

**UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA
LA MOLINA**

**ESCUELA DE POSGRADO
MAESTRÍA EN CIENCIAS AMBIENTALES**



**“OBTENCIÓN DE HARINA DE CUERNOS Y PEZUÑAS DE
GANADO BOVINO (*Bos Taurus*) Y EVALUACIÓN DE SU
APLICACIÓN COMO ABONO ORGÁNICO”**

Presentada por:

LOURDES DOCUMET FORGER

**TESIS PARA OPTAR EL GRADO DE MAGISTER SCIENTIAE EN
CIENCIAS AMBIENTALES**

Lima - Perú

2015

ÍNDICE GENERAL

RESUMEN

	Pag.
I INTRODUCCIÓN.....	1
II REVISIÓN DE LITERATURA.....	3
2.1 La fertilización de los cultivos.....	3
2.2 El nitrógeno.....	4
2.2.1 El nitrógeno en los cultivos.....	4
2.2.2 Fuentes de nitrógeno.....	6
2.2.2.1 Fuentes minerales de nitrógeno.....	6
2.2.2.2 Fuentes orgánicas de nitrógeno.....	7
2.3 Harina de cuernos y pezuñas.....	11
2.3.1 Conceptos y definiciones básicas de los cuernos y pezuñas.....	11
2.3.2 Los Cuernos y Pezuñas de ganado vacuno desde el punto de vista anatómico.....	12
2.3.3 Procesamiento, uso potencial de los cuernos y pezuñas.....	18
2.3.4 Producción Pecuaria – Residuos generados del beneficio de ganado vacuno en camales.....	22
III MATERIALES Y MÉTODOS.....	25
3.1 Etapa I.....	25
3.1.1 Lugar de Ejecución.....	25
3.1.2 Materia Prima.....	25

3.1.3 Equipos, materiales e insumos.....	25
3.1.3.1 Equipos y materiales.....	25
3.1.3.2 Insumos.....	26
3.1.4 Métodos de análisis y pruebas realizadas.....	26
3.1.4.1 Análisis físico-químicos.....	26
3.1.4.2 Metodología experimental.....	26
3.2 Etapa II.....	29
3.2.1 Ubicación del experimento y condiciones climáticas.....	29
3.2.2 Materiales empleados.....	29
3.2.2.1 Suelo.....	29
3.2.2.2 Agua.....	31
3.2.2.3 Cultivo indicador.....	31
3.2.2.4 Fertilizantes empleados.....	32
3.2.2.5 Otros materiales.....	32
3.2.3 Métodos y procedimiento.....	32
3.2.3.1 Instalación del experimento y parámetros de evaluación.....	32
3.2.3.2 Metodología experimental.....	36
3.2.4 Diseño experimental.....	37
IV RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....	38
4.1 Análisis físico-químicos de la harina de cuernos y pezuñas.....	38
4.2 Desarrollo del experimento.....	39
4.2.1 Fase de Invernadero.....	39
4.2.2 Resultados finales.....	43
4.2.2.1 Altura de la planta.....	45
4.2.2.2 Peso de la planta.....	47
4.2.2.3 Extracción de fósforo de la planta.....	50

4.2.2.4 Extracción de nitrógeno de la planta.....	53
4.2.2.5 Extracción de potasio de la planta.....	55
V CONCLUSIONES.....	58
VI RECOMENDACIONES.....	59
VII BIBLIOGRAFÍA.....	60
VIII ANEXOS.....	64

ÍNDICE DE TABLAS

	Pag.
Tabla 1. Contenido de nitrógeno orgánico en abonos orgánicos nitrogenados.....	9
Tabla 2. Caracterización de fertilizantes provenientes de fuentes orgánicas.....	10
Tabla 3. Composición en aminoácidos de las queratinas del asta de ganado vacuno (g por 100g de queratina desecada).....	16
Tabla 4. Composición nutricional de la HCP y de la Harina de Plumas hidrolizada.....	21
Tabla 5. Beneficio de ganado en camales por año, 2005 – 2012 /P.....	23
Tabla 6. Valoración aproximada (T/año) de cuernos y pezuñas que no se habrían aprovechado.....	23
Tabla 7. Unidades de ganado vacuno beneficiados por camales según mes 2012/P.....	24
Tabla 8. Condiciones climáticas durante el período del experimento.....	29
Tabla 9. Análisis del Suelo utilizado en el experimento.....	30
Tabla 10. Análisis del agua utilizada en el experimento.....	31
Tabla 11. Distribución de tratamientos.....	36
Tabla 12. Análisis físico-químico obtenido de la HCP para cada uno de los tratamientos.....	38
Tabla 13. Resultados promedios de las variables para cada tratamiento.....	45
Tabla 14. Altura media de la Planta y su significancia estadística.....	46
Tabla 15. Peso seco total medio y su significancia estadística.....	48
Tabla 16. Extracción de fósforo total medio y su significancia estadística.....	51
Tabla 17. Mediana de extracción de nitrógeno total y su significancia estadística.....	54
Tabla 18. Mediana de extracción de potasio total medio y su significancia estadística.....	56

ÍNDICE DE FIGURAS

Pag.

Figura 1. Corte longitudinal de cuerno y apófisis corneal de ternero.....	13
Figura 2. Sección sagital de la parte distal del miembro torácico del vacuno.....	14
Figura 3. Morfología de los cuernos de los Toros.....	15
Figura 4. Conformación del cuerno.....	17
Figura 5. Procesamiento de los cuernos y pezuñas.....	27
Figura 6. Flujo del Proceso de obtención de la HCP.....	28
Figura 7. Flujograma del experimento en el Invernadero.....	34
Figura 8. Distribución de las macetas en el Invernadero.....	35
Figura 9. Desarrollo de las plantas a los 5 días de siembra.....	39
Figura 10. Desarrollo de las plantas a los 12 días de siembra.....	40
Figura 11. Desarrollo de la planta a los 26 días de siembra.....	41
Figura 12. Desarrollo de la planta a los 33 días de siembra.....	42
Figura 13. Desarrollo de las plantas a los 40 días de siembra.....	43
Figura 14. Parte aérea y radicular de las plantas.....	44
Figura 15. Altura promedio de la planta para cada tratamiento.....	45
Figura 16. Peso promedio de la planta para cada tratamiento.....	48
Figura 17. Relación entre el Peso y Altura promedio de la Planta para cada uno de los tratamientos.....	50
Figura 18. Extracción de fósforo total promedio de la planta para cada tratamiento.....	50
Figura 19. Extracción de nitrógeno total promedio de la planta para cada tratamiento.....	53
Figura 20. Comparación - Altura de la Planta y Extracción de Nitrógeno.....	55
Figura 21. Extracción de potasio total promedio de la planta para cada tratamiento.....	56

ÍNDICE DE ANEXOS

	Pag.
Resultados completos de los parámetros evaluados	
Anexo A-1. Resultados completos de la variable «Altura de la Planta».....	64
Anexo A-2. Resultados completos de la variable «Peso de la Planta».....	65
Anexo A-3. Resultados completos de la variable «Extracción de fósforo de la Planta».....	66
Anexo A-4. Resultados completos de la variable «Extracción de nitrógeno de la Planta».....	67
Anexo A-5. Resultados completos de la variable «Extracción de potasio de la Planta».....	68
 Pruebas Estadísticas	
Anexo B- Análisis de Altura.....69	
Anexo B-1: Análisis descriptivo.....	69
Anexo B-2: Verificación de supuestos del DCA.....	70
Anexo B-3: Análisis de Varianza.....	71
Anexo B-4: Pruebas de comparaciones.....	72
Anexo B.4.1. Prueba de Comparación de Dunnett.....	72
Anexo B.4.2. Prueba de Comparación de Tukey.....	74
Anexo B.4.3. Prueba de Contraste Ortogonal.....	75
 Anexo C- Análisis de Materia Seca.....77	
Anexo C-1: Análisis descriptivo.....	77

Anexo C-2: Verificación de supuestos del DCA.....	78
Anexo C-3: Análisis de Varianza.....	79
Anexo C-4: Pruebas de comparaciones.....	80
Anexo C.4.1. Prueba de Comparación de Dunnett.....	80
Anexo C.4.2. Prueba de Comparación de Tukey.....	81
Anexo C.4.3. Prueba de Contraste Ortogonal.....	83
Anexo D- Análisis de Fósforo.....	85
Anexo D-1: Análisis descriptivo.....	85
Anexo D-2: Verificación de supuestos del DCA.....	86
Anexo D-3: Análisis de Varianza.....	87
Anexo D-4: Pruebas de comparaciones.....	88
Anexo D.4.1. Prueba de Comparación de Dunnett.....	88
Anexo D.4.2. Prueba de Comparación de Tukey.....	89
Anexo D.4.3. Prueba de Contraste Ortogonal.....	91
Anexo E. Análisis de Nitrógeno.....	93
Anexo E-1: Análisis descriptivo.....	93
Anexo E-2: Verificación de supuestos de DCA.....	94
Anexo E-3: Prueba de Kruskal - Wallis	95

Anexo F. Análisis de Potasio.....	99
Anexo F-1: Análisis descriptivo.....	99
Anexo F-2: Verificación de supuestos de DCA.....	100
Anexo F-3: Prueba de Kruskal – Wallis.....	101

NOMENCLATURA

HCP: Harina de Cuernos y Pezuñas

HP: Harina de Plumas

U: Úrea

SF: Súper fosfato triple de calcio

CIK: Cloruro de potasio

OBTENCIÓN DE HARINA DE CUERNOS Y PEZUÑAS DE GANADO BOVINO (*Bos taurus*) Y EVALUACIÓN DE SU APLICACIÓN COMO ABONO ORGÁNICO

RESUMEN

En la presente investigación se obtuvo harina de cuernos y pezuñas de ganado bovino bajo diferentes procedimientos; las pruebas se llevaron a cabo en el Laboratorio de Biotecnología Ambiental de la Facultad de Ciencias y en el Laboratorio de Pruebas de Ensayo de Materiales de la Facultad de Ingeniería Agrícola de la Universidad Nacional Agraria La Molina. Se evaluó la efectividad de la harina obtenida frente a otros abonos orgánicos y/o fertilizantes comerciales; esta prueba se realizó en el Laboratorio e Invernadero de Fertilidad del suelo de la Universidad Nacional Agraria La Molina. El experimento de invernadero se condujo por 40 días, usando maíz como planta indicadora. Los parámetros de evaluación de las macetas fueron: materia seca total, altura de la planta y análisis químico de las plantas, (para evaluar la extracción de nitrógeno, fósforo y potasio). Para la obtención de la harina se sometió a los cuernos y pezuñas a tres tratamientos diferentes, basados en procesos térmicos, químicos, físicos y biológicos: Tratamiento 1 –cocción simple, Tratamiento 2 – con detergente y Tratamiento 3 – enzimático. Se encontró que la harina de cuernos y pezuñas (HCP) representa una fuente potencial de nitrógeno, aprovechable para ser usada como abono orgánico no convencional; teniendo en promedio alrededor de 15 por ciento de nitrógeno total. Se observó una respuesta favorable a la aplicación de los fertilizantes de HCP de los tres tratamientos; siendo que la altura media del maíz, la materia seca total media y la extracción de fósforo media (mg) del fertilizante orgánico no convencional fue superior a los otros fertilizantes considerados. No se encontraron diferencias significativas entre los tres tratamientos con HCP para las variables altura, peso, extracción de fósforo y extracción de potasio. Solo se encontraron diferencias significativas entre los tratamientos 1 y 2, para la variable extracción de nitrógeno.

Palabras clave: Harina de cuernos y pezuñas, abono orgánico no convencional, fuente potencial de nitrógeno, tratamientos.

OBTENTION OF FLOUR FROM CATTLE'S (*Bos taurus*) HOOVES AND HORNS AND ASSESSMENT OF ITS APPLICATION AS ORGANIC FERTILIZER

SUMMARY

In the following research, flour from cattle's hooves and horns was obtained through different procedures; the tests were carried out in the Environmental Biotechnology Laboratory at the Sciences Faculty and the Materials Testing Laboratory at the Agricultural Engineering Faculty, both at the National Agrarian University. The effectiveness of the flour obtained as a fertilizer was tested against organic and/or commercial ones; this test was carried out in the Soil Fertility Laboratory and Greenhouse at the National Agrarian University. The experiment at the greenhouse was conducted for 40 days, using corn as an indicator plant. The pots' assessment parameters were: total dry biomass (g/pot), plant height and chemical analysis of the plants (to assess nutrient removal: nitrogen, phosphorus and potassium).For obtaining the flour, the hooves and horns underwent three different treatments, based on thermal, chemical, physical and biological processes: Treatment 1 – plain cooking, Treatment 2 – included detergent, Treatment 2 – Enzymatic action. It was found that flour from cattle's hooves and horns (HCP) represents a potential source of nitrogen, able to be used as a non-conventional organic fertilizer, being composed in average of about 15 per cent of nitrogen. A positive response to the application of the HCP was observed for the three different treatments, obtaining a higher mean corn height, total dry biomass and mean phosphorus removal (mg) compared to common fertilizers. No significant differences were found amongst the HCP treatments for height, weight, and phosphorus and potassium removal. The only significant differences found were between Treatment 1 and Treatment 2 for nitrogen removal.

Key Words: Flour from cattle's hooves and horns, non-conventional organic fertilizer, potential source of nitrogen, treatments.

I. INTRODUCCIÓN

Actualmente en los centros de beneficio de la provincia de Lima, el destino final de los cuernos y pezuñas de ganado vacuno, es o bien el relleno sanitario o en el peor de los casos algún botadero o basural; solo un pequeño porcentaje, muy variable, se destina a la artesanía.

Los cuernos y pezuñas de ganado vacuno son subproductos con un alto contenido de queratina (tipo de proteína estructural), si esta materia prima es sometida a algún tratamiento que fragilice su estructura para ser posteriormente molida, se obtendría una harina rica en Nitrógeno, potencialmente aprovechable para ser usada como abono orgánico no convencional. De no utilizarse estos subproductos, significaría la pérdida de un valioso potencial fertilizante, por otro lado se incurriría en costos adicionales para ser eliminados adecuadamente y en el peor de los casos contaminaría el medio ambiente si su eliminación se realiza de forma inadecuada.

El presente trabajo de investigación propone desarrollar procedimientos para convertir a los cuernos y pezuñas en algo útil, como un fertilizante o abono orgánico, para posteriormente evaluar la efectividad de este producto desarrollado frente a otros tipos de fertilizantes existentes en el mercado, u otros abonos orgánicos y/o fertilizantes comerciales.

Al respecto se hace mención que al utilizar los cuernos y pezuñas como fuente de abono orgánico, se aprovecha un subproducto de la industria ganadera, actualmente no utilizado, reduciéndose el espacio que ocupan estos en los rellenos sanitarios al convertirse en basura, disminuyéndose también los riesgos por contaminación en la industria y el medio ambiente.

Los objetivos planteados en la presente investigación son los siguientes:

- Determinar los procedimientos industriales: físico/químicos más adecuados para transformar los cuernos y pezuñas de ganado vacuno en una harina que pueda servir como abono orgánico.
- Evaluar la efectividad de este abono orgánico no convencional frente a otros abonos orgánicos y/o fertilizantes comerciales.

II. REVISIÓN DE LITERATURA

2.1 La Fertilización de los cultivos

De acuerdo a lo señalado por Salgado y Núñez (2010), los fertilizantes son sustancias que proporcionan nutrientes para las plantas o mejoran la fertilidad del suelo, son el medio más efectivo para incrementar los rendimientos de los cultivos y mejorar la calidad de los alimentos.

Salgado y Núñez (2010) refieren también a los “elementos minerales esenciales” o “nutrimiento esencial”, indicando que son tres características que debe cumplir un elemento para que sea considerado como esencial:

- La planta no puede completar su ciclo de vida en ausencia del elemento mineral esencial.
- La función de este elemento no puede ser reemplazada por otro elemento.
- El elemento debe participar directamente en el metabolismo de la planta y/o estructura de la planta.

Por otro lado, Salgado y Núñez (2010) afirman que pese a que las plantas contienen prácticamente todos los elementos naturales, solo 17 de ellos son considerados elementos esenciales para su nutrición; el carbono (C), hidrógeno (H) y oxígeno (O), pese a estar considerados dentro de estos 17 elementos esenciales, son mayormente tomados del agua y del aire, y por tanto no se consideran como nutrientes minerales y no se relacionan con la industria de los fertilizantes. Mencionan al nitrógeno (N), fósforo (F) y potasio (P) como macronutrientes primarios, por ser absorbidos en altas cantidades por las plantas; requiriéndose su aplicación como fertilizante.

2.2 El nitrógeno

2.2.1 El nitrógeno en los cultivos

Gros y Domínguez (1992), indican que el nitrógeno en la naturaleza existe en estado libre y en estado combinado; en estado combinado se presenta en forma mineral u orgánica; en forma mineral, el nitrógeno es el alimento básico de la planta; en forma orgánica, la planta no puede absorber directamente el nitrógeno, sin embargo, los animales toman de los vegetales en esta forma todo el que necesitan.

Así mismo, Gros y Domínguez (1992) señalan que el nitrógeno es el factor esencial del crecimiento y de los rendimientos, el cual ejerce una acción de choque sobre la vegetación; una planta bien provista de nitrógeno brota pronto, adquiere un gran desarrollo de hojas, tallos y un bonito color verde oscuro, debido a la abundancia de clorofila; una buena vegetación hace prever una intensa actividad asimiladora, es decir, un crecimiento activo y una cosecha grande. Por ello, el nitrógeno es el factor que determina los rendimientos y es la base del abonado.

Salgado y Núñez (2010), describen al nitrógeno como un constituyente de todas las proteínas y la clorofila que se encuentra en las coenzimas y los ácidos nucleicos; afirman que su deficiencia en cereales se manifiesta como clorosis en las puntas y necrosis, las hojas van adquiriendo, a partir de las puntas, un color amarillento-pardo, las hojas más viejas se tornan pardas.

Por otro lado, Salgado y Núñez (2010), mencionan que el nitrógeno es un elemento muy móvil en el suelo que puede perderse por diferentes procesos tales como desnitrificación, lixiviación y volatilización.

Finalmente, Salgado y Núñez (2010), afirman que las plantas absorben el nitrógeno en sus formas solubles: nitrato (NO_3^-), amonio (NH_4^+) y compuestos nitrogenados de bajo peso molecular (aminas, aminoácidos, etc).

Fassbender y Bornemisza (1987), mencionan lo siguiente, respecto al Ciclo del Nitrógeno en el Suelo:

- Es parte del ciclo integral del nitrógeno en la naturaleza, implica interacciones con los animales, el hombre y la atmósfera e hidrósfera.
- En los procesos químicos y bioquímicos del ciclo del N en la naturaleza participan todas sus formas (moleculares, inorgánicas y orgánicas), resultando así un ciclo muy complejo y *sui géneris*.
- La mineralización del nitrógeno consiste en una serie de procesos a través de los cuales los componentes orgánicos, ya sea de la materia orgánica o de los residuos vegetales y animales recién incorporados al suelo, se transforman en formas inorgánicas nitrogenadas, tales como NH_4^+ , NO_2^- y NO_3^- . En los procesos de mineralización toman parte los microorganismos del suelo, los que son de gran importancia.
- La amonificación comprende los primeros procesos de transformación, hasta que las sustancias orgánicas llegan a presentarse como NH_4^+ .
- La nitrificación comprende la transformación del NH_4^+ en nitratos, pasando previamente por la forma de nitritos. En oposición con la mineralización está la inmovilización; en este proceso el N-inorgánico es incorporado e inmovilizado temporalmente en los microorganismos.

En relación a los balances de nitrógeno, Fassbender y Bornemisza (1987), indican que los procesos más importantes de ganancia de nitrógeno en el suelo son:

- Fertilización
- Fijación biológica simbiótica y no simbiótica
- Fijación no biológica (deposición con lluvias)
- Deposición de residuos vegetales

Siendo en su contraparte los procesos más importantes de pérdida los siguientes:

- Absorción por las plantas

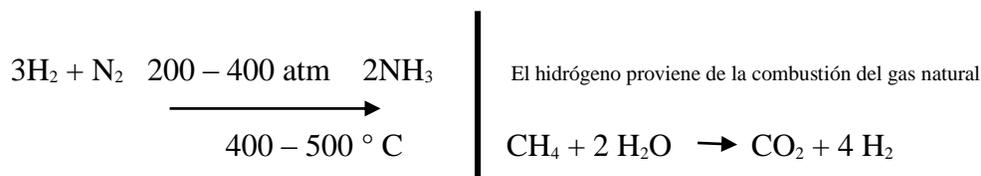
- Lixiviación o percolación
- Denitrificación
- Erosión

2.2.2 Fuentes de nitrógeno

2.2.2.1 Fuentes minerales de nitrógeno

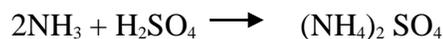
De acuerdo a lo que señalan Salgado y Núñez (2010), los fertilizantes químicos, llamados también fertilizantes inorgánicos o fertilizantes minerales, son los fertilizantes naturales o sintéticos que no son de origen animal ni vegetal; dentro de los fertilizantes químicos sintéticos se encuentran los nitrogenados, fosfatados, potásicos y mixtos.

Salgado y Núñez (2010) agregan que en la elaboración de fertilizantes nitrogenados sintéticos se utiliza el nitrógeno atmosférico como materia prima. La síntesis de amoníaco es el proceso más generalizado que consiste en la reacción de hidrógeno y nitrógeno elementales a altas presiones y temperaturas para generar amoníaco.



A continuación, según lo mencionado por Salgado y Núñez (2010), se detallan algunos fertilizantes sintéticos comúnmente usados y su forma de obtención:

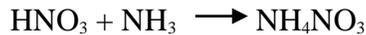
- **Sulfato de amonio** $(\text{NH}_4)_2 \text{SO}_4$.- a partir de la reacción del amoníaco con el ácido sulfúrico



- **Nitrato de potasio (KNO₃).**- a partir de ácido nítrico (obtenido industrialmente a partir del nitrógeno atmosférico) y compuestos potásicos, o tratando químicamente el nitrato de sodio



- **Nitrato de amonio (NH₄NO₃).**- a partir del amoníaco y el ácido nítrico se logra la siguiente reacción



- **Urea (NH₂)₂CO.**- es un compuesto nitrogenado de origen animal, se obtiene por síntesis química, haciendo reaccionar el amoníaco con el bióxido de carbono (CO₂) o anhídrido carbónico.

La urea es el fertilizante sólido de mayor concentración, con 46 por ciento de nitrógeno, es preciso señalar que para producir una tonelada de urea se requiere 600 kg de amoníaco y una tonelada de gas (CO₂).

- **Nitrato de sodio (NaNO₃).**- además de los yacimientos naturales, se obtiene sintéticamente a partir del carbonato de sodio y ácido nítrico.



2.2.2.2 Fuentes orgánicas de nitrógeno

Gutiérrez (2013) menciona que la materia orgánica incorpora al suelo dos elementos químicos esenciales que no existen en el material de origen, que son: carbono y nitrógeno, indicando que este último es el nutriente más importante desde el punto de vista cuantitativo, resaltando que solo este acto se consideraría suficiente para justificar la importancia de la materia orgánica, como fuente de nitrógeno.

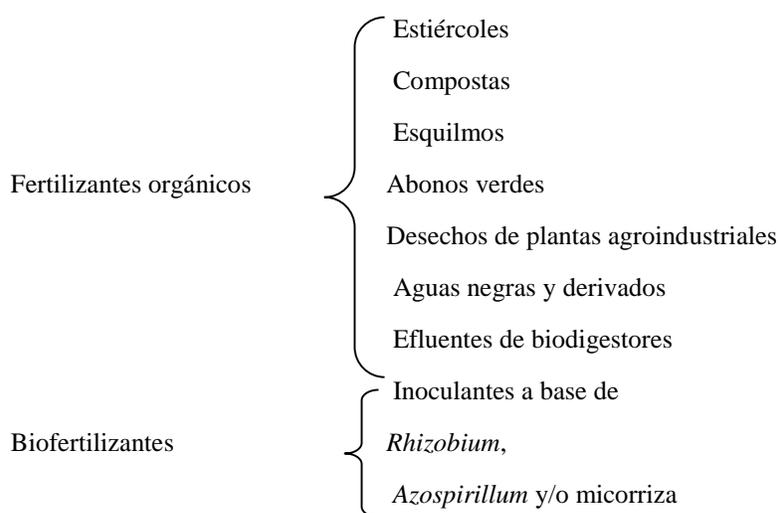
Por otro lado, Gutiérrez (2013) introduce el concepto de enmiendas orgánicas, (a lo que comúnmente se le conoce como abono), definiéndolo como todos aquellos materiales orgánicos

que se aplican al suelo, con el propósito de suministrar nutrientes y/o mejorar las condiciones físicas del suelo; Gutiérrez (2013) señala que estas enmiendas orgánicas pueden producirse con materiales de origen animal o vegetal, siendo un gran número de materiales orgánicos los que pueden ser utilizados como abonos, mencionando entre ellos al estiércol, compost y humus de lombriz.

Finalmente, Gutiérrez (2013) manifiesta que los abonos orgánicos que se adicionan al suelo, se diferencian fundamentalmente por 3 características:

- El contenido de nutrientes (bastante variable).
- Facilidad de descomposición (depende básicamente de la relación C/N y también es muy variable)
- Estado de humedad en que se aplican (normalmente se aplican con los siguientes rangos de humedad: Abono sólido <80 por ciento de humedad - Abono semilíquido 80-90 por ciento de humedad – Abono líquido > 90 por ciento de humedad).

Por su parte, Salgado y Núñez (2010) definen a los abonos orgánicos como aquellos producidos con materiales de origen animal o vegetal, clasificándolos según su origen y naturaleza en:



Específicamente, respecto a los abonos orgánicos nitrogenados, Gros y Domínguez (1992) mencionan que estos deben tener al menos 3% de nitrógeno orgánico de origen exclusivamente vegetal o animal, agregan que la acción lenta y progresiva de estos productos, como la del estiércol, hace que sean apreciados especialmente por horticultores, fruticultores, viticultores y floricultores.

En la Tabla 1, se muestran algunos ejemplos de abonos orgánicos nitrogenados y su contenido de nitrógeno orgánico por 100.

Tabla 1: Contenido de nitrógeno orgánico en abonos orgánicos nitrogenados

Abono	Nitrógeno orgánico por 100
Tortas	3 a 7
Sangre desecada	9 a 13
<u>Cuerno tostado</u>	<u>12 a 15</u>
Carne desecada	9 a 11
Cueros tostados	7 a 9
Residuos de lana	3 a 9
Residuos de pescado	4 a 10

Fuente: Gros y Domínguez (1992)

Martínez (2011), caracterizó diferentes fertilizantes provenientes de fuentes orgánicas; en la Tabla 2 se aprecia la caracterización de estas fuentes.

