

UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA LA MOLINA
FACULTAD DE AGRONOMIA



**EFFECTO DE LA MATERIA ORGANICA Y ENCALADO DEL SUELO EN
CEBADA (*Hordeum vulgare* L.) VARIEDAD UNA 96 CULTIVADO EN
INVERNADERO**

Presentado por:

MAGNO RAUL VEGA CHUCO

Tesis para optar el Título de:

INGENIERO AGRÓNOMO

Lima - Perú

2014

F04.
V423
T
col

INDICE

1.	INTRODUCCIÓN	8
2.	OBJETIVOS.....	10
2.1.	Objetivo general	10
2.2.	Objetivos específicos	10
3.	REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA.....	11
3.1.	El cultivo de la cebada	11
3.2.	Características de la variedad de cebada UNA 96	11
3.3.	La materia orgánica en el suelo	13
3.3.1.	Generalidades	13
3.3.2.	Cantidad y calidad de materia orgánica en el suelo.....	14
3.4.	Acidez del suelo.....	15
3.4.1.	Definición.....	15
3.4.2.	Acidificación del suelo	15
3.4.3.	Procesos naturales de acidificación de los suelos	15
3.4.4.	Material parental del valle del Mantaro	16
3.4.5.	Acidificación por presencia de aluminio en el suelo	16
3.4.6.	Acidificación por descomposición de restos orgánicos	17
3.4.7.	Efectos de la acidez en las plantas.....	18
3.5.	Encalado del suelo.....	19
3.5.1.	Generalidades	19
3.5.2.	Enmiendas químicas para el encalado	19
3.5.3.	Determinación de las necesidades de cal.....	21
3.5.4.	Efecto del encalado sobre las propiedades del suelo.	21
3.5.5.	Efecto del encalado sobre el crecimiento y absorción de nutrientes por las plantas.....	22
4.	MATERIALES Y METODOS	24
4.1.	Ubicación del experimento	24

43433

4.2.	Características del suelo	24
4.3.	Información climática.....	25
4.4.	Variedad ensayada	27
4.5.	Características del agua de riego.....	27
4.6.	Enmiendas orgánicas empleadas.....	28
4.6.1.	Estiércol de cuy fresco.....	28
4.6.2.	Compost mixto.....	29
4.6.3.	Bokashi.....	29
4.7.	Materiales y equipos	30
4.7.1.	En fase de invernadero.....	30
4.7.2.	En fase de laboratorio.....	30
4.8.	Factores en estudio.....	30
4.8.1.	Fuente de materia orgánica	30
4.8.2.	Encalado del suelo	30
4.9.	Métodos empleados (conducción del experimento).....	31
4.9.1.	Preparación del suelo experimental.....	31
4.9.2.	Determinación de la curva de encalado	31
4.9.3.	Preparación de las macetas	32
4.9.4.	Encalado del suelo	32
4.9.5.	Aplicación de las fuentes de materia orgánica.....	32
4.9.6.	Siembra y desahije.....	32
4.9.7.	Riego.....	32
4.9.8.	Evaluaciones y cosecha	32
4.10.	Variables evaluadas	33
4.10.1.	Altura de planta (cm).....	33
4.10.2.	Peso fresco de la planta (g)	33
4.10.3.	Peso seco de la planta (g).....	33
4.10.4.	Número de macollos por maceta.....	33
4.10.5.	Peso de mil granos (g)	33

4.10.6.	Extracción de nitrógeno por la planta (mg maceta ⁻¹)	34
4.10.7.	Extracción de fósforo por la planta (mg maceta ⁻¹)	34
4.10.8.	Extracción de potasio por la planta (mg maceta ⁻¹).....	35
4.10.9.	pH del suelo (1:1).....	35
4.10.10.	Conductividad eléctrica	35
4.10.11.	Contenido de carbono orgánico total (g maceta ⁻¹).....	35
4.11.	Análisis estadístico	36
4.11.1.	Diseño experimental	36
4.11.2.	Tratamiento estadístico.....	37
5.	RESULTADOS.....	38
5.1.	Altura de planta (cm).....	38
5.2.	Peso fresco de la planta (g).....	40
5.3.	Peso seco de la planta (g).....	40
5.4.	Número de macollos por maceta.....	41
5.5.	Peso de mil granos (g)	42
5.6.	Extracción de nitrógeno por la planta (mg maceta ⁻¹)	43
5.7.	Extracción de fósforo por la planta (mg maceta ⁻¹)	44
5.8.	Extracción de potasio por la planta (mg maceta ⁻¹).....	45
5.9.	pH del suelo (1:1).....	48
5.10.	Contenido de carbono orgánico del suelo.....	49
6.	DISCUSIÓN	51
7.	CONCLUSIONES	53
8.	RECOMENDACIONES	54
9.	BIBLIOGRAFIA.....	55
10.	CUADROS	64
11.	FIGURAS.....	65
12.	ANEXOS.....	66

1. INTRODUCCIÓN

La cebada es un cultivo de gran importancia para los agricultores de la región andina del Perú, tanto por su valor alimenticio como por su capacidad de ser almacenada a través del año (Ruddell, 2002). El área cosechada de cebada durante la campaña agrícola 2012-2103 alcanzó 156800 hectáreas (MINAG, 2013). La mayor parte del área bajo producción de cebada en nuestro país se ubica entre 3000 y 4000 m.s.n.m. (Gómez-Pando et al., 2009), piso altitudinal distribuido entre las regiones naturales Quechua y Suni.

El valle del Mantaro (región Junín, Andes Centrales del Perú) es el valle interandino más grande en el centro del país y corresponde a una de las zonas productoras de cebada de mayor importancia. Su fisiografía se caracteriza por la estratificación en varios pisos altitudinales, los que a su vez generan diferentes niveles de explotación agrícola. La agricultura está influenciada por factores como calidad de suelo, agua, clima, tamaño de las parcelas y capacidad de inversión. Los agricultores andinos manejan diversos cultivos mediante sistemas de rotación tradicional que incluyen a la papa, cebada, trigo, habas, etc.; seguidos de periodos variables de descanso de la tierra. Los agricultores aplican a la papa las mayores dosis de fertilización, no solo por la respuesta que este cultivo muestra a su aplicación, sino porque la papa representa el cultivo de mayor rentabilidad y justifica las dosis empleadas. A diferencia de lo ocurrido con la papa, la fertilización en la cebada es muy limitada y en muchos casos, basada solo en materias orgánicas (García, 2011), resultando en rendimientos relativamente bajos, que alcanzan 1450 kg/ha en la región Junín (MINAG, 2010).

A pesar de la fertilización limitada, existe evidencia de que otros cultivos en la rotación pueden también verse favorecidos por la adición de materia orgánica, aun cuando los efectos de tal adición en cebada, trigo, arveja y haba han sido poco documentados.

La cebada es sensible a los suelos fuertemente ácidos (Bache y Crooke, 1981), y los rendimientos pueden reducirse si el pH del suelo es inferior a 5.5 (Bache y Ross, 1991). Los suelos ácidos son comunes en los Andes peruanos, sin embargo, la escasa atención puesta a la fertilización, también se aplica a la práctica del encalado. La aplicación de cal (Michaelson y Ping, 1987) y de cenizas (Patterson et al., 2004), han incrementado el rendimiento de cebada en regiones templadas de otras latitudes.

Por ello, la acción del encalado para determinar las dosis adecuadas para un máximo rendimiento, los momentos adecuados de aplicación en campo, el tiempo de descomposición requerido previamente a la aplicación, así como las condiciones que favorecen su mineralización y posterior liberación de nutrientes como el nitrógeno y el fósforo, es necesario para una mejor comprensión de la importancia de los estiércoles en la nutrición de las plantas y en la dinámica de la materia orgánica en suelos alto andinos.

Plantas de cebada (*Hordeum vulgare* L.) variedad UNA 96 fueron empleadas como cultivo indicador, en tanto que un suelo alto andino proveniente de una parcela agrícola de la comunidad campesina de Aramachay, distrito de Sincos, provincia de Jauja, en el Valle del Mantaro (Región Junín), fue empleado como sustrato experimental.

En el presente trabajo se propone que el encalado del suelo y la aplicación de fuentes orgánicas locales podrían incrementar los rendimientos y la extracción de nutrientes por la cebada. Es por ello que se plantea la siguiente investigación, a nivel de invernadero y laboratorio, con los siguientes objetivos:

2. OBJETIVOS

2.1. Objetivo general

- Evaluar el efecto del encalado sobre el crecimiento, rendimiento y la disponibilidad de nutrientes en el cultivo de cebada abonada con fuentes de materia orgánica en un suelo ácido altoandino.

2.2. Objetivos específicos

- Evaluar el efecto del encalado mediante enmienda química sobre el rendimiento de biomasa y parámetros biométricos del cultivo de cebada.
- Determinar el efecto del encalado sobre la mineralización de tres fuentes de materia orgánica (estiércol de cuy fresco, compost y bokashi), medida por la liberación de N disponible.
- Evaluar el efecto de la aplicación de las fuentes orgánicas antes mencionadas y del encalado, sobre algunas propiedades físico-químicas del suelo en condiciones de invernadero.

3. REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA

3.1. El cultivo de la cebada

La cebada (*Hordeum vulgare* L.) constituye una fuente importante de calorías y proteínas. Es una especie con capacidad de adaptación a condiciones desfavorables, convirtiéndose así en el sustento de miles de agricultores de la sierra del Perú que viven en extrema pobreza. En dicha región se le consume de múltiples maneras, como en la elaboración del pan, harina, morón y otras formas.

Cerca del 13% de la producción mundial de cebada es destinada para el alimentación humana, especialmente en la India y países del oeste de Asia y del norte de África. Una fracción similar es empleada para la elaboración de malta (Evans, 1993; Gómez-McPherson, 2001). En América Latina la producción promedio desde 1990-1992 fue de 1.7 millones de toneladas, destinado el 70% para malta. Los principales productores son Argentina, México y Uruguay. En los países del Cono Sur la producción de cebada excede las necesidades de uso doméstico, permitiéndoles exportar granos de cebada y malta (Gómez-McPherson, 2001).

La superficie sembrada de cebada grano a nivel nacional ha tenido un ligero incremento en los últimos diez años, pasando de 145 800 ha durante la campaña agrícola 2003-2004 a 1156 800 ha en la campaña 2012-2013. El rendimiento promedio nacional se ha incrementado muy poco en el mismo periodo, alcanzando un valor de 1418 kg/ha durante el año 2013 (MINGARI, 2013). Esto ha resultado en un incremento en la producción durante los últimos años, de 193 700 t el año 2003 a 214 500 t en el año 2012; volumen que no es suficiente para abastecer la demanda interna.

La cebada en el Perú se cultiva principalmente en la región Andina. Los departamentos de mayor producción son: La Libertad, Junín, Huancavelica, Ancash, Cajamarca, Huánuco, Apurímac, Ayacucho y Cusco. Para el caso del departamento de Junín, el cultivo de cebada ocupa un lugar importante en los sistemas productivos junto con la papa, el maíz y los pastos (MEM y Gobierno Regional de Huancavelica, 2005, Quispe, 2007).

3.2. Características de la variedad de cebada UNA 96

El cultivar UNA-96 fue desarrollado por el Programa de Investigación en Cereales de la UNALM, institución responsable de la transferencia y tecnología de producción. Fue liberado para producción comercial en noviembre de 1996. El cultivar es

semiprecoz y de hábito primaveral; espiga entre los 60 – 70 días y madura entre 110 – 130 días. Es tolerante al acame o tumbado. Las semillas son de tamaño mediano, redondeadas, de cáscara medianamente gruesa, color amarillo claro a oscuro dependiendo de las condiciones climáticas presentes durante su desarrollo. Con buena capacidad de macollamiento, de plantas de color verde claro y con una altura promedio de 90 cm; espigas de 6 hileras, ligeramente inclinadas y de densidad intermedia. Los macollos se forman a partir de las yemas axilares o secundarias del meristemo basal del eje principal. Cada uno genera su propio sistema radicular. La suma o adición de macollos es lo que conforma la estructura y la forma de una planta de cebada. Cada macollo, a su vez, comenzará en su momento a producir nuevos macollos.

Se puede sembrar desde el nivel del mar hasta los 3600 m.s.n.m. Posee un buen potencial de rendimiento que varía de 3500 a 7300 kg ha⁻¹. En campos comerciales de la sierra se obtuvo un rendimiento promedio de 4200 kg⁻¹ha.

Por sus características alimenticias e industriales, se comporta como un cultivar apto para la elaboración de malta y productos alimenticios (morón, hojuelas y harinas). Es resistente a roya morena (*Puccinia hordei*), roya amarilla (*Puccinia striiformis* f. sp. *Hordei*), oídium o mildiú polvoriento (*Erysiphe graminis* f. sp. *Hordei*) y tolerante a las manchas foliares por *Cochliobolus sativus* (= *Helminthosporium gramineum*).

Su época de siembra en la sierra central de altitud superior a los 3400 m.s.n.m. es hasta fines de noviembre y en zonas de menor altitud hasta diciembre, conservando las fechas acostumbradas en cada región no pasando del 15 de enero con objeto de aprovechar las lluvias y reducir el daño de las heladas. En costa de mayo – junio. (Cuadro N° 1).

Su densidad de siembra se maneja en 120 – 150 kg ha⁻¹ de semilla, en forma directa en líneas o al voleo. Requiere un abonamiento para un óptimo rendimiento de dosis de 60-60-0 kg/ha de N, P₂O₅ y K₂O, respectivamente. Se recomienda fraccionar las dosis de nitrógeno en 40 unidades a la siembra y 20 al macollamiento.

Cuadro N° 1 Calendario agrícola de la provincia de Junín de siembra y cosecha de cebada en grano (%)

Mes/Labor	Siembra	Cosecha
Agosto	0.2	4.5
Setiembre	0.2	1.5
Octubre	2.0	----
Noviembre	28.4	----
Diciembre	52.9	----
Enero	14.3	----
Febrero	0.9	----
Marzo	0.2	----
Abril	0.2	2.6
Mayo	0.2	9.8
Junio	0.2	47.1
Julio	0.3	34.5
Total	100.0	100.0

Fuente: Direcciones Regionales de Agricultura - Dirección de Información Agraria

Elaboración: Ministerio de Agricultura - Oficina de Estudios Económicos y Estadísticos -Unidad de Estadística

3.3. La materia orgánica en el suelo

3.3.1. Generalidades

La materia orgánica de los suelos está conformada por residuos orgánicos en diversos estados de descomposición, constituye sin duda alguna, uno de los materiales más complejos que existen en la naturaleza, y contienen la mayor parte (si no todos) de los compuestos orgánicos que ocurren naturalmente.

Está integrada por compuestos orgánicos presentes en los tejidos no descompuestos de plantas y animales, células microbianas vivas y muertas, compuestos sintetizados microbiológicamente en sinnúmero de formaciones derivadas de estos materiales producidos como resultado de la actividad microbiana (Estrada, 1980).

La materia orgánica del suelo puede ser agrupada en dos categorías (Tisdale, 1987): la primera está constituida por material relativamente estable, denominado humus, que es resistente a una rápida descomposición ulterior. El

humus está formado por un conjunto de compuestos orgánicos coloidales de color oscuro que, en general proceden de neoformaciones microbianas y contraen enlaces más o menos estables con los elementos minerales del suelo; especialmente con arcillas, hidróxidos de fierro y aluminio (Duchaufour, 1984). La segunda categoría incluye aquellos materiales orgánicos que se hallan sujetos a una descomposición francamente rápida constituida por materiales que van desde residuos frescos de las cosechas hasta aquellos que por una cadena de reacciones de descomposición se aproxima a cierto grado de estabilidad.

3.3.2. Cantidad y calidad de materia orgánica en el suelo

El contenido cuantitativo y cualitativo de compuestos nitrogenados influye directamente en su descomposición.

La cantidad de carbono orgánico en los suelos es una característica importante cuando se le relaciona con la composición química, la fertilidad, la estructura, el origen y la clasificación de los suelos. La concentración de carbón orgánico varía de menos de 0.2% en los suelos de textura arenosa de regiones áridas a más de 50% en los suelos turbosos y los abonados con estiércol (Chapman, 1979). Sin embargo, el contenido de nitrógeno total en los suelos no turbosos ni abonados con estiércol varía de 0.05 a 0.3%; pero hay casos en que va de 0.1% a varias unidades por ciento. Mientras que el contenido de nitrógeno nítrico varía de 1 a varias partes por millón.

En la mayoría de los suelos cultivados, la capa arable contiene entre 0.02 y 0.4% de su peso en nitrógeno (Black, 1975). La cantidad presente en cada caso particular está sobre todo determinada por la influencia general del clima, y por el tipo de vegetación que éste condiciona; a su vez, son modificados por las características locales de la topografía, el material madre y la actividad del hombre, así como por la duración de los periodos en los que estos factores han actuado.

La velocidad de la descomposición microbiana de la materia orgánica aumenta con: menor relación C/N, mayor porcentaje de hemicelulosas que de celulosas, menor porcentaje de lignina, más aminoácidos que proteínas complejas, mayor grado de desagregación del tejido. Como la relación C/N en el humus es aproximadamente 12 a 1 y el contenido de carbono del mismo es de 60%, se deduce que el contenido de nitrógeno en el humus es de alrededor de 5%.

La calidad de la materia orgánica influye en la naturaleza de las poblaciones microbianas del suelo; las bacterias y los actinomicetos predominan sobre los hongos en la descomposición de los carbohidratos simples y hemicelulosas que en los constituyentes nitrogenados. Los hongos predominan en la descomposición de carbohidratos complejos como lignina. Si consideramos la adición de residuos orgánicos al suelo como fuente de aprovisionamiento de N, hay que considerar la relación C/N del material a adicionar.

