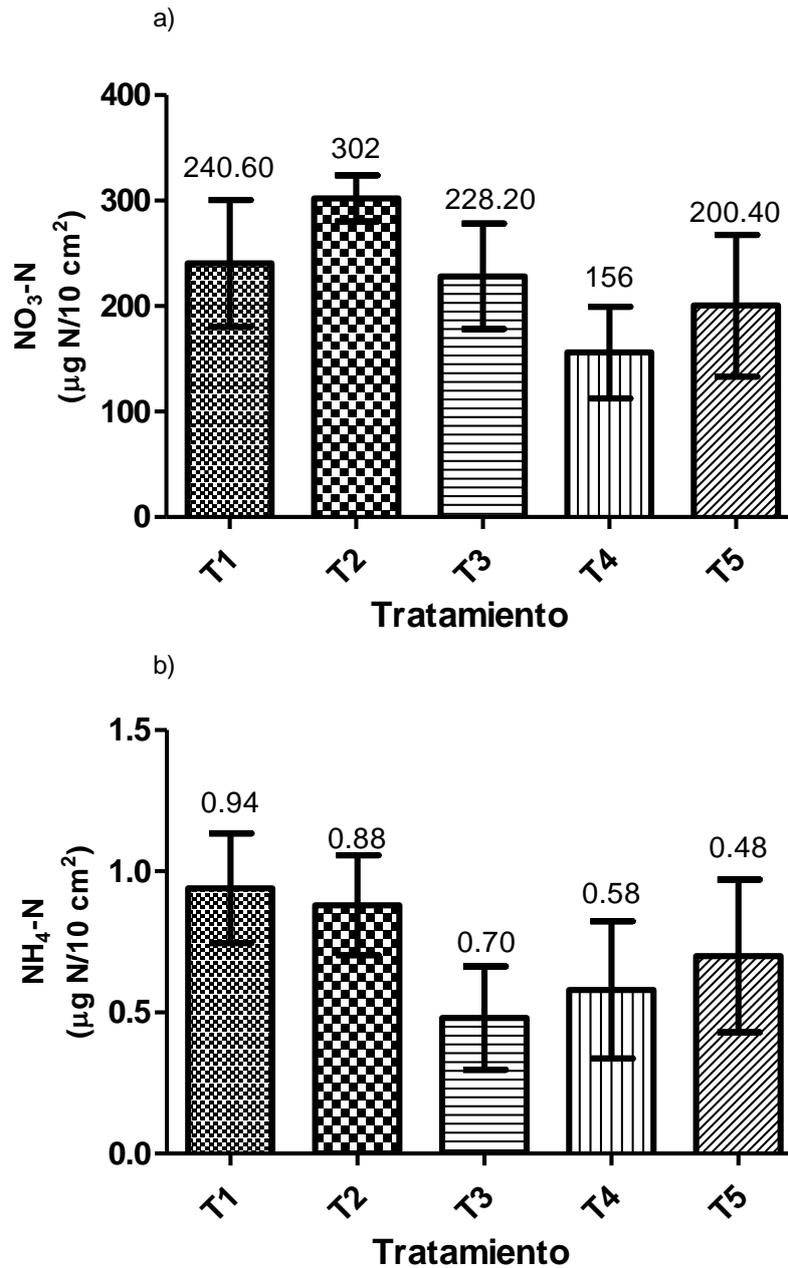


Figura 13.- a) Contenido de nitrato en el suelo. b) Contenido de amonio en el suelo. Dónde: T1 = Control, T2 = Estiércol de Cerdo, T3= Biochar, T4= Biochar con ajuste de pH y T5= Biochar con ajuste de pH y relación C/N.

3.8 Balance de nitrógeno y determinación de pérdidas de nitrógeno

Como se observa en la Tabla 9, los promedios de pérdida de nitrógeno en el sistema suelo-planta mantiene la siguiente tendencia $T2 > T3 > T1 > T4 > T5$; El tratamiento T2 perdió $141.09 \text{ kgNha}^{-1}$ más que el tratamiento T5; ya que el tratamiento T2 fue el que presentó mayor pérdida de nitrógeno, alcanzando $170.93 \text{ kgNha}^{-1}$, que representa 58.87 % de nitrógeno perdido por lixiviación y/o volatilización; mientras que el tratamiento T5, fue el que presentó menores pérdidas de nitrógeno con 29.84 kgNha^{-1} que representa 10.28% de nitrógeno perdido por lixiviación y/o volatilización.

Como se puede observar en la Tabla 9, todos los tratamientos en base a biochar T3, T4 y T5, presentan pérdidas menores al 35 %; asimismo es preciso resaltar que el control presentó 36.24 kgNha^{-1} que equivale al 10.28% de pérdidas por lixiviación y/o volatilización.

Tabla 9.-Nitrógeno perdido promedio de cada uno de los tratamientos. calculado a partir del balance de nitrógeno en el sistema suelo plata, confromado el nitrógeno de entrada menos el nitrógeno absorbido por la planta (Nap), el nitrógeno final del suelo (Nfs) y el Nitrogeno perdido por lixiviación (Nlix) y/o volatilización (Nvol).

Tratamientos	N entrada (kg/ha)	Nap (kg/ha)	Nfs (kg/ha)	N perdido (kg/ha)	N perdido (%)
T1	115.36	31.15	47.97	36.24	31.4147
T2	290.36	72.5	46.93	170.93	58.8683
T3	290.36	127.89	65.7	96.77	33.32759
T4	290.36	152.85	57.36	80.15	27.60366
T5	290.36	221.41	39.11	29.84	10.2769

*Fuente: Elaboración propia. Dónde: T1 = Control, T2 = Estiércol de Cerdo, T3= Biochar, T4= Biochar con ajuste de pH y T5= Biochar con ajuste de pH y relación C/N.

Se encontró diferencias significativas ($p < 0.0014$) entre los tratamientos T1, T2, T4 y T5, mientras que el tratamiento T3 no presentó diferencias significativas con respecto a los demás tratamientos, como se observa en la Figura 10. En los Anexo 22 y 23 se encuentra la base de datos usado en el cálculo del balance de nitrógeno y la tabla resumen del análisis estadístico ANOVA respectivamente.

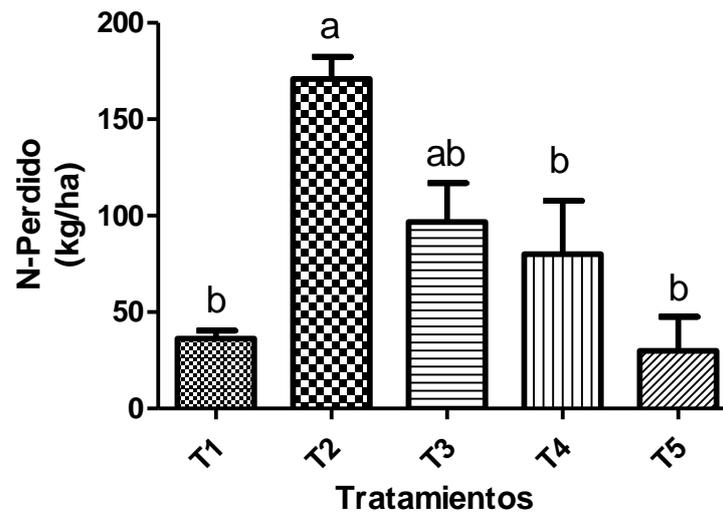


Figura 14.-Contenido de nitrógeno perdido por lixiviación y/o volatilización, expresado en kilogramos sobre hectàrea. Dónde: T1 = Control, T2 = Estiércol de Cerdo, T3= Biochar, T4= Biochar con ajuste de pH y T5= Biochar con ajuste de pH y relación C/N.

3.9 Análisis de costos de abonamiento

En la Tabla 10, que todos los tratamientos conllevan a una pérdida económica para el agricultor, siendo el tratamiento T5, en el que se obtienen pérdidas superiores a los 20 mil soles.

Tabla 10.- Resultados del análisis económico. T1 = Control, T2 = Estiércol de Cerdo, T3= Biochar, T4= Biochar con ajuste de pH y T5= Biochar con ajuste de pH y relación C/N.

Primer ciclo de cultivo	Unidad	T1	T2	T3	T4	T5
Dosis de aplicación por tratamiento	ton/ha	0	26.42	32.6	28.88	28.67
Costo de aplicación por tonelada	Sol/ton	0	200	700	700	1000
Costo de aplicación por hectárea	Sol/ha	0	5284	22820	20216	28670
Rendimiento del maíz	ton/ha	0.41	2.45	2.94	3.14	5.71
Precio de venta del maíz	Sol/ton	1200	1200	1200	1200	1200
Ganancias por hectárea	Sol/ha	492	2940	3528	3768	6852
Beneficio neto por hectárea	Sol/ha	492	-2344	-19292	-16448	-21818

VI. DISCUSION

4.1 *Biomasa*

Los tratamientos 3, 4 y 5 son los que presentan mayores rendimientos de biomasa, esto se debe que todos estos están elaborados en base a biochar. Fowles, (2007) y Glaser *et al.*, (2000) mencionan al biochar como una enmienda del suelo aumenta la capacidad de intercambio catiónico (CIC) del suelo, lo que representa la capacidad del suelo para retener nutrientes en el suelo para ser absorbidos por las plantas, permitiendo a los que lo microbios estén más activos, lo que lleva a una mejora de la fertilidad y estructura del suelo, así como la capacidad de almacenamiento de agua.

Los resultados muestran, que el rendimiento del fruto del tratamiento 5 fue el mejor, alcanzando la producción de 5.71 tha^{-1} ; valor se encuentra por encima del rendimiento promedio (4 tha^{-1}) publicado por INIA (2008) para este tipo de variedad de maíz. El incremento del rendimiento del cultivo, coincide con lo mencionado por Zheng *et al.*, (2010), quienes analizaron el rendimiento de maíz con dos tipos de biochar, uno de mazorcas de maíz y el otro de viruta de madera. La aplicación de biochar, incrementó significativamente el rendimiento de los cultivos, incluso en la ausencia del fertilizante, comparado con el control. Asimismo, los rendimientos del cultivo en los campos tratados con biochar y con la tasa más baja de fertilizante, fueron mucho más altos comparado a los que se les aplicó solamente la tasa más alta de fertilizante y sin biochar

Algunos estudios, concluyen aumentos en el rendimiento de los cultivos, cuando el biochar es aplicado a los suelos, y en especial cuando éstos se añaden en conjunto con fertilizantes orgánicos o inorgánicos (Glaser *et al.*, 2002; Lehmann *et al.*, 2002; Yamato *et al.*, 2006; Steiner *et al.*, 2007; Chan *et al.*, 2007; Carter, 2013). Es preciso resaltar que el rendimiento del maíz pudo estar afectado por la presencia de plagas y la escasez de agua.

4.2 *Altura*

Como se muestran los resultados, el tratamiento T1, fue el que presentó menor altura en comparación a los demás tratamientos, y esto se debe a que no presentaba ningún tipo de fertilización nitrogenada a diferencia de los otros. Resultado respaldado por Tanaka *et al.*, (1981), quienes afirman que el contenido nitrógeno tiene un efecto importante sobre la altura de la planta, dónde aquellas que son fertilizadas con nitrógeno resultan ser más altas que aquellas sin fertilización nitrogenada.