Fuentes orgánicas no convencionales: se puede citar a la sangre seca o en harina que se recoge de los mataderos; la harina de huesos; las plumas y harina de plumas; la harina de pescado; la harina de pezuñas y cuerno, entre otras fuentes.

Tabla 2: Caracterización de fertilizantes provenientes de fuentes orgánicas

		Compost	Guano de Isla	Humus	E.Vacuno	E.Ovino	E.Camélido	E.Equino	HCP
pH	UM	7.61	7.47	7.25	8.32	9.71	8.88	7.83	6.2
CE	dS/m	28.8	71.8	9.46	12.3	26.5	12	12.2	10.9
MO	por ciento	15.5	53.93	42.66	76.45	62.8	65.95	63.25	96.52
N	por ciento	2.47	12.18	1.74	2.22	1.56	1.3	1.49	13.58
P₂O₅	por ciento	0.7	12.76	1.34	1.06	1.25	1.09	1.18	0.16
K₂O	por ciento	1.69	1.89	0.61	2.89	5.02	3.67	2.91	0.32
CaO	por ciento	3.25	7.58	5.44	3.14	2.1	2.19	3.13	0.04
MgO	por ciento	1.1	0.73	1.29	0.97	0.95	0.71	1.09	0.04
Hd	por ciento	6.79	13.2	7.52	9.9	16.62	7.5	13.94	
Na	por ciento	0.34	1.71	0.43	0.51	1.2	0.55	0.56	0.16
S	por ciento	0.18	2	0.37	0.33	0.5	0.4	0.37	
Cu	ppm	57	27	56	69	24	27	69	6
Zn	ppm	561	144	341	342	143	163	394	99
Mn	ppm	737	36	698	202	138	155	256	26
Fe	ppm	10750	3812	10580	3310	3304	3873	4469	1696
B	ppm	72	108	73	75	129	69	88	
C org.	por ciento	9.01	31.35	24.8	44.45	36.51	38.34	36.77	56.12
C/N		3.65	2.57	14.25	20.02	23.4	29.49	24.68	4.13

Fuente: Martínez (2011)

2.3 Harina de cuernos y pezuñas

2.3.1 Conceptos y definiciones básicas de los cuernos y pezuñas:

- Asta: cuerno (prolongación ósea en la frente de algunos animales).
- Cuerno: prolongación ósea cubierta por una vaina dura que tienen algunos animales en la frente.
- Cacho: (Amér.) cuerno, asta.
- Pezuña: conjunto de los pezuños de cada pata, en los animales de pata hendida.
- Casco: uña de la pata de una caballería. Sinónimos.-pezuña, uña.

(Real Academia Española, 2001)

En el Anexo 1 del REGLAMENTO TECNOLÓGICO DE CARNES, aprobado bajo Decreto Supremo N° 22-95-AG, se menciona a los cuernos y pezuñas, en los siguientes puntos:

- RESIDUOS ORGÁNICOS.- Son los elementos residuales del beneficio de los animales. Comprende: sangre, tejido adiposo, agallas, huesos, esófago, vejiga, pene, testículos, útero, pezones, jugos orgánicos, hiel, piel, **pezuñas, cuernos**, pelos, cerdas, bazofias y estiércol.
- SUB PRODUCTOS.- Son los **residuos orgánicos** no aptos para el consumo humano y decomisos transformados mediante procesos térmicos industriales en productos que se destinan a la alimentación animal u otros fines.

Otras definiciones:

a) Respecto a las ASTAS:

- Asta (Horn).- Se entiende por asta (Horn), el estuche córneo de la prolongación ósea del hueso frontal, que poseen algunos rumiantes.
- Cuerno.- Se entiende por cuerno, el asta con la prolongación ósea del hueso frontal.
- Macho de asta.- Se entiende por macho de asta o hijo de asta (Horn piths), al apéndice óseo del hueso frontal que con el asta forman el cuerno.

- Harina de astas.- Se entiende por harina de astas, al subproducto obtenido mediante trituración de astas deshidratadas, limpias y sin cuerpos extraños.

b) Respecto a las PEZUÑAS:

- Pezuñas o cascos.- Se entiende por pezuñas o cascos (Hoof), el estuche córneo que recubre la tercera falange de los miembros de los animales artiodáctilos y perisodáctilos.
- Harina de pezuñas (Hoof meat).- Se entiende por harina de pezuñas (Hoof meat), el subproducto obtenido mediante la trituración de pezuñas deshidratadas, limpias y sin cuerpos extraños.
- Harina de pezuñas y astas.- Se entiende por harina de pezuñas y asta, la mezcla compuesta por harina de pezuña y de asta.

(Capítulo XXIV del Reglamento de Inspección de Productos, Subproductos y

Derivados de Origen Animal, publicado bajo DECRETO NACIONAL N° 4238/68)

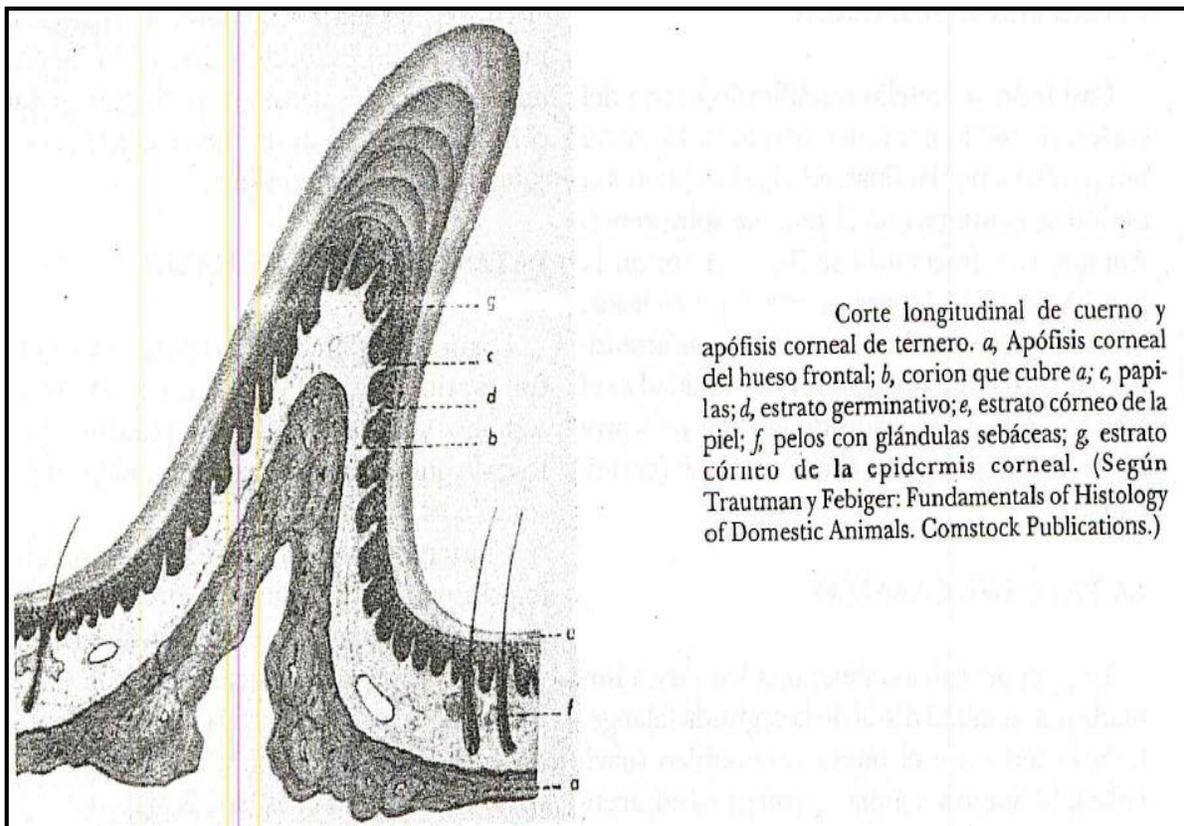
2.3.2 Los Cuernos y Pezuñas de ganado vacuno desde el punto de vista anatómico

El tegumento común es la cubierta protectora del cuerpo, que se continúa en las aberturas naturales con las membranas mucosas de los aparatos digestivo, respiratorio y urogenital. Está formada por la piel (cutis) junto con ciertos apéndices o modificaciones, como pelos, cuernos, etc. [...]. Los llamados apéndices de la piel son modificaciones de la epidermis y comprenden los pelos, cascos, garras, cuernos, etc. [...]. Los cascos, garras, cuernos y otras estructuras córneas están constituidos de células epidérmicas unidas y cornificadas. Por lo que se refiere a su estructura, se pueden comparar a pelos unidos por la intervención de células epidérmicas. Cubren un corion especializado a partir del cual deriva el estrato germinativo para su nutrición (Sisson y Grossman ,1982).

Frandsen y Spurgeon (1995), al referirse al epitelio modificado, indican que este deriva del corion de tejido conectivo (dermis), formado por papilas o por láminas; indican además que en algunos puntos el corion se continúa con el *periostio* subyacente, agregando que aunque con

frecuencia se llama al corion la porción sensible de cascos, pezuñas o cuernos, (indicando que produce las estructuras insensibles), la verdadera porción sin sensibilidad es el estrato córneo, derivado de la capa más profunda de la epidermis: el estrato basal (germinativo), ver Figura 1.

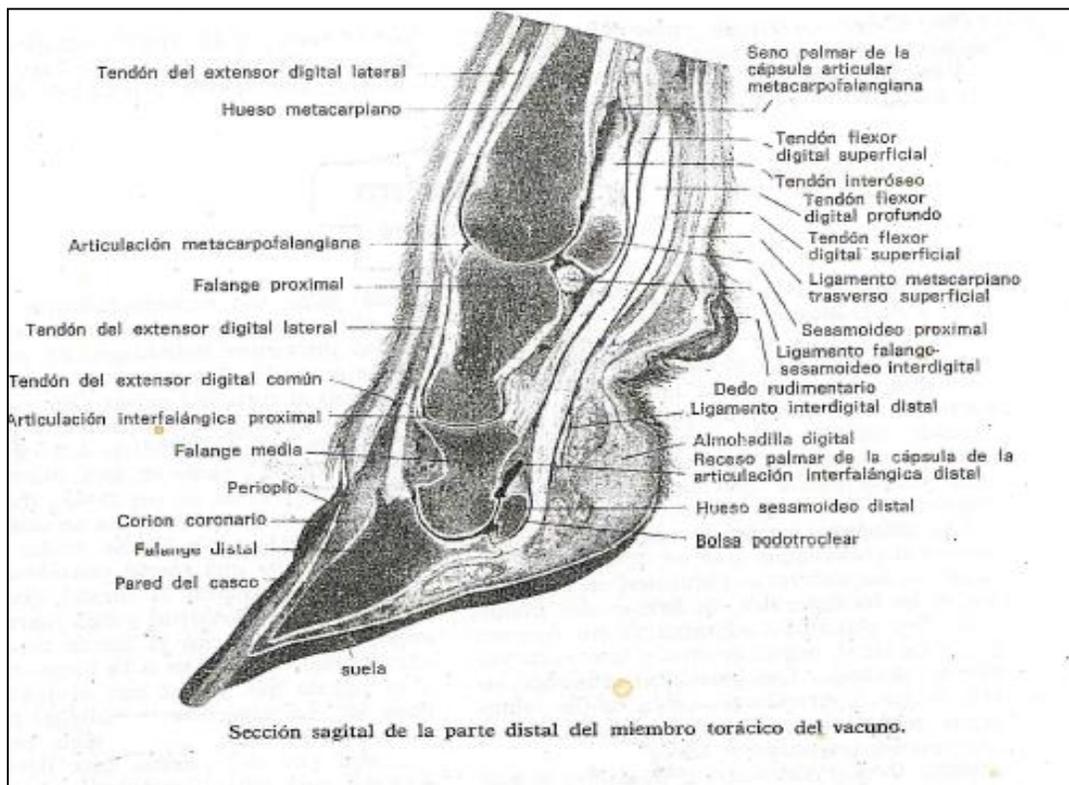
Figura 1: Corte longitudinal de cuerno y apófisis corneal de ternero.



Fuente: Frandson y Spurgeon (1995)

Por su parte, Sisson y Grossman, (1982), indican que las pezuñas están formadas por tres partes: perioplo, pared y suelo; cubren los extremos de los dedos y se encuentran cuatro en cada miembro, ver Figura 2.

Figura 2: Sección sagital de la parte distal del miembro torácico del vacuno



Fuente: Sisson y Grossman (1982)

Recio A. y Domingo P. en su web http://www.elartetaurino.com/morfologia_cuernos.html mencionan lo siguiente, en cuanto a la morfología de los cuernos de los toros:

Los cuernos o astas son tejidos epidérmicos que se desarrollan en los lados de la testuz y que se insertan en el hueso frontal. Están constituidos por:

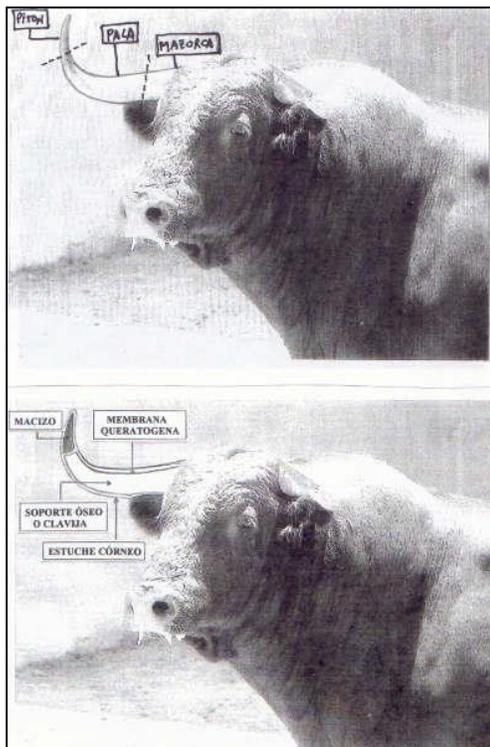
- La clavija ósea: prolongación del hueso frontal, está hueca.
- Membrana queratógena o corión: parte comprendida entre la clavija ósea y el estuche córneo, es la parte más externa del cuerno y está constituido por tejido conjuntivo.
- Estuche córneo, vaina o funda: constituida por tejido queratinizado, en la zona terminal es macizo y se denomina pitón.

Los cuernos de forma cónica, tienen su superficie rugosa en su base o nacimiento y liso en el

resto de su superficie, desde el punto de vista taurino se suele dividir en:

- Base o Cepa o Mazorca: es hueca, rugosa. En su superficie se distinguen fácilmente los anillos o rodetes. El número de anillos presentes en la base o cepa, se relacionan con los años del animal. Los años del toro se calculan como el número de anillos más dos.
- Pala o zona Intermedia: es hueca una la base con la punta o pitón.
- Punta o Pitón: es maciza. Su longitud es aproximadamente el veinte por ciento de la longitud total del cuerno.

Figura 3: Morfología de los cuernos de los Toros



Fuente: Imágenes extraídas del blog

<http://achotendido10.blogspot.com/2010/10/problematika-actual-de-la-peritacion-de.html>

Por otro lado, la Asociación Peña Taurina Tendido 10, en su blog <http://achotendido10.blogspot.com/2010/10/problematika-actual-de-la-peritacion-de.html>

detalla lo siguiente en cuanto a la composición química del tejido corneo de los cuernos del ganado vacuno:

Las características químicas que presenta el tejido córneo, en general, son las mismas que las de las queratinas que lo componen, estas están constituidas por proteínas resistentes e insolubles íntimamente relacionadas con la epidermis de los vertebrados y las estructuras derivadas de la misma, los llamados faneros: pezuñas, cuernos, pelos, uñas, etc.

Las características que definen las queratinas duras a las cuales pertenece el cuerno son: (1) sólidas y resistentes, (2) no escamosas permanentes, (3) no existe fase de formación de queratohialina, (4) bajo contenido en lípidos, (5) elevado contenido en azufre, superior al 3 por ciento y fuerte reacción a los grupos tioles en el curso de la queratinización y (6) elevada estabilidad térmica.

En cuanto a la composición química en aminoácidos de las queratinas del asta de ganado vacuno en general, señala la siguiente composición:

Tabla 3: Composición en aminoácidos de las queratinas del asta de ganado vacuno (g por 100g de queratina desecada)

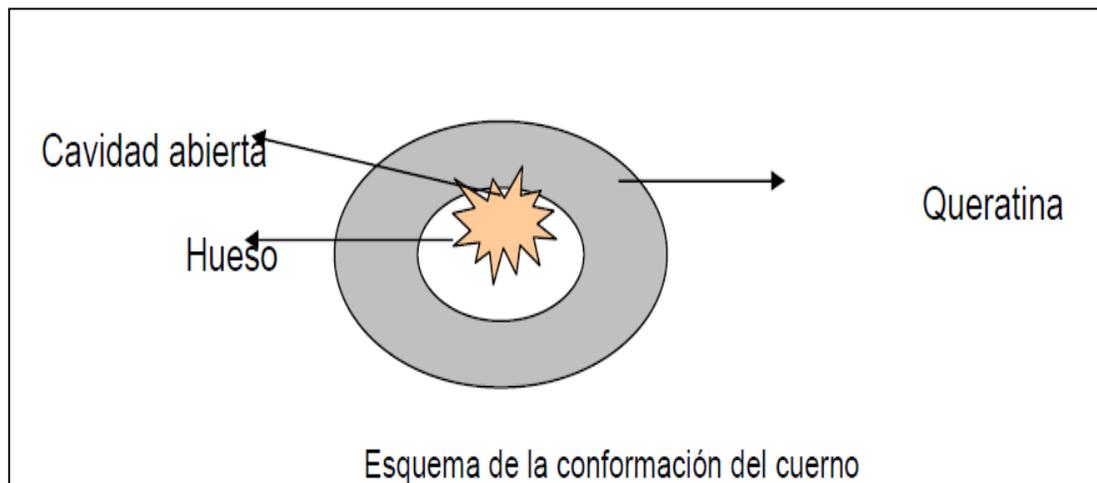
Nitrógeno total	(14.8-16.9)	Nitrógeno amídico	(1.14)
Azufre	(3.77 - 3.9)	Glicina	(9.6)
Alanina	(2.5)	Valina	(5.3 - 5.5)
Leucina	(7.6 - 8.3)	Isoleucina	(4.3 - 4.8)
Fenilalanina	(3.2 - 4.0)	Prolina	(8.2)
Hidroxiserina	(6.8)	Hidroxitreonina	(6.1)
Hidroxitirosina	(3.7 - 5.6)	Acido aspártico	(7.7 - 7.9)
Acido glutámico	(13.8)	Arginina	(6.8 - 10.7)
Lisina	(2.4 - 3.6)	Histidina	(0.6 - 1.0)
Triptófano	(0.7 - 1.4)	Cistina	(10.5 - 15.7)
Metionina	(0.5 - 2.2)	Cisteína	(0.8 - 1.6)

Fuente: Conferencia pronunciada por el Académico de Número Dr. D. Emilio Ballesteros Moreno, 1ro de Marzo de 1994

De otra parte, Salinas (2004), afirma lo siguiente:

Los cuernos o astas del ganado bovino, están compuestos por dos partes importantes: la parte callosa, con un alto contenido de queratinas y la parte ósea o hueso. La queratina está compuesta por una cantidad muy variada de proteínas, su característica de dureza radica en la cistina y la cisteína; la cistina es la unión de dos cisteínas, por medio de puentes di-sulfuro que son los que dan la rigidez y dureza a las queratinas, (ver Figura 4).

Figura 4: Conformación del cuerno



Fuente: Salinas (2004)

Las pezuñas son formaciones córneas epidérmicas, que recubren la parte dorsal y terminal de los dedos, no solo de los mamíferos sino también de muchos vertebrados terrestres. Tienen una función de protección para los dedos o zonas blandas que podrían sufrir daños por el peso del animal, sus características morfológicas, además de un excelente agarra a las superficies rocosas, les permite dar grandes saltos. Está compuesta por la parte interna y externa, la parte interna se denomina subunguis y la parte externa el unguis que permite el constante crecimiento de la pezuña conforme se realiza la erosión de la superficie endurecida.

Las pezuñas al igual que el cuerno, están compuestas por queratinas, tiene un regular contenido de grasa al igual que los huesos. Su contenido de proteínas es mayor que de las queratinas del cuerno.

2.3.3 Procesamiento, uso potencial de los Cuernos y Pezuñas

Ockerman y Hansen (1994) mencionan que hay varios requerimientos para que un subproducto de origen animal pueda utilizarse, entre ellos:

- Que exista un proceso comercial práctico para convertir el subproducto en un artículo utilizable.
- Que exista un mercado potencial o real para el producto final.
- Que el subproducto se obtenga en cantidades suficientemente grandes en un determinado lugar para que sea económico procesarlo
- Que exista algún procedimiento de conservación que permita el almacenamiento del subproducto antes del procesado y el del producto final después.
- Que existan obreros altamente especializados para trabajar en esta industria, lo que constituye un requisito crítico.

Añaden además que el hecho que coincidan todos estos factores simultáneamente en un mismo lugar al mismo tiempo no es siempre fácil, por lo cual, con demasiada frecuencia, los subproductos están mal aprovechados.

Salinas (2004) afirma que una alternativa para el reciclaje de cuernos y pezuñas generado en el matadero es la hidrólisis de las queratinas, estas contienen enlaces di-sulfuro en la cistina. La hidrólisis puede ser química, enzimática o simplemente con agua a temperatura y presión dadas; indicando que un concepto general para establecer los criterios ambientales en la elección del método para hidrólisis es evitar que la solución a la generación y disposición de residuos cause mayor daño al medio ambiente que el mismo problema. Señalando ciertos criterios importantes tales como: (a) generación de residuos sólidos provenientes del o de los proceso, (b) generación de lixiviados y contenido de productos químicos usados en el proceso, (c) generación de contaminantes atmosféricos, como malos olores, gases, etc, (d) aspectos de seguridad en manejo y obtención del producto final.

En el Manual Nicaragüense de Buenas Prácticas Operativas de Producción más Limpia para la Industria de Mataderos, elaborado por el Centro de Producción más Limpia de Nicaragua, se

hace referencia a los Cachos y Cascos como productos secundarios, clasificados como no comestibles, derivados del proceso de matanza de la res, de los cuáles se obtiene la cacharían, producto rico en nitrógeno no proteico, empleado en la industria de los fertilizantes.

Por otro lado, en el XXVII Congreso Interamericano de Engenharia Sanitária e Ambiental, organizado por la "ABES" - (Associação Brasileira de Engenharia Sanitária e Ambiental), se expuso el estudio realizado en Coahuila-México titulado, "IDENTIFICACION Y DESARROLLO DE TECNOLOGIA PARA PROPORCIONAR VALOR ECONOMICO A LOS RESIDUOS SOLIDOS DEL PROCESO DE MATANZA EN EL RASTRO DE SALTILLO, COAHUILA, MÉXICO", dicho estudio considera a los cuernos, pezuñas y pelos como residuos sólidos con potencial de explotación industrial, para uso en la Industria Agrícola (promotores del crecimiento vegetal) y en la Biotecnología (hidrolizados y aminoácidos), sugiriéndose la aplicación de tratamientos enzimáticos para obtener hidrolizados de aminoácidos.

Existen empresas en sud américa que han desarrollado una tecnología para procesar los cuernos y pezuñas de ganado bovino resultante del beneficio de estos, entre estas se puede mencionar a la empresa argentina "**O.Sonne e Hijos S.A.P.E.I SRL**", que ofrece un fertilizante orgánico elaborado a base de una 'Harina de Astas y Pezuñas' la cual contiene 13 por ciento de nitrógeno y a la empresa uruguaya "**JORMAR LTDA. Export – Import**", que ofrece también dentro de sus productos Harina de Astas y pezuñas.

Así mismo, en Brasil, la empresa "**BBA Industria Opoterapia LTDA**", (empresa filial de **ICE SRL**, situada en Reggio Emilia, Italia), comercializa Cuernos y Pezuñas como fertilizante, afirmando que estos son un abono de primera clase de origen animal y una excelente fuente de nitrógeno de liberación lenta, a grosso modo, el tratamiento que ellos mencionan aplicar a los cuernos y pezuñas es el siguiente; secarlos a una temperatura media de 140°C, limpiarlos y liberarlos de toda materia extraña y luego molerlos en 6 diferentes tamaños tales que permita ser utilizado en diferentes tipos de suelos y cultivos. Respecto a las propiedades físico químicas de este fertilizante, señalan que contiene 14% de nitrógeno orgánico que deriva de una proteína

en particular, la queratina, que contiene 85% de materia orgánica, una cantidad importante de fósforo- P_2O_5 (2,4 por ciento) y microelementos.

Es correcto afirmar la existencia de empresas en otros países que comercializan harina de cuernos y pezuñas de ganado bovino, sin embargo la tecnología que aplican para la obtención de estos productos depende y varía en relación a la empresa que lo procese.

En el Perú, Paredes (1984) señala que antiguamente se usaba como abono nitrogenado al producto obtenido mediante la torrefacción (tostado) y triturado más o menos basto de los cuernos y pezuñas del ganado bovino, este mismo afirma haber utilizado como insumo para su investigación una harina de cuernos y pezuñas, obtenida mediante un proceso de cocción en marmitas (ollas a presión) de los cuernos y pezuñas en la cual se tenía mucha precaución en el manejo de los parámetros de presión de vapor y tiempo de cocción para no desnaturalizar las proteínas, sin embargo no especifica cuáles eran los parámetros de presión y tiempo de cocción utilizados en el proceso, ni como se trataban y/o disponían los residuos derivados de estos tratamientos. Paredes (1984) menciona así mismo que durante este proceso de cocción ocurría una hidrólisis acuosa que ocasionaba la ruptura de los enlaces bisulfuro (enlace característico de las queratinas, proteína presente en los cuernos y pezuñas de ganado vacuno).

Martínez (2011) comparó el efecto de diferentes fuentes de abonos orgánicos siendo una de sus fuentes la harina de cuernos y pezuñas, sin embargo no hace mención a su forma de obtención, indicando solo lo siguiente: se presenta como polvo granulado, es interesante por su riqueza en nitrógeno (6.5 a 13 por ciento), empleándose sobre todo para enriquecer otros abonos orgánicos; su obtención puede darse triturando los cuernos, uñas y pezuñas, también por la molienda y tostado de los cuernos, agrega que normalmente los cuernos y pezuñas se someten a un tratamiento de vapor a alta temperatura para continuar con el tostado y finalmente triturarlo, resaltando que la finura del triturado condiciona la velocidad de mineralización en el suelo.