3.4. Acidez del suelo

3.4.1. Definición

En muchas áreas del mundo, la acidez del suelo limita la producción agrícola. El bajo contenido de bases cambiables, especialmente calcio; y la toxicidad de aluminio, afectan el crecimiento radicular y la absorción de agua y nutrientes por las plantas, causando una reducción en el rendimiento de los cultivos en los suelos ácidos (Sumner et al, 1986; Marsh y Grove, 1992; Tang et al., 2003).

3.4.2. Acidificación del suelo

La acidificación del suelo es un proceso espontáneo que se da durante la pedogénesis. Durante ella ocurre una continua meteorización química, la cual consiste en una pérdida de cationes alcalino y alcalinotérreos (K^+ , Na^+ , Ca^{2+} , Mg^{2+}) e incremento concomitante de cationes metálicos (Al^{3+} , Fe^{3+} , Mn^{4+}) que pueden sufrir hidrólisis ácida. Simultáneamente, ocurre una salida de silicio del suelo en forma de $Si(OH)_4^0$, durante el proceso. Esta hidrólisis produce en el suelo un pH de hasta 4.2. Valores más bajos de pH se pueden alcanzar naturalmente cuando se drenan suelos que contienen formas reducidas de azufre o cuando se descomponen restos orgánicos y producen ácidos orgánicos de cadena corta. Igualmente, los suelos se pueden acidificar cuando reciben ácidos provenientes de procesos antrópicos como lluvia ácida, por la fertilización con materiales que dejan residuos ácidos y por lixiviación de Ca^{2+} , Mg^{2+} , K^+ , Na^+ en zonas de alta precipitación, entre otros (Zapata, 2004).

3.4.3. Procesos naturales de acidificación de los suelos

Los minerales que constituyen las rocas dejan de ser estables cuando quedan sometidos, en la corteza terrestre, a condiciones distintas a aquellas en

las cuales se formaron. Los iones que conforman los minerales, al encontrarse en la superficie, cambian lentamente a estados químicos más estables (Zapata, 2004).

La meteorización transforma las rocas de sólidos densos y duros, a materiales livianos y porosos, que en su conjunto forman la saprolita. Las pequeñas partículas que se forman, con frecuencia, difieren notablemente de la composición química y mineralógica del material original. Los cambios que ocasiona la meteorización en las rocas sedimentarias son menos evidentes (Gaines *et al.* 1997).

Los minerales de las rocas pueden ser disgregados por procesos físicos, pero los cambios mayores los ocasionarán las nuevas condiciones químicas como la exposición al agua, al oxígeno, al bióxido de carbono y a compuestos orgánicos. Las estructuras cristalinas de estos minerales son inestables a estas condiciones (Zapata, 2004).

3.4.4. Material parental del valle del Mantaro

Se ha diferenciado tres formaciones bien caracterizadas Chambará, Aramachay y Condorsinga. El suelo del presente ensayo fue colectado del sector Cuti-Cuti, perteneciente a la formación Aramachay.

La formación Aramachay es fácilmente reconocible por sus afloramientos menos resistentes a la erosión, sus estratos están generalmente limitados por superficies de estratificación planas y paralelas. Está conformada por limonitas fosfáticas, intercaladas lutitas silíceas que con el intemperismo adquieren el color verde y Cherts de color marrón rojizo. El tope de la formación está conformado por un paquete macizo de areniscas de 10 m de espesor.

3.4.5. Acidificación por presencia de aluminio en el suelo

En los suelos minerales existen una relación entre el Al en la solución del suelo y el porcentaje de saturación de Al, mientras que en los suelos orgánicos, sin embargo, la concentración de Al en la solución del suelo estuvo más relacionada a la cantidad de Al cambiante que al porcentaje de saturación del Al de los suelos (Evans, Kamprath, Brenes y Pearson citados por Cichrane *et al.* 1980).

El pH crítico en el cual el Al se vuelve soluble o cambiante en concentraciones tóxicas depende de muchos factores, incluyendo las arcillas minerales predominantes; Nivel de materia orgánica; concentración de otros cationes y aniones y sales totales; especies y variedades de cultivo.

Concentraciones de Al en la solución del suelo superiores a 1 ppm frecuentemente son causa directa de reducción de rendimiento. Estudios realizados en tabaco (Abruña *et al.*, 1975) y papa (Villagarcía, 1973), muestran que el efecto primario de la toxicidad de Al es el daño directo al sistema radicular. El desarrollo radicular se restringe y las raíces se vuelven más gruesas y presentan puntos muertos (Sánchez, 1981).

La correlación negativa entre Al ácido no cambiante y pH (KCl) sugieren que esta forma de Al aumenta con la disminución del pH. Sin embargo, es conocido que en pH altos tanto el Al cambiante como el no cambiante están eventualmente como $Al(OH)_3$ (Lindsay *et al.*, 1979), mientras que a pH muy bajos del suelo la mayor parte del Al no cambiante en el suelo es eventualmente convertido a Al cambiante (McLean *et al.*, 1966).

3.4.6. Acidificación por descomposición de restos orgánicos

La materia orgánica tiene un efecto acidificante en el suelo. En general el horizonte A, por su mayor contenido de materia orgánica, es más ácido que el horizonte B.

La descomposición de la materia orgánica del suelo implica una oxidación del carbono de los restos orgánicos que llegan a éste, por organismos que emplean la energía almacenada en los enlaces de las sustancias. Inicialmente los restos sufren un fraccionamiento que facilita el ataque microbiano y la descomposición ocurre mientras existan condiciones de humedad, aireación y temperatura adecuadas. Este proceso inicial de aprovechamiento como sustrato de los restos orgánicos se denomina mineralización, durante este proceso se forma una gran cantidad de sustancias no húmicas, componentes de los restos orgánicos como carbohidratos, aminoácidos, grasas, ligninas, taninos, etc. Lo característico de este proceso es que acidifica el medio durante el tiempo que sucede esta descomposición. En un proceso posterior de humificación se forman sustancias más estables con un número de grupos ácidos orgánicos que acidifican el suelo en menor intensidad (Zapata, 2004).

Sin embargo, autores como Yan *et al.* (1996) y Pocknee y Sumner, (1997) manifiestan que la adición de materia orgánica al suelo puede resultar en un incremento o disminución del pH, dependiendo de la influencia que tenga esta adición en el balance de protones de la capacidad neutralizante de la acidez. Cuando se adiciona materia orgánica a los suelos ácidos se produce, en general, un aumento del pH. Los procesos responsables de este aumento son: 1) descomplejación de cationes metálicos, 2) mineralización del nitrógeno orgánico, 3) descarboxilación de ácidos orgánicos. Por el contrario, la adición de materia orgánica a los suelos alcalinos produce una disminución del pH debido a: 1) la mineralización del nitrógeno, del azufre y del fósforo orgánico, 2) disociación de ligandos orgánicos y 3) hidratación del CO₂ producido en la descomposición de la materia orgánica (Nelson y Oades, 1998).

3.4.7. Efectos de la acidez en las plantas

El aluminio puede influir en el normal crecimiento y desarrollo de la planta a través de los siguientes mecanismos:

- Interfiere con la división celular. Se sugiere que el aluminio se enlaza con el P éster en los ácidos nucleicos y membrana lipóide, pensándose que algún enlace inhibe la división celular, esto es recalado por Trim (1959), quien indica que los iones metálicos como el aluminio precipitan con los ácidos nucleicos formando fuertes complejos, reaccionando con los grupos carboxilo y sulfhidrido, este efecto es observado en las raíces jóvenes y en las laterales.

- Rigidez de las paredes celulares. Se observa en las raíces jóvenes y raíces laterales, donde se puede producir un incremento en la rigidez de las paredes celulares al ser reemplazado el calcio por el aluminio a nivel de las placas pécticas (Black, 1968 mencionado por Loli, 1979). Esto ha sido comprobado en diversos cultivos como la papa (Villagarcía, 1973).

- Interacción de nutrientes. El elemento más relacionado con la toxicidad del aluminio es el fósforo, cuya disponibilidad disminuye en presencia de altas concentraciones de aluminio, debido a la formación de compuestos complejos de menor solubilidad, sea en el interior de la planta o en el suelo. Así mismo, el aluminio induce una deficiencia o una reducción en el transporte del calcio a través del floema, pudiendo inducir también una deficiencia de hierro en plantas de arroz y sorgo (CIAT, 1984).

Estos efectos del aluminio, van a condicionar la existencia de desordenes nutricionales (Marrion *et al.* 1976), tales como:

- Deficiencia del calcio, magnesio y molibdeno.
- Reducción en la disponibilidad de fósforo
- Menor absorción de elementos nutritivos

3.5. Encalado del suelo

3.5.1. Generalidades

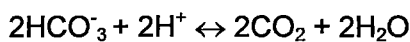
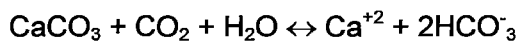
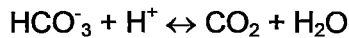
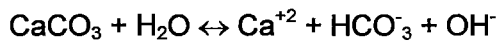
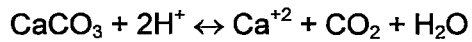
Aplicar cal al suelo o encalar, como normalmente se le conoce a esta práctica, es una de las actividades agrícolas que más espectaculares respuestas produce en los cultivos. Además, fue una de las primeras prácticas que desarrolló el hombre para corregir las propiedades químicas del suelo (Brady y Weil, 1999).

Decir esto es entender al encalado como una de las prácticas culturales más comunes para reducir el problema de la acidez en el suelo. Con el encalado se trata de neutralizar y precipitar los iones responsables de la acidez de la solución del suelo, con el consiguiente incremento de pH (Pionke y Corey, 1967; Kamprath, 1980; Sánchez, 1981. Con la práctica del suelo encalado, se está abasteciendo iones Ca y Mg los cuales son considerados los elementos alcalinos antitóxicos, y que son muy importantes para la nutrición de las plantas y además para disminuir los efectos nocivos del Al^{+3} y del Mn^{+2} , cationes ácidos más importantes en los suelos ácidos (Foy, 1976; Kamprath, 1980; Sánchez, 1981). Además, alivia los efectos de deficiencia de Mo y los de Ca y Mg, cuando la relación Al cambiante / bases es alta (Kamprath, 1980). También se aumenta la actividad microbiana con lo que se acelera la descomposición de la materia orgánica, mejora la estructura del suelo, y aumenta la disponibilidad de nutrientes y la capacidad de intercambio catiónico entre otros efectos del encalado (Arca, 1970).

3.5.2. Enmiendas químicas para el encalado

Con el nombre de cal se ha identificado el carbonato de calcio ($CaCO_3$), el cual es la fuente natural más económica usada para encalar. Los mecanismos de

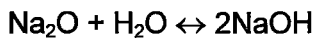
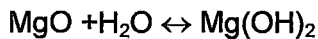
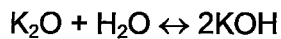
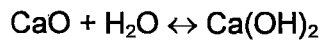
reacción del CaCO_3 en el suelo y los productos y velocidades de reacción son complejos, aunque sobre ellos influyen: el pH del suelo, el tamaño de partícula del carbonato, la humedad del suelo, la presión de CO_2 , entre otros. En el suelo, la cal puede tener las siguientes reacciones de disociación y neutralización:



Para algunos cultivos como las leguminosas se han visto que un pH un poco mayor de 6.0 produce los mejores rendimientos, mientras que para otros, como maíz y pastos es suficiente reducir la saturación de aluminio en un 70% para obtener las mejores respuestas. Otros beneficios del encalado se han visto en una mejor respuesta en fósforo (Sánchez y Salinas, 1976), aunque esta repuesta depende de la fuente de P empleada.

El carbonato de magnesio (MgCO_3) y la dolomita [$\text{CaMg}(\text{CO}_3)_2$], son otras de las enmiendas utilizadas frecuentemente. Las reacciones que se dan con este material son similares a las del carbonato de calcio, dado que el anión carbonato (CO_3^{-2}) es el que neutraliza la acidez del suelo. Una ventaja adicional de la dolomita es que aporta Mg^{+2} , además de Ca^{+2} , al complejo de intercambio.

Las cenizas provenientes de la quema de restos orgánicos (madera, basura, carbón) están formadas básicamente por óxidos de los elementos del grupo I y II de la tabla periódica. Los óxidos de las cenizas, al entrar en contacto con agua, forman las respectivas bases, alcanzado un alto poder neutralizador como se presenta en la ecuación:



Algunos procesos agroindustriales utilizan la cal agrícola en el producto que están fabricando. Es el caso de la cachaza, desecho de la industria azucarera, que queda con un contenido variable de carbonato de calcio y que es utilizado como encalante y fuente de este elemento.

3.5.3. Determinación de las necesidades de cal

La determinación de las necesidades de cal de los suelos, idealmente, se debería evaluar en ensayos de campo. De esta forma se tendrían en cuenta todas las variables que interviene en este proceso. Entre los factores del suelo que se tendrían en cuenta están: el desarrollo del suelo, el tipo de material parental, el contenido y tipo de arcilla y de materia orgánica, el grupo de acidez presente, el pH inicial y final deseado y la humedad del suelo, la forma de aplicación e incorporación de la cal, el cultivo, etc. Pero esto no es práctico en muchos aspectos, por el tiempo que consumiría. Dado que esta forma no es práctica, se han desarrollado los métodos rápidos para estimar las necesidades de enmienda.

Las necesidades de cal de las plantas no son iguales. Ciertos cultivos y variedades toleran diferencialmente el aluminio en el suelo, por ello los métodos para evaluar las necesidades de cal y los propósitos de aplicar estos materiales son muy diferentes. Por consiguiente, puede decirse que, algunas veces la aplicación de cal es más una fertilización que una enmienda (Mata, 1991; Sánchez y Salinas, 1983; Universidad de Oriente, 1977).

3.5.4. Efecto del encalado sobre las propiedades del suelo.

Como se ha señalado, el encalado produce en el suelo ciertos efectos como son elevar el pH; neutralizar el Al, Mn y Fe; suministrar Ca y Mg; mejorar las condiciones biológicas y promover un medio favorable para la utilización de los nutrimentos por las plantas. Bornemisza (1965), refiere que el encalado resulta

en un mejoramiento de la estructura del suelo y que también afecta muchas propiedades físico – químicas y biológicas. Así el encalado evita la formación de fosfatos de Fe y Al ya que se neutraliza el Fe y el Al existentes en el suelo. En los suelos donde la formación de fosfatos de Fe o Al es grande, éstos pueden aumentar su solubilidad al encalar los suelos de pH 5 a 6. Al respecto Sherman, (1971), asevera que la disponibilidad de P en suelos tropicales es función de la naturaleza de los complejos fosfatos aluminicos y férricos, que resultan de la reacción del P aportado al suelo con él Al y Fe. Si los hidróxidos de Al y Fe se hallan en estado amorfos altamente hidratados, la fijación bajo formas complejas será más rápida, pero, si estos elementos existen en formas de óxidos cristalinos tales como gibsita y hematita, la fijación se reduce considerablemente.

3.5.5. Efecto del encalado sobre el crecimiento y absorción de nutrientes por las plantas.

La producción agrícola es muy limitada en muchas zonas del mundo debido a la presencia de aluminio trivalente en suelos ácidos. Iones activos de Al pueden rápidamente (<1 h) inhibir el crecimiento tanto de la raíz primaria y la raíz secundaria (Jones *et al.* 1998). La gravedad de toxicidad del Al en las rizósfera depende de la cantidad de Al y la cantidad de radicales libres de oxígeno, incluyendo radicales superóxido (O_2^-) radical hidroxido (OH^-) y peróxido de hidrógeno (H_2O_2) que se producen en los tejidos de las plantas durante la exposición al estrés. Los radicales libres de oxígeno pueden causar daño oxidativo a las biomoléculas tales como lípidos, proteínas y ácidos nucleicos, que conduce a la peroxidación de la membrana celular, la pérdida de iones, la hidrólisis de proteínas, e incluso rotura de la hebra de ADN. La susceptibilidad de las plantas al estrés ambiental, como Al, ha informado de que se asocia con su capacidad antioxidante. Sin embargo, las plantas han desarrollado algunos sistemas de defensa para hacer frente al estrés oxidativo. Enzimas antioxidantes incluyendo la superóxido dismutasa (SOD), catalasa (CAT), y peroxidasas (POD) pueden actuar como uno de los sistemas de defensa importantes.

Se han hecho muchos esfuerzos para mejorar el crecimiento y el desarrollo de los cultivos que crecen en suelos ácidos, tales como el desarrollo de cultivares tolerantes al ácido (Zhu *et al.* 2003; Ezaki *et al.* 1999) y la adición de sustratos exógenos (Tang *et al.* 2003; Sauvant *et al.* 2004) para aliviar el efecto

tóxico de Al en suelos ácidos. El antagonismo de cationes se considera que es uno de los enfoques eficaces para aliviar la toxicidad del Al. Hasta la fecha, la investigación sobre el papel de cationes en el alivio de la toxicidad se ha centrado en Ca y Mg (Silva et al, 2001; Kinraide et al 2004; Zakir et al 2005). Está bien documentado que el calcio juega un papel muy importante en la regulación del metabolismo de la planta, mientras que el aluminio puede competir con él para sitios de unión de membrana. Sin embargo, sigue siendo en gran parte especulativas para explicar los efectos de alivio de Ca en la toxicidad Al y, en particular, hay pocos informes sobre el efecto del calcio en aliviar el estrés oxidativo causado por la toxicidad del Al. Por lo tanto, el propósito de este estudio fue investigar las interacciones Ca-Al con respecto a la acumulación del Al y el estrés oxidativo en las plantas de cebada.