El efecto del nitrógeno en la altura, está asociado con la función de este nutriente en la fisiología de la planta, ya que cantidades adecuadas, producen plantas vigorosas fomentando el desarrollo vegetativo. Si bien los tratamientos en base a biochar T3, T4, y T5, fueron los que presentaron mayor altura, es preciso recalcar que la altura promedio del maíz Amarillo Duro de la variedad Marginal 28 Tropical oscila entre los 200 cm y 220 cm (INIA, 2008); por lo que altura promedio obtenido de cada uno de los tratamientos se encuentra por debajo del valor promedio; esto puede deberse a la falta de otros nutrientes como el potasio que es esencial para los procesos de crecimiento y desarrollo de los cultivos. Murrel (1994), afirma que la deficiencia de potasio afecta el crecimiento del maíz, resultando en plantas más pequeñas. Murrel (1994), cita a Younts & Musgrave (1958), quienes demostraron que la fertilización con potasio incrementa significativamente el tamaño de las plantas entre un 11 y 36 % a los 265 días respectivamente después de la siembra.

4.3 Contenido de nitrógeno en la planta

El nitrógeno es el motor del crecimiento de la planta, el cuál absorbido del suelo bajo forma de nitrato (NO_3^-) o de amonio (NH_4^+). En la planta se combina con componentes producidos por el metabolismo de carbohidratos para formar aminoácidos y proteínas FAO (2012). Los tratamientos 3, 4 y 5 son los que presentan mayores contenidos de nitrógeno en el cultivo. Existen estudios, que afirman que la adición de biochar puede influir en la biodisponibilidad de nitrógeno y la biodisponibilidad de otros nutrientes (Major *et al.*, 2009, Steiner *et al.*, 2010; Taghizadeh-Toosi *et al.*, 2012). Sin embargo Guereña *et al.*, (2012), los cuales trabajaron con un biochar de rastrojo de maíz que fue aplicado a un cultivo de maíz en campo, en donde aplicó fertilizante en diferentes tasas y porcentajes; afirman que el rendimiento en el maíz y la asimilación de nitrógeno no cambió con la aplicación de las diferentes tasas de biochar.

Los resultados muestran más del 25% del nitrógeno inicial se encontró como destino final en la planta en todos los tratamientos. Se sabe que la planta no suele absorber más del 50% del total de nitrógeno aplicado, pudiendo llegar valores tan bajos como el 25%, cuando el cultivo no puede desarrollar su potencial productivo por algún tipo de estrés (Sainz Rozas *et al.*, 2004; Rimski-Korsakov *et al.*, 2008b); sin embargo, los tratamientos T4 y T5 presentan valores de absorción de 52,64 % y 76,25 % respectivamente.

La acumulación de nitrógeno en la biomasa aérea de las plantas de maíz oscila entre 200 y 300 Kgha^{-1} (Rodríguez *et al.*, 2014). La acumulación en los tratamientos oscila entre 31.15 y 221.41, Kgha^{-1} , manteniendo la tendencia $\text{T5} > \text{T4} > \text{T3} > \text{T2} > \text{T1}$. Los tratamiento T1 y T2 no superaron el 25% de absorción; algunos estudios indican que la baja absorción del nitrógeno puede deberse varios factores, siendo uno de ellos la disponibilidad del agua, debido a que el maíz solamente puede asimilar el nitrógeno en forma de nitrato en la solución del suelo, por tanto a mayor contenido de agua, mayor concentración del nutriente en la solución suelo, mayor evapotranspiración y una mayor

temperatura edáfica ambiental, la absorción del nitrógeno por parte del cultivo será mayor. (Rodríguez *et al.*, 2014).

Otro de los factores que pudieron influenciar en la absorción del nitrógeno fue que sólo que tomó en cuenta el requerimiento nutricional del maíz con respecto al nitrógeno y no se consideró otros elementos, como el potasio y fósforo; puesto que se sabe que una fertilización equilibrada significa una oferta de nitrógeno, fósforo y potasio en relación con las reservas del suelo, los requerimientos y los rendimientos esperados del cultivo, con el agregado de magnesio, azufre y micro elementos donde sea necesario. Estudios realizados por FAO (2002), muestran que sin la aplicación de fósforo y de potasio, la eficiencia del nitrógeno declina, mientras que cuando todos los nutrientes son aplicados conjuntamente la eficiencia del potasio y del fósforo aumenta sostenidamente, indicando interacciones entre estos nutrientes. Rimski-Korsakov *et al.*, (2008a), evaluaron la proporción del nitrógeno aplicado como urea, que fue absorbido por el cultivo de maíz, dónde a todos los tratamientos también se le agregó fósforo. Los resultados mostraron que la planta fue el destino más importante del nitrógeno del fertilizante, variando la absorción por la planta entre el 48 y el 60 % según la dosis de nitrógeno aplicado.

4.4 Contenido de nitrógeno en el suelo

El tratamiento T5 fue el que resultó con menor cantidad de nitrógeno final en el suelo, esto debido a que el porcentaje de absorción por parte de la planta fue mayor en comparación con los demás tratamientos. Sin embargo, los tratamiento T4 y T3 fueron los que presentaron mayor contenido de nitrógeno, esto confirma lo concluido por Lehmann *et al.* (2003), quienes probaron si el agregado de carbón entre otras aplicaciones orgánicas e inorgánicas podían producir los suelos fértiles; encontrándose que los contenidos de N del suelo fueron más altos en el suelo en aquellos tratados con biochar. Rondon *et al* (2006), examinaron las causas del aumento de la fijación de N₂ biológica (BNF) de frijol común (*Phaseolus vulgaris L.*) a través de adiciones biochar. El biochar se añadió a los 0, 30, 60 y 90 gkg⁻¹ de suelo. La proporción de N fijado aumentó en 50%. Los resultados demuestran el potencial de las aplicaciones de biochar para mejorar la entrada N en ecosistemas agrícolas.

4.5 Nitratos y amonio

El proceso de nitrificación es dominante en todos los tratamientos, razón por la que los valores de nitrato son más altos que los de amonio como se observa en la Figura 10. Esto se explica debido a que el amonio puede ser oxidado a nitratos y ser fijado por las partículas sólidas del suelo o utilizado sin cambio por los microorganismos y las plantas. Los nitratos pueden ser absorbidos directamente por microorganismos y plantas o pueden perderse por volatilización y lavado (Boixadera & Cortés, 2000).

Las sales de nitrato son muy solubles, por lo que la posibilidad de que se produzca la lixiviación del anión es elevada, y más teniendo en cuenta el bajo poder de adsorción que presenta la mayoría de los suelos para las partículas cargadas negativamente (Carpenter *et al.*, 1998), por lo que puede estar relacionado con las pérdidas de nitrógeno obtenido el balance del sistema planta-suelo.

4.6 Balance de nitrógeno y determinación de pérdidas de nitrógeno

En todos los tratamientos que contienen biochar T3, T4 y T5, la pérdida de nitrógeno resultó ser menor en comparación con el tratamiento T2 (Estiércol de cerdo). La producción y aplicación del biochar en el suelo reduce las emisiones de N₂O por la estabilidad de la biomasa paralizada y, por tanto, la reducción de emisiones por descomposición de la misma y por los efectos directos de la aplicación del biochar sobre el suelo (Woolf *et al.*, 2010, Rondon *et al.*, 2005, Zhang *et al.*, 2010, 2011; Song *et al.*, 2016). Estudios demuestran que el biochar es considerado mucho más efectivo que otro tipo de materia orgánica ya que retiene los nutrientes, haciéndolos más disponibles para las plantas, aún más que la estabilidad y disponibilidad de nutrientes que la composta y el estiércol, por lo que podría ser más eficiente en mejorar la calidad del suelo que cualquier otra enmienda orgánica (Lehmann & Joseph, 2009; Zheng, 2010). Es por eso que también en cuestión de rendimiento, los tratamientos T3, T4 y T5, resultaron ser los más efectivos.

Los principales mecanismos de pérdida son: la lixiviación, especialmente del N-NO₃⁻, la volatilización del NH₄⁺ y la desnitrificación con producción de gases (N₂O y N₂) hacia la atmósfera (Bertsch, 1995). De acuerdo con los resultados obtenidos con respecto a amonios y nitratos en el suelo, se puede inferir que la mayor pérdida de nitrógeno se dio por medio de la lixiviación de nitratos. La segunda forma pérdida de nitrógeno se pudo haber dado por la volatilización del amoníaco, Russell (1976), indica que la fuente más importante de pérdida del N del suelo en forma gaseosa es la desnitrificación, dónde los nitratos se reducen a óxido nitroso (N₂O) con la consecuente liberación del N en su forma elemental gaseosa (N₂). Este proceso resulta importante durante períodos con altas precipitaciones en suelos con temperaturas elevadas y con un alto contenido de materia orgánica.

Asimismo, se debe tomar en cuenta que la aplicación de los tratamiento se llevó a cabo en un sola dosis, y no de manera fraccionada como recomiendan muchos autores, o antes de que el maíz comience su mayor consumo de nitrógeno alrededor de seis hojas completamente expandidas (V-6 a V-7), donde se garantiza una gran parte de la necesidad total de nitrógeno a la siembra (70 a 80 %), regulando luego la cantidad de nitrógeno restante en función de la evolución de la campaña y de las posibilidades ofrecidas por las condiciones climática. Melgar & Torres (2001), recomiendan fraccionar la fertilización en dos veces, pero aplicando en lugar de a la siembra la mayor proporción del N en estadios

muy tempranos hasta 3 hojas y la segunda antes de que la planta tenga 6 hojas. Esta también puede ser una de las causas de la pérdida de nitrógeno, puesto que, existe un riesgo de lavado de nitratos, hasta que las raíces se hallan desarrollado. De igual manera, cuando las deficiencias naturales de nitrógeno en un ecosistema son abastecidas, el crecimiento de la planta comienza a verse limitado por otras fuentes tales como el fósforo, el calcio y el agua, y la vegetación ya no puede soportar más adiciones de nitrógeno, el ecosistema alcanza un estado descrito como “saturación de nitrógeno”, donde el nitrógeno será dispersado hacia las corrientes, aguas subterráneas y a la atmósfera. (Renderos, 2001). Dichas pérdidas son el resultado de numerosos procesos químicos, físicos y biológicos, cuya magnitud es afectada por factores de ambiente, suelo y manejo tales como temperatura, pH del suelo, capacidad de intercambio catiónico, materia orgánica, cobertura y calidad de residuos en superficie, viento, tensión de vapor superficial y la dosis y localización del fertilizante (FAO, 2002).

Rentabilidad económica

A pesar de que los tratamientos T3, T4 y T5 sobrepasan la producción de los tratamientos T2 y T1, estos no resultan rentables, debido a la cantidad de tratamiento aplicado y al costo de aplicación de dichos tratamientos que resultan ser mayores que el tratamiento T2. Batch *et al.*, (2016) estudiaron el uso potencial del biochar en la agricultura desde la perspectiva de la economía agrícola, llegando a la conclusión que el agricultor no recibirá ningún beneficio económico si sólo se consideraba el valor agronómico de la enmienda biochar al suelo. Razón por la que recomiendan el uso de incentivos financieros como la inclusión del biochar en los sistemas de crédito de carbono, con el fin de compensar el costo adicional de la aplicación de biochar a los campos de cultivo; volviéndose así un enmienda potencial no sólo para el aumento en el rendimiento de los cultivos sino también para el secuestro de carbono.