Comparando la obtención de la HCP con otras fuentes orgánicas no convencionales tales como la harina de plumas hidrolizadas, Reyes (2012) señala que esta última se obtiene

tradicionalmente generando alta presión y temperatura, en un hidrolizador o cocinar industrial (batch o continuo), el cual tiene paletas en el interior que van moliendo las plumas. Después de transcurrir el tiempo adecuado bajo presión, se descarga gradualmente la presión interna y luego se procede a la deshidratación de la pluma hidrolizada [...]. Las plumas se hidrolizan bajo condiciones de presión elevada (3.2 atmósferas) y temperatura (146 °C) durante el período de tiempo necesario (alrededor de 30 minutos) para que se produzca la ruptura de los enlaces químicos que dan estructura a la queratina, con la finalidad de incrementar la digestibilidad.

Respecto al valor nutricional de las plumas, al igual que los cuernos y pezuñas, las plumas contienen altos niveles de queratina, una proteína altamente resistente a la digestión. Si las plumas son utilizadas como ingrediente en el alimento animal, la estructura de la queratina debe hidrolizarse o transformarse en un compuesto digerible con mejor valor nutritivo, mediante un procesado adecuado. Para ello debe hidrolizarse bajo condiciones de presión elevada (207 kPa) y temperatura (146°C) durante el período de tiempo necesario (alrededor de 30 minutos) para que se produzca la ruptura de los enlaces químicos que dan estructura a la queratina. [...]. Un proceso excesivo de cocción por períodos largos, puede causar desnaturalización de la proteína y pérdida de valor nutricional, Santos (2008).

En la Tabla 4 se muestra un comparativo de la composición nutricional de la HCP, frente a la Harina de Plumas hidrolizada.

Tabla 4: Composición nutricional de la HCP y de la Harina de Plumas hidrolizada

Componente	HCP (ϕ)	HP (μ)
Humedad (por ciento)	10.76	6.6
Materia Seca (por ciento)	89.24	
Proteína (por ciento)	84	87.1
Grasa (por ciento)	0.4	2.73
Fibra Cruda (por ciento)	0.28	0.17
Ext. no nitrogenado (por ciento)	0.32	
Cenizas (por ciento)	4.24	3.26

(ϕ) Fuente: Paredes (1984) - (μ) Fuente: Barbour (2002), citado por Santos (2008)

Por otro lado, Santos (2008), indica lo siguiente, en cuanto al efecto del tratamiento enzimático en la harina de plumas hidrolizada; [...]. El principio de hidrolizar eficientemente la harina de plumas a través del proceso enzimático combina los positivos efectos del método físico-químico (enzimas) con una óptima utilización del método físico-químico (hidrólisis a alta presión) dando como resultado una harina de plumas hidrolizada de mayor valor nutricional que la convencional. [...].

2.3.4 Producción Pecuaria – Residuos generados del beneficio de ganado vacuno en camales

Muchos de los subproductos que se generan luego del sacrificio del animal son aprovechados y sometidos a tratamientos y tecnologías conocidas (pieles, cueros, vísceras, sangre, etc), otros, como los cuernos y pezuñas, terminan siendo enterrados en un relleno sanitario, en otros casos, dispuestos de manera inadecuada en botaderos informales o peor aún, echados en las afueras de los ríos.

De indagaciones realizadas en dos centros de beneficios localizados en la ciudad de Lima y debidamente autorizados por la autoridad competente, se encontró que el destino final de sus cuernos y pezuñas, es el relleno sanitario, la cual si bien es una alternativa rápida y práctica de evacuar fuera de sus instalaciones sus residuos y subproductos que a diario generan, deja de lado la posibilidad de darle un valor agregado a este subproducto, como podría ser, por ejemplo, el de utilizarse como un fertilizante o abono orgánico.

Cabe señalar que la disposición final de los residuos en el relleno sanitario, es actualmente en el Perú una práctica aceptada, sin embargo esta operación contribuye a la acumulación de más y más residuos.

En la Tabla 5 se muestra la estadística de los vacunos beneficiados en Lima Metropolitana en los últimos años.

Tabla 5: Beneficio de ganado en camales por año, 2005 – 2012 /P

Variable	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012
Unidades	256862	277589	279525	268091	255022	263100	269927	291757
(t)	56978	61587	62738	60150	59682	61985	62386	67859
Kg. / Unidad	221.8	221.9	224.4	224.4	234.0	235.6	231.1	232.6

P/ Preliminar.

Fuente: Sub-Gerencia Agraria Lima Metropolitana-Municipalidad de Lima Metropolitana. - 2005 - 2011. Elaboración: Ministerio de Agricultura - OEEE - Unidad de Estadística.

En la Tabla 7, de la página siguiente, se muestran las unidades de ganado vacuno por camales beneficiados según mes en Lima metropolitana

Nota:

Siendo que el estuche corneo pesa aproximadamente entre 150 a 250 gr y una pezuña pesa aproximadamente entre 80 a 100 gr, una unidad de vacuno proporcionaría: $150(2) + 80(8) = 940$ gr de materia prima; si este valor lo multiplicamos por la cantidad de unidades de ganado vacuno beneficiadas en Lima Metropolitana en los últimos años, se obtendría lo siguiente.

Tabla 6: Valoración aproximada (T/año) de MP que no se habría aprovechado

Variable	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012
Unidades	256862	277589	279525	268091	255022	263100	269927	291757
Unidades por 0.940 kg.	241.45	260.93	262.75	252.01	239.72	247.31	253.73	274.25

Fuente: elaboración propia

Tabla 7: Unidades de ganado vacuno beneficiados por camales según mes 2012/P

		Total	Frig. La Colonial	Sacip Yerbateros	Chosica	Conchucos	San Pedro	Frig. JO S.A.C	Inpelsa	Chaclacayo	Frisana S.A.C.	Mafingesa S.A.C.
Anual		291757	33935	59785	4518	4038	74080	22466	74398	1363	10098	7076
MES	Enero	23106	2764	4463	319	347	5501	1950	6096	61	883	722
	Febrero	22798	2834	4000	316	306	6070	1499	6246	81	769	677
	Marzo	25441	3001	4993	373	350	6661	1777	6467	79	946	794
	Abril	22710	2557	4394	349	303	5871	1956	5755	97	820	608
	Mayo	25243	2986	5202	432	358	6204	2100	6378	120	952	511
	Junio	25178	2633	5592	394	339	6565	1967	6169	116	805	598
	Julio	25089	2844	5255	396	378	6687	1952	6208	142	819	408
	Agosto	26818	3100	5727	443	303	7219	2049	6486	160	919	412
	Setiembre	22341	2642	4654	390	302	5552	1690	5558	115	865	573
	Octubre	24674	2897	5360	398	322	5679	2069	6412	129	780	628
	Noviembre	24572	2878	5171	370	340	6118	1761	6428	140	790	576
	Diciembre	23787	2799	4974	338	390	5953	1696	6195	123	750	569

P/ Preliminar.

Fuente: Sub-Gerencia Agraria Lima Metropolitana-Municipalidad de Lima Metropolitana.

Elaboración: Ministerio de Agricultura - OEEE - Unidad de Estadística.

III. MATERIALES Y MÉTODOS

La presente investigación se desarrolló durante los meses de enero a mayo del 2013 en dos etapas:

Etapa I: Obtención de la harina de cuernos y pezuñas (HCP)

Etapa II: Aplicación de la harina de cuernos y pezuñas como abono orgánico.

3.1 Etapa I

3.1.1 Lugar de ejecución

Se realizó en el laboratorio de biotecnología ambiental de la facultad de Ciencias y en el laboratorio de pruebas de ensayo de materiales de la facultad de Ingeniería Agrícola de la Universidad Nacional Agraria La Molina.

3.1.2 Materia prima

Se utilizaron cuernos y pezuñas de ganado vacuno recogidos del centro de beneficio Frigorífico La Colonial SAC.

3.1.3 Equipos, materiales e insumos

3.1.3.1 Equipos y Materiales

Se utilizó una cocina convencional a gas, un horno microondas convencional, un molino de quijada, secador de bandejas, potenciómetro, espectrofotómetro, balanza, tolva, zaranda, tamices, bolsas de polipropileno, pipetas, vasos de precipitado, entre otros materiales.

3.1.3.2 Insumos

Se utilizó un mix de enzimas proteolíticas, detergente convencional (Ariel) y agua destilada.

3.1.4 Métodos de análisis y pruebas realizadas

3.1.4.1 Análisis físico-químicos

A la HCP obtenida se le determinó el porcentaje de N y de P, a través del método micro Kjeldahl y del método de colorimetría, respectivamente; luego mediante métodos de espectrofotometría de absorción atómica, PREVIA digestión húmeda de la harina, se determinó: el porcentaje de K, Ca, Mg, Na, Fe, Cu, Zn y Mn.

3.1.4.2 Metodología experimental.- el flujo del proceso de obtención de la HCP se muestra en la Figura 5 y se describe a continuación:

- Selección y limpieza.- a la muestra seleccionada se le retiraron los pelos y se eliminaron otros residuos tales como: piedras, plumas, clavos, entre otros.

- Tratamiento.- se aplicaron tres tipos de tratamientos:

(a) Tratamiento 1 – cocción simple: consistió en sumergir los cuernos y pezuñas en agua que los cubra hasta que hierva, manteniendo dicho hervor por 10 minutos, luego se escurrió y se puso a secar por un lapso de 24 horas a 65° C.

(b) Tratamiento 2 – con detergente: los cuernos y pezuñas se remojaron en una solución de detergente convencional (Ariel-con contenido de sistema enzimático), por un lapso de 48 horas a 65° C.

(c) Tratamiento 3 - enzimático: los cuernos y pezuñas se remojaron en una solución de enzimas proteolíticas, por un lapso de 48 horas a 65° C.

Para el tratamiento 2 y 3, pasado el tiempo de remojo, los cuernos y pezuñas se escurrieron y se pusieron a secar por un lapso de 24 horas a 65° C.

- Separación - desprendimiento de la clavija ósea de los cuernos.- a diferencia de las pezuñas, (de las cuales no se descartó ninguna parte), en los cuernos se separó y descartó la clavija ósea, golpeando los cuernos contra una base sólida, desprendiéndose así fácilmente la clavija ósea del estuche córneo.

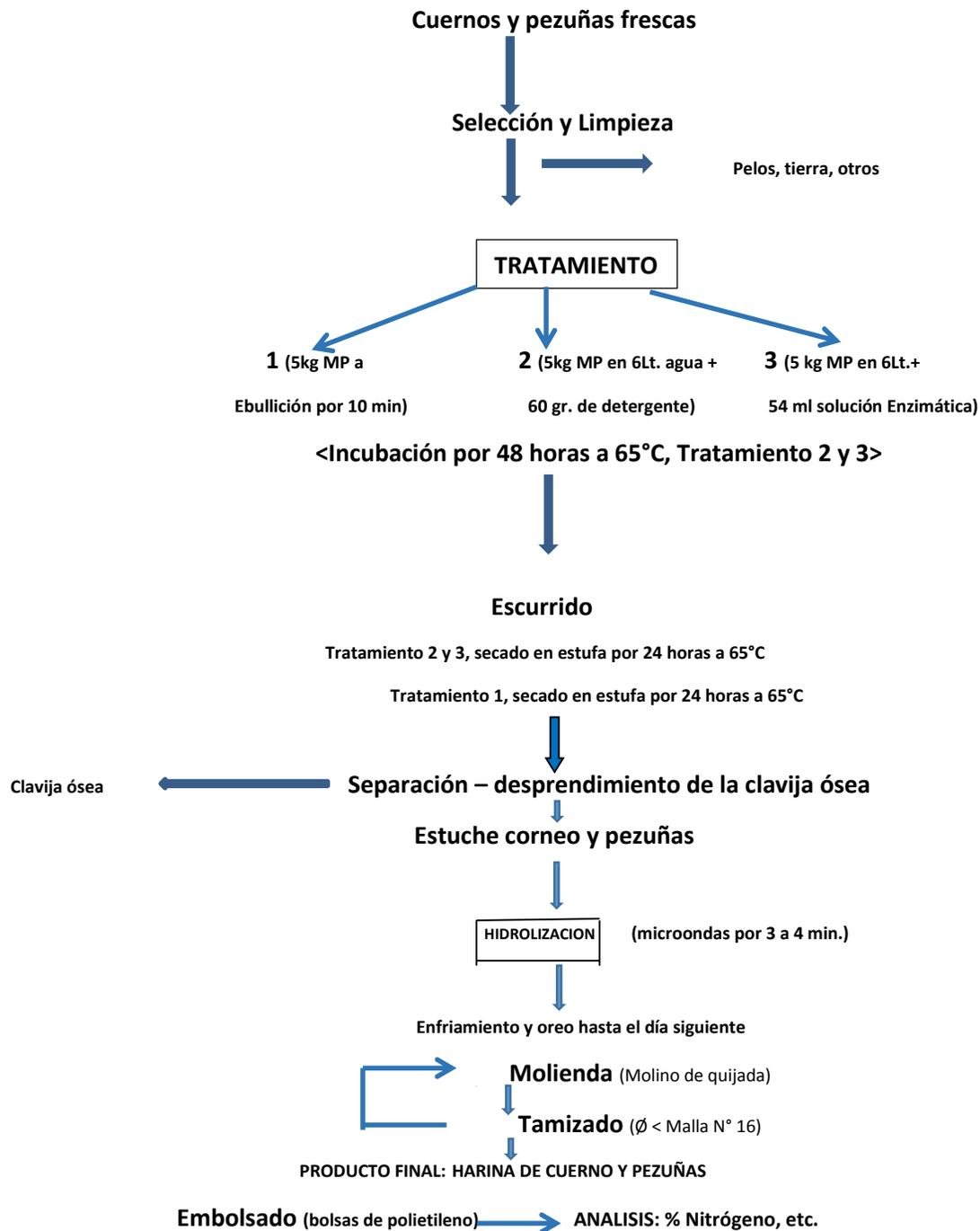
- Hidrolización de las proteínas presentes en los cuernos y pezuñas.- consistió en calentar los cuernos y pezuñas en un microondas convencional, introduciéndolos uno a uno por 3 a 4 minutos.

- Molienda.- una vez fríos los cuernos y pezuñas se pasaron por un molino de quijada las veces necesarias hasta obtener un tamaño de partícula deseado. La harina obtenida se embolsó en bolsas de polietileno para su posterior análisis.

Figura 5: Procesamiento de los cuernos y pezuñas

Cuernos	Tratamiento	Secado
		
Clavija Ósea	Estuche Córneo	Pezuñas
		
Pezuñas y cuernos luego de pasar por el microondas		HCP Molida
		

Figura 6: Flujo del Proceso de obtención de la HCP



3.2 Etapa II

3.2.1 Ubicación del experimento y condiciones climáticas

El experimento se llevó a cabo en el laboratorio e invernadero de Fertilidad del suelo de la Universidad Nacional Agraria La Molina, departamento de Lima, provincia de Lima y distrito de La Molina, siendo su ubicación geográfica la descrita a continuación:

Latitud Sur:	12° 05' S
Longitud Oeste:	76° 57' W
Altitud:	243 msnm

Las condiciones climáticas durante el tiempo que duró el experimento se detallan en la Tabla 8

Tabla 8: Condiciones climáticas durante el período del experimento

Mes	T° min.	T° max.	T° prom.	n(mes)	Porcentaje de H.R.	pp
Marzo	19.5	28.7	24.7	163.2	94	0.7
Abril	15.8	27.1	22.6	267.1	97	Tz
Mayo	15.8	23.7	20.2	152.1	94	1.2

Fuente: Estación meteorológica “Alexander Von Humbolt” de la UNALM
T°: Temperatura promedio (°C), **n:** Horas sol (hrs y décimas),
H.R.: Humedad relativa promedio, **pp:** Precipitación (mm/mes)

3.2.2 Materiales empleados

3.2.2.1 Suelo

Se utilizó arena de río proveniente del distrito de Cieneguilla, provincia de Lima, departamento de Lima; el resultado de su análisis de caracterización se muestra en la Tabla 9.

Tabla 9: Análisis del Suelo utilizado en el experimento

Característica	Valor obtenido	Método de análisis utilizado
Textura	Arena	Método del Hidrómetro
Porcentaje de arena	100	
Porcentaje de limo	0	
Porcentaje de arcilla	0	
Porcentaje de M.O.	0.15	Método de Walkley y Black
Porcentaje de CaCO ₃	0.1	Método Gaso – Volumétrico
pH	6.95	Método del potenciómetro
P (ppm)	1.1	Método de Olsen modificado
K (ppm)	67	Extracto Acetato de Amonio
C.E. (dS/m)	1.68	Lectura del extracto de relación suelo-agua 1:1, Método del conductímetro
C.I.C. (meq/100g)	4.26	Acetato de amonio
Ca ⁺⁺ (meq/100g)	3.51	Espectrofotometría de Absorción Atómica
Mg ⁺⁺ (meq/100g)	0.38	Espectrofotometría de Absorción Atómica
K ⁺ (meq/100g)	0.17	Espectrofotometría de Absorción Atómica
Na ⁺ (meq/100g)	0.19	Espectrofotometría de Absorción Atómica

Fuente: Laboratorio de Análisis de Suelos Plantas, Aguas y Fertilizantes (LASPAF)
Universidad Nacional Agraria La Molina.

De acuerdo a lo señalado en la Tabla 9, el suelo es de clase textural arenosa y de muy baja concentración salina, presentando además bajos niveles de fosforo y potasio disponibles. Por otro lado, las relaciones catiónicas obtenidas a partir del análisis, indican lo siguiente:

Ca/Mg = 9.2; el Calcio está por encima del rango óptimo.

Ca/K = 20.6; el Calcio está por encima del rango óptimo.

Mg/K = 2.2; la relación está dentro del rango óptimo.

3.2.2.2 Agua

Se utilizó agua procedente de la localidad de Huachipa, ello por ser apta para el riego, por estar clasificada como C₃S₁, la cual pese a tener un contenido de sales relativamente alto, puede emplearse en altos volúmenes en suelos de buen drenaje y con un cultivo tolerante, además no presenta problemas de sodificación por su bajo contenido de carbonato de sodio residual (CSR).

En la Tabla 10 se muestra el análisis de esta agua.

Tabla 10: Análisis del agua utilizada en el experimento

Análisis	Resultado	Análisis	Resultado
Cationes		C.E. (dS/m)	1.04
Calcio (me/l)	6.94	pH	7.4
Magnesio (me/l)	1.26	Sodio (por ciento)	23.33
Potasio (me/l)	0.11	SAR	1.24
Sodio (me/l)	2.53	Boro (ppm)	0.3
Suma de cationes	10.84	Clasificación	C ₃ S ₁
Aniones			
Nitratos (me/l)	0.80		
Carbonatos (me/l)	0.00		
Bicarbonatos (me/l)	3.24		
Sulfatos (me/l)	3.48		
Cloruros (me/l)	2.70		
Suma de aniones	10.22		

Fuente: Laboratorio de Análisis de Suelos Plantas, Aguas y Fertilizantes (LASPAF) Universidad Nacional Agraria La Molina.

3.2.2.3 Cultivo indicador

Se utilizó semilla de maíz híbrido PM-213, proveniente del Programa del Maíz-UNALM, por ser un cultivo muy extractivo, (que responde a ensayos con dosis de fertilización, principalmente en suelos arenosos) y por crecer y desarrollarse muy bien, principalmente en el verano; además su manejo, en cuanto a plagas y enfermedades se refiere es bastante sencillo.

3.2.2.4 Fertilizantes empleados

Se utilizaron los siguientes fertilizantes comerciales:

- Úrea 46 por ciento de N
- Cloruro de potasio 60 por ciento de K_2O
- Superfosfato triple 46 por ciento de P_2O_5

Se utilizó como fuente orgánica el estiércol de vacuno (1.4 por ciento de N - Fuente: Laboratorio de Análisis de Suelos, Aguas y Plantas de la UNALM), proveniente del establo de la Universidad Nacional Agraria La Molina.

3.2.2.5 Otros materiales

Macetas de plástico de 3kg. de capacidad, mesas de invernadero, bolsas de papel, balanza de precisión, balanza de dos platos, estufa, vasos de precipitado, mallas de alambre, cámara fotográfica, libreta de campo, platos descartables, cinta adhesiva y plumones, entre otros.

3.2.3 Métodos y procedimiento

3.2.3.1 Instalación del experimento y parámetros de evaluación

El experimento se condujo por 40 días. Los parámetros de evaluación de las macetas fueron: peso seco de la parte aérea (g/maceta), peso seco de la parte radicular (g/maceta), materia seca total (g/maceta), altura de la planta y análisis químico de las plantas, (para evaluar extracción de nutrientes). El flujograma del experimento se detalla en la Figura 7:

- Preparación de las macetas

Se utilizaron un total de 28 macetas de plástico, (de 3 kg de capacidad), se taparon los orificios de la base con cinta plegable, ello para evitar un excesivo lavaje del suelo, colocándose en la base de cada unidad experimental una bandeja.

- Abonamiento y siembra

Previo a la siembra se incorporó la dosis de fertilizante respectiva, de acuerdo a cada tratamiento; se dejó una pequeña porción de sustrato en cada maceta, la otra parte se mezcló en

una bandeja de plástico con la cantidad de fertilizante correspondiente, luego se vertió esta mezcla en cada maceta, tapando la superficie con un poco de sustrato.

Las fuentes orgánicas, (tratamiento 1, 2, 3 y 5), se incorporaron de la siguiente manera; para los tratamientos 1, 2 y 3 se adicionó la mitad del fertilizante calculado, completándose la otra mitad al 24^{avo} día de haberse realizado la siembra; para el tratamiento 5 se incorporó desde un inicio toda la cantidad de fertilizante calculado.

Respecto a los otros fertilizantes; se mezcló antes de la siembra, toda la cantidad de superfosfato triple de calcio correspondiente de acuerdo a cada tratamiento; el cloruro de potasio se aplicó en dos etapas, incorporándose la primera y segunda dosis luego de dos y cuatro semanas, respectivamente, de haberse realizado la siembra; en cuanto a la urea (tratamiento 4), se adicionó aplicando inicialmente a los 12 días de haberse realizado la siembra solo el 20 por ciento de la dosis, completándose lo faltante, un 40 por ciento posterior a los 10 días de la primera aplicación y el otro 40 por ciento luego de transcurrido 10 días de la segunda aplicación.

La siembra se realizó el 25 de marzo del 2013, colocándose cinco semillas por maceta.

- Riegos y Conducción del Experimento

Luego de la siembra se procedió a realizar el primer riego, los demás se hicieron diariamente hasta llegar a la capacidad de campo. A medida que transcurrían los días, se iba anotando las diferencias encontradas en el desarrollo de las plantas entre los diferentes tratamientos.

- Cosecha

La cosecha se realizó a los 40 días, cuando ya no se observó crecimiento en las plantas, se cosechó por separado la parte aérea (hojas) y la parte radicular (raíces). Para la cosecha de las hojas, estas se cortaron al ras del sustrato, se picaron, se colocaron en bolsas de papel y se llevaron a la estufa para obtener el peso seco; para la cosecha de las raíces se voltearon las macetas en bandejas se separó la raíz del sustrato, se lavó y se dejó secar a temperatura ambiente, de la misma manera que las hojas se colocaron en bolsas de papel y se llevaron a estufa para obtener el peso seco; la materia seca total se calculó por sumatori.

Figura 07: Flujograma del experimento en el Invernadero



Figura 08: Distribución de las macetas en el Invernadero



- **Fase de laboratorio (Análisis)**

Corresponde al análisis químico de las plantas para evaluar la extracción de nitrógeno, fósforo y potasio en cada una de las unidades experimentales: se analizó por separado las raíces y las hojas, calculando la extracción total por sumatoria.

El porcentaje de N y de P, a través del método micro Kjeldahl y del método de colorimetría, respectivamente; luego mediante método de espectrofotometría de absorción atómica, PREVIA digestión húmeda de la harina, se determinó el porcentaje de K.

3.2.3.2 Metodología Experimental

Se realizó una evaluación comparativa utilizando diferentes abonos y/o fertilizantes en condiciones de invernadero. Se llevó a cabo 7 tratamientos con cuatro repeticiones para cada tratamiento, considerándose las pruebas adicionales testigos dentro de estos 7 tratamientos.

Como la HCP (harina de cuernos y pezuñas) es solo fuente primordial de N, se completó con fertilizantes fosfatados y potásicos, para estar en igualdad de condiciones; en la Tabla 11 se muestra la distribución de los tratamientos, señalándose la dosis o nivel de fertilización aplicado para cada tratamiento.

Tabla 11: Distribución de Tratamientos

TRATAMIENTO	DOSIS O NIVEL DE FERTILIZACION (ppm)
(1) Fertilización con Harina de Cuernos y Pezuñas (obtenida vía Cocción simple)	250 N - 400P ₂ O ₅ - 200 K ₂ O
(2) Fertilización con Harina de Cuernos y Pezuñas (obtenida vía Tratamiento con detergente)	250 N - 400P ₂ O ₅ - 200 K ₂ O
(3) Fertilización con Harina de Cuernos y Pezuñas HCP (obtenida vía Tratamiento enzimático)	250 N - 400P ₂ O ₅ - 200 K ₂ O
(4) Fertilización Mineral NPK (con fertilizantes convencionales: U, SF y CLK)	250 N - 400P ₂ O ₅ - 200 K ₂ O
(5) Fertilización con Estiércol (previo análisis, como referencia - N: 1.4 por ciento)	Al 1.78 por ciento
(6) Testigo absoluto (0 0 0)	0N - 0 P ₂ O ₅ - 0 K ₂ O
(7) Testigo sin N (0 P K)	0 N - 400P ₂ O ₅ - 200 K ₂ O

U: Úrea (46 por ciento de N)

SF: Súper fosfato triple de calcio (46 por ciento de P₂O₅)

CLK: Cloruro de potasio (60 por ciento de K₂O)

3.2.4 Diseño experimental

Para la evaluación del experimento se utilizó el diseño completo al azar, el cual está constituido por 7 tratamientos y 4 repeticiones por tratamiento. Para la prueba de comparación se empleó un nivel de significación de 0.05.

El tratamiento 6 es el tratamiento testigo absoluto, razón por la cual se realizó la prueba de comparación de Dunnet, en el cual se compararon todos los tratamientos con el testigo absoluto. Además se realizó la prueba de comparación de Tukey en el cual se compararon cada tratamiento con los demás.

Los tratamientos son los siguientes:

- T1: HCP vía cocción simple.
- T2: HCP vía detergente.
- T3: HCP vía tratamiento enzimático.
- T4: Fertilización mineral (U, SF, CLK)
- T5: Estiércol
- T6: Testigo absoluto.
- T7: Testigo sin nitrógeno.

Se utilizó el software estadístico Minitab (Versión 15) necesario para el análisis descriptivo, la verificación de supuestos, el análisis de varianza, las pruebas de comparación y los gráficos para el correcto análisis de la investigación.

IV. RESULTADOS Y DISCUSIONES

4.1 Análisis físico-químico de la harina de cuernos y pezuñas

En la Tabla 12 se muestran los resultados del análisis físico-químico de la HCP obtenida para cada uno de los tratamientos.