4. MATERIALES Y METODOS

4.1. Ubicación del experimento

El presente experimento se realizó en las instalaciones del Laboratorio e Invernadero de Fertilidad del Suelo de la Universidad Nacional Agraria la Molina (UNALM) en las siguientes coordenadas:

Latitud sur : 12° 05' 06''

Latitud oeste : 76° 57' 00''

Altitud : 238 m.s.n.m.

4.2. Características del suelo

El suelo empleado para la prueba biológica, fue colectado de la capa arable (20 cm) de una parcela agrícola de propiedad del Sr. Juan Paitán Quintana, ubicada en el sector Cuti-cutí de la comunidad campesina de Aramachay, distrito de Sincos, provincia de Jauja, región Junín; a una altitud de 3750 m.s.n.m.

Luego del muestreo, el suelo fue desterronado, secado al aire por aproximadamente cinco días y muestreado para el análisis de caracterización.

Para el análisis del suelo se emplearon los métodos seguidos por el Laboratorio de análisis de suelos, plantas, aguas y fertilizantes de la UNALM (LASPAF-UNALM). El pH del suelo fue determinado mediante un potenciómetro digital en extracto acuoso de suelo en relación 1:1. La conductividad eléctrica fue determinada en el extracto de saturación del suelo. La textura fue determinada de acuerdo al método de Bouyoucos. El contenido de carbonato de calcio fue determinado por el método gaso-volumétrico mediante reacción con HCl.

La materia orgánica del suelo fue determinada por digestión vía húmeda (método de Walkley y Black), en tanto que el fósforo disponible fue determinado por colorimetría con el reactivo amino-naftol-sulfónico, del extracto de suelo empleando el extractante de Olsen (NaHCO_3 0.5M). El potasio disponible fue determinado por espectrofotometría de absorción atómica del extracto obtenido mediante solución extractante de acetato de amonio ($\text{CH}_3\text{COONH}_4$).

Los resultados obtenidos en el análisis del suelo, se resumen en el Cuadro N° 2.

El suelo presenta una textura franca con presencia moderada de fragmentos gruesos. Es de reacción extremadamente ácida; no salino, no calcáreo y con un contenido medio de materia orgánica y nitrógeno total. El cultivo en estudio, sin

embargo, presenta un amplio margen en cuanto a tolerancia a diferentes valores de pH. El contenido de fósforo disponible es muy alto, en tanto que el potasio es escaso, este último puede incidir en el rendimiento, pues la cebada requiere un elevado contenido de potasio.

La capacidad de intercambio catiónico del suelo es media, con contenidos moderados de calcio, magnesio y sodio cambiables; el potasio cambiabile es escaso, en tanto que la acidez cambiabile es moderadamente alta.

Cuadro N° 2 Propiedades físicas y químicas del suelo antes del experimento.

Características	Valor	Calificación
Arena (%)	46	
Limo (%)	40	
Arcilla (%)	14	
Clase textural (---)		Franco
pH (1:1) (---)	4.0	Muy fuertemente ácido
C.E. (1:1) (dS/m)	0.12	No salino
CaCO ₃ (%)	0.0	No calcáreo
M.O. (%)	3.6	Moderado
Nitrógeno (ppm)	1800	Moderado
Fósforo disponible (ppm)	21.5	Elevado
Potasio disponible (ppm)	126	Bajo
CIC (cmol _c .kg ⁻¹)	15.20	Moderado
Ca ²⁺ (cmol _c .kg ⁻¹)	1.83	Normal
Mg ²⁺ (cmol _c .kg ⁻¹)	0.28	Normal
K ⁺ (cmol _c .kg ⁻¹)	0.44	Escaso
Na ⁺ (cmol _c .kg ⁻¹)	0.19	Normal
H ⁺ + Al ³⁺ (cmol _c .kg ⁻¹)	2.00	Elevado
PSB (%)	57.8	Bajo
PAC (%)	42.2	Elevado

4.3. Información climática

La información meteorológica correspondiente al periodo experimental durante la fase de invernadero, fue obtenida en la estación meteorológica Alexander Von Humboldt de la UNALM. El Cuadro N° 3 presenta los datos climáticos de los meses de julio a octubre del 2007, correspondientes al periodo experimental.

Cuadro N° 3 Datos meteorológicos registrados durante el periodo experimental (Junio – Octubre, 2007)

Mes	Radiación solar (Ly/mes)	Heliofanía (horas/mes)	Temperatura (°C)			Humedad relativa (%)			Precipitación (mm)
			Media	Máxima	Mínima	Media	Máxima	Mínima	
Junio	9449.4	93.9	16.0	19.5	12.5	88.3	98.8	77.8	0.3
Julio	5164.6	40.4	15.1	17.3	13.0	90.9	99.2	80.5	3.1
Agosto	6051.3	41.5	14.7	16.9	12.5	90.0	97.0	83.0	2.8
Septiembre	6976.3	57.9	14.9	17.9	12.4	87.8	97.8	78.4	4.6
Octubre	1025.5	148.2	16.6	19.9	12.8	87.0	94.7	77.0	0.8

Fuente: Estación meteorológica "Von Humboldt" de la UNALM

Según el mapa mundial de clasificación climática de acuerdo al sistema de Köppen-Geiger (Kotttek et al., 2006), basado en promedios anuales de precipitación y temperatura, La Molina presenta un clima sub-tropical árido, del tipo desierto cálido (BWh).

Las condiciones de la campaña fueron favorables para el desarrollo de la cebada. La temperatura media fue 15.5 °C, con máxima de 18.3 °C, y mínima de 12.6 °C en promedio. La precipitación acumulada durante el periodo fue muy escasa (11.6 mm). A pesar de que la humedad relativa fue elevada, con un promedio de 88.8 %, no se manifestó una alta incidencia de enfermedades foliares.

La radiación solar fue baja durante los meses de julio a septiembre, pero fue elevada durante octubre. Se registró una heliofanía (número de horas de brillo solar por día) de un promedio de 2.5 horas sol/día.

4.4. Variedad ensayada

Para la prueba biológica del presente trabajo, se emplearon plantas de cebada (*Hordeum vulgare* L.) cultivar UNA-96.

4.5. Características del agua de riego

Para el desarrollo del experimento se empleó una fuente de agua subterránea procedente de un pozo de la localidad de Huachipa (Lima). El agua potable de la UNALM no fue utilizada debido a su elevada conductividad eléctrica (3.76 dS/m) perjudicial para el desarrollo de los cultivos.

El agua de riego fue analizada en el LASPAF-UNALM antes del ensayo. Los resultados del análisis se resumen en el Cuadro N° 4.

De acuerdo a las características analizadas, el agua de riego es clasificada como C₃S₁; esto es un bajo nivel de sodio y un alto riesgo de salinidad para el suelo.

Según el criterio de clasificación de agua propuesto por Richards (1972) y FAO (1976), a continuación se describen las características del agua de riego; la concentración total de sales solubles presenta una clasificación de C-3, con una conductividad eléctrica de 0.86 dS/m, lo cual significa un bajo nivel de salinidad. La relación de adsorción de sodio (RAS) para el agua en uso es de 1.10, lo cual indica un nivel bajo como para ocasionar problemas de alcalinidad.

La concentración de carbonatos (CO_3^{2-} , HCO_3^-) en relación a la concentración de Ca^{2+} y Mg^{2+} (CSR) nos habla de la acción degradante del agua en el denominado carbonato sódico residual, al ser menor de 1.25 meqL^{-1} es un agua recomendable para riego.

Cuadro N° 4 Análisis del agua usada en el experimento

Característica	Valor
pH	(---) 5.61
C.E.	(dS/m) 0.86
RAS	(---) 1.10
Boro	(ppm) 0.20
Sodio	(%) 22.82
Suma de aniones (-)	(meqL^{-1}) 8.58
Nitrato (NO_3^-)	(meqL^{-1}) 0.09
Carbonato (CO_3^{2-})	(meqL^{-1}) 0.00
Bicarbonato (HCO_3^-)	(meqL^{-1}) 1.78
Sulfato (SO_4^{2-})	(meqL^{-1}) 2.81
Cloruro (Cl^-)	(meqL^{-1}) 3.90
Suma de cationes (+)	(meqL^{-1}) 8.94
Calcio (Ca^{2+})	(meqL^{-1}) 5.38
Magnesio (Mg^{2+})	(meqL^{-1}) 1.40
Potasio (K^+)	(meqL^{-1}) 0.12
Sodio (Na^+)	(meqL^{-1}) 2.04
Clasificación del agua	C_3S_1

4.6. Enmiendas orgánicas empleadas

Las enmiendas orgánicas fueron provistas por agricultores de las comunidades campesinas de Sincos y Aramachay. Se seleccionaron fuentes orgánicas de uso frecuente y disponibilidad para los agricultores de la zona, preparados de acuerdo a los procedimientos locales. Estas fuentes fueron:

4.6.1. Estiércol de cuy fresco

Fue obtenido de una granja familiar de la comunidad de Sincos (Jauja, Junín). Esta enmienda es abundante en la zona por la presencia de criadores, y es frecuentemente empleada en la fertilización de cultivos.

4.6.2. Compost mixto

El compost fue provisto por una granja familiar de la comunidad campesina de Aramachay. Esta comunidad cuenta con mayor disponibilidad de residuos orgánicos, los cuales permanecen en campo luego de la cosecha, son pastoreados y a veces quemados. En la preparación del compost se incluyó paja de cereales y mezclas de estiércoles de ganado.

4.6.3. Bokashi

Fue preparado en la misma granja familiar de la cual se obtuvo el estiércol fresco. Este insumo fue preparado en pilas aéreas de aproximadamente 1.0 m de altura, siguiendo el procedimiento descrito para la elaboración de Bokashi (tecnología japonesa de compostaje, que incluye levaduras y azúcar).

El análisis químico de las enmiendas orgánicas ensayadas se presenta en el Cuadro N° 5.

Cuadro N° 5 Características fisicoquímicas de las fuentes orgánicas ensayadas

Parámetros	Estiércol de Cuy	Compost mixto	Bokashi
pH (1:1)	9.80	8.01	8.83
C.E. (1:1) dS/m	9.52	8.57	15.13
H ₂ O (% en peso fresco)	25.07	51.91	38.61
M.O (% en peso seco)	41.10	39.90	36.10
C (%)	23.80	23.20	20.90
N (%)	1.20	2.08	1.75
P ₂ O ₅ (%)	0.83	1.47	0.92
K ₂ O (%)	4.52	2.29	4.29
CaO (%)	3.75	3.99	6.19
MgO (%)	0.89	0.74	0.97
Relación C/N	19.83	11.15	11.94

4.7. Materiales y equipos

4.7.1. En fase de invernadero

- Mesas de invernadero.
- 40 macetas de 3.5 kg de capacidad.
- Carbonato de calcio (CaCO_3).
- Balde y recipientes graduados.
- Balanza con capacidad para 5 kg.

4.7.2. En fase de laboratorio

- Balanza de precisión digital.
- Balanza analítica.
- Bolsa de papel.
- Bandeja plástica.
- Cuaderno de apuntes y lápiz.
- Calculadora.
- Computadora con Microsoft Office.
- Dispositivo de almacenamiento masivo USB.
- Material de escritorio.
- Tamiz de 4mm.

4.8. Factores en estudio

4.8.1. Fuente de materia orgánica

Las tres enmiendas orgánicas orgánica anteriormente descritas: estiércol de cuy, compost y bokashi, fueron ensayadas a una dosis de aplicación de 2% de peso seco del suelo. Un tratamiento testigo sin aplicación de materia orgánica fue incluido.

4.8.2. Encalado del suelo

Dos niveles de encalado del suelo 0 (testigo) y $4 \text{ cmol}_e\text{kg}^{-1}$ aplicado en forma de cal agrícola o carbonato de calcio (CaCO_3) serán ensayados.

Cada tratamiento fue replicado 5 veces. Los tratamientos resultantes aplicados en el presente experimento pueden apreciarse en el Cuadro N° 6.

Cuadro N° 6 Tratamientos aplicados en el experimento

Clave	Materia orgánica (2% peso seco de suelo)	Encalado ($\text{cmol}_c \text{ kg}^{-1}$)
T ₁	Ninguna	0
T ₂	Ninguna	4
T ₃	Estiércol de cuy fresco	0
T ₄	Estiércol de cuy fresco	4
T ₅	Compost mixto	0
T ₆	Compost mixto	4
T ₇	Bokashi	0
T ₈	Bokashi	4

4.9. Métodos empleados (conducción del experimento)

La fase de invernadero inició el 19 de junio de 2007, fecha en la cual se realizó la siembra de la cebada UNA la Molina 96, concluyendo el 24 de octubre del 2007, fecha en la que se procedió a la cosecha de las unidades experimentales.

4.9.1. Preparación del suelo experimental

El suelo fue colectado en húmedo de la parcela agrícola descrita, ensacado y transportado a la UNALM. Posteriormente el suelo fue secado al aire, desterronado, molido y tamizado a través de una malla de cobre de 4 mm de diámetro. El suelo tamizado fue almacenado en un lugar seco hasta su empleo.

4.9.2. Determinación de la curva de encalado

Porciones de 50 g de suelo fueron colocadas en recipientes herméticos de plástico. Carbonato de calcio (CaCO_3) finamente pulverizado u óxido de calcio (CaO) en solución, fueron agregados a los recipientes en cantidad suficiente para neutralizar 100%, 200% y 400% de la acidez cambiante del suelo, dejando un testigo sin encalar. Tres repeticiones fueron instaladas para cada material encalante y nivel de neutralización.

Luego de la adición de CaCO_3 y CaO , se agregó agua destilada para llevar la humedad a 30% y el suelo fue incubado a 28 °C por dos semanas. Luego de este

periodo, se determino el pH del suelo utilizando agua destilada en relación suelo agua 1:1, para obtener la curva de encalado.

4.9.3. Preparación de las macetas

Las macetas de plástico fueron lavadas, esterilizadas con alcohol, etiquetadas y llenadas con 3.5 kg del suelo experimental tamizado.

4.9.4. Encalado del suelo

El suelo de las macetas fue encalado mediante la adición de 14 g de CaCO_3 , equivalentes al 200% de la acidez cambiante. El CaCO_3 fue mezclado uniformemente con el suelo en cada maceta.

4.9.5. Aplicación de las fuentes de materia orgánica

Las tres enmiendas orgánicas fueron aplicadas en proporción de 2% en base al peso seco del suelo. Para ello se emplearon 150.70 g., 113.65 g. y 93.42 g por maceta, para el compost, estiércol de cuy fermentado y el estiércol de cuy fresco, respectivamente.

4.9.6. Siembra y desahije

Quince semillas de cebada UNA-96 fueron sembradas en cada maceta. Una semana después de la siembra se alcanzó un 99 % de germinación y las plantas alcanzaron una altura promedio de 6 cm. En el día 13 después de la siembra se procedió al desahije, dejando 10 plantas por maceta.

4.9.7. Riego

Los riegos fueron frecuentes y ligeros, siendo más espaciados durante las primeras semanas a fin de prevenir posibles pudriciones radiculares, luego los riegos fueron aún más frecuentes y los volúmenes mayores.

Las macetas se regaron con 300 mL de agua (80 % de la capacidad de campo). Con más frecuencia al inicio del ensayo, y con menor cantidad a la madurez.

4.9.8. Evaluaciones y cosecha

La evaluación de altura de planta fue realizada a los 120 días después de la siembra, cuando el follaje todavía se encontraba verde.

La cosecha se realizó manualmente a los 127 dds, cuando el follaje de la planta estuvo totalmente seca y los granos en estadio de "frágil bajo el diente". En este momento el grano alcanzó un 12% de humedad. Los riegos fueron suspendidos 7 días antes de la cosecha.

Los testigos fueron cosechados 2 semanas después (141 dds), ya que diferían del estado de grano para cosechar frente a los otros tratamientos.

4.10. Variables evaluadas

En la planta de cebada

4.10.1. Altura de planta (cm)

La altura de planta fue medida con la ayuda de una cinta métrica, desde la base de la planta hasta el ápice de la espiga principal, sin incluir la arista. Para obtener un valor promedio se tomaron las 10 plantas de cada maceta.

4.10.2. Peso fresco de la planta (g)

Las plantas de cebada fueron cortadas al nivel del suelo y separadas en espigas y follaje (residuo). El follaje fue pesado en una balanza de precisión para obtener la biomasa residual por planta.

4.10.3. Peso seco de la planta (g)

Porciones de la biomasa residual anterior fueron cortadas en segmentos de aproximadamente 10 cm, pesadas y secadas a estufa a 70° C por 24 horas hasta alcanzar peso constante. El peso seco del follaje por planta fue calculado a partir de las porciones anteriores.

4.10.4. Número de macollos por maceta

Todos los macollos formados en cada maceta fueron contados.

4.10.5. Peso de mil granos (g)

Se contaron 1000 granos por cada maceta, para luego ser pesados en una balanza analítica.

4.10.6. Extracción de nitrógeno por la planta (mg maceta⁻¹)

Porciones de materia seca de follaje y de granos de cebada fueron molidas y homogenizadas para el análisis químico. El contenido de nitrógeno fue determinado mediante el método de micro Kjeldahl. Muestras de 0.1 g de la materia seca pulverizada fueron envueltas en papel manteca e introducidas en un balón y digeridas en presencia de 3 mL de H₂SO₄ concentrado y 0.1 g de catalizador de selenio. Luego de digestión, la muestra fue destilada con NaOH al 50% y el NH₃ desprendido fue capturado en solución de ácido bórico al 2%. Esta solución fue finalmente titulada con H₂SO₄ al 0.025 N (Jones, 1991). El cálculo para la obtención del nitrógeno es el siguiente:

$$N(\%) = \frac{G * C * 14}{W} * 100$$

Donde:

G = Gasto de ácido sulfúrico (L).

C = Normalidad exacta del ácido sulfúrico.

W = Peso de la muestra (g).