VII. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

- Las enmiendas en base a biochar T3, T4 y T5 tienen un efecto positivo en el rendimiento del cultivo del maíz, alcanzando los 2.94 tha^{-1} , 3.15 tha^{-1} y 5.71 tha^{-1} respectivamente.
- El biochar en combinación con un fertilizante nitrogenado como la Urea, tiene mayores efectos positivos en el rendimiento que el biochar sólo, dónde el T5 alcanza una producción de 2.77 tha^{-1} más con respecto al T3; lo cual representa un 94% más de rendimiento.
- La cantidad de nitrógeno en la biomasa del cultivo, es mayor en aquellas que están tratadas en base a biochar T3, T4 y T5 alcanzando los 127.89 kgNha^{-1} (T3) 152.85 kgNha^{-1} y 221.41 kgNha^{-1} respectivamente.
- La pérdida de nitrógeno resulta ser menor cuando se aplica biochar al suelo, siendo está menores al 35% para los tratamientos T3, T4 y T5, en comparación con el tratamiento T2 dónde se evidencia una pérdida de 58.86%
- Los tratamientos en base a biochar no resultan ser rentables, debido a la elevada tasa de aplicación y al costo de producción de los tratamientos siendo estos S / 22,820, S / 20,216 y S/ 28,670 para los tratamientos T3, T4 y T5, en comparación con el tratamiento T2 que representa 5284.

VIII. REFERENCIA BIBLIOGRAFICAS

1. Abenza (2012). Evaluación de efectos de varios tipos de biochar en suelo y planta. (Tesis de Pre Grado, Universidad Autónoma de Barcelona).
2. Arango, G., Pérez, J. (2005). Determinación de nitratos y amonio en muestras de suelo mediante el uso de electrodos selectivos. Revista de la Facultad Nacional de Agronomía. Medellín-Colombia. Vol.58, No.1.p.2733-2740.2005.
3. Arumi, L., Oyarzún, R., Sandoval, M. (2005). A Discussion about natural protection again groundwater pollution by nitrates in the Central Valley of Chile. Hydrol Sci J.; 50(2): 331–40.
4. Bertsch, F. 1995. La Fertilidad de los Suelos y su Manejo. Asociación Costarricense de la Ciencia del Suelo. San José. 157 p.
5. Betancourt, P., González, J., Figueroa, B., González, F. (1998). Cobertura vegetativa y fertilización nitrogenada en la producción de maíz. Terra Latinoamericana, Chapingo, México. vol 16-3:231-237.
6. Blackwell, P., Reithmuller, G., Collins, M. (2009). Biochar application to soil. En: Biochar for Environmental Management. Lehmann J. and Joseph S. Earthscan Publishing for a sustainable future: UK y USA. 207-226p.
7. Boixadera, J., Cortés, A. (2000). "Nitratos, agua y agricultura, un problema moderno de utilización del suelo",.CADAHÍA, C.;, 3a. ed., Ediciones Mundi-Prensa, España p. 57.
8. Brownsort, P. (2009). Biomass pyrolysis processes: performance parameters and their influence on biochar system benefits. (Tesis de maestría: University of Edinburgh. 84 p.)
9. Campillo, L., Sadzawka, A. (1993). Acidificación de los suelos. Origen y Mecanismos involucrados. INIA- Lima.
10. Carpenter, R., Caraco, E., Correll, L., Howarth, W., Sharpley, N., Smith, H. (1998). "Nonpoint Pollution of Surface Waters with Phosphorus and Nitrogen", Ecol. Applic 8: 558-568.
11. Carter, S., Shackley, S., Sohi, S., Suy, B., Haefele, S. (2013). The Impact of Biochar Application on Soil Properties and Plant Growth of Pot Grown Lettuce (*Lactuca sativa*) and Cabbage (*Brassica chinensis*). Agronomy 3: 404-418.
12. CEPES (2015). La Revista Agraria. Mesa Redonda: Los Suelos en el Perú. Recurso fundamental para crear y sostener vida. Año 15 (170): 6-10
13. Ceron, L., Aristizábal, F. (2012) Dinámica del ciclo del nitrógeno y fósforo en los suelos. SCIELO. Vol XIV 1: 285-295.
14. Chan K. Y., Van Zwieten L., Meszaros I., Downie A., Joseph S. (2007). Agronomic values of greenwaste biochar as a soil amendment. Australian Journal of Soil Research 45:629-634.
15. Curtin, D., Wen, G. (1999). Organic matter fractions contributing to soil nitrogen mineralization potential. Soil Sci. Soc. Am. J. 63: 410-415.
16. Errebhi, M., Rosen, C., Gupta, S., Birong, D. (1998) . Potato yield response and nitrate leaching as influenced by nitrogen management. Agron. J. 90: 10-15.
17. FAO(2002). Los fertilizantes y su uso. Cuarta Edición. Italia.
18. FAO. 2012. Hacia el futuro que queremos. Erradicación del hambre y transición a sistemas agrícolas y alimentarios sostenibles. Italia. 32 p.

19. Fassbender, H. W. 1984. Química de suelos con énfasis en suelos de América Latina. IICA, San José, Costa Rica. 422 p.
20. Fernandez-Pascual, M., Nuria M., Felipe M.(2002). Fijación biológica del nitrógeno: factores limitantes. Ciencia y Medio Ambiente - Segundas jornadas científicas sobre medio ambiente del CCMA-CSIC: 195-202 (2002)
21. Fowles, M. (2007). "Black carbon sequestration as an alternative to bioenergy". *Biomass and Bioenergy* 31, 426-432.
22. García, M., Lewis, T., Kruger, C. (2010). "Methods for Producing Biochar and Advanced Biofuels in Washington State". Part 1: Literature Review of Pyrolysis Reactors. First Project Report. Department of Biological Systems Engineering and the Center for Sustaining Agriculture and Natural Resources, Washington State University, Pullman, WA, 137 pp.
23. Gaskin, W., Speir, A., Morris, M., Ogden, L., Harris, K., Lee, D., Das C. (2007). Potential for pyrolysis char to affect soil moisture and nutrient status of a loamy sand soil. Proceedings of the 2007 Georgia Water Resources Conference, held March 27–29, at the University of Georgia.
24. Gear, J. (2006). El cultivo del maíz en la Argentina. Maíz y Nutrición: Informe sobre los usos y las propiedades nutricionales del maíz para la alimentación humana y animal. Recopilación de ILSI Argentina. Volumen II.
25. Glaser, B., Balashov, E., Haumaier, L., Guggenberger G., Zech W. (2000). "Black carbon in density fractions of anthropogenic soils of the Brazilian Amazon region". *Organic Geochemistry* 31:669-678.
26. Glaser, B., Lehmann, J., Zech, W. (2002) "Ameliorating Physical and Chemical Properties of Highly Weathered Soils in the Tropics with Charcoal - a Review." *Biology and Fertility of Soils*. 35, 219-230.
27. Giletto, C., Echeverría, H. (2013). Nitrogen balance for potato crops in the southeast pampas region, Argentina. *Nutr. Cycl. Agroecosys* 95: 73-86.
28. Gomero, L., Velásquez, H. (1999). Manejo Ecológico de Suelo. Conceptos, Experiencias y Técnicas. Red de Acción en Alternativas al uso de Agroquímicos. Lima-Péru.
29. Graetz, H. (1997). *Suelos y Fertilización*. Traducido por: F. Luna Orozco. Trillas. México. 80 p.
30. Guereña D., Lehmann J., Hanley K., Enders A., Hyland C y Susana R. (2012). Nitrogen dynamics following field application of biochar in a temperate North American maizebased production system. *Plant soil*. 365: 239-254.
31. Hauck, D. (1981). Nitrogen fertilizer effects in nitrogen cycle processes. p.551-562. In F.E. Clark and T. Roswall (ed.). *Terrestrial nitrogen cycles*. Ecol. Bull. 33. Swedish Natural Science Research Council, Stockholm.
32. INEI (2013a). Anuario de Estadísticas Ambientales 2013. Territorio y Suelos. 27-58.p
33. INEI(2013b). IV Censo Nacional Agropecuario. Perú Perfil Agropecuario.
34. INEI (2014). Compendio Estadístico Perú 2014: Capítulo 12: Agrario: 941-1021.
35. INIA (2008). MAÍZ AMARILLO DURO MARGINAL 28 TROPICAL.
36. IPCC (2006). Emisiones de N₂O de los suelos gestionados y emisiones de CO₂ derivadas de la aplicación de cal y Urea.
37. IPNI (1999). Acidez y Encalado de los Suelos. Primera Edición.

38. Jansson, L., Persson, J. (1982). Mineralization and immobilization of soil nitrogen. p 229-252. In F. J. Stevenson (ed.). Nitrogen in agricultural soils. Monography N° 22. American Society of Agronomy. Madison, Wisconsin, USA.
39. Lehmann, J., Da Silva, J., Rondon, M., Da Silva, C., Greenwood, J., Nehls, T., Steiner, C., Glaser, B. (2002). "Slash- and- char: a feasible alternative for soil fertility management in the central Amazon?" 17th WCSS, 14-21 Agosto 2002, Tailandia. Symposium n°13, p449.
40. Lehmann, J., Da Silva, J., Steiner, C., Nehls, T., Zech, W., Glaser, B. (2003). Nutrient availability and leaching in an archaeological Anthrosol and a Ferralsol of the Central Amazon basin: fertilizer, manure and charcoal amendments. *Plant Soil* 249:343–357.
41. Lehmann, J., Gaunt, J., Rondon M. (2006). "Biochar Sequestration in Terrestrial Ecosystems - A Review." *Mitigation and Adaptation Strategies for Global Change*
42. Lehmann, J., Joseph, S. (2009). *Biochar for Environmental Management: An Introduction En: Biochar for Environmental Management.. Earthscan Publishing for a sustainable future: UK y USA.* 1-12 p.
43. Lehmann, J., Rillig, C., Thies J., Masiello A., Hockaday, C., Crowley, D. (2011). Biochar effects on soil biota - A review. *Soil Biology & Biochemistry* 43:1812-1836
44. Major J. (2009) *Biochar application to a Colombia savanna Oxisol: fate and effect on soil fertility, crop production, nutrient leching and soil hydrology*, Department of Crop and Soil Siences, Cornell University, Ithaca NY USA. pp. 841.
45. Major, J., Steiner, C., Downie, A., Lehmann, J., 2009. *Biochar Effects on Nutrient Leaching. Biochar for Environmental Management. Science and technology.* Earthscan, London 271–287.
46. Manrique, A. (1998). *El maíz en el Perú. Fondo del libro del Banco Agrario del Perú. Segunda Edición. Lima – Perú.*
47. Manyá, J. (2012). *Pyrolysis for Biochar Purposes: A Review to Establish Current Knowledge Gaps and Research Needs. Environmental Science and Technology.* 46 (15): 7939–7954 p.
48. Mayanga, A. (2011). *Efecto de la densidad de siembra y de la fertilización nitrogenada, en el rendimiento de maíz morado (Zea mays L.) cv PM-381 bajo riego por goteo. Tesis para obtner el Grado de Ingeniero Agrónomo. UNALM. Lima-Perú.*
49. Mangelsdorf, P., Reeves, R. (1959). The origin of corn. III. Modern races, the product of teosinte introgression. *Bot. Mus. Leafl. Harv. Univ.*, 18: 389-411.
50. Martinez, F., Ojeda, D., Hernández, A., Martinez, J., De la O, G. (2011). *Exceso de Nitratos: Un problema actual en la agricultura. Synthesis* 57: 11-16. Facultad de Ciencias Agrotecnológicas . Universidad Autónoma de Chihuahua.
51. Martinez, Y., Uku, S., Albiac, J., (2009). *El control de la Contaminación por Nitratos en el Regadío. Economía Agraria y Recursos Naturales .* 2 (2): 115-131.
52. Meisinger, J., Schepers, J., Raun, W. (2008). *Crop nitrogen requirement and fertilization. In: JS Schepers; WR Raun (eds). Nitrogen in Agricultural Systems. Agronomy. Monograph 49. ASA-CSSA-SSSAJ. Madison. Pp. 563-612.*