Tabla 12: Análisis físico-químico obtenido de la HCP para cada uno de los Tratamientos

Análisis/ Tratamiento	Tratamiento 1 / Cocción simple	Tratamiento 2 / Con detergente	Tratamiento 3 / Enzimático
Porcentaje de N	15.00	14.78	15.24
Porcentaje de P	0.06	0.06	0.05
Porcentaje de K	0.13	0.08	0.08
Porcentaje de Ca	0.20	0.26	0.18
Porcentaje de Mg	0.04	0.05	0.04
Porcentaje de Na	0.09	0.15	0.07
Fe ppm	181	291.5	187
Cu ppm	124	114	79.5
Zn ppm	185	237.5	150
Mn ppm	10.5	17	13.5

Fuente: elaboración propia

Martínez (2011) caracterizó diferentes fuentes orgánicas como alternativa para la fertilización, tales como residuos o estiércoles, humus de lombriz, compost, etc; determinando en estos su contenido de nitrógeno, encontrando valores de: **2.47** por ciento para el compost, **12.18** por ciento para el guano de isla, **1.74** por ciento para el humus, **2.22** por ciento para el estiércol de vacuno, **1.56** por ciento para el estiércol de ovino, **1.3** por ciento para el estiércol de camélido y **1.49** por ciento para el estiércol de equino; siendo todos estos menores al valor registrado para la HCP de los tres tratamientos.

4.2 Desarrollo del experimento

4.2.1 Fase de Invernadero

Fecha de siembra: **25 de marzo del 2013.**

Fecha de cosecha: **4 de mayo del 2013.**

Días transcurridos: **40**

A medida que transcurrían los días y hasta la cosecha, se fueron notando las diferencias en el desarrollo de las plantas entre los diferentes tratamientos; en las Figuras 9, 10, 11 y 12 se muestran estas diferencias.

Figura 9: Desarrollo de las plantas a los 5 días de siembra

Sábado 30 de Marzo del 2013, transcurridos 5 días desde la siembra	
	<p><u>Tratamiento 1</u> – HCP vía cocción simple</p> <p><u>Tratamiento 2</u> – HCP vía trata con detergente</p> <p><u>Tratamiento 3</u> – HCP vía trata Enzimático</p> <p>Las plantas comenzaron a brotar</p>
	<p><u>Tratamiento 4</u> – mineral NPK</p> <p><u>Tratamiento 5</u> – con estiércol</p> <p><u>Tratamiento 6</u> – testigo absoluto</p> <p>Las plantas comenzaron a brotar</p>
	<p><u>Tratamiento 5</u> – con estiércol</p> <p><u>Tratamiento 6</u> – testigo absoluto</p> <p><u>Tratamiento 7</u> – testigo sin Nitrógeno</p> <p>Las plantas comenzaron a brotar</p>

Figura 10: Desarrollo de las plantas a los 12 días de siembra

Sábado 6 de abril del 2013, transcurridos 12 días desde la siembra			
	← <u>Tratamiento 1</u> – HCP vía cocción simple		Las plantas aún mostraban un desarrollo casi parejo ↓
	← <u>Tratamiento 2</u> – HCP vía trata con detergente		
	← <u>Tratamiento 3</u> – HCP vía trata Enzimático		Tratamientos 1, 2 y 3 ↓
	← <u>Tratamiento 4</u> – mineral NPK		
	← <u>Tratamiento 5</u> – con estiércol		
	← <u>Tratamiento 6</u> – testigo absoluto		↑ Tratamientos 4, 5, 6 y 7
	← <u>Tratamiento 7</u> – testigo sin Nitrógeno		

Figura 11: Desarrollo de la planta a los 26 días de siembra

Sábado 20 de abril del 2013, transcurridos 26 días desde la siembra



Tratamiento 1



Tratamiento 2



Tratamiento 3



Tratamiento 4



Tratamiento 5



Tratamiento 6



Tratamiento 7

Ya se apreciaban las diferencias en el desarrollo, entre los tratamientos, en cuanto al color y altura de las plantas



1 al 7 →



Figura 12: Desarrollo de las plantas a los 33 días de siembra

Sábado 27 de abril del 2013, transcurridos 33 días desde la siembra



Tratamiento 1



Tratamiento 2



Tratamiento 3



Tratamiento 4



Tratamiento 5



Tratamiento 6



Tratamiento 7

Las diferencias respecto a la altura y color de las plantas entre los diferentes tratamientos se iba notando aún más



Trat.7 - Trat.6 - Trat.5 - Trat.4 - Trat.3 - Trat.2 - Trat.1



1 al 7



7



6



5



4



1



2



3

4.2.2 Resultados finales

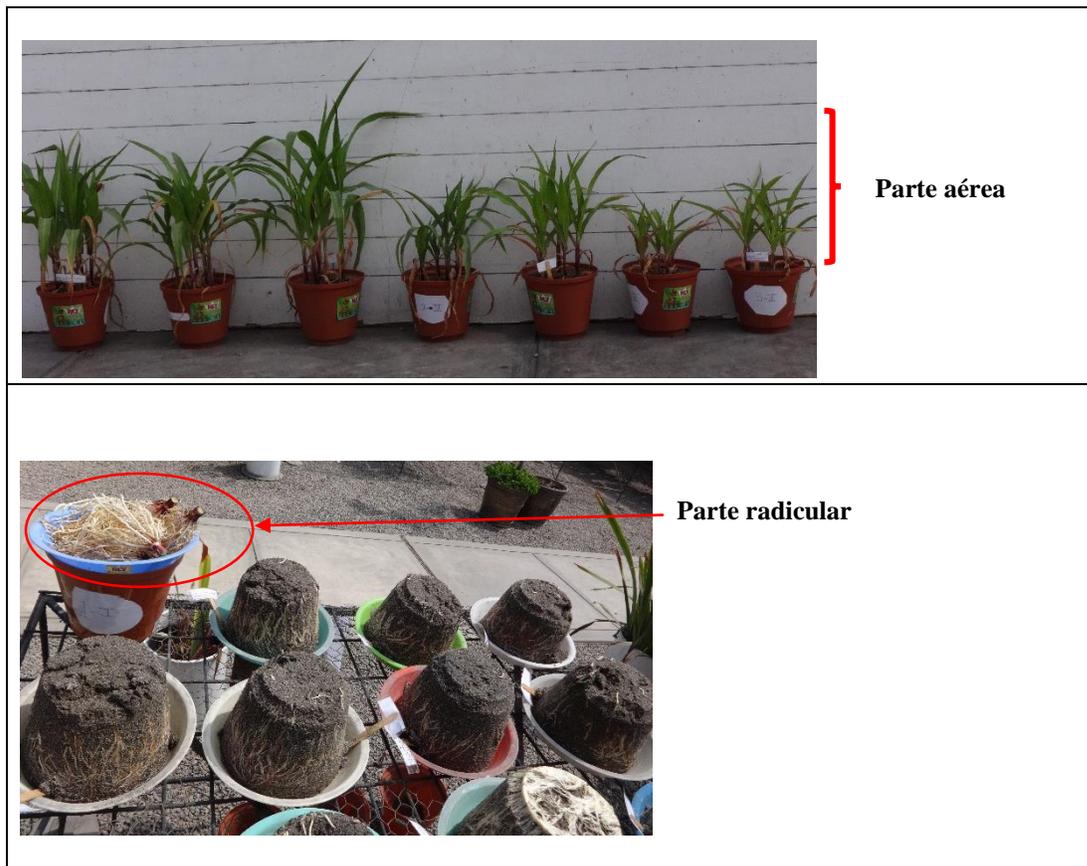
Con fecha **4 de mayo del 2013**, luego que transcurrió 40 días desde la cosecha, se procedió al cosechado de las plantas, antes se tomó registro de su altura. En la Figura 13 se muestra el desarrollo alcanzado de las plantas para cada uno de los tratamientos.

Figura 13: Desarrollo de las plantas a los 40 días de siembra



Se tomó registro del peso de la parte aérea (tallo) y radicular (raíz) de todas las plantas

Figura 14: Parte aérea y radicular de las plantas



Finalmente a la parte aérea y radicular de todas las plantas se le determinó la extracción de Nitrógeno, Fósforo y Potasio.

Los resultados de estas cinco variables se resumen en la Tabla 13 y el detalle de estas se encuentran en los **Anexos A-1, A-2, A-3, A-4 y A-5**.

Tabla 13: Resultados promedios de las variables para cada tratamiento

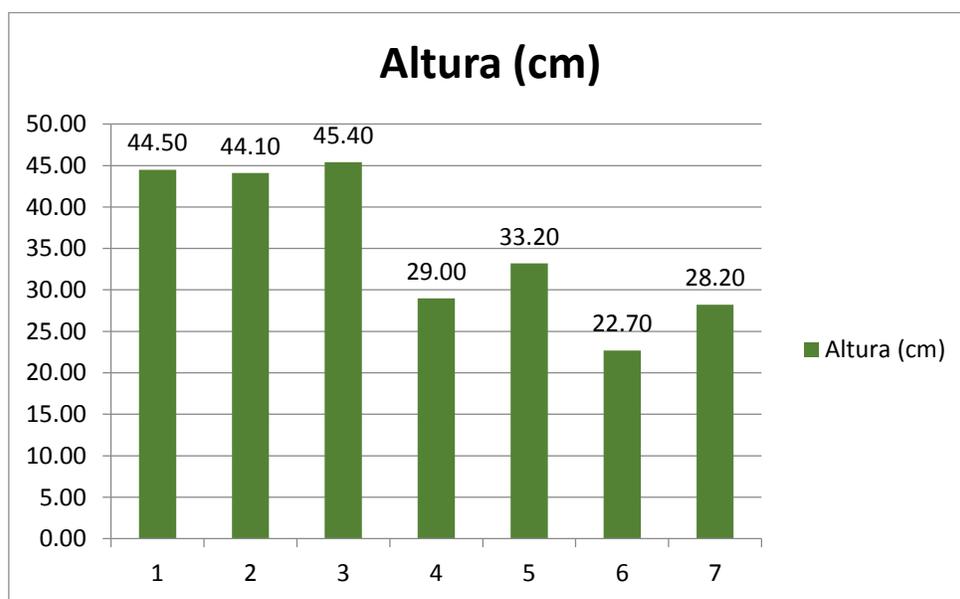
Variable / Tratamiento	Altura de la planta		Materia seca total		Extracción P Total		Extracción N Total		Extracción K Total	
	Prom. (cm)	Índice	Prom. (g/maceta)	Índice	Prom. (mg)	Índice	Prom. (mg)	Índice	Prom. (mg)	Índice
1	44.5	158	20.34	250	51.25	190	319.1	386	572	240
2	41.1	146	15.53	191	35.29	131	241.1	291	390.3	164
3	45.4	161	19.09	235	51.08	189	284.5	344	463.5	194
4	29	103	8.8	108	32.63	121	249.3	301	219.8	92
5	33.2	118	9.96	122	47.3	175	141.35	171	313	131
6	22.7	80	5.82	72	15.94	59	60.58	73	140.25	59
7	28.2	100	8.13	100	27	100	82.7	100	238.5	100

Fuente: elaboración propia

4.2.2.1 Altura de la planta

Sus promedios están representados en la Figura 15.

Figura 15: Altura promedio de la planta para cada tratamiento



En la Tabla 14 se muestran los valores de la altura promedio o media de cada uno de los tratamientos y su significancia estadística.

Tabla 14: Altura media de la Planta y su significancia estadística

Tratamiento	Altura Media (cm)	Significancia estadística (a)	Significancia estadística (b)
1	44.5	1-6 ***	1-2 n.s 1-3 n.s 1-4 *** 1-5 ** 1-6 *** 1-7 ***
2	44.1	2-6 ***	2-3 n.s 2-4 *** 2-5 * 2-6 *** 2-7 ***
3	45.4	3-6 ***	3-4 *** 3-5 *** 3-6 *** 3-7 ***
4	29.0	4-6 *	4-5 n.s 4-6 n.s 4-7 n.s
5	33.2	5-6 **	5-6 ** 5-7 n.s
6	22.7		
7	28.2	7-6 n.s	6-7 n.s

n.s: no significativo

(a): Determinado por Análisis de Variancia y Prueba de Comparación de Dunnet ($p < 0.05$) / Tratamiento 6: Tratamiento testigo absoluto

(b): Determinado por Análisis de Variancia y Prueba de Comparación de Tukey ($p < 0.05$) /

(a) Los resultados de las pruebas estadísticas de <Análisis de Variancia> y <Comparación de Dunnett> se detallan en el Anexo B-3 y B.4.1, respectivamente. De estas pruebas se concluye que existen **diferencias significativas** entre los tratamientos: 1-6, 2-6, 3-6, 4-6 y 5-6; al estudiar la altura promedio de maíz (cm).

(b) Los resultados de las pruebas estadísticas de <Análisis de Variancia> y <Comparación de Tukey> se detallan en el Anexo B-3 y B.4.2, respectivamente. De estas pruebas se concluye que existen **diferencias significativas** entre los tratamientos: 1 con los tratamientos 4, 5, 6 y 7; 2 con los tratamientos 4, 5, 6 y 7; 3 con los tratamientos 4, 5, 6 y 7 y 5 con el tratamiento 6; al estudiar la altura promedio de maíz (cm).

Los tratamientos con HCP obtuvieron una altura promedio de: 44.5 cm-(1), 44.1 cm-(2) y 45.4 cm-(3); presentando diferencias significativas con los tratamientos 4, 6 y 7; similar situación encontró Martínez (2011), al comparar harina de cuernos y pezuñas (complementada con súper

triple + cloruro de potasio) vs fertilización mineral completa (N-P-K), testigo absoluto (0-0-0) y testigo sin nitrógeno (0-P-K).

Por otro lado, los tratamientos con HCP (1, 2 y 3), presentaron diferencias significativas con el tratamiento 5 (estiércol de vacuno); es preciso señalar que en la presente investigación, los tratamientos con harina de cuernos y pezuñas fueron complementados con súper triple y cloruro de potasio para alcanzar la fertilización propuesta, en tanto el tratamiento con estiércol de vacuno no lo fue.

Contrario a lo que se esperaba, el tratamiento de fertilización mineral completa (4), alcanzó una altura promedio de solo 29 cm, lo cual podría deberse a una fertilización tardía de nitrógeno a la planta, vale decir la úrea no habría sido adicionada a tiempo.

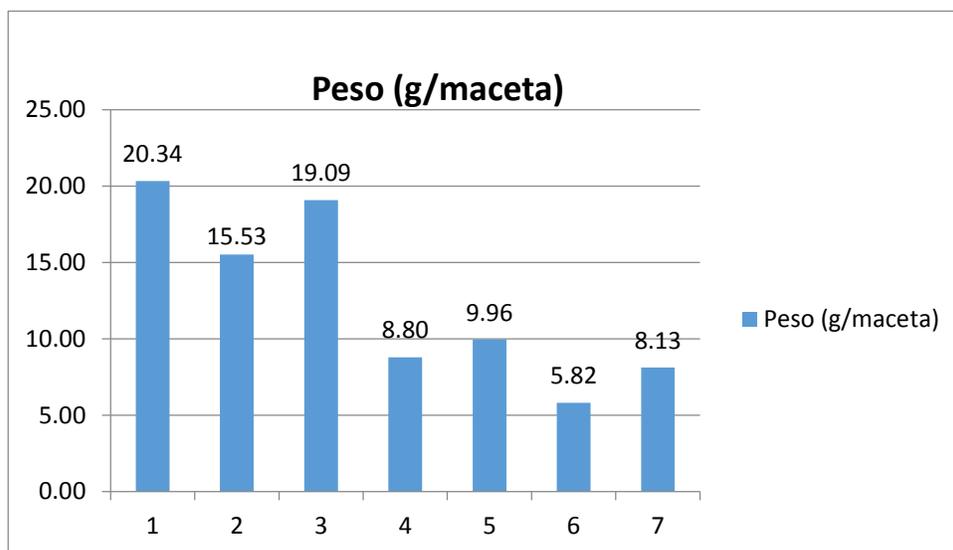
A fin de evaluar la efectividad del abono orgánico no tradicional frente a los otros fertilizantes considerados en el experimento, para el parámetro altura de la planta (cm), se aplicó la **Prueba de Contraste Ortogonal**, para ello a los fertilizantes de HCP (Trat. 1, 2 y 3) se les consideró como grupo 1, y al resto de fertilizantes como grupo 2. Los resultados de esta prueba se detallan en el Anexo **B.4.3**, de lo cual se afirma lo siguiente:

La altura media del maíz del fertilizante orgánico no tradicional (tratamientos 1,2 y 3) es **superior** a la altura media del maíz de los otros fertilizantes considerados.

4.2.2.2 Peso de la planta

Sus promedios están representados en la Figura 16.

Figura 16: Peso promedio de la planta para cada tratamiento



En la Tabla 15 se muestran los valores del peso seco total promedio o medio (g/maceta) para cada uno de los tratamientos y su significancia estadística.

Tabla 15: Peso seco total medio y su significancia estadística

Tratamiento	Materia seca total Media (g/maceta)	Significancia estadística (a)	Significancia estadística (b)
1	20.34	1-6 ***	1-2 n.s 1-3 n.s 1-4 *** 1-5 *** 1-6 *** 1-7 ***
2	15.53	2-6 ***	2-3 n.s 2-4 * 2-5 * 2-6 *** 2-7 **
3	19.09	3-6 ***	3-4 *** 3-5 *** 3-6 *** 3-7 ***
4	8.80	4-6 n.s	4-5 n.s 4-6 n.s 4-7 n.s
5	9.96	5-6 n.s	5-6 n.s 5-7 n.s
6	5.82		
7	8.13	7-6 n.s	7-6 n.s

n.s: no significativo

(a): Determinado por Análisis de Variancia y Prueba de Comparación de Dunnet ($p < 0.05$) / Tratamiento 6: Tratamiento testigo absoluto

(b): Determinado por Análisis de Variancia y Prueba de Comparación de Tukey ($p < 0.05$) /

(a) Los resultados de las pruebas estadísticas de <Análisis de Variancia> y <Comparación de Dunnet> se detallan en el Anexo C-3 y C.4.1; de estas pruebas se concluye que existen diferencias significativas entre los tratamientos: 1-6, 2-6 y 3-6; al analizar la materia seca total media (g/maceta) del maíz.

(b) Los resultados de las pruebas estadísticas de <Análisis de Variancia> y <Comparación de Tukey> se detallan en el Anexo C-3 y C.4.2, respectivamente; de los resultados de estas se concluye que existen diferencias significativas entre los tratamientos: 1 con los tratamientos 4, 5, 6 y 7; 2 con los tratamientos 4, 5, 6 y 7 y 3 con los tratamientos 4, 5, 6 y 7; al analizar la materia seca total media (g/maceta) del maíz

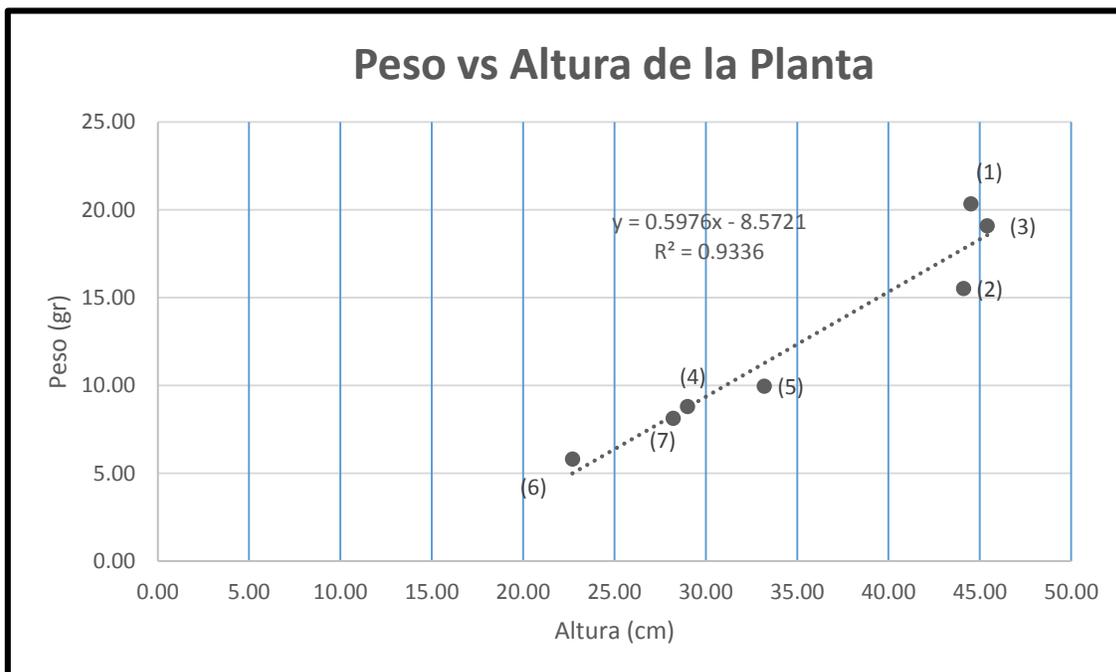
Los tratamientos con HCP obtuvieron un peso seco total medio de: 20.34g.-(1), 15.53g.-(2) y 19.09g.-(3); presentando diferencias significativas con los tratamientos (4, 5, 6 y 7); similar a la situación que encontró Martínez (2011), al comparar harina de cuernos y pezuñas (complementada con súper triple + cloruro de potasio) vs fertilización mineral completa (N-P-K), guano de isla, testigo absoluto (0-0-0) y testigo sin nitrógeno (0-P-K).

Como era de esperarse, el peso de la planta aumenta directamente a una mayor altura de esta, lo cual se aprecia en la Figura 17, de la página siguiente.

A fin de evaluar la efectividad del abono orgánico no tradicional frente a los otros fertilizantes considerados en el experimento, para el parámetro materia seca total media (g/maceta), se aplicó la **Prueba de Contraste Ortogonal**, para ello a los fertilizantes de HCP (Trat. 1, 2 y 3) se les consideró como grupo 1, y al resto de fertilizantes como grupo 2. Los resultados de esta prueba se detallan en el Anexo C.4.3, de los cuales se afirma lo siguiente:

La materia seca total media (g/maceta) del fertilizante orgánico no tradicional (grupo 1), es **superior** a la materia seca total media de los otros fertilizantes considerados (grupo 2).

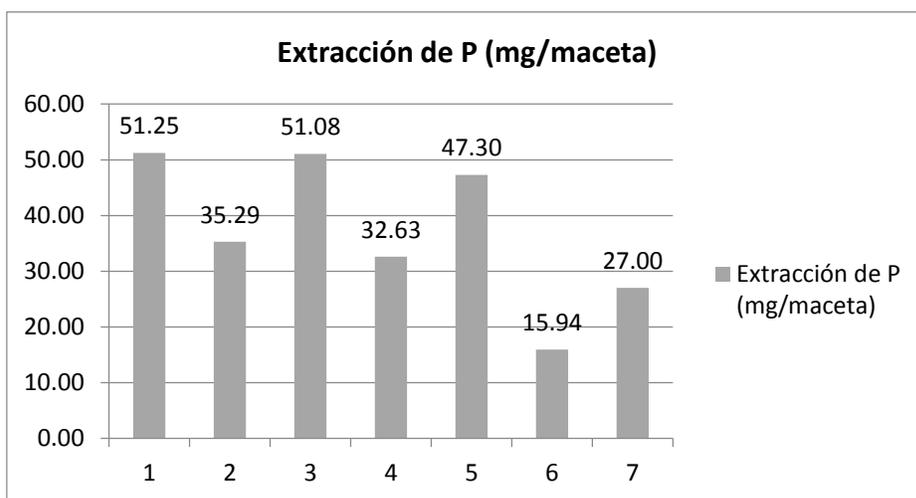
Figura N° 17: Relación entre el Peso y Altura promedio de la Planta para cada uno de los tratamientos



4.2.2.3 Extracción de fósforo de la planta

Sus promedios están representados en la Figura 18.

Figura 18: Extracción de fósforo total promedio de la planta para cada tratamiento



En la Tabla 16 se muestran los valores de la extracción de fósforo total promedio o medio (mg/maceta) para cada uno de los tratamientos y su significancia estadística.

Tabla 16: Extracción de fósforo total medio y su significancia estadística

Tratamiento	Extracción de fósforo total Medio (mg/maceta)	Significancia estadística (a)	Significancia estadística (b)
1	51.25	1-6 ***	1-2 n.s 1-3 n.s 1-4 n.s 1-5 n.s 1-6 *** 1-7 **
2	35.29	2-6 *	2-3 n.s 2-4 n.s 2-5 n.s 2-6 * 2-7 n.s
3	51.08	3-6 ***	3-4 n.s 3-5 n.s 3-6 *** 3-7 **
4	32.63	4-6 *	4-5 n.s 4-6 n.s 4-7 n.s
5	47.3	5-6 ***	5-6 *** 5-7 *
6	15.94		
7	27.0	7-6 n.s	7-6 n.s

n.s: no significativo

(a): Determinado por Análisis de Variancia y Prueba de Comparación de Dunnet ($p < 0.05$) / Tratamiento 6: Tratamiento testigo absoluto

(b): Determinado por Análisis de Variancia y Prueba de Comparación de Tukey ($p < 0.05$)

(a) Los resultados de las pruebas estadísticas de <Análisis de Variancia> y <Comparación de Dunnet> se detallan en el Anexo D-3 y D.4.1, respectivamente; de los resultados de estas se concluye que existen diferencias significativas entre los tratamientos: 1-6, 2-6, 3-6, 4-6 y 5-6; al analizar la extracción del fósforo media (mg) del maíz.

(b) Los resultados de las pruebas estadísticas de <Análisis de Variancia> y <Comparación de Tukey> se detallan en el Anexo D-3 y D.4.2, respectivamente; de los resultados de estas se concluye que existen **diferencias significativas** entre los tratamientos: 1 y con los tratamientos 6 y 7; 2 con el tratamiento 6; 3 con los tratamientos 6 y 7 y 5 con los tratamientos 6 y 7; al analizar la extracción de fósforo media (mg) del maíz.

Los tratamientos con HCP obtuvieron una extracción total media de: 51.25 mg-(1), 35.29 mg-(2) y 51.08 mg-(3); de los cuales el tratamiento 1 y 3 presentó diferencias significativas con los tratamientos 6 y 7, siendo que el tratamiento 2 presentó diferencias significativas solo con el testigo absoluto; similar a la situación que encontró Martínez (2011), al comparar la harina de cuernos y pezuñas (complementada con súper triple + cloruro de potasio) vs testigo absoluto (0-0-0), sin embargo, Martínez (2011) no encontró diferencias significativas, al comparar la harina de cuernos y pezuñas vs testigo sin nitrógeno (0-P-K).

Por otro lado, al comparar la HCP de los tres tratamientos (1, 2 y 3) vs el tratamiento 4, no se encontraron diferencias significativas; hecho contrario a lo que encontró Martínez (2011) al comparar la harina de cuernos y pezuñas (complementada con súper triple + cloruro de potasio) vs fertilización completa.