14 = Peso equivalente del nitrógeno.

Los contenidos de nitrógeno obtenidos fueron empleados para calcular las remociones parciales del follaje y el grano. La extracción total de nitrógeno fue calculada mediante la suma de las extracciones del grano y follaje.

4.10.7. Extracción de fósforo por la planta (mg maceta⁻¹)

Porciones de 0.5 g de materia seca pulverizada de follaje y grano, fueron sometidas a digestión vía húmeda empleando una mezcla 1:1 de ácidos nítrico y perclórico (Zasoski y Burau, 1977). El fósforo en el extracto fue determinado por desarrollo de color azul mediante el reactivo amino-naftol-sulfónico, y posterior lectura de absorbancia en un espectrocolorímetro Coleman Junior Mod 6C, a una longitud de onda de 650 nm.

Los contenidos de fósforo obtenidos fueron empleados para calcular las remociones parciales del follaje y el grano. La extracción total de fósforo fue calculada mediante la suma de las extracciones del grano y follaje.

4.10.8. Extracción de potasio por la planta (mg maceta⁻¹)

Se tomó una alícuota de 1 ml de extracto anterior y se llevó a volumen de 50 ml con agua bidestilada. El contenido de potasio fue determinado por espectrofotometría de absorción atómica, empleando un espectrofotómetro Perkin Elmer 303.

La extracción total de potasio fue calculada mediante la suma de las extracciones del grano y follaje.

En el suelo

4.10.9. pH del suelo (1:1)

Muestras de suelo de cada maceta fueron secadas al aire por 48 horas, molidas y tamizadas en una malla de 2 mm de diámetro para obtener la TFSA. El pH del suelo fue determinado en agua destilada usando una proporción 1:1 de suelo:agua, y empleando un potenciómetro digital Hanna 620.

4.10.10. Conductividad eléctrica

Las suspensiones de suelo anteriores fueron filtradas y fue leída la conductividad eléctrica (dS/m) de los extractos obtenidos, fue medida en un conductivímetro digital marca YSI (*Yellow Springs Instruments*) con aproximación al centésimo.

4.10.11. Contenido de carbono orgánico total (g maceta⁻¹)

El contenido de carbono orgánico en las muestras fue determinado por digestión en ácido sulfúrico y bicromato de potasio (método de Walkley y Black), y posterior espectrocolorimetría (Nelson y Sommers, 1996).

4.11. Análisis estadístico

4.11.1. Diseño experimental

En el presente trabajo se empleó un diseño completo al azar (DCA) con 8 tratamientos y 5 repeticiones por tratamiento. Los tratamientos resultaron de la combinación entre los niveles de fuente de materia orgánica (factor A), por los niveles de encalado (factor B).

El modelo aditivo lineal aplicado para el experimento factorial $p \times q$ fue:

$$Y_{ijk} = \mu + \alpha_i + \beta_j + (\alpha\beta)_{ij} + \xi_{ijk}$$

$i=1, \dots, p \quad j=1, \dots, q \quad k=1, \dots, r_{ij}$

Donde:

Y_{ijk} es el rendimiento observado en la k -ésima maceta bajo la i -ésima fuente de materia orgánica y el j -ésimo nivel de encalado.

μ es el efecto de la media general.

α_i es el efecto del i -ésimo tipo de materia orgánica.

β_j es el efecto del j -ésimo nivel de encalado.

$(\alpha\beta)_{ij}$ es el efecto de la interacción en el i -ésimo tipo de materia orgánica, j -ésimo nivel encalado.

ξ_{ijk} es el efecto del error experimental en el i -ésimo tipo de materia orgánica, j -ésimo nivel encalado, k -ésima repetición.

p es el número tipos de materia orgánica.

q es el número de niveles de encalado.

r_{ij} es en número de repeticiones en el i -ésimo tipo de materia orgánica, j -ésimo nivel de encalado.

La distribución de grados de libertad para el análisis estadístico, de acuerdo a las fuentes de variación es la siguiente:

Cuadro N° 7 Distribución de grados de libertad por fuente de variación

Fuente de variación		Grados de libertad (G.L)
Tratamientos (t)	$t - 1$	7
Error	$\sum n_i - t$	32
Total	$\sum n_i - 1$	39

4.11.2. Tratamiento estadístico

En el presente experimento se empleó un diseño completo al azar (DCA) con arreglo factorial de cuatro niveles de fuente de materia orgánica: (estiércol de cuy, compost, bokashi y control sin materia orgánica) por dos niveles de aplicación de encalado (0 y 4 $\text{cmol}_c \text{kg}^{-1}$ de suelo) con 5 repeticiones por tratamiento.

Los datos obtenidos de la evaluación de variables en los diferentes tratamientos fueron sometidos al análisis de variancia (ANVA). Los promedios fueron comparados mediante la prueba de comparación de Tukey con un nivel de significación de 0.05. El análisis estadístico fue realizado empleando el paquete *Agricolae* del ambiente para la computación estadística R, versión 2.13.2 (R Development Core Team. 2011).

5. RESULTADOS

EN LA PLANTA DE CEBADA

5.1. Altura de planta (cm)

La prueba de ANVA demostró que hay evidencia altamente significativa ($\alpha = 0.01$) para aceptar la existencia de interacción entre el tipo de materia orgánica y la aplicación de carbonato de calcio en la altura de planta. Por lo tanto, se analizan los efectos simples (Figura N° 1)

La aplicación de encalado incrementó la altura con relación al testigo. Cuando se usó compost, estiércol de cuy y bokashi la aplicación del encalado no generó cambios en la altura de planta, por el contenido de ceniza (altos en calcio) en su preparación.

La aplicación de materia orgánica incrementó la altura de la planta con respecto al testigo, pero no se aprecia diferencias entre las fuentes.

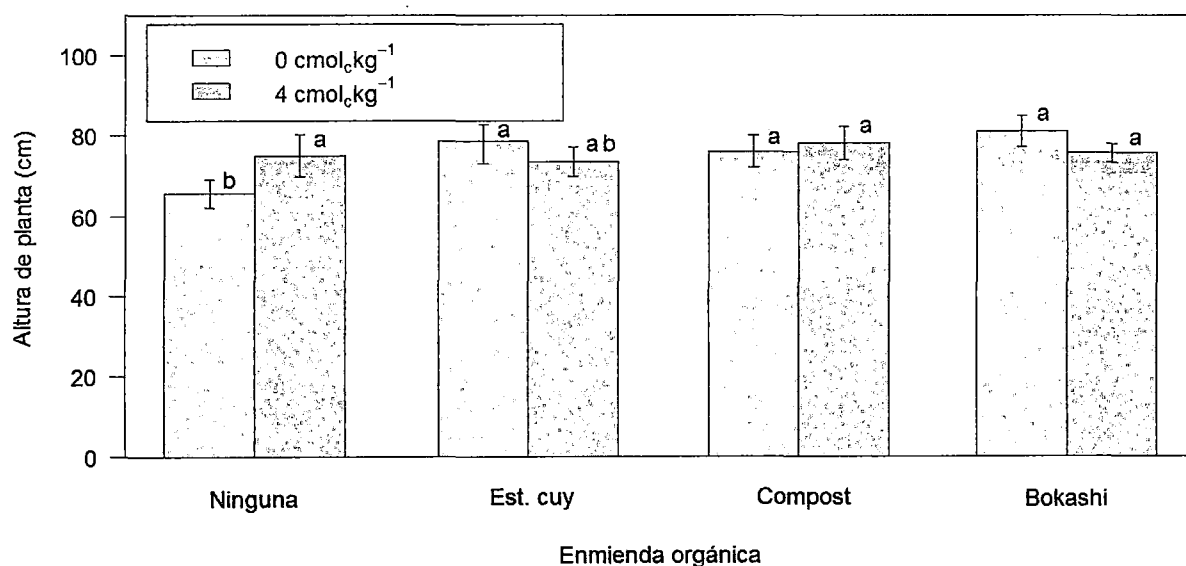


Figura N° 1 Efecto de la aplicación de materia orgánica en la altura de planta (cm), con encalado y sin encalar.

Cuadro N° 8 Efecto de la aplicación de tres fuentes de materia orgánica y encalado los parámetros de altura, peso fresco, peso seco, numero de macollos y peso de mil granos en la planta de cebada.

Fuente orgánica	Encalado (cmol _c kg ⁻¹)	Altura de planta (cm)	Peso fresco	Peso seco	Número de macollos	Peso de mil granos
			(g maceta ⁻¹)			(g)
Ninguna	0	65.6 b	27.17 e	16.06 e	5.2 d	60.10 b
	4	75.1 a	43.10 d	28.10 d	14.2 c	68.88 ab
Estiércol de Cuy	0	78.6 a	54.19 c	32.56 cd	23.0 ab	68.00 ab
	4	73.5 ab	66.46 ab	41.06 ab	25.6 a	64.66 ab
Compost mixto	0	76.0 a	49.70 cd	30.52 cd	18.8 bc	68.82 ab
	4	78.1 a	56.33 bc	35.80 bc	19.0 bc	72.76 a
Bokashi	0	81.0 a	59.22 bc	40.91 ab	21.8 ab	69.12 ab
	4	75.5 a	72.18 a	45.74 a	26.2 a	65.14 ab
Fuente orgánica		**	**	**	**	*
Encalado		N.S.	**	**	**	N.S.
Fuente orgánica × encalado		**	N.S.	*	*	*
C.V. (%)		5.49	9.75	8.32	15.79	7.12

Valores dentro de cada columna seguidos por la misma letra no son significativamente diferentes ($P < 0.05$) de acuerdo a la agrupación de la prueba de comparación de medias HSD de Tukey.

5.2. Peso fresco de la planta (g)

Las pruebas estadísticas mostraron diferencias altamente significativas para el tipo de materia orgánica y para el encalado (con $\alpha = 0.01$) en el peso fresco de planta de cebada (Figura N° 2). La interacción entre ellos no fue significativa ($\alpha = 0.05$).

La prueba de comparaciones de medias de Tukey para el tipo de materia orgánica en el peso fresco de planta, nos da un efecto mayor para el bokashi con 65.7 g, superior al estiércol de cuy con 60.33 g y compost en 53.02 g, todos estos mayores al tratamiento sin materia orgánica 35.14 g.

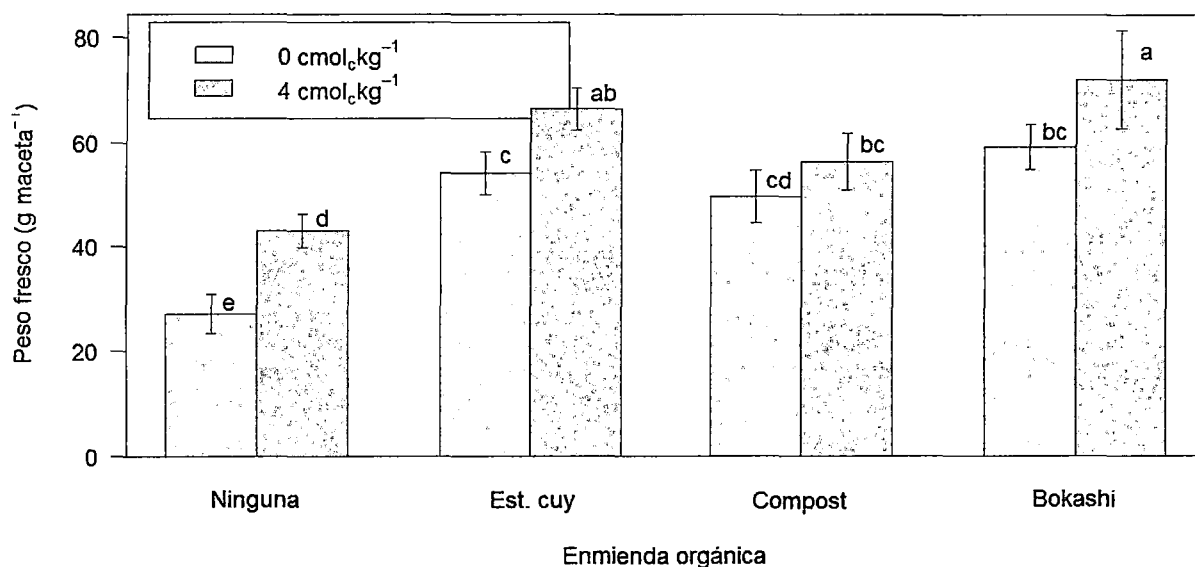


Figura N° 2 Efecto de la aplicación de materia orgánica en el peso fresco de cebada (g), con encalado y sin encalar.

5.3. Peso seco de la planta (g)

La prueba de ANVA arrojó que la interacción entre la fuente orgánica y promedio del encalado fue significativa ($\alpha = 0.05$) para el peso seco de la planta de cebada UNA 96 (Figura N° 3). La aplicación de encalado registró incremento en el peso seco de la cebada cuando se le aplicó estiércol de cuy, compost y bokashi. El tratamiento testigo encalado tiene 12.04 g más de materia seca que su parte sin encalar. Las aplicaciones de las materias orgánicas dieron una mayor materia seca. El estiércol de cuy sin encalado (pH 5.95) por el aporte de CaO de las cenizas mezcladas tiene un peso de 32.56 g y en su parte encalada (pH 7.22) con un peso de materia seca de 41.06 g. El compost sin encalar (pH 5.27) por la ceniza, tiene 30.52 g frente a los 35.80 g del

compost encalado (pH 6.9). En los tratamientos con bokashi sin encalar (pH 6.40) por las cenizas de su preparación con un 40.91 g de materia seca, mientras su encalado (pH de 7.11) con 45.74 g de materia seca.

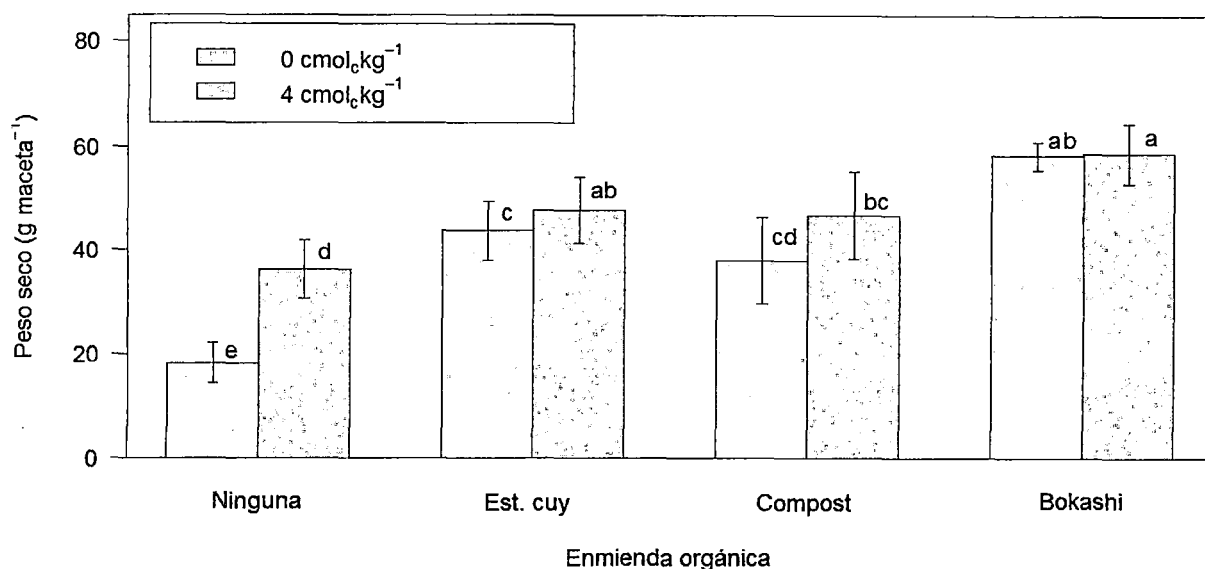


Figura N° 3 Efecto de la aplicación de materia orgánica en el peso seco de cebada (g), con encalado y sin encalar.

5.4. Número de macollos por maceta

El número de macollos por maceta se vio influenciado por la aplicación de materia orgánica, la aplicación de encalado y por la interacción de ambos factores (Figura N° 4). Las tres fuentes de materia orgánica ensayadas superaron al testigo sin materia orgánica en el número de macollos.