53. Melgar, R., Torres, M. (2001). Manejo de la fertilización en Maíz. Proyecto Fertilizar. INTA Pergamino. Buenos Aires.
54. MINAM (2014). Informe Nacional del Estado del Ambiente 2012-2013. pg. 21.
55. Ming, H., Bloom, A. (2014). Easy Leaf Area: Automated Digital Image Analysis for Rapid and Accurate Measurement of Leaf Area. *Applications in Plant Sciences* 2014 2(7):1400033.
56. Murrell, T. (1994). Visual Indicators of Potassium Deficiency in Corn. *Better Crops With Plant Food* 94(1):14-15.
57. Muter, O., Lebedeva, G., Galina, G. (2014). Evaluation of the changes induced by gasification biochar in a peat-sand substrate. *Int. Agrophys.* 28:471-478.
58. OEA (1987). Estudio de Casos de Manejo Ambiental: Desarrollo Integrado de un Área en los Trópicos Húmedos- Selva Central del Perú. Obtenido de: <http://www.oas.org/dsd/publications/unit/oea27s/begin.htm#Contents>.
59. Ofori, F., Pate, J., Stern, W. (1987). Evaluation of N₂-fixation and nitrogen economy of a maize/cowpea intercrop system using ¹⁵N dilution methods. *Plant Soil* (1987) 102: 149. doi:10.1007/BF02370697.
60. Plant, J., Smith, D., Smith, B., Williams, L. (2001). Environmental geochemistry at the global scale. *Applied Geochemistry*, 16, 1291- 1308.
61. Renderos, R. 2001. Efecto de sistemas agroforestales Café-Eucalyptus deglupta sobre la contaminación del agua con nitratos en microcuencas de la zona sur de Costa Rica. CATIE, Turrialba, Costa Rica, 80 p.
62. Rimski-Korsakov H., G. Rubio y R.S. Lavado. 2008b. Effect of the water stress in maize crop production and N-fertilizer fate. *Journal of Plant Nutrition*.
63. Rimski-Korsakov, H., Rubio, H., Pino, I., Lavado, R. (2008a). Destino del nitrógeno del fertilizante en un cultivo de Maíz. *International Plant Nutrition Institute* 39:3-5.
64. Rodríguez, L., Sombrero, A., Cedrúm, M. (2014). Efecto de la fertilización nitrogenada en el cultivo de maíz. Comparación de la siembra directa y el laboreo convencional: determinación de las pérdida de fertilizantes nitrogenados mediante lixiviación de nitratos. *FERTILIZACIÓN*:223. 44-51.
65. Rondon, M. (2006). Bio-char soil management on highly weathered soils in the humid tropics. *Biological Approaches to Sustainable Soil Systems*: 517-530.
66. Rondon, M., Lehmann, J., Ramirez, J., Hurtado M. (2006). Biological nitrogen fixation by common beans (*Phaseolus vulgaris L.*) increases with biochar additions. *Biol Fertil Soil*
67. Rulkens, W.H., Grotenhuis, J.T.C. & Tichy, R. (1995): Methods for cleaning contaminated soils and sediments. In "Heavy Metals", W. Salomons, U. Förstner & P. Mader, eds. Springer-Verlag, Berlin, 165-191.
68. Russell, W. 1976. *Soil Condition and Plant Growth*. 10th ed. Hong Kong. 849 p.
69. Sainz Rozas H.R., H.E. Echeverría y P.A. Barbieri. 2004. Nitrogen balance as affected by application time and nitrogen fertilizer rate in irrigated no-tillage maize. *Agron. J.* 96: 1622-1631.

70. Sohi, S., Loez-Capel, E., Krull, E., Bol, R. (2009). "Biochar's roles in soil and climate change: A review of research needs". *CSIRO Land and Water Science Report 05/09*, 64pp.
71. Song, X., Pan, G., Zhang, CH., Wang, H.(2016). Effects of biochar application on fluxes of three biogenic greenhouse gases: a meta-analysis. *Ecosystem Health and Sustainability*. Vol 2_(2)
72. Sparkes, S., Stoutjesdijk, P. (2011). Technical report: Biochar: Implications for agricultural productivity. Australian Government, Department of Agriculture, Fisheries and Forestry, Australian Bureau of Agricultural and Resource Economics and Sciences, Commonwealth of Australia. 54 p.
73. Steiner C., Teixeira W. G., Lehmann J., Nehls T., Macedo J. L. V., Blum, W. E. H., y Zech W. (2007). Long term effects of manure, charcoal and mineral fertilization on crop production and fertility on a highly weathered Central Amazonian upland soil. *Plant and Soil*. 291:275-290.
74. Steiner, C., Das, K., Melear, N., Lakly, D., 2010. Reducing nitrogen loss during poultry litter composting using biochar. *Journal of Environmental Quality* 39, 1236–1242.
75. Taghizadeh-Toosi, A., Clough, T.J., Sherlock, R.R., Condrón, L.M., 2012. Biochar adsorbed ammonia is bioavailable. *Plant and Soil* 350 (1–2), 57–69.
76. Tanaka, A., Yamaguchi, J. (1981). Producción de materia seca, componentes de rendimiento y rendimiento de grano en maíz. Segunda reimpresión. Centro de Botánica. Colegio de Postgraduados. Chapingo, México. 124p.
77. Tello, F. (2004). Evaluación Temporal de la lixiviación de nitratos de cuatro abonos orgánicos en tres tipos de suelos. Tesis para optar el título de Magister Scientiae. UNALM. Lima-Perú.
78. Topp, C., Ferré, P. (2002). Thermogravimetric determinations using convective oven-drying, pp. 422-424. In: J.H. Dane and G.C. Topp (eds). *Methods of soil analysis. part 4, physical methods*. Soil Science Society of America, Inc., Madison e) La cantidad de tratamiento a aplicar incluyendo el porcentaje de humedad.
79. Vásquez, E., Ladd, B., Borchard, N.(2014). Carbon storage un a high-altitude Polylepis woodland in the Peruvian Andes. *Alpine Botany*.
80. Vega, J. (1997). Efecto de los Abonos Foliare Stoller como complemento al abonamiento normal al suelo sobre le cultivo de Maiz Híbrido PM 702 en el Valle de Chancay. Tesis para optar el título de ingeniero agrónomo. UNALM.Lima-Peru.
81. Walter, S., Giletto, C., Echeverría, H. (2015). Balance de Masa de Nitrógeno en el cultivo de papa en Villa Dolores, Córdoba. Argentina. *Asociación Argentina Ciencia del Suelo.Ciencia Suelo* 34(1):93-104,2016.
82. Warren, C. (2012). The Effects of Biochar Amendment to Soil on Bioenergy Crop Yield and Biomass Composition. (Tesis de maestría: University of Tenesse, Knoxville. 96 p.)
83. Wilkes, H.G. (1979). Mexico and Central America as a centre for the origin of agriculture and the evolution of maize. *Crop Improv.*, 6(1): 1-18.
84. Woolf, D., Amonette, J., Street-Perrott A., Lehmann, J., Joseph S. (2010). Sustainable biochar to mitigate global climate change. *Nature Communications* 1:56-65

85. Yamato, M., Okimori, Y., Wibowo, I., Anshori, S., Ogawa, M. (2006). Effects of the application of charred bark of *Acacia mangium* on the yield of maize, cowpea and peanut, and soil chemical properties in South Sumatra, Indonesia. *Soil Science and Plant Nutrition* 52:489-495.
86. Younts, E., Musgrave, R. (1958). Growth, maturity and yield of corn as affected by chloride in potassium fertilizer. *Agron J* 50:423-426
87. Zhang, A., L. Cui, G. Pan, L. Li, Q. Hussain, X. Zhang, J. Zheng, and D. Crowley. (2010). Effect of biochar amendment on yield and methane and nitrous oxide emissions from a rice paddy from Tai Lake Plain, China. *Agriculture, Ecosystems & Environment* 139:469–475.
88. Zhang, A., Liu, Y., Pan, X., Hussain, Q., Li, L., Zheng, W., Zhang, X. (2011) Effect of biochar amendment on maize yield and greenhouse gas emissions from a soil organic carbon poor calcareous loamy soil from Central China Plain. *Plant Soil*.351:263-375.
89. Zheng, W., Sharma, B., Rajagopalan, N. (2010). Using Biochar as a Soil Amendment for Sustainable Agriculture. Illinois Sustainable Technology Center University of Illinois at Urbana-Champaign. 36 p.