No se encontraron diferencias significativas entre la harina de cuernos y pezuñas de los tres tratamientos (1, 2 y 3) vs el tratamiento con estiércol de vacuno (5); cabe señalar que la alta concentración de estiércol de vacuno en el tratamiento 5, favorece a un mayor aporte de fósforo a la planta.

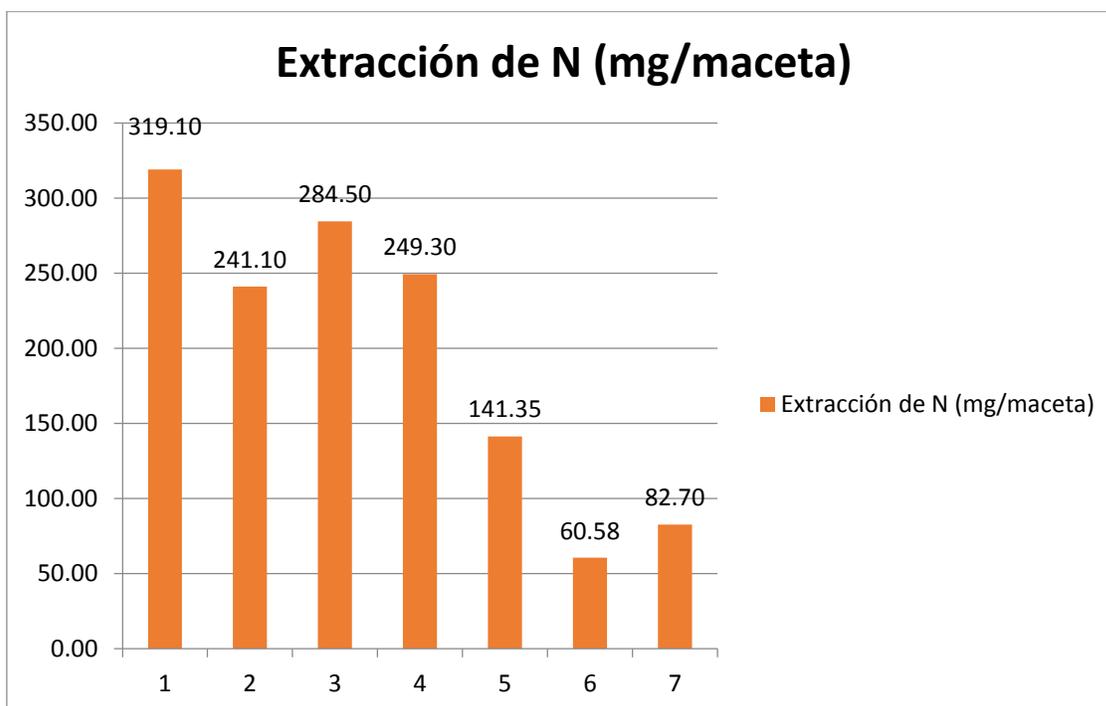
A fin de evaluar la efectividad del abono orgánico no tradicional frente a los otros fertilizantes considerados en el experimento, para el parámetro extracción de fosforo total media (g/maceta), se aplicó la **Prueba de Contraste Ortogonal**, para ello a los fertilizantes de HCP (trat.1, 2 y 3) se les consideró como grupo 1, y al resto de fertilizantes como grupo 2. Los resultados de esta prueba se detallan en el Anexo **D.4.3**, de los cuales se concluye lo siguiente:

La extracción de fósforo media (mg) del fertilizante orgánico no tradicional (grupo 1) es **superior** a la extracción de fósforo media de los otros fertilizantes considerados (grupo 2).

4.2.2.4 Extracción de nitrógeno de la planta

Sus promedios están representados en la Figura 19.

Figura 19: Extracción de nitrógeno total promedio de la planta para cada tratamiento



En la Tabla 17, de la página siguiente, se muestran los valores de la extracción de nitrógeno promedio (mg/maceta) y su mediana para cada uno de los tratamientos, así como su significancia estadística.

Los parámetros: extracción de nitrógeno de la planta y extracción de potasio no cumplieron con el supuesto de homogeneidad de varianza, por tal no se les aplicó el análisis de varianza, en su reemplazo se aplicó la prueba no paramétrica de Kruskal-Wallis, alternativa al DCA; la cual compara las medianas de los tratamientos.

Tabla 17: Mediana de extracción de nitrógeno y su significancia estadística

Tratamiento	Extracción de nitrógeno total (mg/maceta)	Significancia estadística (a)
1	319.1 (Promedio) / 327.6 (Mediana)	1-2 * 1-3 n.s 1-4 * 1-5 ** 1-6 *** 1-7 ***
2	241.1 (Promedio) / 240.95 (Mediana)	2-3 n.s 2-4 n.s 2-5 * 2-6 *** 2-7 **
3	284.5 (Promedio) / 297.2 (Mediana)	3-4 n.s 3-5 ** 3-6 *** 3-7 ***
4	249.3 (Promedio) / 234.1 (Mediana)	4-5 * 4-6 *** 4-7 **
5	141.35 (Promedio) / 141.6 (Mediana)	5-6 * 5-7 n.s
6	60.58 (Promedio) / 58.9 (Mediana)	
7	82.7 (Promedio) / 84.45 (Mediana)	7-6 n.s

n.s: no significativo

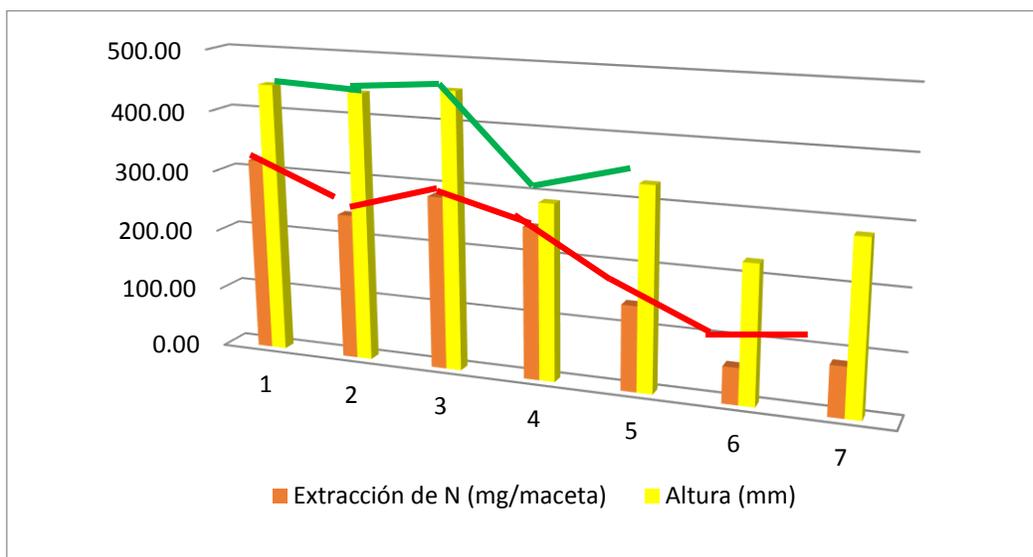
(a): Determinado por Prueba de Comparaciones Múltiples de Kruskal - Wallis ($p < 0.05$)

(a) Los resultados de las pruebas estadísticas de **<Comparaciones Múltiples de Kruskal – Wallis>** se detallan en el Anexo **E.3.1**, de los resultados de estas se concluye que existen **diferencias significativas** entre los tratamientos: 1 con los tratamientos 2, 4, 5,6 y 7; 2 con los tratamientos 5,6 y 7; 3 con los tratamientos 5,6 y 7; 4 con los tratamientos 5,6 y 7 y 5 con el tratamiento 6; al analizar la mediana de extracción de nitrógeno del maíz.

Los tratamientos con HCP obtuvieron una extracción total media de: 319.1 mg-(1), 241.1 mg-(2) y 284.5 mg-(3) y un nivel mediano de extracción de nitrógeno de: 327.6 mg-(1), 240.95 mg-(2) y 297.2 mg-(3); presentando sus medianas diferencias significativas con los tratamientos 6 y 7.

Por otro lado, al comparar la harina de cuernos y pezuñas de los tratamientos 2 y 3 vs el tratamiento 4 (fertilización mineral NPK), no se encontraron diferencias significativas entre sus medianas; sin embargo si se encontraron diferencias significativas entre las medianas del tratamiento 1 y el tratamiento 4.

Figura N° 20: Comparación - Altura de la Planta y Extracción de Nitrógeno



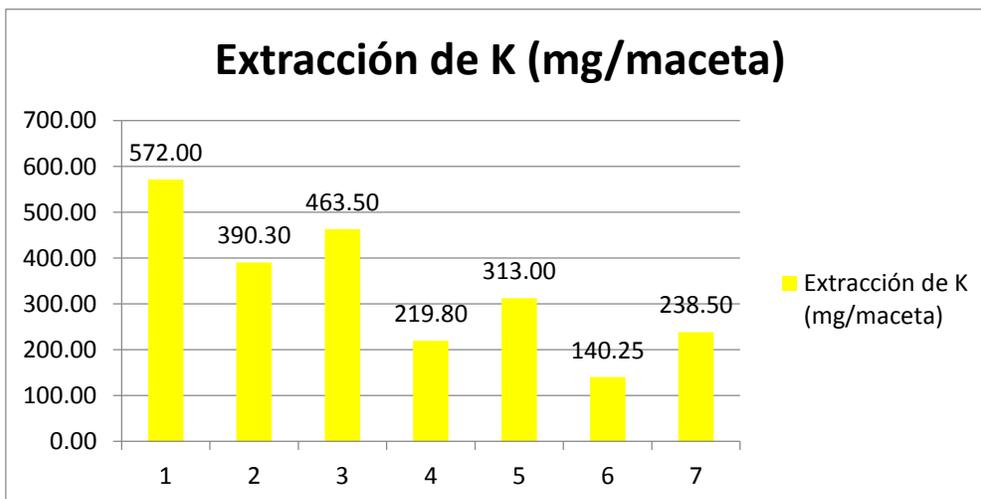
Tal y como se observa en la Tabla 17, el nivel mediano de extracción de nitrógeno en el tratamiento 4 es comparable al que se obtuvo para el tratamiento 2 y 3. Contrario a lo que se esperaba, y como se señaló anteriormente, el tratamiento de fertilización mineral completa (4) alcanzó una altura promedio de solo 29 cm (290mm), lo cual podría deberse a una fertilización tardía de nitrógeno a la planta, vale decir la úrea no habría sido adicionada a tiempo a la planta.

A diferencia de las variables altura, peso y extracción de fósforo, donde no hubo diferencias significativas al comparar las medias de los tratamientos de la HCP (tratamientos 1, 2 y 3), para la variable extracción de nitrógeno (mg), se encontraron diferencias significativas entre los tratamientos 1 y 2, al comparar sus medianas.

4.2.2.5 Extracción de potasio de la planta

Sus promedios están representados en la Figura 21.

Figura 21: Extracción de potasio total promedio de la planta para cada tratamiento



En la Tabla 18 se muestran los valores de la extracción de potasio promedio (mg/maceta) y su mediana para cada uno de los tratamientos, así como su significancia estadística.

Tabla 18: Mediana de extracción de potasio y su significancia estadística

Tratamiento	Extracción de potasio total (mg/maceta)	Significancia estadística (a)
1	572.0 (Promedio) / 588.0 (Mediana)	1-2 n.s 1-3 n.s 1-4 *** 1-5 ** 1-6 *** 1-7 **
2	390.3 (Promedio) / 391.5 (Mediana)	2-3 n.s 2-4 ** 2-5 n.s 2-6 *** 2-7 **
3	463.5 (Promedio) / 468.0 (Mediana)	3-4 ** 3-5 n.s 3-6 *** 3-7 *
4	219.8 (Promedio) / 198.0 (Mediana)	4-5 * 4-6 n.s 4-7 n.s
5	313.0 (Promedio) / 320 (Mediana)	5-6 ** 5-7 n.s
6	140.25 (Promedio) / 139.5 (Mediana)	
7	238.5 (Promedio) / 237.0 (Mediana)	7-6 *

n.s: no significativo

(a): Determinado por Prueba de Comparaciones Múltiples de Kruskal - Wallis ($p < 0.05$)

(a) Los resultados de las pruebas estadísticas de **<Comparaciones Múltiples de Kruskal – Wallis>** se detallan en el Anexo **F.3.1**, de los resultados de estas, al analizar la extracción de potasio (mg/maceta) se concluye que existen **diferencias significativas** entre los tratamientos: 1 con los tratamientos 4, 5, 6 y 7; 2 con los tratamientos 4, 6 y 7; 3 con los tratamientos 4, 6 y 7; 4 con el tratamiento 5; 5 con el tratamiento 6 y 6 con el tratamiento 7; analizar la mediana de extracción de Potasio del maíz.

Los tratamientos con HCP obtuvieron una extracción total media de potasio de: 572 mg-(1), 390.3 mg-(2) y 463.5 mg-(3) y un nivel mediano de extracción de: 588 mg-(1), 391.5 mg-(2) y 468 mg-(3); presentando sus medianas diferencias significativas con los tratamientos 4, 6 y 7.

Por otro lado, al comparar la harina de cuernos y pezuñas de los tratamientos 2 y 3 vs el tratamiento 5 (estiércol), no se encontraron diferencias significativas entre sus medianas; sin embargo si se encontraron diferencias significativas entre las medianas del tratamiento 1 y el tratamiento 5; cabe mencionar que la alta concentración de estiércol de vacuno en el tratamiento 5, favorece a un mayor aporte de potasio total a la planta.

V. CONCLUSIONES

1. La harina de cuernos y pezuñas representa una fuente potencial de nitrógeno, aprovechable para ser usada como abono orgánico no convencional. Su contenido promedio de nitrógeno total es alrededor del 15 por ciento.
2. La harina de cuernos y pezuñas no aporta en cantidad suficiente las necesidades de fósforo y potasio de la planta, su aplicación como fertilizante debe complementarse con la adición de fertilizantes fosfatados y potásicos.
3. El tratamiento 1 (vía cocción simple), presentó los mayores índices en las 5 variables evaluadas; sin embargo, no se encontraron diferencias significativas entre los tres tratamientos con HCP para las variables altura, peso, extracción de fósforo y extracción de potasio. Solo se encontraron diferencias significativas entre los tratamientos 1-(vía cocción simple) y 2-(vía utilización de detergente), para la variable extracción de nitrógeno.
4. Las plantas respondieron favorablemente a la aplicación de los fertilizantes de HCP de los tres tratamientos; siendo que la altura media del maíz, la materia seca total media y la extracción de fósforo media (mg) del fertilizante orgánico no convencional (tratamientos 1, 2 y 3) fue superior a los otros fertilizantes considerados.
5. Existe una relación directa entre la altura y la producción de materia seca.

VI. RECOMENDACIONES

1. Realizar un análisis de rentabilidad económica y financiera y un estudio de mercado de la aplicación de la HCP como fertilizante orgánico no convencional.
2. Evaluar otras posibles aplicaciones de la HCP, entre ellas su uso para la alimentación de animales.
3. Realizar investigaciones para la obtención de HCP a nivel industrial, vía tratamientos que puedan contrarrestar y/o minimizar olores u otros problemas ambientales, derivados de su producción.

VII. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ASOCIACIÓN PEÑA TAURINA TENDIDO 10 (11 de octubre del 2010). “**Problemática actual de la peritación de las astas de reses de lidia**”. Lima. <<http://achotendido10.blogspot.com/2010/10/problematica-actual-de-la-peritacion-de.html>>.

[Consulta: 25 de octubre del 2011].

CANDELAS, J. y RAMÍREZ, G. 2000. “**Identificación y desarrollo de Tecnología para proporcionar valor económico a los residuos sólidos del proceso de matanza en el rastro del Saltillo, Coahuila, México**”. Ponencia presentada en el XXVII Congreso Interamericano de Ingeniería Sanitaria y Ambiental, organizado por la Asociación Interamericana de Ingeniería Sanitaria y Ambiental. Río Grande, 3-8 Diciembre.

CENTRO DE PRODUCCIÓN MAS LIMPIA DE NICARAGUA. “**Manual de Buenas Prácticas Operativas de Producción más Limpia para la Industria de Mataderos**”. <<http://www.cimpar.org.ar/wp-content/uploads/2010/10/39946-Manual-Buenas-Practicas-Nicaragua-Proarca.pdf>>. [Consulta: 15 de Noviembre del 2011.]

DECRETO SUPREMO N° 22-95-AG, “**Reglamento Tecnológico de Carnes**”. Lima-Perú.

DECRETO NACIONAL N° 4238/68, “**Reglamento de Inspección de Productos, Subproductos y Derivados de Origen Animal**”. Buenos Aires-Argentina, p: 282.

Empresa “**BBA Industria Opoterapia LTDA**” <http://www.hornandhoof.eu> [Consulta: 20 de Noviembre del 2011.]

Empresa “**JORMAR LTDA**” <http://www.jormarltda.com/contacto.html> [Consulta: 20 de Noviembre del 2011.]

Empresa “**O. Sonne e Hijos S.A.P.E.I SRL**” <http://www.osonnesapei.com/productos.html> [Consulta: 20 de Noviembre del 2011.]

FASSBENDER, H. y BORNEMISZA, E. 1987. “**Química de Suelo, con énfasis en suelos de América Latina**” 2da. Edición. Editorial IICA (Instituto Interamericano de Cooperación para la Agricultura). San José-Costa Rica, p: 207, 209 y 227.

FRANDSON, R. y SPURGEON, T. 1995 “**Anatomía y fisiología de los animales domésticos**”. 5^{ta} edición. Editorial Interamericana McGraw Hill. México, p: 205 y 206.

GROS, A. y DOMÍNGUEZ, A. 1992. “**Abonos Guía Práctica de la Fertilización**” 8va. Edición. Editorial Mundi Prensa. Madrid-España, p: 143, 144 y 153.

GUTIÉRREZ, P. 2013. “**Evaluación del efecto de fuentes y niveles de materia orgánica con adición de fertilización mineral en condiciones de invernadero**”. Tesis Ing. Agr. UNALM Lima Perú.

MARTÍNEZ, C. 2011. “**Comparativo de fuentes orgánicas en la fertilizacion del cultivo de**

maíz (*Zea mays*) en suelo arenoso en condiciones de invernadero". Tesis Ing. Agr. UNALM. Lima-Perú.

MINISTERIO DE AGRICULTURA Y RIEGO, OEEE (Oficina de Estudios Económicos y Estadísticos). 2013. "**Producción Pecuaria e Industria Avícola 2012**" Edición Mayo 2013. Imp. Servicios Generales-UL-OA Ministerio de Agricultura y Riego. Lima Perú, p: 64 y 79.

OCKERMAN, H. y HANSEN, C. 1994. "**Industrialización de subproductos de origen animal**". Editorial Acribia. España, p: 6.

PAREDES, S. 1984. "**Uso de la Harina de Cuernos y Pezuñas en la Alimentación de Vacunos en crecimiento**". Tesis Med. Veterinario. UNMS. Lima – Perú.

REAL ACADEMIA ESPAÑOLA. 2001. "**Diccionario de la Lengua Española**". 22^{ava} Edición. Tomos: 2, 3, 4 y 8, p: 157, 260, 319, 478 y 1186. Impreso en Mateo Cromo. Artes Gráficas SA. España.

RECIO, A. y DOMINGO, P. (Enero del 2010). "**Morfología de los cuernos**". <<http://www.elartetaurino.com/morfologia%20cuernos.html>>. [Consulta: 10 de noviembre del 2011].

REYES, I. 2012. "**Determinación de la digestibilidad y energía digestible de la harina de plumas hidrolizada en cuyes (*Cavia porcellus*)**". Tesis Ing. Zootecnista. UNALM. Lima-Perú.

SALGADO, S. y NUÑEZ, R. 2010. **“Manejo de Fertilizantes Químicos y Orgánicos”** 1ra. Edición. Editorial Mundi-Prensa. México, p: 1, 11, 12, 28, 29, 34, 36, 37, 64, 65 y 115.

SALINAS, M. 2004. **“Proyecto de Investigación – Aplicaciones y Mercados Posibles para Residuos de Mataderos”**. UMSA, Faculta Ing. Química, La Paz – Bolivia.

SANTOS, A. 2008. **“Evaluación de la inclusión de Harina de plumas hidrolizadas en dietas de alevinos de tilapia roja (Oreochromis spp)”**. Tesis Ing. Pesquero. UNALM. Lima-Perú.

SISSON, S. y GROSSMAN, J. 1982. **“Anatomía de los animales domésticos”**. Tomo I. 5^{ta} Edición. Salvat Editores SA. Barcelona-España, p: 281.

ANEXO A-1: Resultados completos de la variable «Altura de la planta»

Tratamiento	Repetición	Altura de la planta (cm.)	Índice Altura-Planta
1	I	45.4	158
	II	47.2	
	III	42.2	
	IV	43.2	
	Promedio	44.5	
2	I	44.4	146
	II	43.0	
	III	38.2	
	IV	38.8	
	Promedio	41.1	
3	I	47.4	161
	II	41.0	
	III	52.2	
	IV	41.0	
	Promedio	45.4	
4	I	31.4	103
	II	29.2	
	III	30.2	
	IV	25.0	
	Promedio	29.0	
5	I	32.4	118
	II	30.8	
	III	36.0	
	IV	33.4	
	Promedio	33.2	
6	I	23.2	80
	II	22.2	
	III	20.8	
	IV	24.4	
	Promedio	22.7	
7	I	31.2	100
	II	24.0	
	III	27.2	
	IV	30.2	
	Promedio	28.2	

ANEXO A-2: Resultados completos de la variable «Peso de la planta»

Tratamiento	Repetición	PARTE AEREA			PARTE RADICULAR	MS Total (g/maceta)	Indice MS
		Peso fresco (g)	Peso seco (g)	%Humedad	Peso seco (g)		
1	I	76.13	12.57	83.49	10.15	22.72	250
	II	67.78	12.74	81.20	10.25	22.99	
	III	67.11	11.89	82.28	7.16	19.05	
	IV	59.36	10.33	82.60	6.29	16.62	
	Promedio	67.60	11.88	82.39	8.46	20.35	
2	I	64.22	11.12	82.68	6.95	18.07	191
	II	55.66	9.60	82.75	6.54	16.14	
	III	45.57	7.79	82.91	5.23	13.02	
	IV	49.87	8.37	83.22	6.51	14.88	
	Promedio	53.83	9.22	82.89	6.31	15.53	
3	I	77.46	12.46	83.91	8.67	21.13	235
	II	48.96	8.61	82.41	5.15	13.76	
	III	77.15	12.94	83.23	9.93	22.87	
	IV	65.52	10.90	83.36	7.72	18.62	
	Promedio	67.27	11.23	83.23	7.87	19.10	
4	I	19.10	3.83	79.93	3.06	6.89	108
	II	34.93	5.03	85.60	4.32	9.35	
	III	42.88	6.37	85.14	5.34	11.71	
	IV	26.44	3.79	85.67	3.48	7.27	
	Promedio	30.84	4.76	84.09	4.05	8.81	
5	I	32.85	5.68	82.71	3.99	9.67	122
	II	26.42	4.71	82.17	2.99	7.70	
	III	35.98	6.40	82.21	4.37	10.77	
	IV	36.87	6.54	82.26	5.16	11.70	
	Promedio	33.03	5.83	82.34	4.13	9.96	
6	I	9.68	2.24	76.86	2.59	4.83	72
	II	12.34	2.75	77.71	3.55	6.30	
	III	11.01	2.43	77.93	3.55	5.98	
	IV	12.47	2.87	76.98	3.30	6.17	
	Promedio	11.38	2.57	77.37	3.25	5.82	
7	I	21.51	4.64	78.43	3.70	8.34	100
	II	17.33	3.57	79.40	3.58	7.15	
	III	16.91	3.52	79.18	3.68	7.20	
	IV	25.59	5.12	79.99	4.72	9.84	
	Promedio	20.34	4.21	79.25	3.92	8.13	

ANEXO A-3: Resultados completos de la variable «Extracción de fósforo de la planta»

Tratamiento	Repetición	PARTE AÉREA		PARTE RADICULAR		Extr.P TOTAL (mg)	Indice Extrac. P
		% Fósforo	Extracción Fósforo (mg)	% Fósforo	Extracción Fósforo (mg)		
1	I	0.22	27.65	0.31	31.47	59.12	190
	II	0.22	28.03	0.31	31.78	59.80	
	III	0.23	27.35	0.26	18.62	45.96	
	IV	0.23	23.76	0.26	16.35	40.11	
	Promedio	0.23	26.70	0.29	24.55	51.25	
2	I	0.25	27.80	0.24	16.68	44.48	131
	II	0.25	24.00	0.24	15.70	39.70	
	III	0.20	15.58	0.21	10.98	26.56	
	IV	0.20	16.74	0.21	13.67	30.41	
	Promedio	0.23	21.03	0.23	14.26	35.29	
3	I	0.27	33.64	0.26	22.54	56.18	189
	II	0.27	23.25	0.26	13.39	36.64	
	III	0.29	37.53	0.24	23.83	61.36	
	IV	0.29	31.61	0.24	18.53	50.14	
	Promedio	0.28	31.51	0.25	19.57	51.08	
4	I	0.35	13.42	0.31	9.49	22.90	121
	II	0.35	17.61	0.31	13.39	31.00	
	III	0.45	28.67	0.35	18.69	47.36	
	IV	0.45	17.06	0.35	12.18	29.24	
	Promedio	0.40	19.19	0.33	13.44	32.62	
5	I	0.50	28.40	0.47	18.75	47.15	175
	II	0.50	23.55	0.47	14.05	37.60	
	III	0.52	33.28	0.39	17.04	50.32	
	IV	0.52	34.01	0.39	20.12	54.13	
	Promedio	0.51	29.81	0.43	17.49	47.30	
6	I	0.32	7.17	0.28	7.25	14.42	59
	II	0.32	8.80	0.28	9.94	18.74	
	III	0.28	6.80	0.23	8.17	14.97	
	IV	0.28	8.04	0.23	7.59	15.63	
	Promedio	0.30	7.70	0.26	8.24	15.94	
7	I	0.38	17.63	0.28	10.36	27.99	100
	II	0.38	13.57	0.28	10.02	23.59	
	III	0.41	14.43	0.25	9.20	23.63	
	IV	0.41	20.99	0.25	11.80	32.79	
	Promedio	0.40	16.66	0.27	10.35	27.00	

ANEXO A-4: Resultados completos de la variable «Extracción de nitrógeno de la planta»