El número promedio de macollos obtenido en las planas de cebada bajo en el testigo fue de 5.2; para la aplicación de encalado sin materia orgánica, alcanzó un pH de 6.89 y mostro un aumento en la cantidad de macollos (14.2 macollos). En el tratamiento con bokashi sin encalado se presentó un promedio de 21.8 macollos por maceta a pH 6.4. El tratamiento con encalado con la misma fuente de materia orgánica con pH 7.11 obtuvo 26.2 macollos en promedio. El tratamiento con el compost y estiércol de cuy no mostró un aumento en la cantidad de macollos. Es decir, que no se llegaron a número de macollos significativos con la aplicación de carbonato de calcio (CaCO₃). En el tratamiento con compost sin encalar con un promedio de 18.8 macollos por maceta a 19 en el tratamiento encalado, así el estiércol de cuy sin encalado con un promedio de 23

macollos por maceta y 25.6 con la misma fuente de materia orgánica y encalado (Cuadro N° 8)

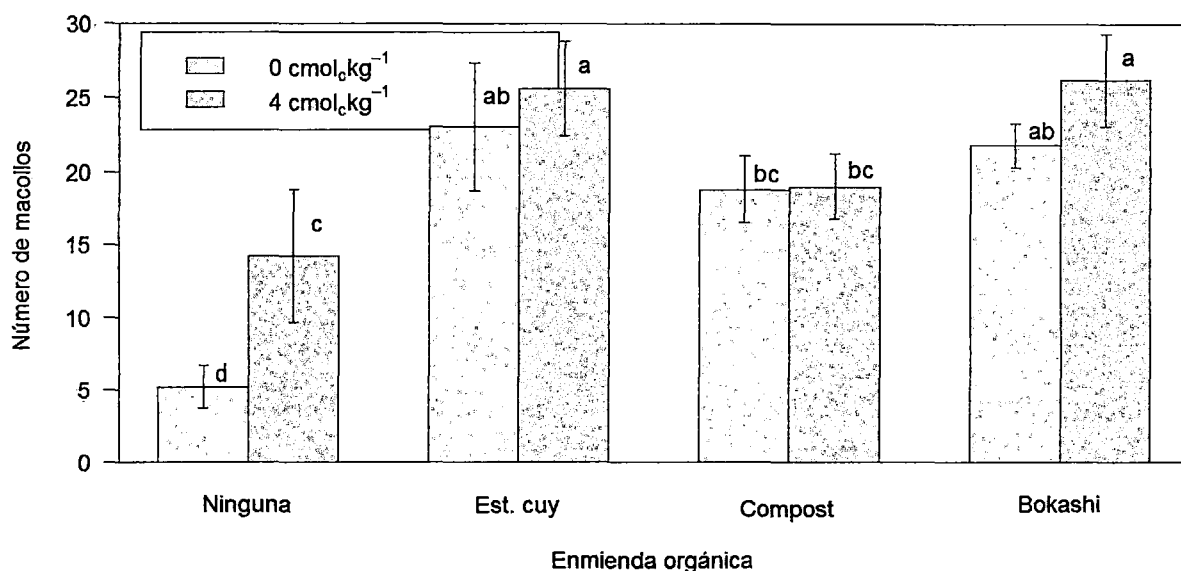


Figura N° 4 Efecto de la aplicación de materia orgánica en el número de macollos; con encalado y sin encalar.

5.5. Peso de mil granos (g)

El ANVA arrojó diferencias significativas ($\alpha = 0.05$) para la para la fuente de materia orgánica y para la interacción entre ésta y el encalado para el peso de mil granos con 14% de humedad (Cuadro N° 8).

El encalado incrementó el peso de mil granos solo cuando no se aplicó materia orgánica.

La prueba de comparación de medias de Tukey para el efecto de la aplicación de materia orgánica en el peso de mil granos sin encalado nos da una tendencia mayor de los tratamientos con estiércol de cuy, compost y bokashi frente al tratamiento sin adición de materia orgánica. Para los tratamientos con encalado nos da una respuesta homogénea (Figura N° 5).

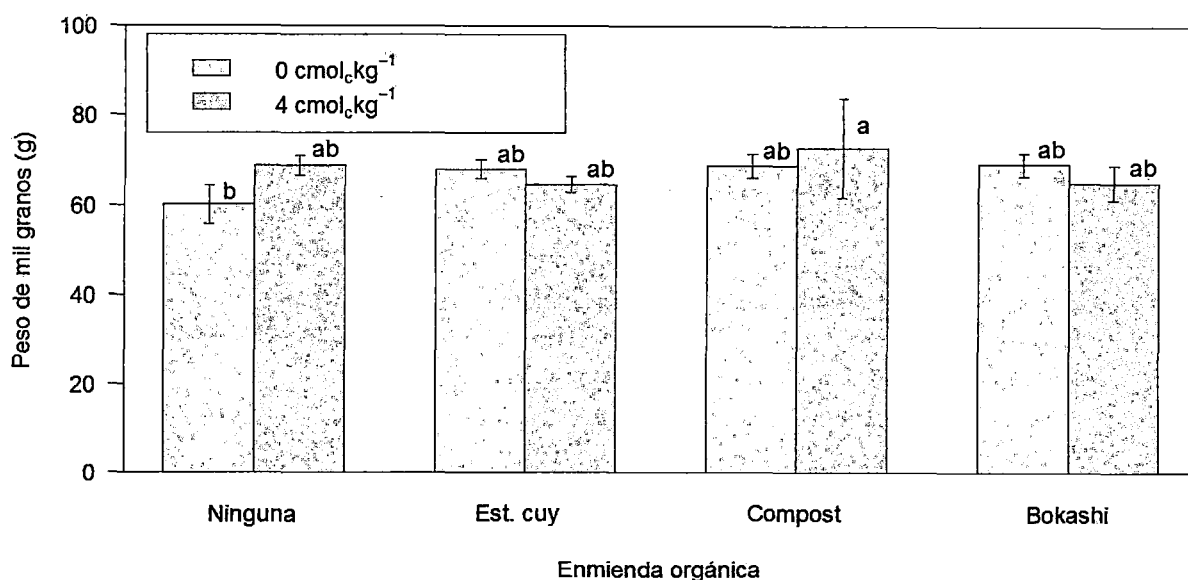


Figura N° 5 Efecto de la aplicación de materia orgánica en el peso de mil granos (g) con encalado y sin encalar.

5.6. Extracción de nitrógeno por la planta (mg maceta⁻¹)

El efecto de la interacción de factores, materia orgánica y carbonato de calcio fue significativa ($\alpha = 0.05$) para el contenido de nitrógeno total en la planta de cebada.

Existe suficiente evidencia estadística para aceptar que con o sin aplicación de encalado se obtengan resultados diferentes en el contenido de nitrógeno en la planta de cebada sin ninguna fuente orgánica y cuando se usa compost mixto. La prueba de comparación de medias de Tukey para el efecto del tipo de materia orgánica en el contenido de nitrógeno en la planta de cebada sin encalado mostró el efecto superior del bokashi (690.36 mg/maceta), estiércol de cuy (559.39 mg/maceta) y compost (436.77 mg/maceta). Con el testigo se obtuvo 206.39 mg/maceta. Figura N° 6.

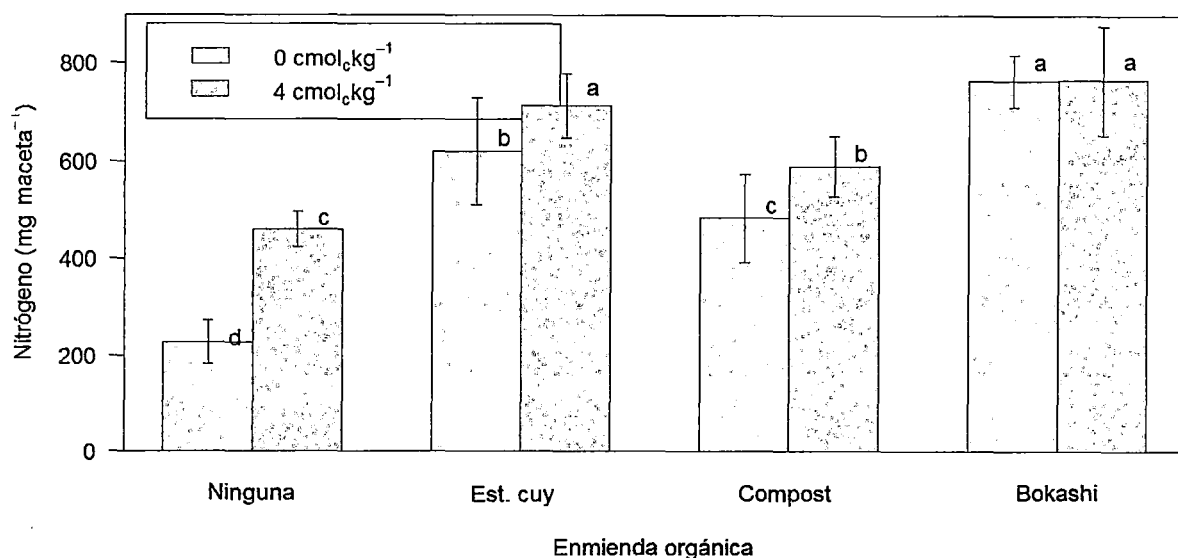


Figura N° 6 Efecto de la aplicación de materia orgánica en el contenido de nitrógeno total (mg maceta⁻¹), con encalado y sin encalar.

5.7. Extracción de fósforo por la planta (mg maceta⁻¹)

El efecto de la interacción de factores: aplicación de materia orgánica y aplicación de carbonato de calcio fue significativa ($\alpha = 0.05$) para el contenido de fósforo en la planta de cebada (Figura N° 7).

Existe suficiente evidencia estadística para aceptar que con el encalado se obtengan incrementos en el contenido de fósforo de la planta de cebada cuando no se aplica ninguna materia orgánica en estudio.

La prueba de comparación de medias de Tukey para el efecto del tipo de materia orgánica en el contenido de fosforo en la planta de cebada sin encalado mostró el efecto superior del bokashi (111.25 mg maceta⁻¹), frente al estiércol de cuy (94.25 mg maceta⁻¹) y compost (93.1 mg maceta⁻¹). Todos ellos superiores al testigo (40.67 mg maceta⁻¹).

La prueba de medias para el efecto: aplicación de materia orgánica en el contenido de fosforo de la planta de cebada con encalado nos mostró que no hay un efecto superior entre el bokashi (112.85 mg maceta⁻¹), compost (104.61 mg maceta⁻¹), estiércol de cuy (98.12 mg maceta⁻¹) y el tratamiento sin ninguna adición de materia orgánica en estudio (82.24 mg maceta⁻¹).

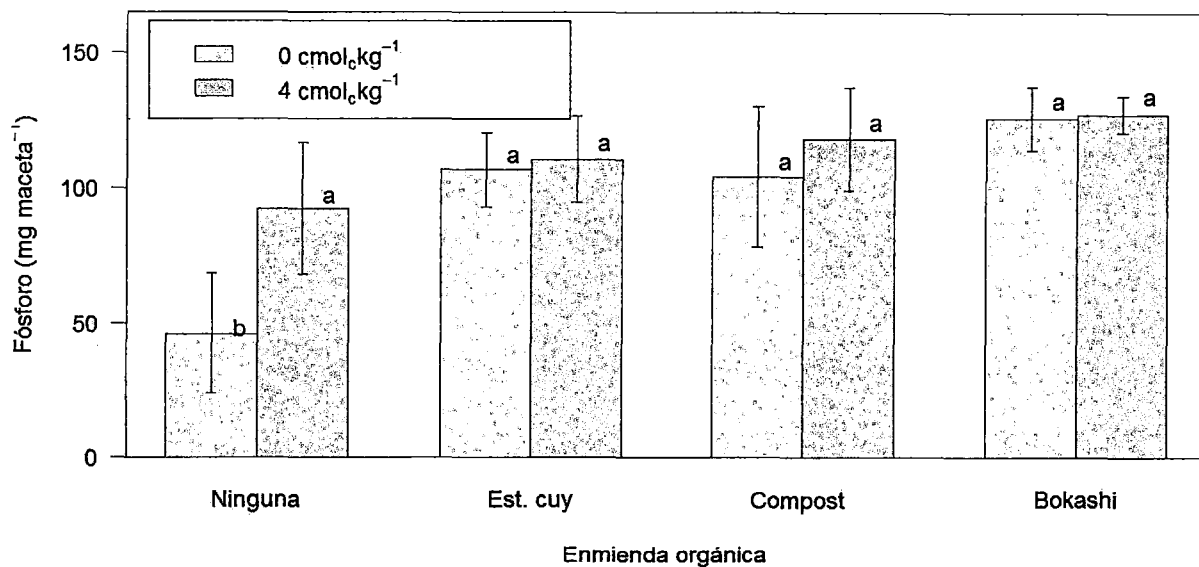


Figura N° 7 Efecto de la aplicación de materia orgánica en el contenido de fósforo total (mg maceta⁻¹), con encalado y sin encalar.

5.8. Extracción de potasio por la planta (mg maceta⁻¹)

Respecto al efecto de la aplicación de carbonato de calcio para la variable contenido de potasio total el comparativo de medias Tukey establece que hay diferencias estadísticas entre las plantas encaladas (940.84 mg maceta⁻¹) y no encaladas (821.64 mg maceta⁻¹).

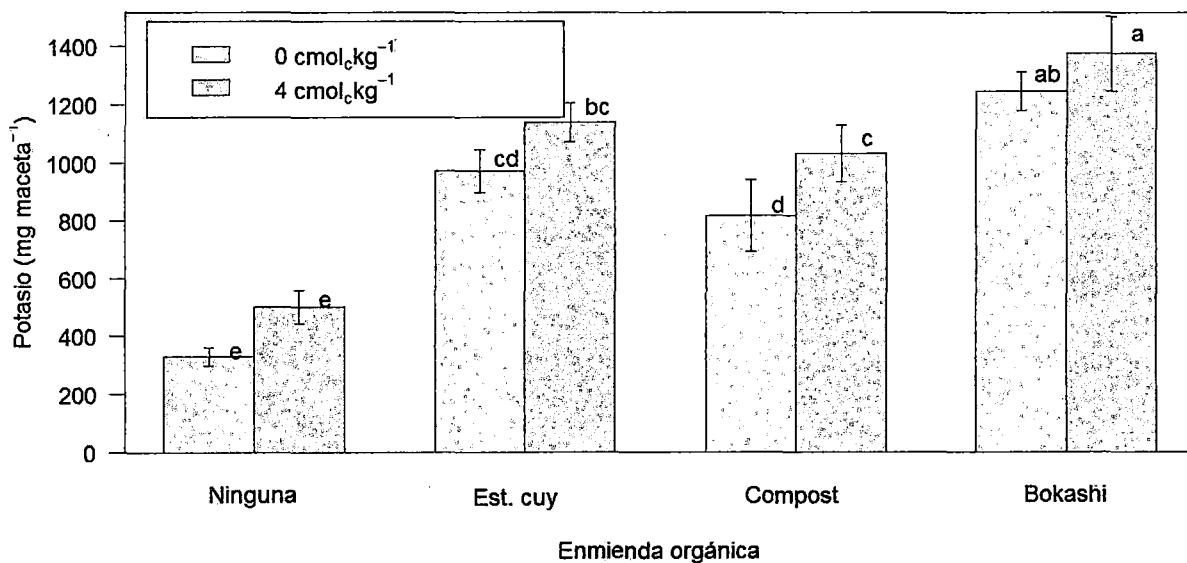


Figura N° 8 Efecto de la aplicación de materia orgánica en el contenido de potasio total (mg maceta⁻¹), con encalado y sin encalar.

Cuadro N° 9 Efecto de la aplicación de tres fuentes de materia orgánica y encalado en el contenido de N, P y K en los brotes.

Tratamiento	Contenido foliar (mg maceta ⁻¹)		
	N	P	K
Fuente orgánica			
Ninguna	95.04 c	7.72 b	307.90 d
Compost	134.18 b	13.63 a	759.56 c
Estiércol de cuy	175.91 a	10.56 ab	869.94 b
Bokashi	198.23 a	12.81 ab	1074.90 a
Encalado			
0 cmol _c kg ⁻¹	131.3 b	9.73 a	689.18 b
4 cmol _c kg ⁻¹	170.3 a	12.63 a	816.99 a
Fuente orgánica	**	N.S.	***
Encalado	**	N.S.	**
Fuente orgánica × Encalado	N.S.	N.S.	N.S.
C.V. (%)	24.13	49.35	9.89

Valores dentro de cada columna seguidos por la misma letra no son significativamente diferentes a $P < 0,05$, de acuerdo a la agrupación de la prueba de comparación de medias de HSD de Tukey.

Cuadro N° 10 Efecto de la aplicación de tres fuentes de materia orgánica y encalado en el contenido de Ceniza, N, P y K en los granos de cebada.

Fuente orgánica	Encalado ($\text{cmol}_c \text{ kg}^{-1}$)	Contenido en grano (mg maceta^{-1})		
		N	P	K
Fuente orgánica				
Ninguna	0	164.78 e	43.42 c	68.27 c
	4	332.55 d	79.81 b	147.69 b
Estiércol de cuy	0	362.64 cd	89.22 ab	149.18 b
	4	441.73 bcd	106.21 ab	178.78 b
Compost	0	462.01 abc	97.88 ab	176.12 b
	4	517.81 ab	98.48 ab	194.96 ab
Bokashi	0	578.86 a	113.86 a	213.96 ab
	4	554.60 ab	113.71 a	259.70 a
Fuente orgánica		**	**	**
Encalado		**	*	**
Fuente orgánica × encalado		*	*	N.S.
C.V. (%)		14.18	16.86	20.21

Valores dentro de cada columna seguidos por la misma letra no son significativamente diferentes a $P < 0,05$, de acuerdo a la agrupación de la prueba de comparación de medias de HSD de Tukey.

EN EL SUELO

5.9. pH del suelo (1:1)

Existe suficiente evidencia estadística para aceptar que con o sin la aplicación de encalado se obtengan resultados diferentes en el pH del suelo al término de la campaña tanto si no se usa ninguna de las fuentes orgánicas estudiadas, estiércol de cuy y compost (Figura N° 9). El pH inicial de 4.30 del suelo es llevado a 6.89 por el proceso de encalado haciendo significativa la aplicación de carbonato de calcio (CaCO_3). Los tratamientos de suelo a los que se adicionó estiércol de cuy, sin encalado fueron de este lleva a un pH 5.95 a 7.22, al adicionarle carbonato de calcio. Para el compost, la interacción de su ceniza y su descomposición llevó el pH del suelo a 5.27, mientras que su parte encalada a 6.90. No existe suficiente evidencia estadística para aceptar que con o sin encalado se obtengan resultados diferentes en el pH del suelo al término de la campaña cuando se usa bokashi, el pH llevado por las cenizas del bokashi y por su descomposición llevan al pH del suelo a 6.40 y su parte encalada a 7.11.

La prueba de comparación de medias de Tukey para el efecto da un aumento creciente del pH. De menor a mayor los suelos tratados sin encalar (4.30), compost (5.26) llegando al óptimo requerimiento para el cultivo, con el tratamiento con estiércol de cuy (5.94) y finalmente el bokashi con 6.40.