IX. ANEXOS

ANEXO 1.- Análisis suelos San Ramón



UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA LA MOLINA
FACULTAD DE AGRONOMIA - DEPARTAMENTO DE SUELOS
LABORATORIO DE ANALISIS DE SUELOS, PLANTAS, AGUAS Y FERTILIZANTES



ANALISIS DE SUELOS : CARACTERIZACION

Solicitante : APRODES

Departamento : JUNÍN

Distrito : SAN RAMÓN

Referencia : H.R. 54277-086C-16

Fact.: 35931

Provincia : CHANCHAMAYO

Predio :

Fecha : 27/05/16

Lab	Número de Muestra Claves	pH (1:1)	C.E. (1:1) dS/m	CaCO ₃ %	M.O. %	P ppm	K ppm	Análisis Mecánico			Clase Textural	CIC	Cationes Cambiables					Suma de Cationes	Suma de Bases	% Sat. De Bases
								Arena %	Limo %	Arcilla %			Ca ⁺²	Mg ⁺²	K ⁺	Na ⁺	Al ⁺³ + H ⁺			
7415	10-Naranjal	8.35	0.18	9.10	4.42	5.2	71	49	38	13	Fr.	10.08	8.81	1.02	0.15	0.10	0.00	10.08	10.08	100
7416	10-Palma Pampa	6.17	0.07	0.00	1.64	3.7	49	47	38	15	Fr.	6.40	3.98	0.43	0.10	0.08	0.00	4.59	4.59	72

A = Arena ; A.Fr. = Arena Franca ; Fr.A. = Franco Arenoso ; Fr. = Franco ; Fr.L. = Franco Limoso ; L = Limoso ; Fr.Ar.A. = Franco Arcillo Arenoso ; Fr.Ar. = Franco Arcilloso ; Fr.Ar.L. = Franco Arcillo Limoso ; Ar.A. = Arcillo Arenoso ; Ar.L. = Arcillo Limoso ; Ar. = Arcilloso

Lab.	Número de Muestra Claves	N %	Fe ppm
7415	10-Naranjal	0.06	40.80
7416	10-Palma Pampa	0.11	132.00



Dr. Sady García Bendejé,
 Jefe del Laboratorio

Av. La Molina s/n Campus UNALM - Telf.: 614-7800 Anexo 222 Teléfono Directo: 349-5622 e-mail: labsuelo@lamolina.edu.pe

ANEXO 2.- Contenido de Nitrogeno en el estiércol de Cerdo



UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA LA MOLINA
FACULTAD DE AGRONOMIA
LABORATORIO DE ANALISIS DE SUELOS, PLANTAS, AGUAS Y FERTILIZANTES

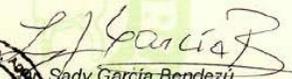


INFORME DE ANALISIS - ESPECIAL DE MATERIAL ORGANICA

SOLICITANTE : APRODES
 MUESTRA : COMPOST
 PROCEDENCIA : LIMA / LIMA / LURIN
 REFERENCIA : H.R. 53284
 FACTURA : 35408
 FECHA : 01/03/2016

Nº LAB	CLAVES	pH	N %	C %
214	CHANCHO	6.54	0.84	14.56

Metodologías Empleadas:
 - Nitrógeno Total: Kjeldahl.


 Sady García Bondezú
 Jefe de Laboratorio



ANEXO 3.- Contenido de Nitrogeno en el tratamiento T3 y T4



UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA LA MOLINA
 FACULTAD DE AGRONOMIA
 LABORATORIO DE ANALISIS DE SUELOS, PLANTAS, AGUAS Y FERTILIZANTES



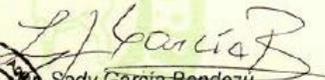
**INFORME DE ANALISIS - ESPECIAL DE
 MATERIAL ORGANICA**

SOLICITANTE : APRODES
 MUESTRA : ENMIENDAS
 PROCEDENCIA : LIMA / LIMA / LURIN
 REFERENCIA : H.R. 53046
 FACTURA : 35315
 FECHA : 10/02/2016

Nº LAB	CLAVES	N	Carbono Orgánica %	pH
214	BGW1	0.99	34.79	10.73
129	BKGWM1 T3 y T4	0.64	12.21	10.00

Metodologías Empleadas:

- Nitrogeno Total: Kjeldahl.


 Sady García-Bendezu
 Jefe de Laboratorio



ANEXO 4.- Cálculo de la aplicación por cada tratamiento

Tratamientos	Descripción	N (g/g)%	Tn/ha	Ton/4m2	Kg /4m2	% Humedad	Peso Incluyendo Humedad	Cantidad de Abono usado para 5 replicas
T1	Control							
T2	Estiércol de cerdo	0.84	20.83	0.01	8.33	26.8	10.57	52.83
T3	Biochar	0.64	27.34	0.01	10.94	19.2	13.04	65.19
T4	Biochar con pH ajustado	0.64	27.34	0.01	10.94	5.6	11.55	57.75
T5	Biochar (con pH y relación C/N ajustado)	0.68	25.74	0.01	10.29	11.4	11.47	57.34

ANEXO 5.- Data general de biomasa

ID	Bloque	Trat.	Planta	Fruto	Tallo	Hojas	Raíz	Total biomasa (g)	LMF	RMF	FMF
56	1	1	1	.	2.4	10.5	1.9	14.8	70.95	12.84	.
56	1	1	2	3.24	2.9	8.3	1.42	15.86	52.33	8.95	20.43
56	1	1	3	.	8.1	12.9	9.71	30.71	42.01	31.62	.
56	1	1	4	3	5.7	9.9	1.64	20.24	48.91	8.10	14.82
				3.12	5.566667	10.36667	4.256667	22.27			
57	1	2	1	136.9	60.5	51.8	12.84	262.04	19.77	4.90	52.24
57	1	2	2	35.19	25.9	31.6	9.6	102.29	30.89	9.39	34.40
57	1	2	3	163.3	45.3	32.27	7.19	248.06	13.01	2.90	65.83
57	1	2	4	129.37	9.3	.	8.4	147.07	.	5.71	87.96
				109.2867	26.83333	31.935	8.396667				
58	1	3	1	24.3	20.1	45.7	14.25	104.35	43.79	13.66	23.29
58	1	3	2	65.2	23.4	18.7	9.32	116.62	16.03	7.99	55.91
58	1	3	3	21.42	29.5	25.7	23.8	100.42	25.59	23.70	21.33
58	1	3	4	20.88	26	27.6	9.7	84.18	32.79	11.52	24.80
				35.83333	26.3	24	14.27333				
59	1	4	1	27.8	32.9	22.3	10.8	93.8	23.77	11.51	29.64
59	1	4	2	102.3	34.3	30.4	15.4	182.4	16.67	8.44	56.09
59	1	4	3	102.9	38	29.2	17.9	188	15.53	9.52	54.73
59	1	4	4	92.79	6.4	13.75	5.28	118.22	11.63	4.47	78.49
				99.33	26.23333	24.45	12.86				
60	1	5	1	126.6	34.9	50.7	19	231.2	21.93	8.22	54.76
60	1	5	2	166.8	48.1	45.8	31.29	291.99	15.69	10.72	57.13
60	1	5	3	172.9	39.1	59.26	35.01	306.27	19.35	11.43	56.45
60	1	5	4	146.4	41	32.37	25.67	245.44	13.19	10.46	59.65
				162.0333	42.73333	45.81	30.65667				
61	2	1	1	0.8	20.5	23.2	9	53.5	43.36	16.82	1.50
61	2	1	2	3	4.5	9.02	5.28	21.8	41.38	24.22	13.76
61	2	1	3	.	4.3	24.6	3.6	32.5	75.69	11.08	.
61	2	1	4	1.5	12.3	17	3.2	34	50.00	9.41	4.41
				2.25	7.033333	16.87333	4.026667				

62	2	2	1	38.63	7	15.2	2.1	62.93	24.15	3.34	61.39
62	2	2	2	50.19	57.2	25.9	7.3	140.59	18.42	5.19	35.70
62	2	2	3	.	15.9	14.3	8.77	38.97	36.69	22.50	.
62	2	2	4	12.4	9.2	5.5	2.5	29.6	18.58	8.45	41.89
				31.295	27.43333	15.23333	6.19				
63	2	3	1	119.1	17.6	16.76	12.28	165.74	10.11	7.41	71.86
63	2	3	2	70.05	15.2	17.5	3.4	106.15	16.49	3.20	65.99
63	2	3	3	26.86	17	13.33	8.16	65.35	20.40	12.49	41.10
63	2	3	4	150.5	22.3	14.86	11.1	198.76	7.48	5.58	75.72
				82.47	18.16667	15.23	7.553333				
64	2	4	1	134.28	40.6	32.7	22.7	230.28	14.20	9.86	58.31
64	2	4	2	68.3	33.4	28.09	14.27	144.06	19.50	9.91	47.41
64	2	4	3	32.42	24.8	27.79	14	99.01	28.07	14.14	32.74
64	2	4	4	85.6	28.6	28.2	12.6	155	18.19	8.13	55.23
				62.10667	28.93333	28.02667	13.62333				
65	2	5	1	87.9	45.8	37.3	28.9	199.9	18.66	14.46	43.97
65	2	5	2	152.73	52.1	45.18	31.9	281.91	16.03	11.32	54.18
65	2	5	3	112.2	44.4	30.84	26.5	213.94	14.42	12.39	52.44
65	2	5	4	81.4	68.8	27.08	17.07	194.35	13.93	8.78	41.88
				115.4433	55.1	34.36667	25.15667				
66	3	1	1	.	2.3	8.7	2.2	13.2	65.91	16.67	.
66	3	1	2	.	.	9.1	3.8	12.9	70.54	29.46	.
66	3	1	3	13.8	9.1	20.7	4.8	48.4	42.77	9.92	28.51
66	3	1	4	.	5.9	6	1.2	13.1	45.80	9.16	.
				13.8	7.5	11.93333	3.266667				
67	3	2	1	34.4	15.5	10.92	5.2	66.02	16.54	7.88	52.11
67	3	2	2	8	8.7	7.06	2.4	26.16	26.99	9.17	30.58
67	3	2	3	17.7	14.1	17.2	10.1	59.1	29.10	17.09	29.95
67	3	2	4	9.2	10.9	16.1	6.06	42.26	38.10	14.34	21.77
				11.63333	11.23333	13.45333	6.186667				
68	3	3	1	14.2	9	18.95	8.3	50.45	37.56	16.45	28.15
68	3	3	2	.	4	18.8	2.5	25.3	74.31	9.88	.
68	3	3	3	.	11.9	4.7	2.1	18.7	25.13	11.23	.
68	3	3	4	1.9	8.9	15.9	3.23	29.93	53.12	10.79	6.35

				1.9	8.266667	13.13333	2.61				
69	3	4	1	101.1	48.1	34.5	37.81	221.51	15.57	17.07	45.64
69	3	4	2	71.3	37.08	35.2	18.9	162.48	21.66	11.63	43.88
69	3	4	3	22	34.2	34.3	5.5	96	35.73	5.73	22.92
69	3	4	4	145.5	55.1	41.5	31.3	273.4	15.18	11.45	53.22
				79.6	42.12667	37	18.56667				
70	3	5	1	167.8	45	35.8	7.68	256.28	13.97	3.00	65.48
70	3	5	2	136.3	38.4	43.4	12.6	230.7	18.81	5.46	59.08
70	3	5	3	22	27.5	28.9	6.4	84.8	34.08	7.55	25.94
70	3	5	4	119.1	56.9	31.6	4.4	212	14.91	2.08	56.18
				92.46667	40.93333	34.63333	7.8				
71	4	1	1	88	30.2	26.3	14.6	159.1	16.53	9.18	55.31
71	4	1	2	35.34	24.1	18.19	14.7	92.33	19.70	15.92	38.28
71	4	1	3		18.2	10.29	2.57	31.06	33.13	8.27	
71	4	1	4	2.35	3.4	6.5	1.5	13.75	47.27	10.91	17.09
				18.845	15.23333	11.66	6.256667				
72	4	2	1	115.05	37.4	24.5	11.29	188.24	13.02	6.00	61.12
72	4	2	2		14	12.4	15.73	42.13	29.43	37.34	
72	4	2	3	2.93	19.3	12.2	2.85	37.28	32.73	7.64	7.86
72	4	2	4	84.6	51		31.04	166.64		18.63	50.77
				43.765	28.1	12.3	16.54				
73	4	3	1	110.02	27.4	31.5	12.8	181.72	17.33	7.04	60.54
73	4	3	2	80.48	44.4	35.76	40.49	201.13	17.78	20.13	40.01
73	4	3	3	77.2	35.4		27.47	140.07		19.61	55.12
73	4	3	4	106.4	39.9	38.25	20.19	204.74	18.68	9.86	51.97
				88.02667	39.9	37.005	29.38333				
74	4	4	1	102.34	43.2	39.2	13.62	198.36	19.76	6.87	51.59
74	4	4	2	7.34	19.5	27.6	11.8	66.24	41.67	17.81	11.08
74	4	4	3	11.69	18	28.01	13.7	71.4	39.23	19.19	16.37
74	4	4	4	10.9	26.7	26.93	22.5	87.03	30.94	25.85	12.52
				9.976667	21.4	27.51333	16				
75	4	5	1	172	38.2	36.4	42.89	289.49	12.57	14.82	59.41
75	4	5	2	171.56	65.4	34	39.7	310.66	10.94	12.78	55.22
75	4	5	3	163.25	37.4	39.07	24.41	264.13	14.79	9.24	61.81