Trat.	Repetición	PARTE AÉREA		PARTE RADICULAR		Extr.N TOTAL (mg)	Indice Extrac. N
		% Nitrógeno	Extracción Nitrógeno (mg)	% Nitrógeno	Extracción Nitrógeno (mg)		
1	I	1.49	187.29	1.68	170.52	357.81	386
	II	1.51	192.37	1.68	172.20	364.57	
	III	1.49	177.16	1.68	120.29	297.45	
	IV	1.46	150.82	1.68	105.67	256.49	
	Promedio	1.49	176.91	1.68	142.17	319.08	
2	I	1.54	171.25	1.57	109.12	280.36	291
	II	1.49	143.04	1.60	104.64	247.68	
	III	1.54	119.97	1.57	82.11	202.08	
	IV	1.60	133.92	1.54	100.25	234.17	
	Promedio	1.54	142.04	1.57	99.03	241.07	
3	I	1.41	175.69	1.60	138.72	314.41	344
	II	1.43	123.12	1.54	79.31	202.43	
	III	1.41	182.45	1.60	158.88	341.33	
	IV	1.40	152.60	1.65	127.38	279.98	
	Promedio	1.41	158.47	1.60	126.07	284.54	
4	I	2.69	103.11	3.03	92.72	195.83	301
	II	2.55	128.27	2.63	113.62	241.88	
	III	2.69	171.35	3.03	161.80	333.16	
	IV	2.83	107.26	3.42	119.02	226.27	
	Promedio	2.69	127.50	3.03	121.79	249.28	
5	I	1.55	88.04	1.28	51.07	139.11	171
	II	1.79	84.31	1.43	42.76	127.07	
	III	1.55	99.20	1.28	55.94	155.14	
	IV	1.32	86.33	1.12	57.79	144.12	
	Promedio	1.55	89.47	1.28	51.89	141.36	
6	I	1.03	23.07	1.05	27.20	50.27	73
	II	1.15	31.63	1.20	42.60	74.23	
	III	1.03	25.03	1.05	37.28	62.30	
	IV	0.90	25.83	0.90	29.70	55.53	
	Promedio	1.03	26.39	1.05	34.19	60.58	
7	I	1.04	48.26	1.02	37.74	86.00	100
	II	1.23	43.91	1.09	39.02	82.93	
	III	1.04	36.61	1.02	37.54	74.14	
	IV	0.84	43.01	0.95	44.84	87.85	
	Promedio	1.04	42.95	1.02	39.78	82.73	

ANEXO A-5: Resultados completos de la variable «Extracción de potasio de la planta»

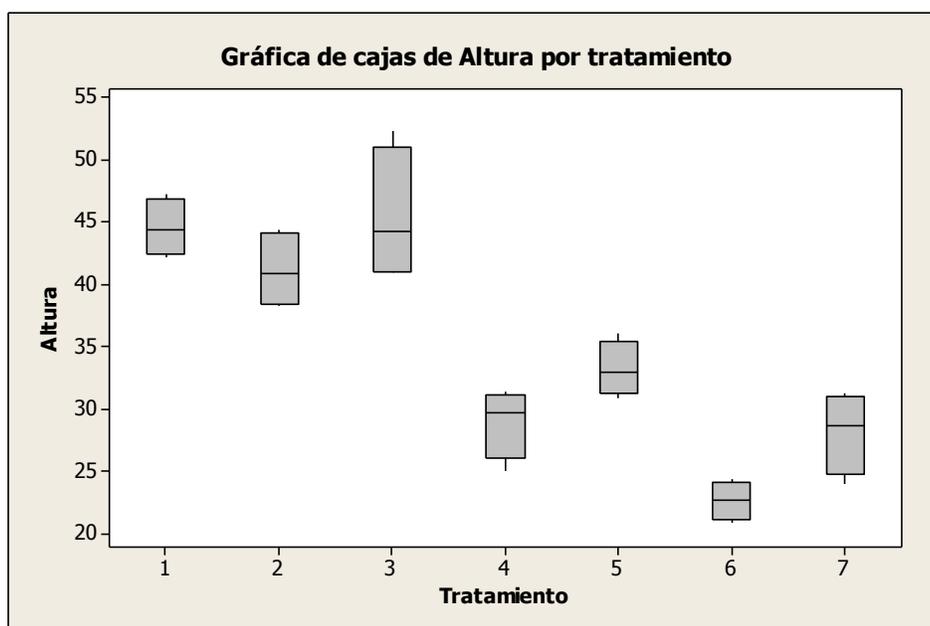
Tratamiento	Repetición	PARTE AÉREA		PARTE RADICULAR		Extr.K TOTAL (mg)	Indice Extr K
		% Potasio	Extracción Potasio (mg)	% Potasio	Extracción Potasio (mg)		
1	I	3.64	457.55	1.55	157.33	614.87	240
	II	3.64	463.74	1.55	158.88	622.61	
	III	3.68	437.55	1.73	123.87	561.42	
	IV	3.68	380.14	1.73	108.82	488.96	
	Prom	3.66	434.75	1.64	137.22	571.97	
2	I	2.48	275.78	1.65	114.68	390.45	164
	II	2.48	238.08	1.65	107.91	345.99	
	III	4.26	331.85	1.16	60.67	392.52	
	IV	4.26	356.56	1.16	75.52	432.08	
	Prom	3.37	300.57	1.41	89.69	390.26	
3	I	2.07	257.92	1.46	126.58	384.50	194
	II	2.07	178.23	1.46	75.19	253.42	
	III	4.07	526.66	1.39	138.03	664.69	
	IV	4.07	443.63	1.39	107.31	550.94	
	Prom	3.07	351.61	1.43	111.78	463.39	
4	I	2.52	96.59	1.41	43.15	139.74	92
	II	2.52	126.76	1.41	60.91	187.67	
	III	4.33	275.82	1.26	67.28	343.11	
	IV	4.33	164.11	1.26	43.85	207.96	
	Prom	3.43	165.82	1.34	53.80	219.62	
5	I	3.96	224.93	1.41	56.26	281.19	131
	II	3.96	186.52	1.41	42.16	228.68	
	III	4.00	256.00	2.35	102.70	358.70	
	IV	4.00	261.60	2.35	121.26	382.86	
	Prom	3.98	232.26	1.88	80.59	312.85	
6	I	3.85	86.24	1.47	38.07	124.31	59
	II	3.85	105.88	1.47	52.19	158.06	
	III	3.39	82.38	1.46	51.83	134.21	
	IV	3.39	97.29	1.46	48.18	145.47	
	Prom	3.62	92.95	1.47	47.57	140.51	
7	I	3.92	181.89	2.09	77.33	259.22	100
	II	3.92	139.94	2.09	74.82	214.77	
	III	3.80	133.76	1.80	66.24	200.00	
	IV	3.80	194.56	1.80	84.96	279.52	
	Prom	3.86	162.54	1.95	75.84	238.38	

Anexo B- ANALISIS DE ALTURA

B.1 ANÁLISIS DESCRIPTIVO

Estadísticas descriptivas: Altura

Variable	Tratamiento	N	Media	Desv.Est.	Mínimo	Mediana	Máximo	IQR
Altura	1	4	44,50	2,24	42,20	44,30	47,20	4,30
	2	4	41,10	3,07	38,20	40,90	44,40	5,70
	3	4	45,40	5,45	41,00	44,20	52,20	10,00
	4	4	28,95	2,78	25,00	29,70	31,40	5,05
	5	4	33,15	2,18	30,80	32,90	36,00	4,15
	6	4	22,650	1,526	20,800	22,700	24,400	2,950
	7	4	28,15	3,25	24,00	28,70	31,20	6,15



Mediante este gráfico se puede observar que existen diferencias entre las alturas medianas del maíz para los siete tratamientos en estudio. Evidenciándose que al aplicarse los fertilizantes de HCP obtenida vía proceso enzimático (3) y HCP vía cocción simple (1) se obtuvieron mayores valores en la altura (cm) del maíz y menores alturas con el testigo absoluto (6).

B.2 VERIFICACIÓN DE SUPUESTOS DEL DCA

Antes de realizar el Análisis de Varianza se verificará el supuesto de homogeneidad de variancias y el de normalidad de errores, para cada variable en estudio.

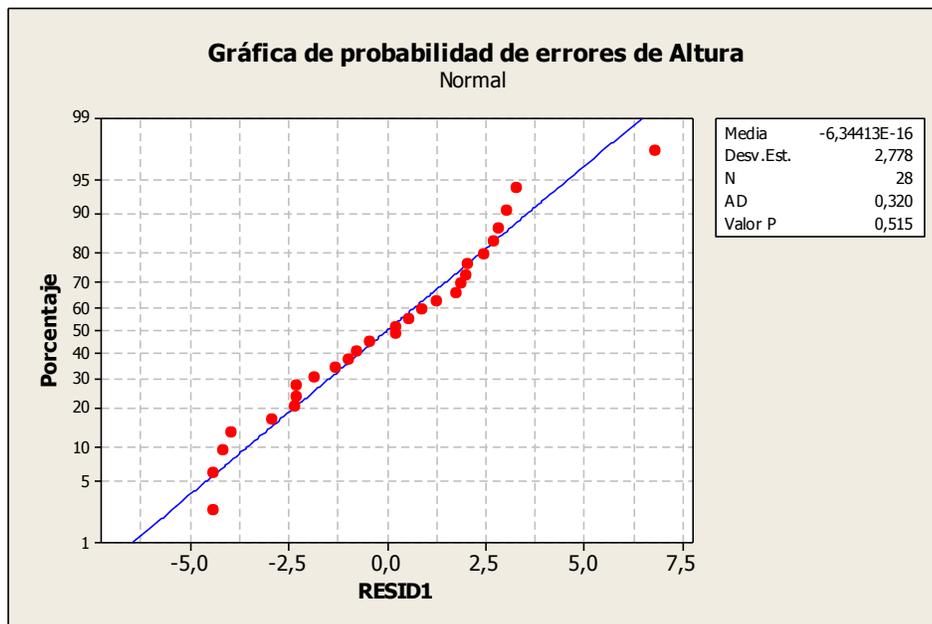
B.2.1 Normalidad de errores

Ho: Los errores se distribuyen normalmente

H1: Los errores no se distribuyen normalmente

$\alpha = 0.05$

p-valor = 0.515 > $\alpha = 0.05$ No se rechaza Ho.



Conclusión: A un nivel de significación de 0.05, no existe evidencia estadística para rechazar Ho.

Por lo tanto no se puede afirmar que los errores no se distribuyan normalmente.

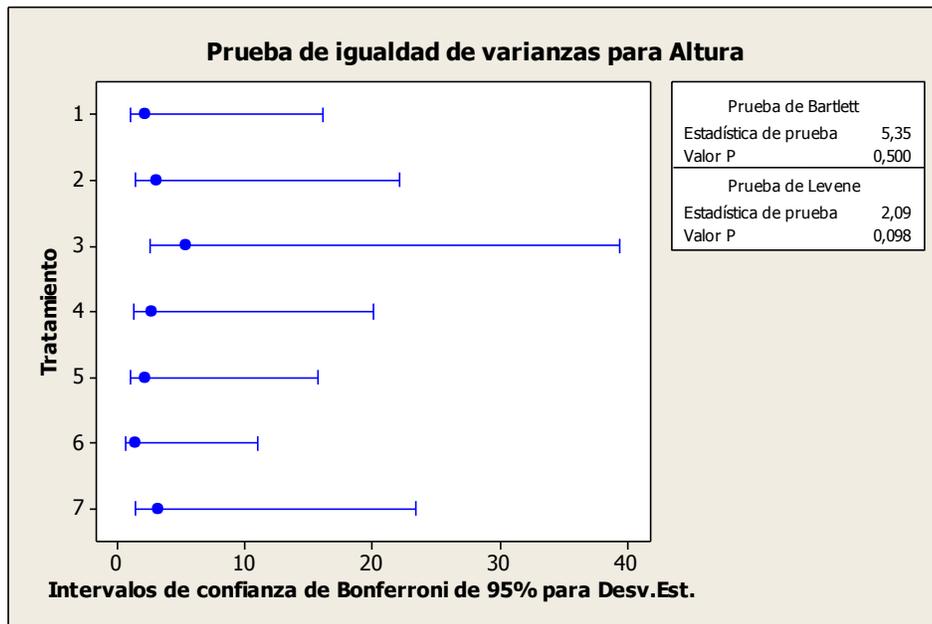
B.2.2 Homogeneidad de variancias

Ho: $\sigma_1^2 = \sigma_2^2 = \dots = \sigma_7^2$

H1: Al menos un σ_i^2 es diferente para $i = 1, 2, 3, \dots, 7$

$\alpha = 0.05$

pvalor = 0.500 > $\alpha = 0.05$. No se rechaza Ho.



Conclusión: A un nivel de significación de 0.05, no existe evidencia estadística para rechazar H_0 .

Por lo tanto no se puede afirmar que las variancias de los tratamientos sean heterogéneas. Se cumple el supuesto de homogeneidad de varianzas.

*Al cumplir con ambos requisitos, a esta variable se le aplicará el análisis de varianza y pruebas de comparación.

B.3 ANÁLISIS DE VARIANZA

Dado que se cumplen los supuestos de normalidad de errores y homogeneidad de varianzas, se procede a realizar el Análisis de Varianza y si ésta resulta significativa se desarrollarán las pruebas de comparaciones adecuadas.

Prueba de Hipótesis

$$H_0 : m_i = m \quad H_0 : t_i = 0 \quad \text{para todo } i = 1, 2, \dots, 7$$

$$H_1 : m_i \neq m \quad H_1 : t_i \neq 0 \quad \text{para al menos algún } i$$

$\alpha = 0.05$

Desarrollo de la Prueba

ANOVA unidireccional: Altura vs. Tratamiento						
Fuente	GL	SC	MC	F	P	
Tratamiento	6	1899,67	316,61	31,91	0,000	
Error	21	208,36	9,92			
Total	27	2108,03				

R-cuad. = 90,12%

$$\hat{R} = 90.12 \% .$$

Esto indica que el 90.12% de la variación de la altura (cm) es explicado por los tratamientos considerados en el estudio.

Decisión de la Prueba

Pvalor = 0.000 < α = 0.05 Se rechaza H_0

Conclusión: Existe suficiente evidencia estadística a un nivel de significación de 0.05 para rechazar H_0 . Por lo tanto se puede afirmar que al menos uno de los tratamientos o fertilizantes difiere del resto al analizar la altura media del maíz (cm).

B.4 PRUEBAS DE COMPARACIONES

Dado que las pruebas de análisis de varianza resultaron significativas, se realizan las pruebas de comparación de medias de los tratamientos del estudio.

B.4.1 PRUEBA DE COMPARACIÓN DE DUNNETT

Asumiendo que el tratamiento 6 es considerado como tratamiento testigo absoluto y que las comparaciones con dicho tratamiento fueron planeadas. Se realizó la prueba de Dunnett a un nivel de significación de 0.05

Prueba de Hipótesis

$$\begin{array}{llllll} H_0 : m_6 = m_1 & H_0 : m_6 = m_2 & H_0 : m_6 = m_3 & H_1 : m_6 = m_4 & H_1 : m_6 = m_5 & H_1 : m_6 = m_7 \\ H_1 : m_6 \neq m_1 & H_1 : m_6 \neq m_2 & H_1 : m_6 \neq m_3 & H_1 : m_6 > m_4 & H_1 : m_6 > m_5 & H_1 : m_6 > m_7 \end{array}$$

El valor de la tabla con $\alpha= 5\%$, $p=t -1= 6$ y 21 grados de libertad para el error experimental es: $t(Dn) = 2.79$. Se resumen los cálculos necesarios para efectuar las 6 comparaciones, mediante el estadístico ALS (Dn).

$$ALS(Dn) = t(Dn) \sqrt{CME \left(\frac{1}{n_i} + \frac{1}{n_j} \right)}$$

$$ALS(Dn) = 2.79 \sqrt{9.922 \left(\frac{1}{4} + \frac{1}{4} \right)}$$

$$ALS(Dn) = 6.214$$

Regla de Decisión:

La hipótesis nula se rechaza con un nivel de significación $\alpha=0.05$ si:

$$|\bar{Y}_i - \bar{Y}_6| > ALS(Dn)$$

Comparaciones múltiples

Altura
t de Dunnet (bilateral)^a

(I)Tratamiento	(J)Tratamiento	Diferencia de medias (I-J)	Error típ.	Sig.	Intervalo de confianza 95%	
					Límite inferior	Límite superior
1,00	6,00	21,8500*	2,22732	,000	15,6364	28,0636
2,00	6,00	18,4500*	2,22732	,000	12,2364	24,6636
3,00	6,00	22,7500*	2,22732	,000	16,5364	28,9636
4,00	6,00	6,3000*	2,22732	,046	,0864	12,5136
5,00	6,00	10,5000*	2,22732	,001	4,2864	16,7136
7,00	6,00	5,5000	2,22732	,096	-,7136	11,7136

Conclusión:

- A un nivel de significación de 0.05, se puede afirmar que existen diferencias significativas entre los tratamientos:

- 1-6
- 2-6
- 3-6
- 4-6
- 5-6

Al estudiar la altura promedio de maíz (cm).

B.4.2 PRUEBA DE COMPARACION DE TUKEY

Prueba de Hipótesis

$H_0: m_i - m_j = 0$ para todo $i, j = 1, 2, \dots, 7$ y $i \neq j$

$H_1: m_i - m_j \neq 0$ para al menos $i, j = 1, 2, \dots, 7$ y $i \neq j$

$\alpha = 0.05$

El valor de la tabla con $p=7$ (número de tratamientos) y 21 grados de libertad para el error experimental es $AES(T)=4.765$.

Estadístico de la Prueba:

$$ALS(T) = AES(T) \sqrt{\frac{CME}{2} \left(\frac{1}{n_i} + \frac{1}{n_j} \right)}$$

$$ALS(T) = 4.765 \sqrt{\frac{9.922}{2} \left(\frac{1}{4} + \frac{1}{4} \right)}$$

$$ALS(T) = 7.505$$

Regla de Decisión

La hipótesis nula se rechaza con un nivel de significación $\alpha=0.05$ si:

$$|\bar{Y}_i - \bar{Y}_j| > ALS(T)$$

Intervalos de confianza simultáneos de Tukey del 95%				
Todas las comparaciones de dos a dos entre los niveles de Tratamiento				
Nivel de confianza individual = 99,62%				
Tratamiento = 1 restado de:				
Tratamiento	Inferior	Centro	Superior	Significancia
2	-10,645	-3,400	3,845	0,727
3	-6,345	0,900	8,145	1,000
4	-22,795	-15,550	-8,305	0,000
5	-18,595	-11,350	-4,105	0,001
6	-29,095	-21,850	-14,605	0,000
7	-23,595	-16,350	-9,105	0,000
Tratamiento = 2 restado de:				
Tratamiento	Inferior	Centro	Superior	Significancia
3	-2,945	4,300	11,545	0,484
4	-19,395	-12,150	-4,905	0,000
5	-15,195	-7,950	-0,705	0,025
6	-25,695	-18,450	-11,205	0,000
7	-20,195	-12,950	-5,705	0,000
Tratamiento = 3 restado de:				
Tratamiento	Inferior	Centro	Superior	Significancia
4	-23,695	-16,450	-9,205	0,000
5	-19,495	-12,250	-5,005	0,000
6	-29,995	-22,750	-15,505	0,000
7	-24,495	-17,250	-10,005	0,000
Tratamiento = 4 restado de:				
Tratamiento	Inferior	Centro	Superior	Significancia
5	-3,045	4,200	11,445	0,510
6	-13,545	-6,300	0,945	0,116
7	-8,045	-0,800	6,445	1,000

Tratamiento = 5 restado de:				
Tratamiento	Inferior	Centro	Superior	Significancia
6	-17,745	-10,500	-3,255	0,002
7	-12,245	-5,000	2,245	0,315
Tratamiento = 6 restado de:				
Tratamiento	Inferior	Centro	Superior	Significancia
7	-1,745	5,500	12,745	0,220

Conclusión:

A un nivel de significación de 0.05, se puede afirmar que:

- Existen **diferencias significativas** entre los tratamientos:

1 y los tratamientos (4, 5, 6 y 7)

2 y los tratamientos (4, 5, 6 y 7)

3 y los tratamientos (4, 5, 6 y 7)

5 y el tratamiento 6.

Al estudiar la altura promedio de maíz (cm).

B.4.3 PRUEBA DE CONTRASTE ORTOGONAL

- Los fertilizantes de HCP vía cocción simple, HCP vía utilización de detergente y el HCP vía proceso enzimático son abonos obtenidos a partir fuente orgánica no convencional, los cuales se consideran como grupo 1, y el resto de fertilizantes grupo 2.
- Se desea evaluar la efectividad del abono orgánico no tradicional frente a los otros fertilizantes considerados en el experimento.
- Si se planeó comparar si la altura media del primer grupo es superior al del segundo grupo, procederemos a realizar la prueba de contrastes ortogonales a un nivel de significación de 0.05.

Estadístico de Prueba

$$t_c = \frac{L - L_0}{S_L} : t_{(GLE)}$$

Donde $L = \sum_{i=1}^t C_i \bar{Y}_i$ es el contraste estimado.

$$S_L = \sqrt{\left(CME \sum_{i=1}^t \frac{C_i^2}{r} \right)} \text{ es la desviación estándar del contraste estimado.}$$

Según lo planteado:

$$\frac{m_1 + m_2 + m_3}{3} > \frac{m_4 + m_5 + m_6 + m_7}{4}$$

$$\text{Entonces: } 4m_1 + 4m_2 + 4m_3 - 3m_4 - 3m_5 - 3m_6 - 3m_7 > 0$$

Prueba de Hipótesis

$$H_0: 4m_1 + 4m_2 + 4m_3 - 3m_4 - 3m_5 - 3m_6 - 3m_7 = 0$$

$$H_1: 4m_1 + 4m_2 + 4m_3 - 3m_4 - 3m_5 - 3m_6 - 3m_7 > 0$$

$$\alpha = 0.05$$

Estadístico de Prueba

$$\text{Donde: } L = \sum_{i=1}^t C_i \bar{Y}_i = 185.3$$

$$S_L = \sqrt{\left(CME \sum_{i=1}^t \frac{C_i^2}{r} \right)} = 14.435$$

$$\text{Entonces: } t_c = \frac{L - L_0}{S_L} = 12.837 : t_{(0.95, 21)} = 1.721$$

Decisión de la Prueba

$$t_c = 12.837 > 1.721$$

Pvalor=0.000 < $\alpha=0.05$, se rechaza H_0

Conclusión

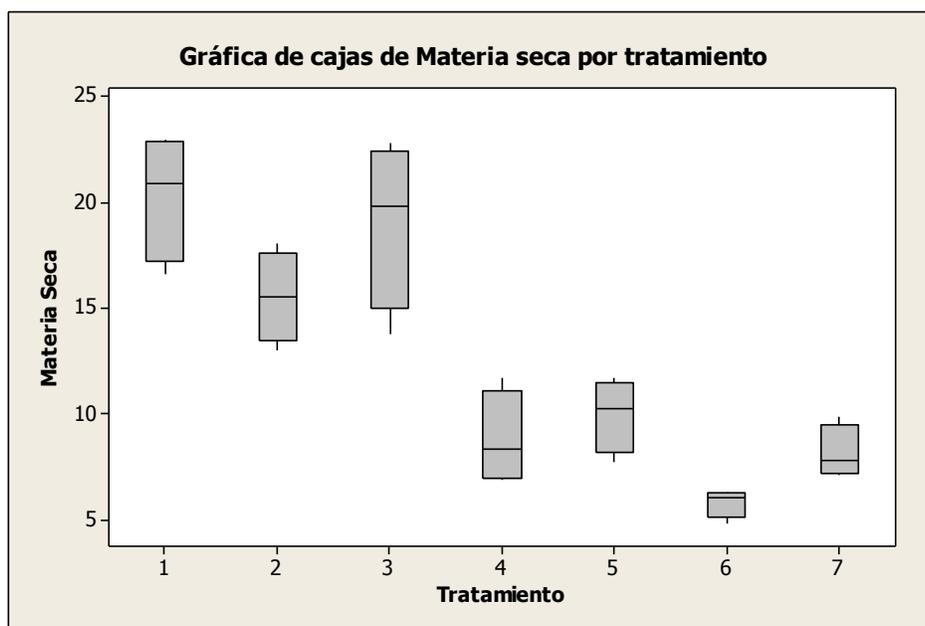
A un nivel de significación de 0.05 podemos afirmar que la altura media (cm) del fertilizante orgánico no convencional (grupo 1) es superior a la altura media (cm) de los otros fertilizantes considerados (grupo 2).

Anexo C- ANALISIS DE MATERIA SECA

C.1 ANALISIS DESCRIPTIVO

Estadísticas descriptivas: Materia Seca

Variable	Tratamiento	N	Media	Desv.Est.	Mínimo	Mediana	Máximo	IQR
Materia	1	4	20,34	3,07	16,62	20,88	22,99	5,70
Seca	2	4	15,53	2,12	13,02	15,51	18,07	4,10
	3	4	19,09	3,96	13,76	19,88	22,87	7,46
	4	4	8,80	2,22	6,89	8,31	11,71	4,14
	5	4	9,960	1,720	7,700	10,220	11,700	3,275
	6	4	5,820	0,673	4,830	6,075	6,300	1,150
	7	4	8,133	1,264	7,150	7,770	9,840	2,302



Se puede observar que existen diferencias entre la mediana de la materia seca total del maíz en los siete tratamientos en estudio. Evidenciándose que al aplicarse los fertilizantes de HCP obtenida vía cocción simple (1) y HCP obtenida vía proceso enzimático (3) se obtuvieron mayores valores en la materia seca total (g/maceta) y menores con el testigo absoluto (6).

C.2 VERIFICACIÓN DE SUPUESTOS DEL DCA

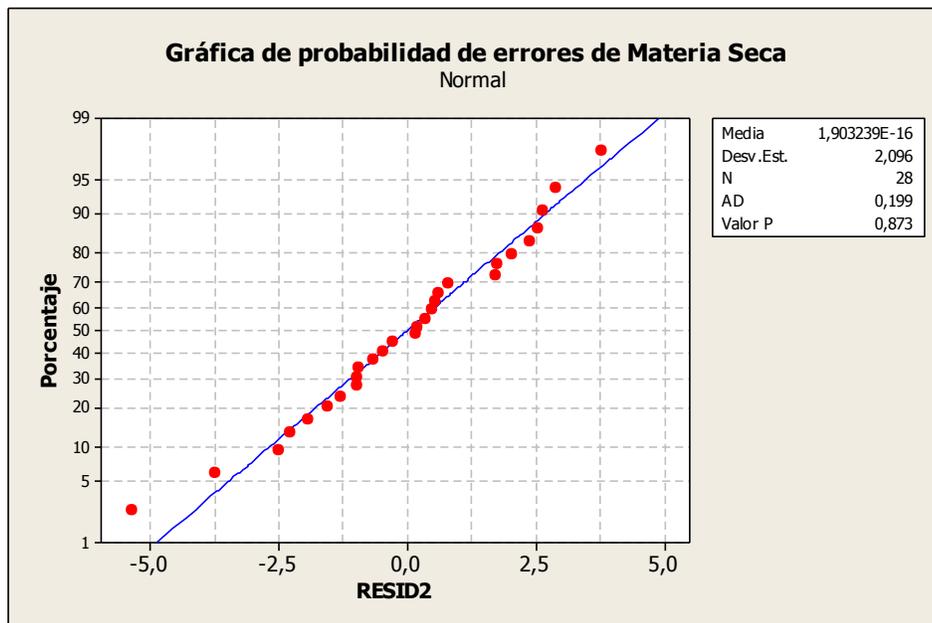
C.2.1 Normalidad de errores

Ho: Los errores se distribuyen normalmente

H1: Los errores no se distribuyen normalmente

$\alpha = 0.05$

p-valor = 0.873 > $\alpha = 0.05$. No se rechaza Ho.