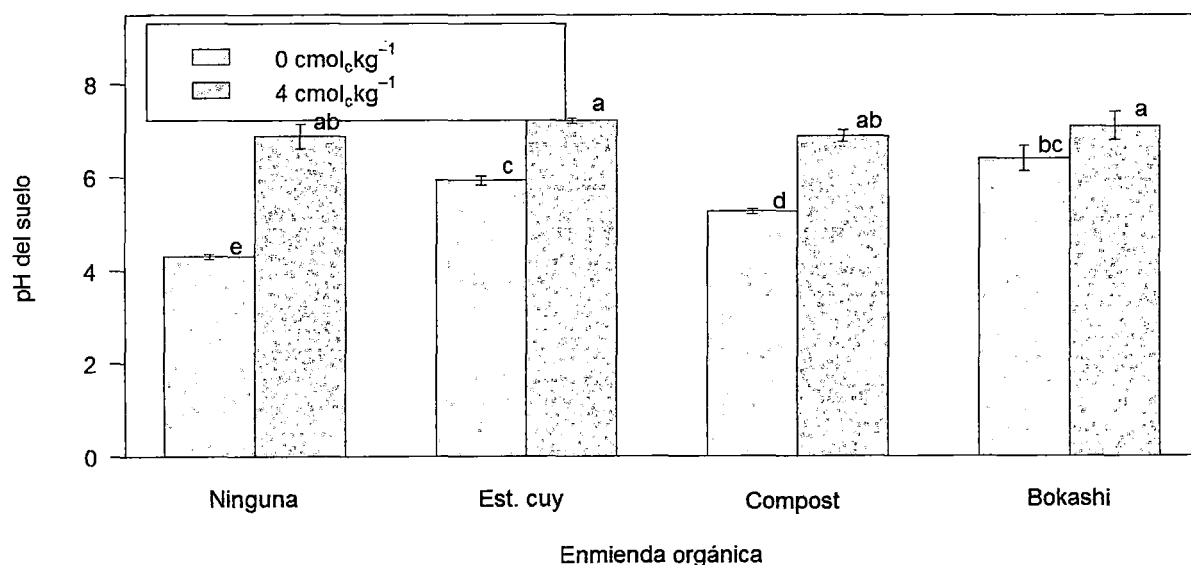


Figura N° 9 Efecto de la aplicación de materia orgánica en el pH del suelo después de la cosecha, con encalado y sin encalar.

5.10. Contenido de carbono orgánico del suelo

La aplicación de las fuentes orgánicas incremento significativamente el contenido de carbono orgánico en el suelo con respecto al testigo.

El tratamiento con estiércol de cuy, nos dio un alto porcentaje de materia orgánica pero no necesariamente disponible ya que necesita de los organismos del suelo para su degradación este tratamiento tuvo $82.76 \text{ mg maceta}^{-1}$. El tratamiento con compost, registró el mayor porcentaje de materia orgánica. El bokashi tuvo un bajo porcentaje de materia orgánica entre las fuentes estudiadas (Figura N° 10).

Respecto a este efecto el comparativo de medias de Tukey estableció que no hay diferencias estadísticas entre el suelo encalado y no encalado.

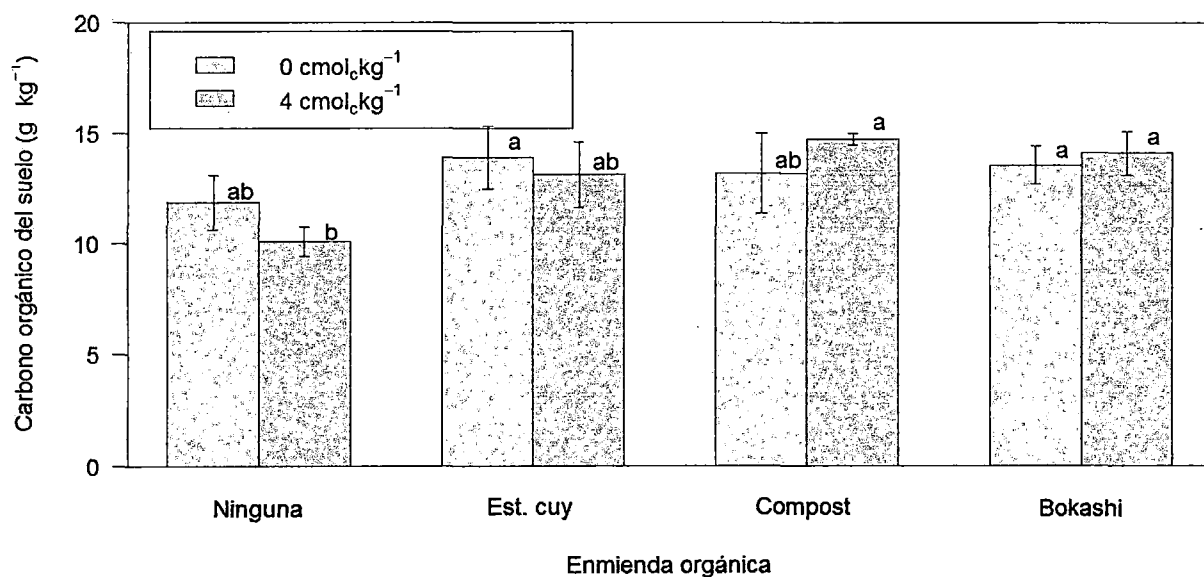


Figura N° 10 Efecto de la aplicación de materia orgánica en el contenido de carbono (g kg^{-1}), con encalado y sin encalar.

Cuadro N° 11 Efecto de la aplicación de tres fuentes de materia orgánica y encalado sobre la conductividad eléctrica, pH y contenido de carbono orgánico del suelo.

Tratamiento	Carbono orgánico (g kg⁻¹)	C.E. dS m⁻¹	pH (1:1)
Fuente orgánica			
Ninguna	10.98 b	2.13 b	5.59 c
Compost	13.96 a	2.57 ab	6.08 b
Estiércol de cuy	13.51 a	3.38 a	6.58 a
Bokashi	13.82 a	3.56 a	6.75 a
Encalado			
0 cmol _c kg ⁻¹	13.12 a	2.36 b	5.48 b
4 cmol _c kg ⁻¹	13.01 a	3.47 a	7.03 a
Fuente orgánica	***	*	***
Encalado	N.S.	**	***
Fuente orgánica × Encalado	N.S.	N.S.	***
C.V. (%)	10.43	33.29	3.40

Valores dentro de cada columna seguidos por la misma letra no son significativamente diferentes a $P < 0,05$, de acuerdo a la agrupación de la prueba de comparación de medias de HSD de Tukey.

6. DISCUSIÓN

El resultado actual resalta la importancia del calcio como catión importante para la regulación del pH del suelo, se sabe que juega un rol regulador, en el metabolismo y puede competir con el aluminio por los sitios de unión en la membrana (Ryan y Kochian 1992). Estos autores demostraron que la aplicación de carbonato de calcio podría aumentar la concentración de calcio y disminuir la concentración de aluminio en las plantas; lo cual, al menos en parte, puede atribuirse a una menor absorción debido a la competencia del calcio en la unión a la membrana plasmática.

El efecto favorable de la aplicación de las fuentes orgánicas sobre el crecimiento de las plantas de cebada observado en el presente experimento, puede también atribuirse al incremento que generaron en el pH del suelo. Además de un alto pH y 52% de carbonato de calcio equivalente, las ceniza de madera que constituían las fuentes también contenían Ca, K, Mg, P, y otros elementos con potencial para complementar el crecimiento de plantas; (Cuadro N° 5). Observaciones similares han sido reportadas para ceniza de madera de fresno (Vance, 1996; Meyers y Kopecky, 1998), lo que indica que la ceniza de madera puede ser una buena alternativa para mejorar el rendimiento de los cultivos en suelos con un pH bajo.

La aplicación de estiércol, compost y bokashi para el N y P requeridos por el grano de cebada tuvieron resultados similares. El N de los abonos hizo disponible el nivel de P del suelo. Una mayor eficiencia del uso del P de los abonos en este estudio puede reflejar el alto nivel de P en el suelo inicial. Mayor nivel de P en el suelo normalmente resulta en una menor adsorción del P aplicado al suelo. El uso eficiente del N y P fue para el Bokashi que el compost y el estiércol de cuy (Cuadro N° 10).

La aplicación de materia orgánica aumentó el nivel de carbono orgánico del suelo, aun cuando se aplicó cal. El encalado es una práctica que aumenta las tasas de mineralización del carbono orgánico del suelo, por lo que la promoción de cal como una estrategia para aumentar los rendimientos de la cebada se tiene que hacer con evaluaciones a largo plazo de sus efectos sobre el carbono orgánico del suelo, o sugerido en paralelo con la aplicación de fuentes orgánicas.

En cebada, al igual que en la mayoría de otros cultivos de grano, el rendimiento está fuertemente relacionado con el número de granos por unidad de área (Fischer, 1985; Savin y Slafer, 1991; Baethgen et al., 1995; Egli, 1998; Slafer et al., en prensa). La aplicación de materia orgánica aumentó el rendimiento de grano, la producción de brotes y materia seca total en las plantas de cebada. Reforzada en mayor asimilación de

nutrientes por el total de brotes y granos. El estiércol de cuy demostró ser una fuente adecuada para la fertilización orgánica del cultivo de cebada. Las diferencias observadas entre el estiércol de cuy y el compost mixto en el experimento actual no pueden ser explicadas en base a su contenido de NPK, pero podría estar relacionado con un incremento en la fuente de calcio. El proceso de fermentación que incluye la adición de azúcar, levadura y ceniza de madera; también puede haber promovido el crecimiento en los factores que resulta en el crecimiento de la raíz, estimulando la absorción de nutrientes, que se ha informado de fuentes orgánicas enriquecidos con microorganismos, en el proceso de elaboración del bokashi (Yamada y Xu, 2001).

7. CONCLUSIONES

- En el presente experimento, el encalado incrementó la producción de biomasa residual de cebada.
- Las fuentes orgánicas resultaron en mayor asimilación de nutrientes por el total de brotes y granos. El estiércol de cuy demostró ser una fuente adecuada para la fertilización orgánica del cultivo de cebada.
- Tanto el encalado como la aplicación de fuentes orgánicas aplicadas incrementaron el pH del suelo.
- Aunque la tasa de aplicación probada en este experimento (40 Mg ha^{-1}) es superior al promedio de dosis utilizadas en las comunidades, estos resultados parecen indicar que los abonos de corral puede incrementar el pH de suelos ácidos en las tierras altas.
- La aplicación de materia orgánica incrementó el contenido de carbono orgánico del suelo, incluso cuando se aplicó el encalado.

8. RECOMENDACIONES

Aunque los resultados en el presente experimento parecen indicar que la aplicación de las fuentes locales de materia orgánica puede efectivamente aumentar el rendimiento de grano y la producción de biomasa de cebada, el efecto de la cal requiere de una evaluación sobre el terreno.

La aplicación de estiércol y compost puede ser usado cuando la probabilidad o potencial pérdida de escorrentía del fósforo sea mínima.

9. BIBLIOGRAFIA

- Asociación Argentina de Consorcios Regionales de Experimentación Agrícola (AACREA). 2005. Cebada cervecera. Agroalimentos Argentinos II, pág 161-166.
- Abruña, F.; Pearson, R.W.; Pérez-Escolar, R. 1975. Lime response of corn and beans grown on typical Oxisols and Ultisols of Puerto Rico. En: Bornemisza, E.; Alvarado, A. (Eds.). *Soil management in tropical America*. North Carolina State Univ. Press. Raleigh.
- Alexander, M. 1980. Introducción a la microbiología del suelo. México.
- Alberti, G.; Sánchez, R. 1974. Poder y conflicto social en el Valle del Mantaro. Instituto de estudios peruanos. Lima - Perú. Pág. 135
- Arca, B.M. 1970. Manejo de suelos. Universidad Nacional Agraria La Molina. Lima-Perú 144 p.
- Arias, A. 2006 Encuesta de hogares sobre el consumo y encuesta agropecuaria. Proyecto sobre la cadena agropecuaria de cebada y menestras. Caritas – Huancayo 104 pp. Datos no publicados
- Augstburger, F. 1989. Abonos orgánicos en el cultivo de la papa en la zona andina de Bolivia. Ediciones – C. AGRUCO. Cochabamba – Bolivia.
- Baethgen, W.T.; Christianson, C.B.; García Lamothe, A. 1995. Nitrogen fertilizer effects on growth, grain yield, and yield components of malting barley. *Field Crops Res.* 43, 87–99.
- Bear, F. 1973. Suelos y fertilizantes. Ed. Omega. Barcelona España. 458 p.
- Bertsch, P.M.; Bloom, P.R. 1996. Aluminum. En: Sparks, D.L.(ed.). *Methods of Soil Analysis Part 3. Chemical Methods*. 517-549. SSSA - ASA.
- Black, C. A. 1965. Methods of soil analysis Part 2. Wisconsin. USA.
- Black, C. A. 1975. Relaciones suelo-planta, tomo II; Ed. Hemisferio Sur.
- Blake, G. R. y Hartge, K. H. 1986. Bulk Density. In *Methods of soil analysis. Part 1. Physical and mineralogical methods*, 363-375. Klute, A., ed: SSSA - ASA.
- Bonnet, J. 1968. La ciencia del suelo. San Juan – Puerto Rico.
- Bornemisza, E. 1982. Introducción a la química de suelos. Secretaria General de Organización de Estados Americanos. Washington D.C.
- Bornemisza, E. 1965. Conceptos modernos de acidez del suelo. Turrialba 15(1): 20-24.

- Bache, B.; Crooke, W. 1981. Interactions between aluminium, phosphorus and pH in the response of barley to soil acidity. *Plant and Soil* 61(3): 365-375.
- Bache, B.W.; Ross, J.A.M. 1991. Effect of phosphorus and aluminium in the response of spring barley to soil acidity. *The Journal of Agricultural Science* 117(03): 299-305.
- Brady, N.C.; Weil, R.R. 1999. The nature and properties of soil. Prentice Hall, Upper Saddle River, NJ.
- California Plant Health Association. 2004. Manual de fertilizantes para cultivos de altos rendimientos. Editorial. Limusa. México, DF-México.
- Cano, J. 1989. La Cebada. Ediciones Mundi prensa. Madrid – España 252 pp.
- Carver, B.; Owny, J.B.; 1995. Acid soil tolerance in wheat. *Advances in Agronomy* 54:117-173.
- Cepeda, J. 2002. Química del suelo. Ediciones Trillas México Df-México 167 Pp.
- Coronado, T.M. 1997. Efecto comparativo de tres enmiendas orgánicas; Estiércol, compost y humus de lombriz en el cultivo de cebada (*Hordeum vulgare* L.) Variedad Yanamuco. Tesis Ing. Agr. Universidad Nacional Agraria La Molina. Lima, Perú. pp
- Chapman, H.D. 1979. Total exchangeable bases. *In*: Black, C.A.; Evans, D.D.; White, J.L.; Ensminger, L.E.; Clark, F.E. (Eds.) - *Methods of Soil Analysis. Chemical and Microbiological Properties, part2*. Madison, Wisconsin, USA, American Society of Agronomy Inc. Publisher.
- Centro Internacional de Agricultura Tropical (CIAT). 1984. Oxisoles y ultisoles en América tropical. Guía de estudio
- Cruzado, A. 1977. Manual de fertilización para diferentes cultivos en el Perú. Lima-Perú.
- Cuy, F. Del S. 1958. Estudio preliminar de fórmulas orgánicas en la fertilidad física y química de un suelo arenoso y con el rendimiento de un cultivo de vainita (var. Bush Blue Lake) Pachacamac, Dpto. de Lima. Tesis Ing. Agr. Universidad Nacional Agraria La Molina. Lima – Perú.
- Dalzell, H. W.; Biddlestone, A.J. 1991. Manejo de suelo; Producciones y uso de composte en ambientes tropicales y subtropicales. ONU – FAO. Roma 158 P.
- Davelouis, J. 1990. Green manure applications to minimize aluminum toxicity in the Peruvian Amazon. Tesis PhD. North Carolina State University. Raleigh-USA.

- Davelouis, J. 1991. Fertilidad del suelo. Segunda Edición. Lima-Perú.
- De Mello, A. F. 1984. Origem, natureza e componentes da acidez do solo: Critérios para calagem. Seminário sobre corretivos agrícolas. Piracicaba / São Paulo.
- Días, R.R. 1970. Contenido de materia orgánica y nitrógeno en suelos de América Central. *Torralba* 20(2). 185-192 P.
- Duchaufour, P. 1984. 1. Edafogénesis y Clasificación. Masson, S. A., Barcelona.
- Egli, D.B. 1998. Seed Biology and the Yield of Grain Crops. CAB International, UK.
- Estrada, A.J. 1980. Química de suelos. Universidad Nacional Agraria La Molina. Dpto. de suelos y fertilizantes. Lima – Perú.
- Evans, L.T. 1993. Adaptation and the ecology of yield. En: *Crop Evolution, Adaptation and Yield*. Cambridge University Press, New York, NY. 116 pp.
- Canonn, J. A. 1990. Efecto de cuatros enmiendas orgánicas en el rendimiento de maíz y en las propiedades del suelo. Tesis Ing. Agr. Universidad Nacional Agraria La Molina. Lima – Perú. 61 p.
- Fassbender, H.; Bornemisza, E. 1986. Química de suelo con énfasis en los suelos de América Latina. 2da Edición. Editora. Instituto Interamericano de ciencias agrícolas de la OEA. Costa Rica.
- Fassbender, H. W. 1980. Química de suelos 2da reimpresión.
- Fernández, L. M. 1989. La organización de la producción de comunidades campesinas altoandinas. Lluvia Editores. Serie comunidades. Reporte técnico.
- Fischer, R.A. 1985. Number of kernels in wheat crops and the influence of solar radiation and temperature. *J. Agric. Sci., Camb.* 105, 447–461.
- Foy, C.D.; Chaney, R.L.; White, M.C. 1976. The physiology of metal toxicity in plants. *Ann. Rev. Plant Physiol.* 296, 511–566.
- Fuentes, J. 1999. Manual práctico sobre utilización de suelos y fertilizantes. Ediciones Mundi Prensa. Madrid – España. 155 p.
- Gaines, R.V., H.C.W. Skinner, E.E. Foord, B. Mason, A. Rosenzweig, V.T. King and E. Dowty. 1997 *Dana's New Mineralogy*, Eighth Edition, New York, John Wiley & Sons.
- García, B. 2011. Evaluating the biophysical resource management strategies of the agroecosystems in farm communities of the Mantaro Valley, Central Andes of Peru. Tesis PhD. Bioingeniería, Universidad Católica de Lovaina Belgica.