75	4	5	4	175.32	35.2	27	19.14	256.66	10.52	7.46	68.31
				170.0433	46	33.35667	27.75				
76	5	1	1	.	1.5	1.79	0.78	4.07	43.98	19.16	.
76	5	1	2	.	4	5.89	1.73	11.62	50.69	14.89	.
76	5	1	3	2.23	4.4	2.56	0.8	9.99	25.63	8.01	22.32
76	5	1	4	2.66	3.8	4.9	0.68	12.04	40.70	5.65	22.09
				2.445	4.066667	4.45	1.07				
77	5	2	1	24.38	27.2	28.09	15.67	95.34	29.46	16.44	25.57
77	5	2	2	.	10.3	19.89	6.48	36.67	54.24	17.67	.
77	5	2	3	.	7.9	22.9	6.32	37.12	61.69	17.03	.
77	5	2	4	.	.	.	.	.	.	.	.
				#¡DIV/0!	9.1	21.395	6.4				
78	5	3	1	129.56	35.8	32.67	23.56	221.59	14.74	10.63	58.47
78	5	3	2	93.86	24.2	26.23	14.32	158.61	16.54	9.03	59.18
78	5	3	3	91.85	12.5	26.42	3.38	134.15	19.69	2.52	68.47
78	5	3	4	72.44	29.7	37.2	5.63	144.97	25.66	3.88	49.97
				86.05	22.13333	29.95	7.776667				
79	5	4	1	.	8.4	12.13	1.1	21.63	56.08	5.09	.
79	5	4	2	.	3.4	8.6	0.51	12.51	68.75	4.08	.
79	5	4	3	.	.	.	.	.	.	.	.
79	5	4	4	.	.	.	.	.	.	.	.
				#¡DIV/0!	3.4	8.6	0.51				
80	5	5	1	5.09	24.8	22.5	12.8	65.19	34.51	19.63	7.81
80	5	5	2	4.47	10.2	15.79	1.31	31.77	49.70	4.12	14.07
80	5	5	3	70.12	25.1	.	27.11	122.33	.	22.16	57.32
80	5	5	4	17.14	20.5	28.46	15.78	81.88	34.76	19.27	20.93
				30.57667	18.6	22.125	14.73333				

ANEXO 6.-Tabla Resumen de datos de biomasa

Bloque	Tratamiento	Tallo	Fruto	Raíz	Hoja	Biomasa total
1	1	5.57	3.12	4.26	10.37	23.31
1	2	26.83	109.29	8.40	31.94	176.45
1	3	26.30	35.83	14.27	24.00	100.41
1	4	26.23	99.33	12.86	24.45	162.87
1	5	42.73	162.03	30.66	45.81	281.23
2	1	7.03	2.25	4.03	16.87	30.18
2	2	27.43	31.30	6.19	15.23	80.15
2	3	18.17	82.47	7.55	15.23	123.42
2	4	28.93	62.11	13.62	28.03	132.69
2	5	55.10	115.44	25.16	34.37	230.07
3	1	7.50	13.80	3.27	11.93	36.50
3	2	11.23	11.63	6.19	13.45	42.51
3	3	8.27	1.90	2.61	13.13	25.91
3	4	42.13	79.60	18.57	37.00	177.29
3	5	40.93	92.47	7.80	34.63	175.83
4	1	15.23	18.85	6.26	11.66	52.00
4	2	28.10	43.77	16.54	12.30	100.71
4	3	39.90	88.03	29.38	37.01	194.32
4	4	21.40	9.98	16.00	27.51	74.89
4	5	46.00	170.04	27.75	33.36	277.15
5	1	4.07	2.45	1.07	4.45	12.03
5	2	9.10	*	6.40	21.40	*
5	3	22.13	86.05	7.78	29.95	145.91
5	4	3.40	*	0.51	8.60	*
5	5	18.60	30.58	14.73	22.13	86.04

*Valores no válidos

ANEXO 7.- Tabla Resumen análisis estadístico ANOVAs para fracción de biomasa y biomasa total.

Source	DF	SS	Mean Square	F Ratio	Prob > F
a) Fruto					
Treatment	4	28601.044	7150.26	4.4668	0.0111*
Error	18	28813.331	1600.74		
C. Total	22	57414.375			
b) Tallo					
C. Total	4	2742.9903	685.748	5.507	0.0037*
Error	20	2490.4541	124.523		
C. Total	24	5233.4444			
c) Hojas					
Treatment	4	1432.2074	358.052	4.9338	0.0062*
Error	20	1451.422	72.571		
C. Total	24	2883.6294			
c) Raíces					
Treatment	4	814.5927	203.648	3.7384	0.0199*
Error	20	1089.4963	54.475		
C. Total	24	1904.089			
c) Biomasa total					
Treatment	4	83097.61	20774.4	6.3869	0.0022*
Error	18	58547.49	3252.6		
C. Total	22	141645.1			

ANEXO 8.- Altura de planta

ID	Bloque	Tratamiento	Planta	h planta (cm)
56	1	1	1	35
56	1	1	2	46
56	1	1	3	70
56	1	1	4	65
				54
57	1	2	1	180
57	1	2	2	78
57	1	2	3	131
57	1	2	4	
				129.67
58	1	3	1	107
58	1	3	2	120
58	1	3	3	94
58	1	3	4	80
				100.25
59	1	4	1	95
59	1	4	2	
59	1	4	3	135
59	1	4	4	39
				89.667
60	1	5	1	109
60	1	5	2	160
60	1	5	3	134
60	1	5	4	85
				122
61	2	1	1	65
61	2	1	2	47
61	2	1	3	23
61	2	1	4	46
				45.25

62	2	2	1	64
62	2	2	2	96
62	2	2	3	76
62	2	2	4	71
				76.75
63	2	3	1	111
63	2	3	2	76
63	2	3	3	113
63	2	3	4	108
				102
64	2	4	1	152
64	2	4	2	74
64	2	4	3	68
64	2	4	4	126
				105
65	2	5	1	136
65	2	5	2	110
65	2	5	3	133
65	2	5	4	173
				138
66	3	1	1	35
66	3	1	2	42
66	3	1	3	40
66	3	1	4	45
				40.5
67	3	2	1	79
67	3	2	2	39
67	3	2	3	59
67	3	2	4	52
				57.25
68	3	3	1	49
68	3	3	2	33

68	3	3	3	50
68	3	3	4	37
				42.25
69	3	4	1	126
69	3	4	2	105
69	3	4	3	118
69	3	4	4	124
				118.25
70	3	5	1	145
70	3	5	2	107
70	3	5	3	89
70	3	5	4	129
				117.5
71	4	1	1	90
71	4	1	2	78
71	4	1	3	76
71	4	1	4	32
				69
72	4	2	1	120
72	4	2	2	63
72	4	2	3	97
72	4	2	4	121
				100.25
73	4	3	1	109
73	4	3	2	122
73	4	3	3	98
73	4	3	4	105
				108.5
74	4	4	1	115
74	4	4	2	91
74	4	4	3	65
74	4	4	4	96

				91.75
75	4	5	1	112
75	4	5	2	168
75	4	5	3	103
75	4	5	4	122
				126.25
76	5	1	1	30
76	5	1	2	31
76	5	1	3	28
76	5	1	4	40
				32.25
77	5	2	1	81
77	5	2	2	54
77	5	2	3	58
77	5	2	4	
				64.333
78	5	3	1	110
78	5	3	2	97
78	5	3	3	90
78	5	3	4	121
				104.5
79	5	4	1	84
79	5	4	2	36
79	5	4	3	
79	5	4	4	
				60
80	5	5	1	76
80	5	5	2	54
80	5	5	3	91
80	5	5	4	66
				71.75

ANEXO 9. Resumen análisis estadístico ANOVAs para la altura del maíz

Source	DF	SS	Mean Square	F Ratio	Prob > F
Treatment	4	11759.021	2939.76	4.9766	0.0060
Error	20	11814.386	590.72		
C. Total	24	23573.407			

ANEXO 10.- Porcentaje de nitrógeno en la hoja



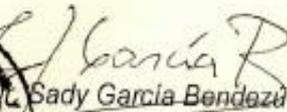
UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA LA MOLINA
FACULTAD DE AGRONOMIA
 LABORATORIO DE ANALISIS DE SUELOS, PLANTAS, AGUAS Y FERTILIZANTES



INFORME DE ANALISIS ESPECIAL EN FOLIAR

SOLICITANTE : APRODES
 PROCEDENCIA : JUNÍN/ CHANCHAMAYO/ SAN RAMÓN/ NARANJAL
 MUESTRA : HOJAS DE MAÍZ
 REFERENCIA : H.R. 57425
 FACTURA : 132
 FECHA : 15/03/2017

N. Lab.	CLAVE DE CAMPO	N %
310	56	3.07
311	57	2.07
312	58	2.18
313	59	3.30
314	60	2.02
315	61	2.52
316	62	2.90
317	63	2.91
318	64	2.24
319	65	2.86
320	66	1.82
321	67	3.30
322	68	2.80
323	69	3.16
324	70	2.24
325	71	2.88
326	72	2.10
327	73	2.91
328	74	2.77
329	75	2.94
330	76	2.56
331	77	2.04
332	78	2.24
333	79	3.39
334	80	3.22


 Sady García Bendeza
 Jefe de Laboratorio



ANEXO 11.- Porcentaje de nitrógeno en el fruto



UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA LA MOLINA
FACULTAD DE AGRONOMIA
 LABORATORIO DE ANALISIS DE SUELOS, PLANTAS, AGUAS Y FERTILIZANTES



INFORME DE ANALISIS ESPECIAL EN FOLIAR

SOLICITANTE : APRODES
 PROCEDENCIA : JUNIN/ CHANCHAMAYO/ SAN RAMON/ NARANJAL
 MUESTRA : MAZORCA, TALLO, RAIZ
 REFERENCIA : H.R. 57591
 FACTURA : 137
 FECHA : 15/03/2017