Conclusión: A un nivel de significación de 0.05, no existe evidencia estadística para rechazar Ho.

Por lo tanto no se puede afirmar que los errores no se distribuyan normalmente.

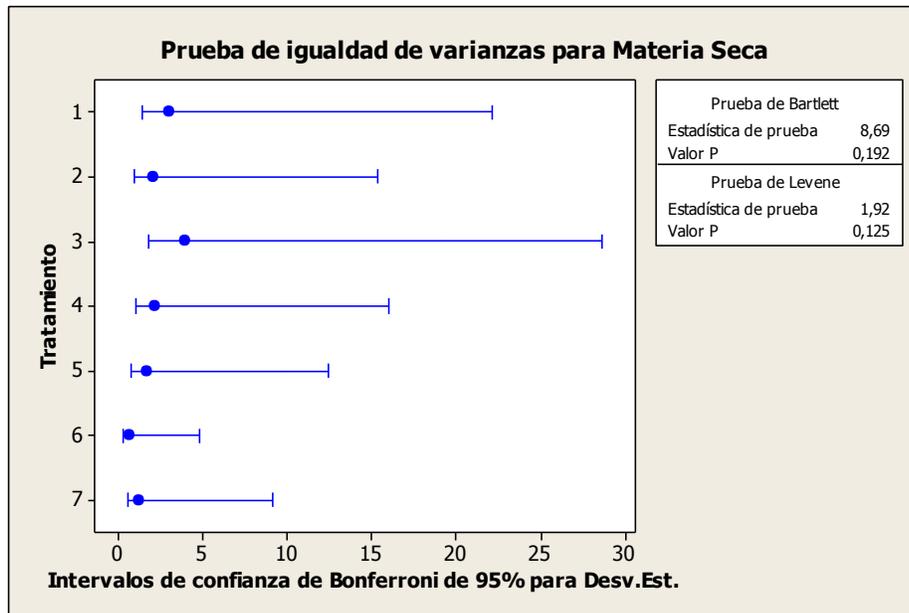
C.2.2 Homogeneidad de varianzas

Ho: $\sigma_1^2 = \sigma_2^2 = \dots = \sigma_7^2$

H1: Al menos un σ_i^2 es diferente para $i = 1, 2, 3, \dots, 7$

$\alpha = 0.05$

pvalor = 0.192 > $\alpha = 0.05$. No se rechaza Ho.



Conclusión: A un nivel de significación de 0.05, no existe evidencia estadística para rechazar H_0 . Por lo tanto no se puede afirmar que las variancias de los tratamientos sean heterogéneas. Se cumple el supuesto de homogeneidad de varianzas.

*Al cumplir con ambos requisitos, a esta variable se le aplicará el análisis de varianza y pruebas de comparación.

C.3 ANÁLISIS DE VARIANZA

Prueba de Hipótesis

$$H_0 : m_i = m \quad H_0 : t_i = 0 \quad \text{para todo } i = 1, 2, \dots, 7$$

$$H_1 : m_i \neq m \quad H_1 : t_i \neq 0 \quad \text{para al menos algún } i$$

$$\alpha = 0.05$$

Desarrollo de la Prueba

ANOVA unidireccional: Materia Seca vs. Tratamiento					
Fuente	GL	SC	MC	F	P
Tratamiento	6	791,98	132,00	23,37	0,000
Error	21	118,59	5,65		
Total	27	910,57			
R-cuad. = 86,98%					

$$\hat{R} = 86.88 \% .$$

Esto indica que el 86.98% de la variación de la materia seca total (g/maceta) es explicado por los tratamientos considerados en el estudio.

Decisión de la Prueba

Pvalor = 0.000 < $\alpha = 0.05$ Se rechaza H_0

Conclusión: Existe suficiente evidencia estadística a un nivel de significación de 0.05 para rechazar H_0 . Por lo tanto se puede afirmar que al menos uno de los tratamientos o fertilizantes difiere del resto al analizar la materia seca total media (g/maceta).

C.4 PRUEBAS DE COMPARACIONES

C.4.1 PRUEBA DE COMPARACIÓN DE DUNNETT

Prueba de Hipótesis

$$\begin{array}{cccccc}
 H_0 : m_6 = m_1 & H_0 : m_6 = m_2 & H_0 : m_6 = m_3 & H_1 : m_6 = m_4 & H_1 : m_6 = m_5 & H_1 : m_6 = m_7 \\
 H_1 : m_6 \neq m_1 & H_1 : m_6 \neq m_2 & H_1 : m_6 \neq m_3 & H_1 : m_6 \neq m_4 & H_1 : m_6 \neq m_5 & H_1 : m_6 \neq m_7
 \end{array}$$

$$\begin{aligned}
 ALS(Dn) &= t(Dn) \sqrt{CME \left(\frac{1}{n_i} + \frac{1}{n_j} \right)} \\
 ALS(Dn) &= 2.79 \sqrt{5.648 \left(\frac{1}{4} + \frac{1}{4} \right)} \\
 ALS(Dn) &= 4.689
 \end{aligned}$$

Regla de Decisión

La hipótesis nula se rechaza con un nivel de significación $\alpha = 0.05$ si:

$$|\bar{Y}_i - \bar{Y}_6| > ALS(Dn)$$

Comparaciones múltiples

MatSeca
t de Dunnet (bilateral)^a

(I)Tratamiento	(J)Tratamiento	Diferencia de medias (I-J)	Error típ.	Sig.	Intervalo de confianza 95%	
					Límite inferior	Límite superior
1,00	6,00	14,5250*	1,68044	,000	9,8371	19,2129
2,00	6,00	9,7075*	1,68044	,000	5,0196	14,3954
3,00	6,00	13,2750*	1,68044	,000	8,5871	17,9629
4,00	6,00	2,9850	1,68044	,327	-1,7029	7,6729
5,00	6,00	4,1400	1,68044	,097	-,5479	8,8279
7,00	6,00	2,3125	1,68044	,569	-2,3754	7,0004

Conclusión:

- A un nivel de significación de 0.05, se puede afirmar que existen diferencias significativas entre los tratamientos:

1-6

2-6

3-6

Al analizar la materia seca total media (g/maceta) del maíz.

C.4.2 PRUEBA DE COMPARACIÓN DE TUKEY

Prueba de Hipótesis

$H_0: m_i - m_j = 0$ para todo $i, j = 1, 2, \dots, 7$ y $i \neq j$

$H_1: m_i - m_j \neq 0$ para al menos $i, j = 1, 2, \dots, 7$ y $i \neq j$

$\alpha = 0.05$

Estadístico de la Prueba:

$$ALS(T) = AES(T) \sqrt{\frac{CME}{2} \left(\frac{1}{n_i} + \frac{1}{n_j} \right)}$$

$$ALS(T) = 4.765 \sqrt{\frac{5.648}{2} \left(\frac{1}{4} + \frac{1}{4} \right)}$$

$$ALS(T) = 5.662$$

Regla de Decisión

La hipótesis nula se rechaza con un nivel de significación $\alpha=0.05$ si:

$$|\bar{Y}_i - \bar{Y}_j| > ALS(T)$$

Intervalos de confianza simultáneos de Tukey del 95%				
Todas las comparaciones de dos a dos entre los niveles de Tratamiento				
Nivel de confianza individual = 99,62%				
Tratamiento = 1 restado de:				
Tratamiento	Inferior	Centro	Superior	Significancia
2	-10,283	-4,817	0,648	0,108
3	-6,716	-1,250	4,216	0,988
4	-17,005	-11,539	-6,074	0,000
5	-15,851	-10,385	-4,919	0,000
6	-19,991	-14,525	-9,059	0,000
7	-17,678	-12,212	-6,747	0,000
Tratamiento = 2 restado de:				
Tratamiento	Inferior	Centro	Superior	Significancia
3	-1,898	3,567	9,033	0,376
4	-12,187	-6,722	-1,256	0,010
5	-11,033	-5,567	-0,102	0,044
6	-15,173	-9,707	-4,242	0,000
7	-12,861	-7,395	-1,929	0,004
Tratamiento = 3 restado de:				
Tratamiento	Inferior	Centro	Superior	Significancia
4	-15,755	-10,289	-4,824	0,000
5	-14,601	-9,135	-3,669	0,000
6	-18,741	-13,275	-7,809	0,000
7	-16,428	-10,962	-5,497	0,000
Tratamiento = 4 restado de:				
Tratamiento	Inferior	Centro	Superior	Significancia
5	-4,311	1,154	6,620	0,992
6	-8,451	-2,986	2,480	0,577
7	-6,139	-0,673	4,792	1,000
Tratamiento = 5 restado de:				
Tratamiento	Inferior	Centro	Superior	Significancia
6	-9,606	-4,140	1,326	0,222
7	-7,293	-1,828	3,638	0,925
Tratamiento = 6 restado de:				
Tratamiento	Inferior	Centro	Superior	Significancia
7	-3,153	2,313	7,778	0,808

Conclusión:

A un nivel de significación de 0.05, se puede afirmar que:

- Existen **diferencias significativas** entre los tratamientos:

1 y los tratamientos (4, 5, 6 y 7)

2 y los tratamientos (4, 5, 6 y 7)

3 y los tratamientos (4, 5, 6 y 7)

Al analizar la materia seca total media (g/maceta) del maíz.

C.4.3 PRUEBA DE CONTRASTE ORTOGONAL

- Los fertilizantes de HCP vía cocción simple, HCP vía utilización de detergente y el HCP vía proceso enzimático son abonos obtenidos a partir fuente orgánica no convencional, los cuales se consideran como grupo 1, y el resto de fertilizantes grupo 2.
- Se desea evaluar la efectividad del abono orgánico no tradicional frente a los otros fertilizantes considerados en el experimento.
- Si se planeó comparar si el peso seco total medio del primer grupo es superior al del segundo grupo, procederemos a realizar la prueba de contrastes ortogonales a un nivel de significación de 0.05.

Estadístico de Prueba

$$t_c = \frac{L - L_0}{S_L} : t_{(GLE)}$$

Donde $L = \sum_{i=1}^t C_i \bar{Y}_i$ es el contraste estimado.

$$S_L = \sqrt{(CME \sum_{i=1}^t \frac{C_i^2}{r})}$$
 es la desviación estándar del contraste estimado.

Según lo planteado:

$$\frac{m_1 + m_2 + m_3}{3} > \frac{m_4 + m_5 + m_6 + m_7}{4}$$

$$\text{Entonces: } 4m_1 + 4m_2 + 4m_3 - 3m_4 - 3m_5 - 3m_6 - 3m_7 > 0$$

Prueba de Hipótesis

$$H_0: 4m_1 + 4m_2 + 4m_3 - 3m_4 - 3m_5 - 3m_6 - 3m_7 = 0$$

$$H_1: 4m_1 + 4m_2 + 4m_3 - 3m_4 - 3m_5 - 3m_6 - 3m_7 > 0$$

$$\alpha = 0.05$$

Estadístico de Prueba

$$\text{Donde: } L = \sum_{i=1}^t C_i \bar{Y}_i = 121.701$$

$$S_L = \sqrt{\left(CME \sum_{i=1}^t \frac{C_i^2}{r} \right)} = 10.891$$

$$\text{Entonces: } t_c = \frac{L - L_0}{S_L} = 11.174 : t_{(0.95, 21)} = 1.721$$

Decisión de la Prueba

$$t_c = 11.174 > 1.721$$

Pvalor=0.000 < $\alpha=0.05$, se rechaza H_0

Conclusión

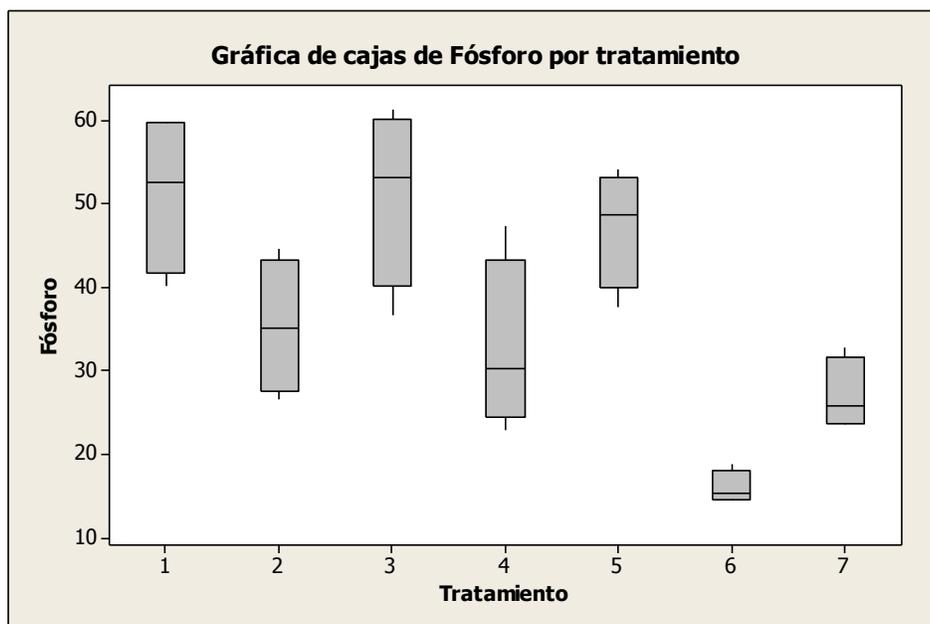
A un nivel de significación de 0.05 podemos afirmar que la materia seca total media (g/maceta) del fertilizante orgánico no tradicional (grupo 1) es superior a la materia seca total media de los otros fertilizantes considerados (grupo 2).

Anexo D-ANÁLISIS DE FOSFORO

D.1 ANÁLISIS DESCRIPTIVO

Estadísticas descriptivas: Fósforo

Variable	Tratamiento	N	Media	Desv.Est.	Mínimo	Mediana	Máximo	IQR
Fósforo	1	4	51,25	9,78	40,11	52,54	59,80	18,06
	2	4	35,29	8,24	26,56	35,06	44,48	15,76
	3	4	51,08	10,66	36,64	53,16	61,36	20,05
	4	4	32,63	10,42	22,90	30,12	47,36	18,79
	5	4	47,30	7,07	37,60	48,73	54,13	13,19
	6	4	15,940	1,931	14,420	15,300	18,740	3,405
	7	4	27,00	4,38	23,59	25,81	32,79	7,99



Se observa que existen diferencias entre la extracción de fósforo total mediano del maíz de los siete tratamientos en estudio. Evidenciándose que al aplicarse los fertilizantes de HCP obtenida vía cocción simple (1) y HCP obtenida vía proceso enzimático (3) se obtuvieron mayores cantidades de extracción de fósforo (mg) y menores con el testigo absoluto (6) y testigo sin nitrógeno (7).

D.2 VERIFICACION DE SUPUESTOS DEL DCA

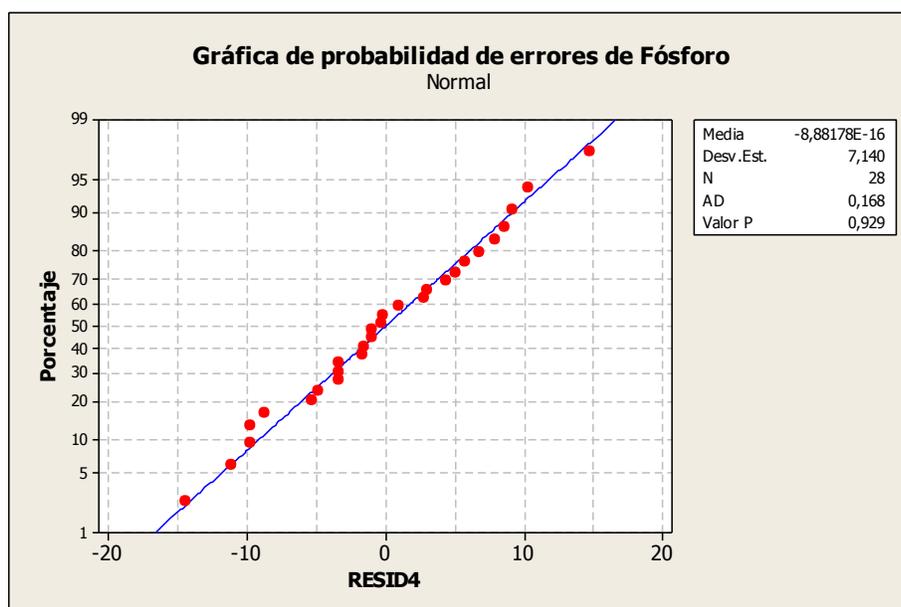
D.2.1 Normalidad de errores

Ho: Los errores se distribuyen normalmente

H1: Los errores no se distribuyen normalmente

$\alpha = 0.05$

p-valor = 0.929 > $\alpha = 0.05$ No se rechaza Ho.



Conclusión: A un nivel de significación de 0.05, no existe evidencia estadística para rechazar Ho. Por lo tanto no se puede afirmar que los errores no se distribuyan normalmente.

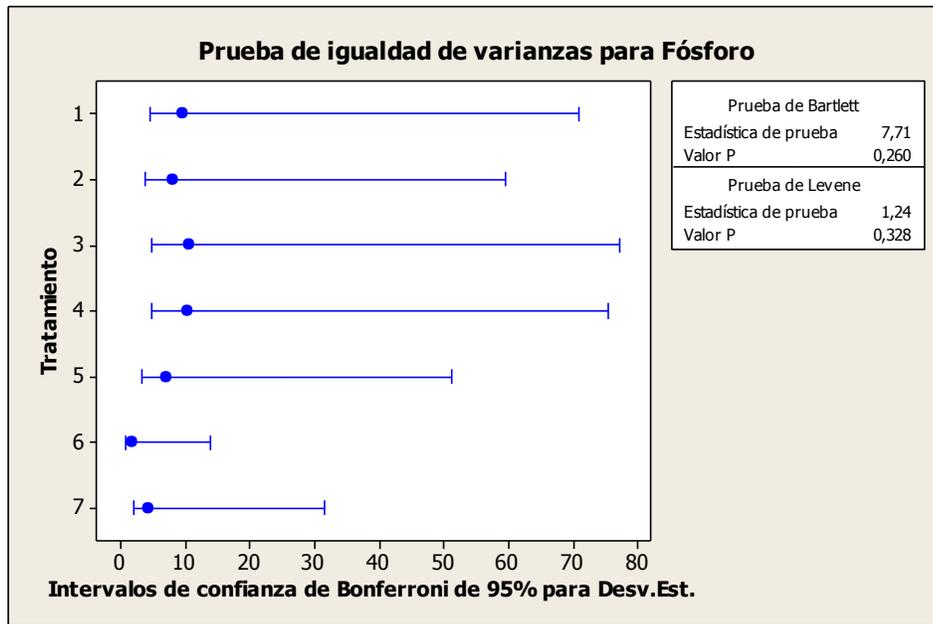
D.2.2 Homogeneidad de varianzas

Ho: $\sigma_1^2 = \sigma_2^2 = \dots = \sigma_7^2$

H1: Al menos un σ_i^2 es diferente para $i = 1, 2, 3, \dots, 7$

$\alpha = 0.05$

pvalor = 0.260 > $\alpha = 0.05$ No se rechaza Ho.



Conclusión: A un nivel de significación de 0.05, no existe evidencia estadística para rechazar H_0 . Por lo tanto no se puede afirmar que las variancias de los tratamientos sean heterogéneas. Se cumple el supuesto de homogeneidad de varianzas.

*Al cumplir con ambos requisitos, a esta variable se le aplicará el análisis de varianza y pruebas de comparación.

D.3 ANALISIS DE VARIANZA

Prueba de Hipótesis

$$H_0 : m_i = m \quad H_0 : t_i = 0 \quad \text{para todo } i = 1, 2, \dots, 7$$

$$H_1 : m_i \neq m \quad H_1 : t_i \neq 0 \quad \text{para al menos algún } i$$

$$\alpha = 0.05$$

Desarrollo de la Prueba

ANOVA unidireccional: Fósforo vs. Tratamiento					
Fuente	GL	SC	MC	F	P
Tratamiento	6	4291,0	715,2	10,91	0,000
Error	21	1376,3	65,5		
Total	27	5667,3			
R-cuad. = 75,72%					

$$\hat{R} = 75.72 \% .$$

Esto indica que el 75.72% de la variación de la extracción de fósforo (mg) es explicado por los tratamientos considerados en el estudio.

Decisión de la Prueba

Pvalor = 0.000 < $\alpha = 0.05$ Se rechaza H_0

Conclusión: Existe suficiente evidencia estadística a un nivel de significación de 0.05 para rechazar H_0 . Por lo tanto se puede afirmar que al menos uno de los tratamientos o fertilizantes difiere del resto al analizar la cantidad de extracción del fósforo media (mg).

D.4 PRUEBAS DE COMPARACION

D.4.1 PRUEBA DE COMPARACIÓN DE DUNNETT

Prueba de Hipótesis

$$\begin{array}{llllll} H_0 : m_6 = m_1 & H_0 : m_6 = m_2 & H_0 : m_6 = m_3 & H_1 : m_6 = m_4 & H_1 : m_6 = m_5 & H_1 : m_6 = m_7 \\ H_1 : m_6 \neq m_1 & H_1 : m_6 \neq m_2 & H_1 : m_6 \neq m_3 & H_1 : m_6 = m_4 & H_1 : m_6 = m_5 & H_1 : m_6 = m_7 \end{array}$$

$$ALS(Dn) = t(Dn) \sqrt{CME \left(\frac{1}{n_i} + \frac{1}{n_j} \right)}$$

$$ALS(Dn) = 2.79 \sqrt{65.547 \left(\frac{1}{4} + \frac{1}{4} \right)}$$

$$ALS(Dn) = 15.972$$

Regla de Decisión

La hipótesis nula se rechaza con un nivel de significación $\alpha = 0.05$ si:

$$|\bar{Y}_i - \bar{Y}_6| > ALS(Dn)$$

Comparaciones múltiples

Fósforo
t de Dunnet (bilateral)^a

(I)Tratamiento	(J)Tratamiento	Diferencia de medias (I-J)	Error típ.	Sig.	Intervalo de confianza 95%	
					Límite inferior	Límite superior
1,00	6,00	35,3075*	5,72483	,000	19,3368	51,2782
2,00	6,00	19,3475*	5,72483	,014	3,3768	35,3182
3,00	6,00	35,1400*	5,72483	,000	19,1693	51,1107
4,00	6,00	16,6850*	5,72483	,038	,7143	32,6557
5,00	6,00	31,3600*	5,72483	,000	15,3893	47,3307
7,00	6,00	11,0600	5,72483	,255	-4,9107	27,0307

Conclusión:

- A un nivel de significación de 0.05, se puede afirmar que existen diferencias significativas entre los tratamientos:

1-6

2-6

3-6

4-6

5-6

Al analizar la extracción del fósforo media (mg) del maíz.

D.4.2 PRUEBA DE COMPARACION DE TUKEY

Prueba de Hipótesis

$H_0: m_i - m_j = 0$ para todo $i, j = 1, 2, \dots, 7$ y $i \neq j$

$H_1: m_i - m_j \neq 0$ para al menos $i, j = 1, 2, \dots, 7$ y $i \neq j$

$\alpha = 0.05$

Estadístico de la Prueba:

$$ALS(T) = AES(T) \sqrt{\frac{CME}{2} \left(\frac{1}{n_i} + \frac{1}{n_j} \right)}$$

$$ALS(T) = 4.765 \sqrt{\frac{65.547}{2} \left(\frac{1}{4} + \frac{1}{4} \right)}$$

$$ALS(T) = 19.289$$

Regla de Decisión

La hipótesis nula se rechaza con un nivel de significación $\alpha=0.05$ si:

$$|\bar{Y}_i - \bar{Y}_j| > ALS(T)$$

Intervalos de confianza simultáneos de Tukey del 95%				
Todas las comparaciones de dos a dos entre los niveles de Tratamiento				
Nivel de confianza individual = 99,62%				
Tratamiento = 1 restado de:				
Tratamiento	Inferior	Centro	Superior	Significancia
2	-34,582	-15,962	2,658	0,125
3	-18,790	-0,170	18,450	1,000
4	-37,247	-18,627	-0,008	0,500
5	-22,567	-3,947	14,673	0,992
6	-53,931	-35,311	-16,691	0,000
7	-42,868	-24,248	-5,628	0,006
Tratamiento = 2 restado de:				
Tratamiento	Inferior	Centro	Superior	Significancia
3	-2,828	15,792	34,412	0,132
4	-21,285	-2,665	15,954	0,999
5	-6,605	12,015	30,635	0,389
6	-37,969	-19,349	-0,729	0,038
7	-26,906	-8,286	10,334	0,771
Tratamiento = 3 restado de:				
Tratamiento	Inferior	Centro	Superior	Significancia
4	-37,077	-18,457	0,163	0,053
5	-22,396	-3,776	14,843	0,993
6	-53,760	-35,141	-16,521	0,000
7	-42,698	-24,078	-5,458	0,006
Tratamiento = 4 restado de:				
Tratamiento	Inferior	Centro	Superior	Significancia
5	-3,939	14,681	33,300	0,188
6	-35,303	-16,683	1,936	0,098
7	-24,240	-5,621	12,999	0,952
Tratamiento = 5 restado de:				
Tratamiento	Inferior	Centro	Superior	Significancia
6	-49,984	-31,364	-12,744	0,000
7	-38,921	-20,301	-1,681	0,027
Tratamiento = 6 restado de:				
Tratamiento	Inferior	Centro	Superior	Significancia
7	-7,557	11,063	29,683	0,483

Conclusiones:

A un nivel de significación de 0.05, se puede afirmar que:

- Existen **diferencias significativas** entre los tratamientos:

1 y los tratamientos (6 y 7)

2 y el tratamiento 6

3 y los tratamientos (6 y 7)

5 y los tratamientos (6 y 7)

Al analizar la extracción del fósforo media (mg) del maíz.

D.4.3 COMPARACION ORTOGONAL

- Los fertilizantes de HCP vía cocción simple, HCP vía utilización de detergente y el HCP vía proceso enzimático son abonos obtenidos a partir fuente orgánica no convencional, los cuales se consideran como grupo 1, y el resto de fertilizantes grupo 2.
- Se desea evaluar la efectividad del abono orgánico no tradicional frente a los otros fertilizantes considerados en el experimento.
- Si se planeó comparar si la extracción total medio de fósforo del primer grupo es superior al del segundo grupo, procederemos a realizar la prueba de contrastes ortogonales a un nivel de significación de 0.05.