- García Del Moral, L. F.; Ramos, J. M. 1989. Fisiología De La Producción De Grano. La cebada, Molina-Cano, J. L. (Ed). Ediciones Mundi-Prensa, Madrid.
- Gómez P., L. R. 2007. "Información Técnica Sobre Cebada. Sistema De Mercadeo Y Comercialización"
[Http://www.Samconet.Com/Productos/Producto13/Descripcion13htm](http://www.Samconet.Com/Productos/Producto13/Descripcion13htm)
- Gomez-McPherson, H. 2007. *Hordeum vulgare* Plant. Record Originally Contributed By Food And Agriculture Organization Of The United Nations. http://Ecoport.Org/Ep?Plant=1232&Entitytype=PI****&Entitydisplaycategory=PI****0500
- Graftz. A. 1997 Suelos y fertilización. Traducido Por: F. Luna. Ediciones Trillas. México.
- Gros, A.; Dominguez V. A. 1992. Abonos guía práctica de la fertilización ediciones Mundi – Prensa. Madrid – España.
- Guerrero B., J. A. 1991. Manual de abonos Orgánicos Diaconia. Lima – Perú. 90 p.
- Hefni, 1978. Effect of phosphorus and nitrogenous fertilizer on the yield and agronomic characters of barley Zagazig Univ. Egypt soils and fertilizers, Abstracts Vol 41, January 1978 N°1.
- Huatuco B., C. 1997. Estudio de la velocidad de descomposición de diferentes fuentes de materia orgánica. Tesis M.Sc. Especialidad de suelos. EPG-Universidad Nacional Agraria La Molina . Lima – Perú.
- Jackson, M. L. 1966. Análisis químico de suelos. Editorial Universal. Barcelona.
- Jones J., B. J. 1991. Kjeldahl method for nitrogen determination. Athens, Ga: Micro-Macro Publishing Inc.
- Kamprath, E. J. 1980. La acidez de los suelos bien drenados de los trópicos como una limitación para la producción de alimentos. – INIPA- Programa de suelos tropicales.
- Kamisato M., J. L. 1996. Evolución de cinco genotipos de cebada bajo dos modalidades de siembra en surcos y al voleo, y dos densidades, bajo condiciones del valle del Mantaro. Programa de investigación y proyección social en cereales y granos nativos. Lima – Perú.
- Kinjo, T. 1982. Conceito de acidez dos solos. In: B. Van Raij., (Coord). Simposio sobre acidez e calagem no Brasil. Xv Reunião Brasileira de fertilidade do solo. Sociedade brasileira da ciência do solo. Campinas, Sao Paulo, P. 23 – 31.

- Kinraide, T. B.; Pedler, J. F.; Parker, D. R. 2004. Relative effectiveness of calcium and magnesium in the alleviation of rhizotoxicity in wheat induced by copper, zinc, aluminum, sodium, and low pH. *Plant and Soil*, 259, 201-208.
- Kononova, M. 1982. *Materia orgánica del suelo su naturaleza, propiedades y métodos de investigación*. Ediciones Oikos – Tau. Barcelona – España.
- Kottek, M.; Grieser, J.; Beck, C.; Rudolf, B. y Rubel, F. 2006. World map of the Köppen-Geiger climate classification updated. *Meteorologische Zeitschrift*, 15(3) 259-263.
- Limaylla J., R. V. 1993. Evaluación de rendimiento y otras características en mezclas de genotipos de cebada bajo condiciones del Callejón de Huaylas. Tesis M.Sc. Especialidad de mejoramiento genético de plantas. EPG-Universidad Nacional Agraria La Molina. Lima – Perú.
- Lindsay, W. L. 1979. *Chemical Equilibria in Soils*. Ed. John Willey and Sons. N. Y. 449p.
- Loli, O. 1979. Efecto de la acidez de los suelos en el normal crecimiento y desarrollo de tres especies de pastos. Tesis M.Sc. Especialidad de suelos. EPG-Universidad Nacional Agraria La Molina. Lima – Perú.
- Malavolta, E. 1985. Desordenem nutricionais no Cerrado. Associação brasileira para pesquisa da potassa e do fosfato. Piracicaba S. P. Brasil 135 P.
- Marrion G.M., D.M.; Hendricks, G.R. and Fuller, W.H. 1976. Mechanism of aluminum tolerance in snap beans: Root exudation of citri acid. *plant physiology* 96:737-743
- Marsh, B.H.; Grove, J.H., 1992. Surface and subsurface soil acidity: soybean root response to sulfate-bearing spent lime. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 56, 1837–1842.
- Mata, R. 1991. Los órdenes de suelos de Costa Rica. Taller de erosión de suelos, Memoria. Ed. W.G. Vahrson, M. Alfaro, G. Palacios. Organizado proyecto MADE. FAO PRODAF IPGH. Escuela de Ciencias Geográficas, Universidad Nacional, Heredia, Costa Rica. 236 p.
- Matus, J. F.; Maire, R. C. 1999. Relación entre la materia orgánica del suelo, textura del suelo y tasas de mineralización de carbono y nitrógeno. Universidad de Talca, Facultad de ciencias Agrarias. Talca-Chile.
- Meyers, N.L., and Kopecky, M.J. 1998. Industrial wood ash as a soil amendment for crop production. *Tappi J.* 81:123–130.
- McLean, E.O.; Dumford, S.W.; Coronel, F. 1966. A comparison of several methods of determining lime requirements of soil. *Soil Sci. Soc. Amer. Proc.* 30:26-30.

- Ministerio de Agricultura (MINAG). 2010. Series Históricas de Producción Agrícola - Compendio Estadístico. Oficina de Estudios Económicos y Estadísticos, ed.
- Neson, P.N., and Oades, J.M. 1998. Organic matter, sodicity and soil structure, p. 67-91. In M.E. Sumner and R. Naidu (eds.) Sodic soils. Oxford University Press, New York.
- Ministerio de Agricultura. 2008. Calendario de siembras y cosechas. Ministerio de Agricultura - Oficina de Estudios Económicos y Estadísticos -Unidad de Estadística. DGIA-MINAG.
- Ministerio de Agricultura y Riego (MINAGRI). 2012. Dinámica Agropecuaria 2003-2012. Oficina de Estudios Económicos y Estadísticos p. 14-18.
- Patterson, S. J.; Acharya, S. N.; Thomas, J. E.; Bertschi, A. B.; and Rothwell, R. L. 2004. Barley biomass and grain yield and canola seed yield response to land application of wood ash. *Agron. J.* 96(4): 971-977.
- Ping, C.L.; and Michaelson, G.J. 1986. Phosphorus sorption by major agricultural soils of Alaska. *Comm. Soil Sci. Plant Anal.* 17, 299-320
- Pionke, H. B.; and Corey, R. B. 1967. Relations between acidic aluminum and soil pH, clay and organic matter. *Ibid.* 31, 749-52.
- Pocknee, S.; Sumner, M. E. (1997): Cation and nitrogen contents of organic matter determine its soil liming potential. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 61, 86-92.
- Quispe, E.C.; Mueller; Ruiz, J.P.; Alfonso, J. L.; and Gutiérrez, G. 2008a. Actualidades sobre adaptación, producción, reproducción y mejora genética en camélidos. Universidad Nacional de Huancavelica. Primera Edición. Huancavelica, Perú, pp. 93-112
- Nelson, D. W.; Sommers, L. E. 1996. Total carbon, Organic carbon and organic matter. In: *Methods of soil analysis. Part 3. Chemical methods*, 961-1009. Sparks, D. L., ed: SSSA - ASA.
- Resumen Ejecutivo del INIA, <http://www.inia.gob.pe/component/content/article/132-cat-tecnologias/cultivos/396-tecnologia-en-cultivos-andinos>
- Ryan, P.R.; Shaff, J.E.; Kochian, L.V. 1992. Aluminum toxicity in roots. Correlation among ionic currents, ion fluxes, and root elongation in aluminum-sensitive and aluminum-tolerant wheat cultivars. *Plant Physiology.* 99: 1193-1200.

- Sánchez, P. 1981. Suelos del trópico. Características y manejo. Instituto Interamericano De Cooperación Para La Agricultura (IICA). San José. Costa Rica. 634 P
- Sánchez, P.; Bandy, D.E. 1982. Suelos de la Amazonía y su manejo para la producción continua de cultivos. INIPA-NCSU. Programa de suelos tropicales Yurimaguas. Serie Separatas N 1.
- Sánchez, P.; Benites, J. 1985. Opciones tecnológicas para el manejo racional de suelos en la selva Peruana. Inipa. North Carolina State University. Yurimaguas – Perú.
- Sanchez, P.A. and Salinas, J.G., Soil-plant relationships affecting varietal and species differences in tolerance to low available soil phosphorus. *Ciência e cultura* 28:156-168. 1976.
- Sauvant, M. P.; Pepin, D.; Bohatier J.; Groliere, C. A. 2004. Effect of chelators on the acute toxicity and bioavailability of aluminum to *Tetrahymena pyriformis*. *Aquatic Toxicology*, 47,259-215
- Savin, R.; Slafer, G.A. 1991. Shading effects on the yield of an Argentinean wheat cultivar. *J. Agric. Sci., Camb.* 116, 1–7.
- SAS Institute Inc. 2008. *SAS/STAT User's Guide*. Ver.9.2. Cary, NC.SAS Institute.
- Sherman, G. D. 1971. Phosphorus availability in tropical soils. *Agricultural Digest*. N° 23:18-20.
- Simpson, K. 1991. Abonos y fertilizantes. Edición Acriba S.A. Zaragoza – España. 267 Pp.
- Silva, I. R.; Smyth, T. J.; Israel, D. W.; Ruffy, T. W. 2001. Altered aluminum inhibition of soybean root elongation in the presence of magnesium. *Plant and Soil*, 230,223-230.
- Slafer, G.A., Gonza'lez, F.G., Kantolic, A.G., Whitechurch, E.M., Abeledo, L.G., Miralles, D.J., Savin, R., in press. Grain number determination in major grain crops. In: Basra, A.S. (Ed.), *Seed Science and Technology: Trends and Advances*. The Haworth Press, Inc., New York, USA.
- Sumner, M.E.; Shahandeh, H.; Bouton, J.; Hammel, J. 1986. Amelioration of an acid soil profile through deep liming and surface application of gypsum. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 50, 1254–1258.
- Tang, C.; Rengel, Z.; Diatloff, E.; Gazey, C. 2003. Responses of wheat and barley to liming on a sandy soil with subsoil acidity. *Field Crops Res.*

- Tisdale, N. 1987. Fertilidad de los suelos y fertilizantes segunda edición en español, editorial UTEHA.
- Trim, R. R. 1959. Metal ions as precipitants for nucleic acids and their use in the isolation of polynucleotides from leaves. *Biochem J.* 72; 289-304.
- R Development Core Team. 2011. R. A language and environment for statistical computing. R foundation for statistical computing. Vienna, Austria. ISBN 3-900051-07'0, URL <http://www.R-project.org/>
- Ruddell, E. D. 2002. Raising Smallholder Crop and Livestock Production in Andean Mountain Regions. In *Agroecological innovations: increasing food production with participatory development*, 173-186. Uphoff, N. T., ed: Earthscan Publications Ltd.
- Vance, E.D. 1996. Land application of wood-fired and combination boiler ashes: An overview. *J. Environ. Qual.* 25:937-944.
- Villagarcía, S. 1990 Resultado de ensayos de campo sobre fertilización y nutrición mineral en el cultivo de papa. Centro Internacional de la Papa, Universidad Nacional Agraria la Molina. Lima – Perú.
- Villagarcía, S. 1973 Aluminum tolerance in the Irish potato and the influence of substrate aluminum on growth and mineral nutrition of potatoes. Tesis Ph.D. North Carolina State University. Raleigh – Usa.
- Wild, A. 1992. Condiciones del suelo y desarrollo de las plantas. Ediciones Mundi – Prensa. Madrid – España.
- Yamada, K., and Xu, H. L. 2001. Properties and Applications of an Organic Fertilizer Inoculated with Effective Microorganisms. *Journal of Crop Production* 3(1): 255-268.
- Yan, F., Schubert, S., Mengel, K. 1996b: Soil pH increase due to biological decarboxylation of organic anions. *Soil Biol. Biochem.* 28, 617-624.
- Zapata H., R.D. 2004. La química de la acidez del suelo. Consulta: 12 de mayo de 2007.
- Zakir, H. M.; Takashi, O.; Hiroyuki, K.; Tetsuo, H. 2005. Effect of enhanced calcium supply on aluminum toxicity in relation to cell wall properties in the root apex of two wheat cultivars differing in aluminum resistance. *Plant and Soil*, 276, 193- 204.
- Zasoski, R. J.; Burau, R. G. 1977. A rapid nitric-perchloric acid digestion method for multi-element tissue analysis. *Communications in soil science and plant analysis.* 8: 425-436.

- Zhu, M. Y.; Pan, J. W; Wang, L. L.; Gu, Q.; Huang, C. Y. 2003. Mutation induced enhancement of *Al* tolerance in barley cell lines. *Plant Science*, 164, 17-23.
- Zuñiga, D. 1987. Proceso de compostaje y dinámica poblacional de la flora microbiana presente en el compost. Tesis M.Sc. Especialidad de Suelos. EPG-Universidad Nacional Agraria La Molina. 91 p.

10. CUADROS

Cuadro N° 1 Calendario agrícola de la provincia de Junín de siembra y cosecha de cebada en grano (%).....	13
Cuadro N° 2 Propiedades físicas y químicas del suelo antes del experimento.	25
Cuadro N° 3 Datos meteorológicos registrados durante el periodo experimental (Junio – Octubre, 2007)	26
Cuadro N° 4 Análisis del agua usada en el experimento.....	28
Cuadro N° 5 Características fisicoquímicas de las fuentes orgánicas ensayadas	29
Cuadro N° 6 Tratamientos aplicados en el experimento	31
Cuadro N° 7 Distribución de grados de libertad por fuente de variación	36
Cuadro N° 8 Efecto de la aplicación de tres fuentes de materia orgánica y encalado los parámetros de altura, peso fresco, peso seco, numero de macollos y peso de mil granos en la planta de cebada.	39
Cuadro N° 9 Efecto de la aplicación de tres fuentes de materia orgánica y encalado en el contenido de N, P y K en los brotes.	46
Cuadro N° 10 Efecto de la aplicación de tres fuentes de materia orgánica y encalado en el contenido de Ceniza, N, P y K en los granos de cebada.	47
Cuadro N° 11 Efecto de la aplicación de tres fuentes de materia orgánica y encalado sobre la conductividad eléctrica, pH y contenido de carbono orgánico del suelo.	50
Cuadro N° 12 Altura de planta (cm)	66
Cuadro N° 13 Peso fresco (g)	67
Cuadro N° 14 Peso seco de la planta (g)	68
Cuadro N° 15 Número de macollos por maceta.	69
Cuadro N° 16 Peso de mil granos (g)	70
Cuadro N° 17 Extracción de nitrógeno por la planta (mg maceta ⁻¹).....	71
Cuadro N° 18 Extracción de fósforo por la planta (mg maceta ⁻¹).....	72
Cuadro N° 19 Extracción de potasio por la planta (mg maceta ⁻¹)	73
Cuadro N° 20 pH del suelo (1:1)	74
Cuadro N° 21 Contenido de carbono orgánico del suelo.....	75
Cuadro N° 22 Variables biométricas.	76
Cuadro N° 23 Extracción de N,P y K por la planta en mg maceta ⁻¹	77
Cuadro N° 24 Variables del suelo pH y contenido de carbono orgánico	78

11. FIGURAS

Figura N° 1 Efecto de la aplicación de materia orgánica en la altura de planta (cm), con encalado y sin encalar.....	38
Figura N° 2 Efecto de la aplicación de materia orgánica en el peso fresco de cebada (g), con encalado y sin encalar.....	40
Figura N° 3 Efecto de la aplicación de materia orgánica en el peso seco de cebada (g), con encalado y sin encalar.....	41
Figura N° 4 Efecto de la aplicación de materia orgánica en el número de macollos; con encalado y sin encalar.....	42
Figura N° 5 Efecto de la aplicación de materia orgánica en el peso de mil granos (g) con encalado y sin encalar.....	43
Figura N° 6 Efecto de la aplicación de materia orgánica en el contenido de nitrógeno total (mg maceta ⁻¹), con encalado y sin encalar.....	44
Figura N° 7 Efecto de la aplicación de materia orgánica en el contenido de fósforo total (mg maceta ⁻¹), con encalado y sin encalar.....	45
Figura N° 8 Efecto de la aplicación de materia orgánica en el contenido de potasio total (mg maceta ⁻¹), con encalado y sin encalar.....	45
Figura N° 9 Efecto de la aplicación de materia orgánica en el pH del suelo después de la cosecha, con encalado y sin encalar.....	48
Figura N° 10 Efecto de la aplicación de materia orgánica en el contenido de carbono (g kg ⁻¹), con encalado y sin encalar.....	49