N. Lab.	CLAVE DE CAMPO	N %
1161	56M	2.41
1162	57M	1.82
1163	58M	1.96
1164	59M	1.74
1165	60M	1.71
1166	61M	2.04
1167	62M	2.10
1168	63M	1.96
1169	64M	1.96
1170	65M	2.16
1171	66M	2.41
1172	67M	2.13
1173	68M	2.41
1174	69M	1.88
1175	70M	2.07
1176	71M	2.07
1177	72M	2.13
1178	73M	1.76
1179	74M	1.65
1180	75M	1.76
1181	76M	1.40
1182	77M	1.76
1183	78M	1.67
1184	79M	M.I.
1185	80M	1.62

M.I.: Muestra insuficiente



Sady García Bendezú
 Sady García Bendezú
 Jefe de Laboratorio

ANEXO 12.- Porcentaje de nitrógeno en el tallo



UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA LA MOLINA
FACULTAD DE AGRONOMIA
 LABORATORIO DE ANALISIS DE SUELOS, PLANTAS, AGUAS Y FERTILIZANTES



INFORME DE ANALISIS ESPECIAL EN FOLIAR

SOLICITANTE : APRODES
 PROCEDENCIA : JUNIN/ CHANCHAMAYO/ SAN RAMON/ NARANJAL
 MUESTRA : MAZORCA, TALLO, RAIZ
 REFERENCIA : H.R. 57591
 FACTURA : 137
 FECHA : 15/03/2017

N. Lab.	CLAVE DE CAMPO	N %
1136	56T	1.48
1137	57T	1.40
1138	58T	1.76
1139	59T	1.23
1140	60T	1.12
1141	61T	1.04
1142	62T	1.62
1143	63T	1.54
1144	64T	1.82
1145	65T	1.74
1146	66T	2.13
1147	67T	2.38
1148	68T	2.10
1149	69T	1.96
1150	70T	1.68
1151	71T	1.68
1152	72T	1.26
1153	73T	1.54
1154	74T	2.24
1155	75T	1.68
1156	76T	1.68
1157	77T	1.82
1158	78T	1.68
1159	79T	1.96
1160	80T	1.74



Sady Garcia Bendezu
 Sady Garcia Bendezu
 Jefe de Laboratorio

ANEXO 13.- Porcentaje de nitrógeno en la raíz



UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA LA MOLINA
FACULTAD DE AGRONOMIA
 LABORATORIO DE ANALISIS DE SUELOS, PLANTAS, AGUAS Y FERTILIZANTES



INFORME DE ANALISIS ESPECIAL EN FOLIAR

SOLICITANTE : APRODES

PROCEDENCIA : JUNIN/ CHANCHAMAYO/ SAN RAMON/ NARANJAL

MUESTRA : MAZORCA, TALLO, RAIZ

REFERENCIA : H.R. 57591

FACTURA : 137

FECHA : 15/03/2017

N. Lab.	CLAVE DE CAMPO	N %
1186	56R	1.40
1187	57R	1.48
1188	58R	1.48
1189	59R	1.09
1190	60R	1.04
1191	61R	1.12
1192	62R	1.12
1193	63R	0.95
1194	64R	1.01
1195	65R	1.48
1196	66R	1.06
1197	67R	1.23
1198	68R	1.29
1199	69R	0.95
1200	70R	1.06
1201	71R	0.87
1202	72R	0.95
1203	73R	0.64
1204	74R	0.90
1205	75R	0.76
1206	76R	1.29
1207	77R	0.87
1208	78R	1.18
1209	79R	0.81
1210	80R	1.29



Sady García Bendozu
Sady García Bendozu
 Jefe de Laboratorio

ANEXO 14.- Contenido de nitrógeno en la planta

ID	Bloq	Trat	% N Tallo	Peso Tallo	N Total Tallo	% N Fruto	Peso Fruto	N Total Fruto	% N Raiz	Peso Raiz	N Total Raiz	% N Hoja	Peso Hoja	N Total Hoja	Σ Biomasa	Area maíz(m ²)	N biomasa (gr/m ²)	N biomasa (kg/m ²)	N biomasa (kg/ha)
56	1	1	1.48	5.57	0.08	2.41	3.1	0.1	1.40	4.26	0.06	3.07	10.37	0.32	0.54	0.4	2.6791	0.0027	26.79
57	1	2	1.40	26.83	0.38	1.82	109.3	2.0	1.48	8.40	0.12	2.07	31.94	0.66	3.15	0.4	15.7549	0.0158	157.55
58	1	3	1.76	26.30	0.46	1.96	35.8	0.7	1.48	14.27	0.21	2.18	24.00	0.52	1.90	0.4	9.5112	0.0095	95.11
59	1	4	1.23	26.23	0.32	1.74	99.3	1.7	1.09	12.86	0.14	3.30	24.45	0.81	3.00	0.4	14.9791	0.0150	149.79
60	1	5	1.12	42.73	0.48	1.71	162.0	2.8	1.04	30.66	0.32	2.02	45.81	0.92	4.49	0.4	22.4364	0.0224	224.36
61	2	1	1.04	7.03	0.07	2.04	2.3	0.0	1.12	4.03	0.05	2.52	16.87	0.43	0.59	0.4	2.9458	0.0029	29.46
62	2	2	1.62	27.43	0.45	2.10	31.3	0.7	1.12	6.19	0.07	2.90	15.23	0.44	1.61	0.4	8.0656	0.0081	80.66
63	2	3	1.54	18.17	0.28	1.96	82.5	1.6	0.95	7.55	0.07	2.91	15.23	0.44	2.41	0.4	12.0579	0.0121	120.58
64	2	4	1.82	28.93	0.53	1.96	62.1	1.2	1.01	13.62	0.14	2.24	28.03	0.63	2.51	0.4	12.5450	0.0125	125.45
65	2	5	1.74	55.10	0.96	2.16	115.4	2.5	1.48	25.16	0.37	2.86	34.37	0.98	4.80	0.4	24.0017	0.0240	240.02
66	3	1	2.13	7.50	0.16	2.41	13.8	0.3	1.06	3.27	0.03	1.82	11.93	0.22	0.74	0.4	3.7192	0.0037	37.19
67	3	2	2.38	11.23	0.27	2.13	11.6	0.2	1.23	6.19	0.08	3.30	13.45	0.44	1.04	0.4	5.1781	0.0052	51.78
68	3	3	2.10	8.27	0.17	2.41	1.9	0.0	1.29	2.61	0.03	2.80	13.13	0.37	0.62	0.4	3.1035	0.0031	31.04
69	3	4	1.96	42.13	0.83	1.88	79.6	1.5	0.95	18.57	0.18	3.16	37.00	1.17	3.67	0.4	18.3321	0.0183	183.32
70	3	5	1.68	40.93	0.69	2.07	92.5	1.9	1.06	7.80	0.08	2.24	34.63	0.78	3.46	0.4	17.3118	0.0173	173.12
71	4	1	1.68	15.23	0.26	2.07	18.8	0.4	0.87	6.26	0.05	2.88	11.66	0.34	1.04	0.4	5.1849	0.0052	51.85
72	4	2	1.26	28.10	0.35	2.13	43.8	0.9	0.95	16.54	0.16	2.10	12.30	0.26	1.70	0.4	8.5057	0.0085	85.06
73	4	3	1.54	39.90	0.61	1.76	88.0	1.6	0.64	29.38	0.19	2.91	37.01	1.08	3.43	0.4	17.1703	0.0172	171.70
74	4	4	2.24	21.40	0.48	1.65	10.0	0.2	0.90	16.00	0.14	2.77	27.51	0.76	1.55	0.4	7.7510	0.0078	77.51
75	4	5	1.68	46.00	0.77	1.76	170.0	3.0	0.76	27.75	0.21	2.94	33.36	0.98	4.96	0.4	24.8142	0.0248	248.14
76	5	1	1.68	4.07	0.07	1.40	2.4	0.0	1.29	1.07	0.01	2.56	4.45	0.11	0.23	0.4	1.1521	0.0012	11.52

77	5	2	1.82	9.10	0.17	1.76	*	*	0.87	6.40	0.06	2.04	21.40	0.44	*	0.4	*	*	*
78	5	3	1.68	22.13	0.37	1.57	86.1	1.3	1.18	7.78	0.09	2.24	29.95	0.67	2.48	0.4	12.4172	0.0124	124.17
79	5	4	1.96		0.07	*	*	*	0.81	0.51	0.00	3.39	8.60	0.29	*	0.4	*	*	*
80	5	5	1.74	18.60	0.32	1.62	30.6	0.5	1.29	14.73	0.19	3.22	22.13	0.71	1.72	0.4	8.6021	0.0086	86.02

*Valores no válidos

ANEXO 15. Resumen análisis estadístico ANOVAs para el contenido de nitrógeno en biomasa por fracciones y biomasa total.

Source	DF	SS	Mean Square	F Ratio	Prob > F
a) Fruto					
Treatment	4	9.71589	2.42897	4.8573	0.0078
Error	18	9.001212	0.50007		
C. Total	22	18.717102			
b) Tallo					
C. Total	4	0.702933	0.175733	4.7193	0.0076
Error	20	0.7447392	0.037237		
C. Total	24	1.4476723			
c) Hojas					
Treatment	4	1.0835574	0.270889	5.8877	0.0027
Error	20	0.9201895	0.046009		
C. Total	24	2.0037469			
c) Raíces					
Treatment	4	0.0991466	0.024787	4.8547	0.0067
Error	20	0.102114	0.005106		
C. Total	24	0.2012606			
c) Biomasa total					
Treatment	4	28.21634	7.05408	6.3799	0.0018
Error	20	22.113317	1.10567		
C. Total	24	50.3297			

ANEXO 16.- Cálculo para determinar el Nitrógeno inicial en el suelo y el nitrógeno mineralizado de la materia orgánica

NITROGENO INICIAL TOTAL	%	Peso suelo (Kg)	Volumen (cm ³)	Densidad (kg/cm ³)	Profundidad (cm)	Stock N Suelo (Kg/cm ²)	Stock N Suelo (Kg/ha)
Nitrogeno inicial	0.0 6	1.5	1000	0.0015	10	0.000009	900

	%	Peso suelo (Kg)	Volumen (cm ³)	Densidad (kg/cm ³)	Profundidad (cm)	Stock M.O Suelo (Kg/cm ²)	Stock M.O Suelo (Kg/ha)	5% (N.T) 360 días	150 días
M.O	4.42	1.5	1000	0.0015	10	0.000663	66300	3315	1362.32877

Nitrógeno Inorgánico	Stock N-Total (Kg/ha)	% N-inorgánico	N-inorgánico (Kg/ha)
Nis	900	2.5	22.5
Nmin	1362.32877	2.5	34.0582192

ANEXO 17.1.- Análisis de nitrógeno final en el suelo



UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA LA MOLINA
FACULTAD DE AGRONOMIA
LABORATORIO DE ANALISIS DE SUELOS, PLANTAS, AGUAS Y FERTILIZANTES



INFORME DE ANALISIS ESPECIAL EN SUELO

SOLICITANTE : APRODES
 PROCEDENCIA : JUNIN/CHANCHAMAYO/SAN RAMON
 REFERENCIA : H.R. 57422
 FACTI : 132
 FECHA : 03/02/2017