Estadístico de Prueba

$$t_c = \frac{L - L_0}{S_L} : t_{(GLE)}$$

Donde $L = \sum_{i=1}^t C_i \bar{Y}_i$ es el contraste estimado.

$$S_L = \sqrt{\left(CME \sum_{i=1}^t \frac{C_i^2}{r} \right)}$$
 es la desviación estándar del contraste estimado.

Según lo planteado:

$$\frac{m_1 + m_2 + m_3}{3} > \frac{m_4 + m_5 + m_6 + m_7}{4}$$

$$\text{Entonces: } 4m_1 + 4m_2 + 4m_3 - 3m_4 - 3m_5 - 3m_6 - 3m_7 > 0$$

Prueba de Hipótesis

$$H_0: 4m_1 + 4m_2 + 4m_3 - 3m_4 - 3m_5 - 3m_6 - 3m_7 = 0$$

$$H_1: 4m_1 + 4m_2 + 4m_3 - 3m_4 - 3m_5 - 3m_6 - 3m_7 > 0$$

$$\alpha = 0.05$$

Estadístico de Prueba

$$\text{Donde: } L = \sum_{i=1}^t C_i \bar{Y}_i = 181.87$$

$$S_L = \sqrt{\left(CME \sum_{i=1}^t \frac{C_i^2}{r} \right)} = 37.101$$

$$\text{Entonces: } t_c = \frac{L - L_0}{S_L} = 4.902 : t_{(0.95, 21)} = 1.721$$

Decisión de la Prueba

$$t_c = 4.902 > 1.721$$

Pvalor=0.000 < $\alpha=0.05$, se rechaza H_0

Conclusión

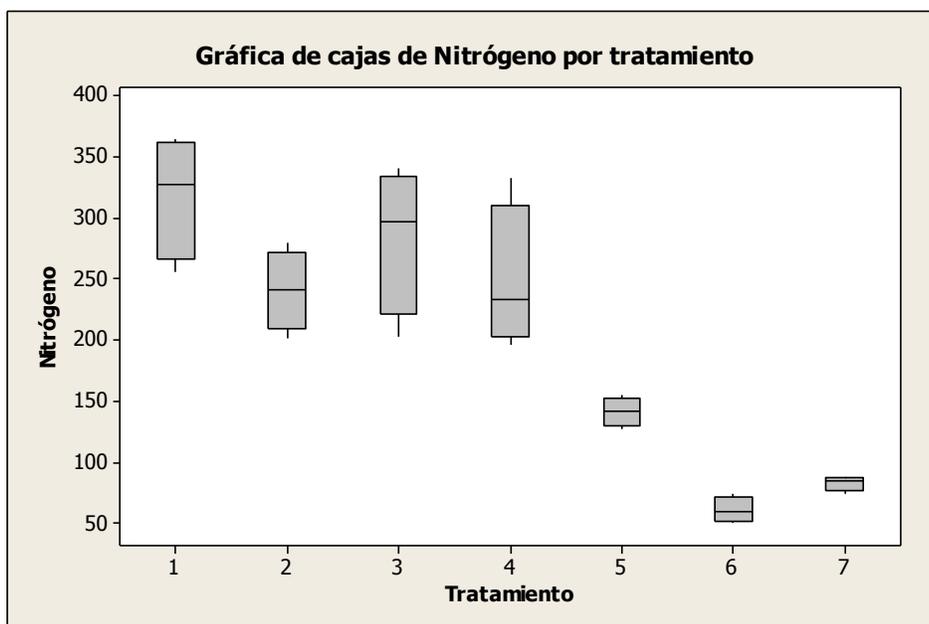
A un nivel de significación de 0.05 podemos afirmar que la extracción de fósforo media (mg) del fertilizante orgánico no convencional (grupo 1) es superior a la extracción de fósforo media de los otros fertilizantes considerados (grupo 2).

Anexo E-ANÁLISIS DE NITRÓGENO

E.1 ANÁLISIS DESCRIPTIVO

Estadísticas descriptivas: Nitrógeno

Variable	Tratamiento	N	Media	Desv.Est.	Mínimo	Mediana	Máximo	IQR
Nitrógeno	1	4	319,1	51,5	256,5	327,6	364,6	96,2
	2	4	241,1	32,4	202,1	240,9	280,4	62,1
	3	4	284,5	60,2	202,4	297,2	341,3	112,8
	4	4	249,3	59,1	195,8	234,1	333,2	106,9
	5	4	141,35	11,62	127,10	141,60	155,10	22,25
	6	4	60,58	10,33	50,30	58,90	74,20	19,63
	7	4	82,70	6,08	74,10	84,45	87,80	11,05



Se observa que existen diferencias entre la extracción de nitrógeno total mediano del maíz de los siete tratamientos en estudio. Evidenciándose que al aplicarse el fertilizante de HCP obtenida vía cocción simple (1) se obtuvieron mayores cantidades de extracción de nitrógeno (mg) y menores con el testigo absoluto (6) y testigo sin nitrógeno (7).

E.2 VERIFICACION DE SUPUESTOS DEL DCA.

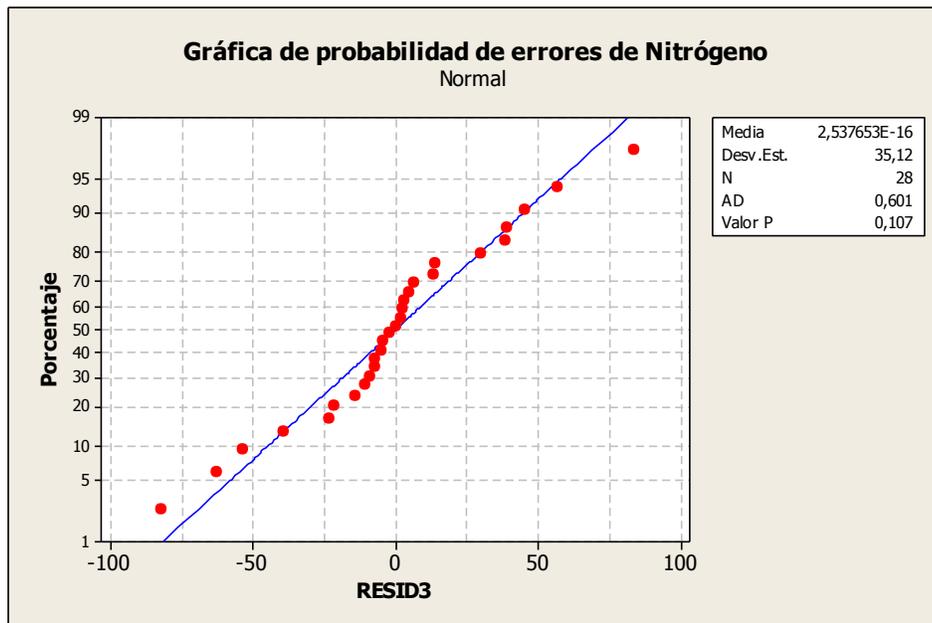
E.2.1. Normalidad de errores

Ho: Los errores se distribuyen normalmente

H1: Los errores no se distribuyen normalmente

$\alpha = 0.05$

p-valor = 0.107 > $\alpha = 0.05$. No se rechaza Ho.



Conclusión: A un nivel de significación de 0.05, no existe evidencia estadística para rechazar Ho.

Por lo tanto no se puede afirmar que los errores no se distribuyan normalmente.

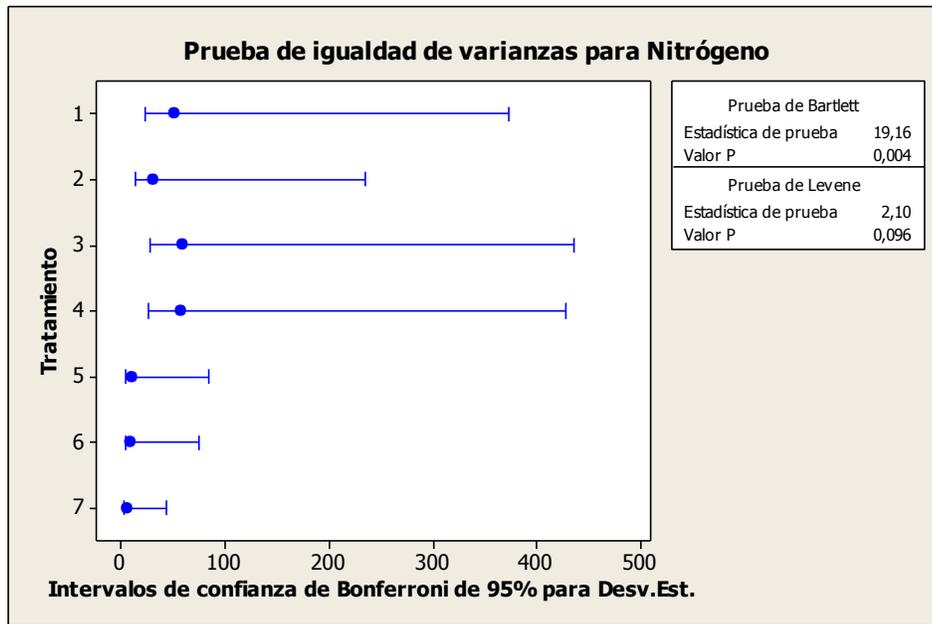
E.2.2. Homogeneidad de varianzas

Ho: $\sigma_1^2 = \sigma_2^2 = \dots = \sigma_7^2$

H1: Al menos un σ_i^2 es diferente para $i = 1, 2, \dots, 7$

$\alpha = 0.05$

pvalor = 0.004 < $\alpha = 0.05$ Se rechaza Ho.



Conclusión: A un nivel de significación de 0.05, existe evidencia estadística para rechazar H_0 . Por lo tanto se puede afirmar que las variancias de los tratamientos **son heterogéneas**.

*No se cumple el supuesto de homogeneidad de varianzas, por ende a extracción de nitrógeno no se aplicará el análisis de varianza.

E.3 PRUEBA DE KRUSKAL - WALLIS

Se procede a realizar la prueba de Kruskal-Wallis, ya que es la prueba no paramétrica alternativa del DCA, en el caso que no se cumplan los supuestos de normalidad de errores y homogeneidad de varianzas, como sucede con esta variable.

Se asignan rangos a las observaciones de cada uno de los “t” tratamientos, se suman por separado para obtener las “t” sumas de rangos

$$R_i = \sum_{j=1}^{n_j} R(X_{ij})$$

Estadístico de Prueba:

$$H = \frac{1}{S^2} \sum_{i=1}^t \frac{R_i^2}{n_i} - \frac{n(n+1)^2}{4} X_{(1-a, t-1)}^2$$

Donde:

$$S^2 = \frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^t \sum_{j=1}^{n_j} R^2(X_{ij}) - \frac{n(n+1)^2}{4}$$

Donde:

n : Tamaño total de la muestra

R_j : Suma de los rangos de la j -ésima muestra o grupo de tratamiento.

n_j : Número de observaciones del j -ésimo tratamiento.

t : Número de tratamientos.

Prueba de Hipótesis

$$H_0 : Me_1 = Me_2 = \dots = Me_7$$

H_1 : Al menos un Me_i es diferente a los demás $i = 1, 2, \dots, 7$

$$a = 0.05$$

Decisión de la prueba

$$H : X_{(1-a, t-1)}^2$$

$H > X_{(1-a, t-1)}^2$ Se rechaza la H_0

Prueba de Kruskal-Wallis: Nitrógeno vs. Trat				
Prueba de Kruskal-Wallis en Nitrógeno				
Trat	N	Mediana	Clasificación del promedio	Z
1	4	327.60	24.5	2.63
2	4	240.95	18.0	0.92
3	4	297.20	21.5	1.84
4	4	234.10	18.0	0.92
5	4	141.60	10.5	-1.05
6	4	58.90	2.8	-3.09
7	4	84.45	6.3	-2.17
General	28		14.5	

$$H = 23.39 \quad GL = 6 \quad P = 0.001$$

De acuerdo a los datos se obtienen los valores de:

$$H = 23.29, S^2 = 67.66$$

$$H = 23.29 > X^2_{(0.95,6)} = 12.6$$

Pvalor=0.001 < $\alpha=0.05$, se rechaza H_0

Conclusión:

A un nivel de significación de 0.05, existe suficiente evidencia estadística para afirmar que el nivel mediano de extracción de nitrógeno (mg) no es el mismo en al menos uno de los tratamientos aplicados.

E.3.1. Prueba de Comparaciones Múltiples de Kruskal – Wallis

Como los niveles medianos de nitrógeno no son los mismos en al menos un tratamiento o fertilizante, se procederá a realizar la prueba de comparación para determinar si existe diferencia entre los fertilizantes i y j a un nivel de significación α .

Estadístico de Prueba:

$$ALS(K - W) = t_{(1 - \frac{\alpha}{2})} \sqrt{\frac{S^2(n-1-H)}{n-t} \left(\frac{1}{n_i} + \frac{1}{n_j} \right)}$$

Así si, $\left| \frac{R_i}{n_i} - \frac{R_j}{n_j} \right| > ALS(K - W)$

Existe diferencia entre los tratamientos i y j a un nivel de significación α .

Prueba de Hipótesis

$H_0: Me_i - Me_j = 0$ para todo $i, j = 1, 2, \dots, 7$ y $i \neq j$

$H_1: Me_i - Me_j \neq 0$ para al menos $i, j = 1, 2, \dots, 7$ y $i \neq j$

$\alpha = 0.05, ALS(K - W) = 5.016, t_{(1 - \frac{\alpha}{2})} = 2.08$

Comparación	$ALS(K - W)$	$\left \frac{R_i}{n_i} - \frac{R_j}{n_j} \right $	Significancia
1-2	5.016	6.5	*
1-3	5.016	3	n.s
1-4	5.016	6.5	*
1-5	5.016	14	*
1-6	5.016	21.75	*
1-7	5.016	18.25	*
2-3	5.016	3.5	n.s
2-4	5.016	0	n.s
2-5	5.016	7.5	*
2-6	5.016	15.25	*
2-7	5.016	11.75	*
3-4	5.016	3.5	n.s
3-5	5.016	11	*
3-6	5.016	18.75	*
3-7	5.016	15.25	*
4-5	5.016	7.5	*
4-6	5.016	15.25	*
4-7	5.016	11.75	*
5-6	5.016	7.75	*
5-7	5.016	4.25	n.s
6-7	5.016	3.5	n.s

Conclusiones:

A un nivel de significación de 0.05, se puede afirmar que:

- Existen **diferencias significativas** entre los tratamientos:

1 y los tratamientos (2, 4, 5,6 y 7)

2 y los tratamientos (5,6 y 7)

3 y los tratamientos (5,6 y 7)

4 y los tratamientos (5,6 y 7)

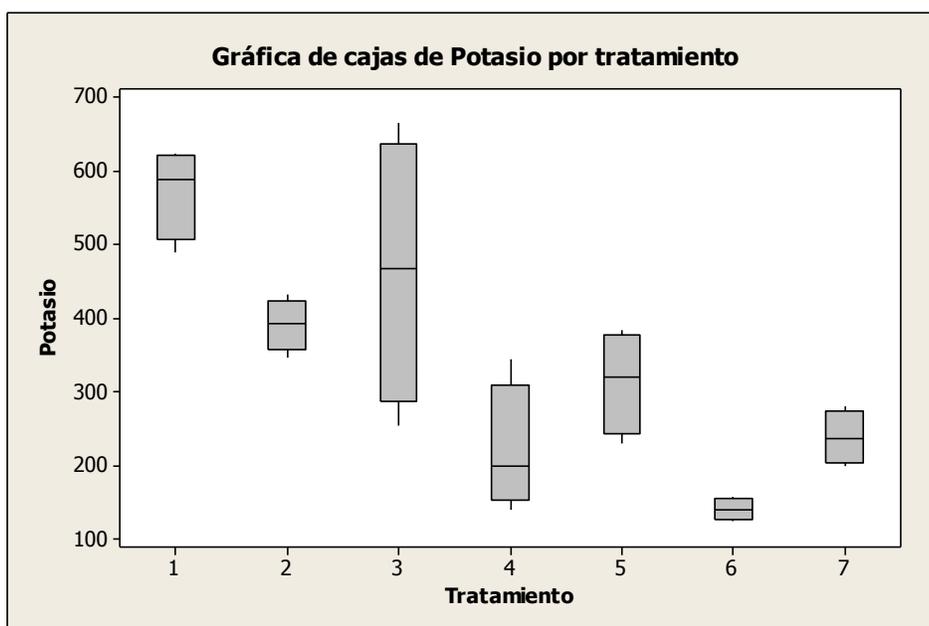
5 y el tratamiento 6.

Al analizar la mediana de extracción de Nitrógeno del maíz.

Anexo F-ANÁLISIS DE POTASIO

F.1 ANALISIS DESCRIPTIVO

Estadísticas descriptivas: Potasio								
Variable	Tratamiento	N	Media	Desv.Est.	Mínimo	Mediana	Máximo	IQR
Potasio	1	4	572,0	61,8	489,0	588,0	623,0	114,0
	2	4	390,3	35,2	346,0	391,5	432,0	65,3
	3	4	463,5	181,4	253,0	468,0	665,0	350,5
	4	4	219,8	87,0	140,0	198,0	343,0	157,3
	5	4	313,0	70,9	229,0	320,0	383,0	135,0
	6	4	140,25	14,61	124,00	139,50	158,00	28,25
	7	4	238,5	37,3	200,0	237,0	280,0	71,0



Mediante este gráfico se puede observar que existen diferencias entre la extracción de potasio total mediano de los siete tratamientos en estudio. Evidenciándose que al aplicarse los fertilizantes de HCP obtenida vía cocción simple (1) y HCP vía proceso enzimático se obtuvieron mayores valores en la cantidad de extracción de fósforo (mg) y menores con el testigo absoluto (6) y testigo sin nitrógeno (7).

F.2 VERIFICACION DE SUPUESTOS DEL DCA

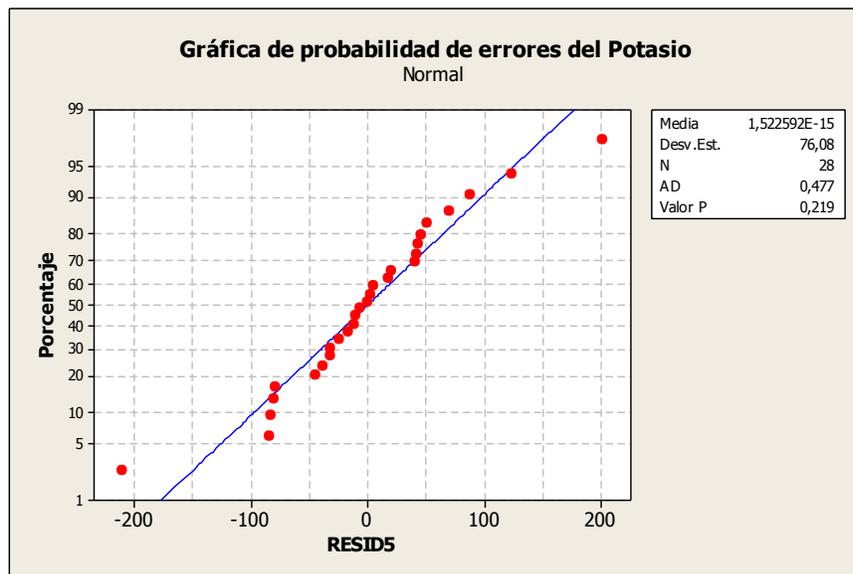
F.2.1. Normalidad de errores

Ho: Los errores se distribuyen normalmente

H1: Los errores no se distribuyen normalmente

$\alpha = 0.05$

p-valor = 0.219 > $\alpha = 0.05$ No se rechaza Ho.



Conclusión: A un nivel de significación de 0.05, no existe evidencia estadística para rechazar Ho.

Por lo tanto no se puede afirmar que los errores no se distribuyan normalmente.

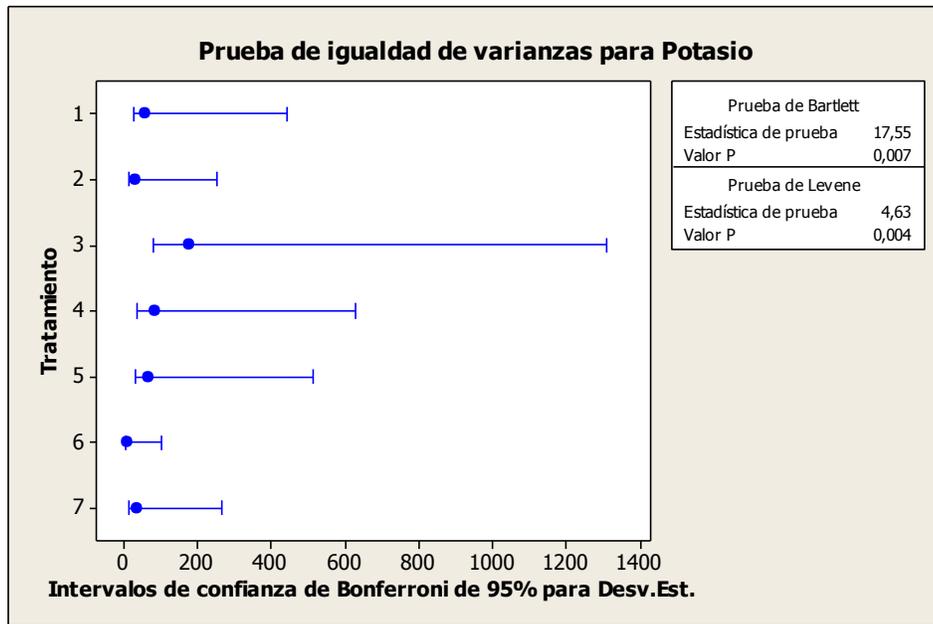
F.2.2. Homogeneidad de varianzas

Ho: $\sigma_1^2 = \sigma_2^2 = \dots = \sigma_7^2$

H1: Al menos un σ_i^2 es diferente para $i = 1, 2, 3, \dots, 7$

$\alpha = 0.05$

pvalor = 0.007 < $\alpha = 0.05$ Se rechaza Ho.



Conclusión: A un nivel de significación de 0.05, existe evidencia estadística para rechazar H_0 . Por lo tanto se puede afirmar que las variancias de los tratamientos son heterogéneas.

*No se cumple el supuesto de homogeneidad de varianzas, por ende a extracción de potasio no se aplicará el análisis de varianza.

F.3 PRUEBA DE KRUSKAL - WALLIS

Se procede a realizar la prueba de Kruskal-Wallis, ya que es la prueba no paramétrica alternativa del DCA, en el caso que no se cumplan los supuestos de normalidad de errores y homogeneidad de varianzas, como sucede con esta variable.

Se asignan rangos a las observaciones de cada uno de los “t” tratamientos, se suman por separado para obtener las “t” sumas de rangos

$$R_i = \sum_{j=1}^{n_j} R(X_{ij})$$

Estadístico de Prueba:

$$H = \frac{1}{S^2} \sum_{i=1}^t \frac{R_i^2}{n_i} - \frac{n(n+1)^2}{4} X^2_{(1-a, t-1)}$$

Donde:

$$S^2 = \frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^t \sum_{j=1}^{n_j} R^2(X_{ij}) - \frac{n(n+1)^2}{4}$$

Donde:

n : Tamaño total de la muestra

R_j : Suma de los rangos de la j -ésima muestra o grupo de tratamiento.

n_j : Número de observaciones del j -ésimo tratamiento.

t : Número de tratamientos.

Prueba de Hipótesis

H_0 : $Me_1 = Me_2 = \dots = Me_7$

H_1 : Al menos un Me_i es diferente a los demás $i = 1, 2, \dots, 7$

$a = 0.05$

Decisión de la prueba

$H > X^2_{(1-a, t-1)}$

Se rechaza la H_0

Prueba de Kruskal-Wallis: Potasio vs. Trat				
Prueba de Kruskal-Wallis en Potasio				
			Clasificación	
Trat	N	Mediana	del promedio	Z
1	4	588.0	25.3	2.82
2	4	391.5	19.8	1.38
3	4	468.0	20.5	1.58
4	4	198.0	8.0	-1.71
5	4	320.0	14.8	0.07
6	4	139.5	3.0	-3.02
7	4	237.0	10.3	-1.12
General	28		14.5	
H = 21.98 GL = 6 P = 0.001				

$$H = 21.98 > X^2_{(0.95,6)} = 12.6$$

Pvalor=0.001 < α =0.05, se rechaza Ho

Conclusión:

A un nivel de significación de 0.05, existe suficiente evidencia estadística para afirmar que el nivel mediano de extracción de potasio (mg) no es el mismo en al menos uno de los fertilizantes aplicados

F.3.1. Prueba de Comparaciones Múltiples de Kruskal – Wallis

Como los niveles medianos de potasio no son los mismos en al menos un tratamiento, se procederá a realizar la prueba de comparación, para determinar si existe diferencia entre los tratamientos i y j a un nivel de significación α .

Prueba de Hipótesis

$$H_0: Me_i - Me_j = 0 \text{ para todo } i, j = 1, 2, \dots, 7 \text{ y } i \neq j$$

$$H_1: Me_i - Me_j \neq 0 \text{ para al menos } i, j = 1, 2, \dots, 7 \text{ y } i \neq j$$

$$\alpha = 0.05, \text{ ALS}(K - W) = 5.915$$

Comparación	ALS(K - W)	$\left \frac{R_i}{n_i} - \frac{R_j}{n_j} \right $	Significancia
1-2	5.915	5.5	n.s
1-3	5.915	4.75	n.s
1-4	5.915	17.25	*
1-5	5.915	10.5	*
1-6	5.915	22.25	*
1-7	5.915	15	*
2-3	5.915	0.75	n.s
2-4	5.915	11.75	*
2-5	5.915	5	n.s
2-6	5.915	16.75	*
2-7	5.915	9.5	*
3-4	5.915	12.5	*
3-5	5.915	5.75	n.s
3-6	5.915	17.5	*
3-7	5.915	10.25	*
4-5	5.915	6.75	*
4-6	5.915	5	n.s
4-7	5.915	2.25	n.s
5-6	5.915	11.75	*
5-7	5.915	4.5	n.s
6-7	5.915	7.25	*

Conclusiones:

A un nivel de significación de 0.05, se puede afirmar que:

- Existen **diferencias significativas** entre los tratamientos:

1 y los tratamientos (4, 5,6 y 7)

2 y los tratamientos (4,6 y 7)

3 y los tratamientos (4,6 y 7)

4 y el tratamiento 5.

5 y el tratamiento 6.

6 y el tratamiento 7.

Al analizar la mediana de extracción de Potasio del maíz.