Lab	Número Muestra Claves	N %
259	56	0.15
260	57	0.18
261	58	0.18
262	59	0.13
263	60	0.09
264	61	0.15
265	62	0.13
266	63	0.25
267	64	0.16
268	65	0.16
269	66	0.16
270	67	0.15
271	68	0.33
272	69	0.26
273	70	0.13

 *Sady García Bendezu*
 Jefe del Laboratorio

Av. La Molina s/n Campus UNALM
 Telf.: 614-7800 Anexo 222 Telefax: 349-5622
 e-mail: labsuelo@lamolina.edu.pe

ANEXO 17.2.- Análisis de nitrógeno final en el suelo



UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA LA MOLINA
FACULTAD DE AGRONOMIA
LABORATORIO DE ANALISIS DE SUELOS, PLANTAS, AGUAS Y FERTILIZANTES



INFORME DE ANALISIS ESPECIAL EN SUELO

SOLICITANTE : APRODES
 PROCEDENCIA : JUNIN/CHANCHAMAYO/SAN RAMON
 REFERENCIA : H.R. 57423
 FACTI : 132
 FECHA : 03/02/2017

Lab	Número Muestra		N %
	Claves		
274	71		0.10
275	72		0.17
276	73		0.24
277	74		0.26
278	75		0.12
279	76		0.14
280	77		0.15
281	78		0.17
282	79		0.20
283	80		0.08

 *Priscy García Bendezú*
 Jefe del Laboratorio

Av. La Molina s/n Campus UNALM
 Telf.: 614-7800 Anexo 222 Telefax: 349-5622
 e-mail: labsuelo@lamolina.edu.pe

ANEXO 18.- Data del stock de nitrógeno final en el suelo

ID	Bloque	Tratamiento	% de N suelo	Peso suelo (Kg)	Volumen (cm ³)	Densidad (kg/cm ³)	Profundidad (cm)	Stock N Suelo (Kg/cm ²)	Stock N-Total (Kg/ha)	Stock Nfs (Kg/ha)
56	1	1	0.15	1.2514	1000	0.0012514	10	0.000018771	1877.1	46.9275
57	1	2	0.18	1.2514	1000	0.0012514	10	2.25252E-05	2252.52	56.313
58	1	3	0.18	1.2514	1000	0.0012514	10	2.25252E-05	2252.52	56.313
59	1	4	0.13	1.2514	1000	0.0012514	10	1.62682E-05	1626.82	40.6705
60	1	5	0.09	1.2514	1000	0.0012514	10	1.12626E-05	1126.26	28.1565
61	2	1	0.15	1.2514	1000	0.0012514	10	0.000018771	1877.1	46.9275
62	2	2	0.13	1.2514	1000	0.0012514	10	1.62682E-05	1626.82	40.6705
63	2	3	0.25	1.2514	1000	0.0012514	10	0.000031285	3128.5	78.2125
64	2	4	0.16	1.2514	1000	0.0012514	10	2.00224E-05	2002.24	50.056
65	2	5	0.16	1.2514	1000	0.0012514	10	2.00224E-05	2002.24	50.056
66	3	1	0.16	1.2514	1000	0.0012514	10	2.00224E-05	2002.24	50.056
67	3	2	0.15	1.2514	1000	0.0012514	10	0.000018771	1877.1	46.9275
68	3	3	0.33	1.2514	1000	0.0012514	10	4.12962E-05	4129.62	103.2405
69	3	4	0.26	1.2514	1000	0.0012514	10	3.25364E-05	3253.64	81.341
70	3	5	0.13	1.2514	1000	0.0012514	10	1.62682E-05	1626.82	40.6705
71	4	1	0.10	1.2514	1000	0.0012514	10	0.000012514	1251.4	31.285
72	4	2	0.17	1.2514	1000	0.0012514	10	2.12738E-05	2127.38	53.1845

73	4	3	0.24	1.2514	1000	0.0012514	10	3.00336E-05	3003.36	75.084
74	4	4	0.26	1.2514	1000	0.0012514	10	3.25364E-05	3253.64	81.341
75	4	5	0.12	1.2514	1000	0.0012514	10	1.50168E-05	1501.68	37.542
76	5	1	0.14	1.2514	1000	0.0012514	10	1.75196E-05	1751.96	43.799
77	5	2	0.15	1.2514	1000	0.0012514	10	0.000018771	1877.1	46.9275
78	5	3	0.17	1.2514	1000	0.0012514	10	2.12738E-05	2127.38	53.1845
79	5	4	0.20	1.2514	1000	0.0012514	10	0.000025028	2502.8	62.57
80	5	5	0.08	1.2514	1000	0.0012514	10	1.00112E-05	1001.12	25.028

ANEXO 19.- Resumen análisis estadístico ANOVAs para el contenido de nitrógeno final en el suelo.

Source	DF	SS	Mean Square	F Ratio	Prob > F
Treatment	4	7149739	1787435	6.0011	0.0024
Error	20	5957071	297854		
C. Total	24	13106810			

*Fuente: Elaboración propia.

ANEXO 20.- Contenido de Amonio y Nitrato en el suelo

PRS(tm)-probe nutrient supply rates 2017 (in-situ burials).

Sample ID	Burial Date	Retrieval Date	# Anion	# Cation	NO3-N	NH4-N
Method Detection Limits (mdl):						
56	2016-09-06	2016-09-26	4	4	188	0.8
57	2016-09-06	2016-09-26	4	4	332	0.5
58	2016-09-06	2016-09-26	4	4	266	0.3
59	2016-09-06	2016-09-26	4	4	111	0.3
60	2016-09-06	2016-09-26	4	4	146	0.5
61	2016-09-06	2016-09-26	4	4	325	0.6
62	2016-09-06	2016-09-26	4	4	273	0.6
63	2016-09-06	2016-09-26	4	4	99	0.4
64	2016-09-06	2016-09-26	4	4	82	0.6
65	2016-09-06	2016-09-26	4	4	208	0.8
66	2016-09-06	2016-09-26	4	4	429	1.4
67	2016-09-06	2016-09-26	4	4	231	1.2
68	2016-09-06	2016-09-26	4	4	281	1.2
69	2016-09-06	2016-09-26	4	4	211	1.5
70	2016-09-06	2016-09-26	4	4	125	1.7
71	2016-09-06	2016-09-26	4	4	166	1.4
72	2016-09-06	2016-09-26	4	4	349	0.7
73	2016-09-06	2016-09-26	4	4	367	0.2
74	2016-09-06	2016-09-26	4	4	301	0.1
75	2016-09-06	2016-09-26	4	4	454	0.2
76	2016-09-06	2016-09-26	4	4	95	0.5
77	2016-09-06	2016-09-26	4	4	325	1.4
78	2016-09-06	2016-09-26	4	4	128	0.3
79	2016-09-06	2016-09-26	4	4	75	0.4
80	2016-09-06	2016-09-26	4	4	69	0.3

ANEXO 21.- Resumen análisis estadístico ANOVAs para el contenido de nitratos y amonio

ANOVA para amonio

Source	DF	SS	Mean Square	F Ratio	Prob > F
Treatment	4	0.7576	0.1894	0.8066	0.5354
Error	20	4.696	0.2348		
C. Total	24	5.4536			

ANOVA para nitratos

Source	DF	SS	Mean Square	F Ratio	Prob > F
Treatment	4	57738.96	14434.7	1.1092	0.3797
Error	20	260277.2	13013.9		
C. Total	24	318016.16			

ANEXO 22 .-Balance de nitrógeno en el sistema Suelo-planta

Bloque	Trat.	N suelo inicial (kg/ha)	Nis (2.5 %)	Nfer	Nmin	N. atm	N entrada (kg/ha)	N Planta (kg/ha)	N suelo final (kg/ha)	Nfis (2.5 %)	N pérdida (kg/ha)	Porcentaje de pérdida
1	1	900	22.5	0	34.06	58.8	115.36	26.79	1877.1	46.9275	41.641535	36.0970309
1	2	900	22.5	175	34.06	58.8	290.36	*	2252.52	56.313	*	*
1	3	900	22.5	175	34.06	58.8	290.36	95.11	2252.52	56.313	138.934920	47.8491941
1	4	900	22.5	175	34.06	58.8	290.36	149.79	1626.82	40.6705	99.898367	34.405003
1	5	900	22.5	175	34.06	58.8	290.36	224.36	1126.26	28.1565	37.839733	13.0320062
2	1	900	22.5	0	34.06	58.8	115.36	29.46	1877.1	46.9275	38.974400	33.7850208
2	2	900	22.5	175	34.06	58.8	290.36	80.66	1626.82	40.6705	169.033771	58.2152401
2	3	900	22.5	175	34.06	58.8	290.36	120.58	3128.5	78.2125	91.568300	31.5361276
2	4	900	22.5	175	34.06	58.8	290.36	125.45	2002.24	50.056	114.854107	39.5557607
2	5	900	22.5	175	34.06	58.8	290.36	240.02	2002.24	50.056	0.287440	0.09899435
3	1	900	22.5	0	34.06	58.8	115.36	37.19	2002.24	50.056	28.111600	24.3685853
3	2	900	22.5	175	34.06	58.8	290.36	51.78	1877.1	46.9275	191.651073	66.0046402
3	3	900	22.5	175	34.06	58.8	290.36	*	4129.62	103.2405	*	*
3	4	900	22.5	175	34.06	58.8	290.36	183.32	3253.64	81.341	25.698333	8.85050742
3	5	900	22.5	175	34.06	58.8	290.36	173.12	1626.82	40.6705	76.571100	26.3710911
4	1	900	22.5	0	34.06	58.8	115.36	*	1251.4	31.285	*	*
4	2	900	22.5	175	34.06	58.8	290.36	85.06	2127.38	53.1845	152.118500	52.3896198
4	3	900	22.5	175	34.06	58.8	290.36	171.70	3003.36	75.084	43.572767	15.0064632

4	4	900	22.5	175	34.06	58.8	290.36	*	3253.64	81.341	*	*
4	5	900	22.5	175	34.06	58.8	290.36	248.14	1501.68	37.542	4.675980	1.61040777
5	1	900	22.5	0	34.06	58.8	115.36	*	1751.96	43.799	*	*
5	2	900	22.5	175	34.06	58.8	290.36	*	1877.1	46.9275	*	*
5	3	900	22.5	175	34.06	58.8	290.36	124.17	2127.38	53.1845	113.003620	38.918453
5	4	900	22.5	175	34.06	58.8	290.36	*	2502.8	62.57	*	*
5	5	900	22.5	175	34.06	58.8	290.36	*	1001.12	25.028	*	*

*Valores no válidos

ANEXO 23.- Resumen del análisis estadístico para la pérdida de nitrógeno

Source	DF	SS	Mean Square	F Ratio	Prob > F
Treatment	4	41734.848	10433.7	8.8787	0.0014
Error	12	14101.7	1175.1		
C. Total	16	55836.548			

ANEXO 24.- Galería Fotogràfica



Figura 15.- Preparación del biochar.



Figura 16.- Preparación del biochar.



Figura 17.- Biochar recién producido.



Figura 18.- Terreno dónde sin acondicionar, dónde se llevó a cabo el experimento.



Figura 19.- Terreno con las parcelas acondicionas.



Figura 20.- Cultivo de maíz por tratamiento