12. ANEXOS

Cuadro N° 12 Altura de planta (cm)

FV	G.L	S.C	C.M	F V	Pr > F	Sig.
Tratamiento	7	743.756	106.2509	6.18	0.0001	
M.O	3	371.702	123.9007	7.21	0.0008	**
AE	1	0.625	0.625	0.04	0.85	n.s
M.O*Encalado	3	371.429	123.8097	7.2	0.0008	**
Error	32	550.248	17.19525			
Total	39	1294.004				

C.V. 5.497435

ns: no significativo

* : F significativo a = 0.05

** : F significativo a = 0.01

FV	G.L	S.C	C.M	F V	Sig.
AE en T1T2	1	221.841	221.841	12.9013	**
AE en T3T4	1	65.536	65.536	3.811285	n.s
AE en T5T6	1	11.236	11.236	0.653436	n.s
AE en T7T8	1	73.441	73.441	4.271005	*
M.O en 0 cal	3	686.8655	228.9552	13.31502	**
M.O en encalado	3	56.2655	18.75517	1.090718	n.s
Error	32	550.248	17.19525		

Prueba de Tukey (a = 0.05) para el efecto de la aplicación de materia orgánica en la altura de planta (cm.) sin encaldo		
Tratamiento	Media (cm)	Tukey
sin M.O.	65.62	B
Estiercol de cuy	78.60	A
Compost mixto	76.02	A
Bokashi	80.98	A

Prueba de Tukey (a = 0.05) para el efecto de la aplicación de materia orgánica en la altura de planta (cm.) con encaldo		
Tratamiento	Media (cm)	Tukey
sin M.O.	75.04	A
Estiercol de cuy	73.48	Ab
Compost mixto	78.14	A
Bokashi	75.56	A

Cuadro N° 13 Peso fresco (g)

FV	G.L	S.C	C.M	FV	Pr > F	Sig.
Tratamiento	7	6869.2	981.3143	35.96	<.0001	
M.O	3	5328.728	1776.243	65.08	<.0001	**
AE	1	1427.189	1427.189	52.29	<.0001	**
M.O*Encalado	3	113.2834	37.76115	1.38	0.2656	n.s
Error	32	873.3554	27.29236			
Total	39	7742.555				

C.V. 9.756624

ns: no significativo

* : F significativo a = 0.05

** : F significativo a = 0.01

Prueba de Tukey (a = 0.05) para el efecto de la aplicación de materia orgánica en el peso fresco (g) sin encaldo		
Tratamiento	Media (cm)	Tukey
sin M.O.	27.17	E
Estiercol de cuy	54.19	c
Compost mixto	49.70	cd
Bokashi	59.22	bc

Prueba de Tukey (a = 0.05) para el efecto de la aplicación de materia orgánica en el peso fresco (g) con encaldo		
Tratamiento	Media (cm)	Tukey
sin M.O.	43.10	d
Estiercol de cuy	66.46	ab
Compost mixto	56.33	bc
Bokashi	72.18	a

Cuadro N° 14 Peso seco de la planta (g)

FV	G.L	S.C	C.M	FV	Pr > F	Sig.
Tratamiento	7	3046.134	435.1621	54.79	<.0001	
M.O	3	2375.65	791.8834	99.71	<.0001	**
AE	1	586.756	586.756	73.88	<.0001	**
M.O*Encalado	3	83.72804	27.90935	3.51	0.0262	*
Error	32	254.1499	7.942184			
Total	39	3300.284				

C.V 8.327241

ns: no significativo

* : F significativo a = 0.05

** : F significativo a = 0.01

FV	G.L	S.C	C.M	FV	Sig.
AE en T1T2	1	362.0429	362.0429	45.5848	**
AE en T3T4	1	180.3701	180.3701	22.71039	**
AE en T5T6	1	69.74881	69.74881	8.782069	**
AE en T7T8	1	58.32225	58.32225	7.343352	*
M.O en 0 cal	3	1600.637	533.5457	67.17872	**
M.O en encalado	3	858.7412	286.2471	36.04135	**
Error	32	254.1499	7.942184		

Prueba de Tukey (a = 0.05) para el efecto del tipo de materia orgánica en el peso seco (g) sin encalado		
Tratamiento	Media	Tukey
sin M.O.	16.062	E
Estiercol de cuy	32.562	C
Compost mixto	30.518	Cd
Bokashi	40.91	Ab

Prueba de Tukey (a = 0.05) para el efecto del tipo de materia orgánica en el peso seco (g) con encalado		
Tratamiento	Media	Tukey
sin M.O.	28.096	d
Estiercol de cuy	41.056	ab
Compost mixto	35.8	bc
Bokashi	45.74	a

Cuadro N° 15 Número de macollos por maceta.

FV	G.L	S.C	C.M	FV	Pr > F	Sig.
Tratamiento	7	1661.775	237.3964	25.73	<.0001	
M.O	3	1393.875	464.625	50.37	<.0001	**
AE	1	164.025	164.025	17.78	0.0002	**
M.O*AE	3	103.875	34.625	3.75	0.0204	*
Error	32	295.2	9.225			
Total	39	1956.975				

C.V 15.79854

ns: no significativo

* : F significativo a = 0.05

** : F significativo a = 0.01

FV	G.L	S.C	C.M	FV	Sig.
AE en T1T2	1	202.50	202.50	21.95	*
AE en T3T4	1	16.90	16.90	1.83	n.s
AE en T5T6	1	0.10	0.10	0.01	n.s
AE en T7T8	1	48.40	48.40	5.25	*
M.O en 0 cal	3	1006.80	335.60	36.38	**
M.O en enclado	3	490.95	163.65	17.74	**
Error	32	295.20	9.23		

Prueba de Tukey (a = 0.05) para el efecto de la aplicación de materia orgánica en el número de macollos sin enclado		
Tratamiento	Media	Duncan
sin M.O.	5.2	D
Estiercol de cuy	23	Ab
Compost mixto	18.8	Bc
Bokashi	21.8	Ab

Prueba de Tukey (a = 0.05) para el efecto de la aplicación de materia orgánica en el número de macollos con enclado		
Tratamiento	Media	Duncan
sin M.O.	14.2	c
Estiercol de cuy	25.6	a
Compost mixto	19	bc
Bokashi	26.2	a

Cuadro N° 16 Peso de mil granos (g)

FV	G.L	S.C	C.M	FV	Pr > F	Sig.
Tratamiento	7	508.252	72.60742	3.17	0.0115	
M.O	3	209.6101	69.87004	3.05	0.0425	*
AE	1	18.09832	18.09832	0.79	0.3805	n.s
M.O*Encalado	3	280.5435	93.51451	4.09	0.0145	*
Error	32	732.3198	22.88499			
Total	39	1240.572				

C.V 7.120394

ns: no significativo

* : F significativo a = 0.05

** : F significativo a = 0.01

FV	G.L	S.C	C.M	FV	Sig.
AE en T1T2	1	192.3349	192.3349	8.40441	**
AE en T3T4	1	27.93578	27.93578	1.220703	n.s
AE en T5T6	1	38.71843	38.71843	1.69187	n.s
AE en T7T8	1	39.65276	39.65276	1.732697	n.s
M.O en 0 cal	3	276.8214	92.2738	4.032066	n.s
M.O en encalado	3	213.3322	71.11075	3.107309	n.s
Error	32	732.3198	22.88499		

Prueba de Tukey (a = 0.05) para el efecto de la aplicación de materia orgánica en el peso de mil granos a 14% de humedad (g) sin encalado		
Tratamiento	Media	Tukey
sin M.O.	60.107	D
Estiercol de cuy	68.002	Ab
Compost mixto	68.82	Bc
Bokashi	69.119	Ab

Prueba de Tukey (a = 0.05) para el efecto de la aplicación de materia orgánica en el peso de mil granos a 14% de humedad (g) con encalado		
Tratamiento	Media	Tukey
sin M.O.	68.879	c
Estiercol de cuy	64.659	a
Compost mixto	72.756	bc
Bokashi	65.132	a

Cuadro N° 17 Extracción de nitrógeno por la planta (mg maceta⁻¹)

FV	G.L	S.C	C.M	FV	Pr > F	Sig.
Tratamiento	7	965296.8	137899.6	28.24	<.0001	
M.O	3	811586.4	270528.8	55.39	<.0001	**
AE	1	99539.13	99539.13	20.38	<.0001	**
M.O*Encalado	3	54171.35	18057.12	3.7	0.0216	*
Error	32	156283.5	4883.86			
Total	39	1121580				

C.V 13.3594

ns: no significativo

* : F significativo a = 0.05

** : F significativo a = 0.01

FV	G.L	S.C	C.M	FV	Sig.
AE en T1T2	1	111320	111320	22.79345	**
AE en T3T4	1	19155.5	19155.5	3.922206	n.s
AE en T5T6	1	23190.58	23190.58	4.748412	*
AE en T7T8	1	44.38185	44.38185	0.009087	n.s
M.O en 0 cal	3	635516.4	211838.8	43.37528	**
M.O en encalado	3	230241.3	76747.11	15.71444	**
Error	32	156283.5	4883.86		

Prueba de Tukey (a = 0.05) para el efecto del tipo de materia orgánica en el contenido de Nitrógeno total (mg/maceta) sin encalado.		
Tratamiento	Media	Tukey
sin M.O.	206.39	D
Estiercol de cuy	559.39	B
Compost mixto	436.77	C
Bokashi	690.36	A

Prueba de Tukey (a = 0.05) para el efecto de la aplicación de carbonato de calcio (encalado), en el contenido de Nitrógeno total (mg/maceta).		
Tratamiento	Media	Tukey
sin M.O.	417.41	c
Estiercol de cuy	646.92	a
Compost mixto	533.08	b
Bokashi	694.58	a

Cuadro N° 18 Extracción de fósforo por la planta (mg maceta⁻¹)

FV	G.L	S.C	C.M	F V	Pr > F	Sig.
Tratamiento	7	18687.91	2669.701	9.75	<.0001	
M.O	3	13994.7	4664.901	17.03	<.0001	**
AE	1	2141.54	2141.54	7.82	0.0087	**
M.O*Encalado	3	2551.666	850.5553	3.1	0.0402	*
Error	32	8765.904	273.9345			
Total	39	27453.81				

C.V 17.96353 ns: no significativo

* : F significativo a = 0.05

** : F significativo a = 0.01

FV	G.L	S.C	C.M	F V	Sig.
AE en T1T2	1	4318.5	4318.5	15.76472	**
AE en T3T4	1	37.28761	37.28761	0.136119	n.s
AE en T5T6	1	330.9701	330.9701	1.208209	n.s
AE en T7T8	1	6.44809	6.44809	0.023539	n.s
M.O en 0 cal	3	14024.5	4674.834	17.06552	**
M.O en encalado	3	2521.867	840.6225	3.068699	n.s
Error	32	8765.904	273.9345		

Prueba de Tukey (a = 0.05) para el efecto del tipo de materia orgánica en el contenido de Fosforo total (mg/maceta). Sin encalado.		
Tratamiento	Media	Tukey
sin M.O.	40.67	B
Estiercol de cuy	94.25	A
Compost mixto	93.1	A
Bokashi	111.25	A

Prueba de Tukey (a = 0.05) para el efecto de la aplicación de carbonato de calcio (encalado), en el contenido de Fosforo total (mg/maceta).		
Tratamiento	Media	Tukey
sin M.O.	82.24	a
Estiercol de cuy	98.12	a
Compost mixto	104.61	a
Bokashi	112.85	a

Cuadro N° 19 Extracción de potasio por la planta (mg maceta⁻¹)

FV	G.L	S.C	C.M	F V	Pr > F	Sig.
Tratamiento	7	4152482	593211.8	21.3	<.0001	
M.O	3	3935729	1311910	47.1	<.0001	**
AE	1	142103.1	142103.1	5.1	0.0309	*
M.O*Encalado	3	74650.22	24883.41	0.89	0.4552	n.s
Error	32	891327.5	27853.99			
Total	39	5043810				

C.V. 20.21 ns: no significativo

* : F significativo a = 0.05

** : F significativo a = 0.01

Prueba de Tukey (a = 0.05) para el efecto del tipo de materia orgánica en el contenido de Potasio total (mg/maceta). Sin encalado.		
Tratamiento	Media	Tukey
sin M.O.	68.27	C
Estiercol de cuy	149.18	B
Compost mixto	176.12	B
Bokashi	213.96	Ab

Prueba de Tukey (a = 0.05) para el efecto de la aplicación de carbonato de calcio (encalado), en el contenido de Potasio total (mg/maceta).		
Tratamiento	Media	Tukey
sin M.O.	147.69	b
Estiercol de cuy	178.78	b
Compost mixto	194.96	ab
Bokashi	259.70	a

Cuadro N° 20 pH del suelo (1:1)

FV	G.L	S.C	C.M	F V	Pr > F	Sig.
Tratamiento	7	35.2716	5.0388	16.65	<.0001	
M.O	3	3.49785	1.16595	3.85	0.0221	*
AE	1	24.11651	24.11651	79.67	<.0001	**
M.O*Encalado	3	7.657238	2.552413	8.43	0.0005	**
Error	24	7.2646	0.302692			
Total	31	42.5362				

C.V 8.667573 ns: no significativo

* : F significativo a = 0.05

** : F significativo a = 0.01

FV	G.L	S.C	C.M	F V	Sig.
AE en T1T2	1	21.21111	21.21111	70.07498	**
AE en T3T4	1	3.264013	3.264013	10.78329	**
AE en T5T6	1	5.297513	5.297513	17.50135	**
AE en T7T8	1	1.001113	1.001113	3.307367	n.s
M.O en 0 cal	3	9.995569	3.331856	11.00743	**
M.O en encalado	3	1.159188	0.386506	1.276898	n.s
Error	24	7.2646	0.302692		

Prueba de Tukey (a = 0.05) para el efecto del tipo de materia orgánica en el pH del suelo sin cal		
Tratamiento	Media	Tukey
sin M.O.	4.3025	E
Estiercol de cuy	5.945	C
Compost mixto	5.2675	D
Bokashi	6.4025	Bc

Prueba de Tukey (a = 0.05) para el efecto del tipo de materia orgánica en el pH del suelo con cal		
Tratamiento	Media	Tukey
sin M.O.	7.635	ab
Estiercol de cuy	7.2225	a
Compost mixto	6.895	ab
Bokashi	7.11	a

Cuadro N° 21 Contenido de carbono orgánico del suelo

FV	G.L	S.C	C.M	F V	Pr > F	Sig.
Tratamiento	7	2221.862	317.4088	4.38	0.003	
M.O	3	1790.65	596.8834	8.23	0.0006	**
AE	1	0.022578	0.022578	0.00	0.9861	N.S
M.O*Encalado	3	431.189	143.7297	1.98	0.1435	N.S
Error	24	1739.937	72.49737			
Total	31	3961.799				

C.V 10.75599 ns: no significativo

* : F significativo a = 0.05

** : F significativo a = 0.01

Prueba de Tukey (a = 0.05) para el efecto del tipo de materia orgánica en el contenido de Carbono (gr/maceta).		
Tratamiento	Media	Tukey
T12(Testigo)	66.238	B
T34(estiercol)	82.756	A
T56(mixto)	84.263	A
T78(bokashi)	83.388	A

Prueba de tukey (a = 0.05) para el efecto de la aplicación de carbonato de calcio (encalado), en el contenido de Carbono (gr/maceta).		
Tratamiento	Media	Tukey
Sin encalado	79.188	A
Encalados	79.134	A

Cuadro N° 22 Variables biométricas.

TRA	A	B	Altura de planta (cm)	Peso fresco de planta (g)	Peso seco de planta (g)	Número de macollos	Peso de mil granos (g)
T1	1	1	60.1	20.88	13.44	5	62.671
T1	1	1	68.0	28.52	16.06	5	61.193
T1	1	1	68.4	26.95	15.72	3	65.188
T1	1	1	64.5	28.81	16.48	7	55.172
T1	1	1	67.1	30.70	18.61	6	56.313
T2	2	1	66.5	45.73	30.44	19	68.909
T2	2	1	74.7	38.98	25.61	10	70.316
T2	2	1	77.0	43.96	28.54	15	65.733
T2	2	1	80.1	46.15	29.61	18	67.978
T2	2	1	76.9	40.69	26.28	9	71.457
T3	1	2	76.8	50.76	31.93	16	65.754
T3	1	2	83.3	52.64	31.85	23	70.660
T3	1	2	84.8	61.29	36.41	27	67.620
T3	1	2	77.4	53.04	29.65	26	69.825
T3	1	2	70.7	53.24	32.97	23	66.151
T4	2	2	71.9	64.84	42.50	31	62.597
T4	2	2	76.9	63.51	39.03	23	64.894
T4	2	2	75.1	62.82	39.91	24	64.853
T4	2	2	75.8	72.33	40.59	24	67.314
T4	2	2	67.7	68.80	43.25	26	63.638
T5	1	3	77.0	46.06	29.03	17	69.635
T5	1	3	72.4	51.12	30.03	19	69.596
T5	1	3	80.1	55.23	34.75	21	71.291
T5	1	3	79.4	53.06	30.95	16	69.421
T5	1	3	71.2	43.05	27.83	21	64.158
T6	2	3	73.5	53.68	35.64	22	69.212
T6	2	3	75.5	48.09	33.41	18	67.679
T6	2	3	77.7	58.92	35.12	19	63.041
T6	2	3	84.4	61.46	36.92	16	91.745
T6	2	3	79.6	59.50	37.91	20	72.101
T7	1	4	83.1	58.68	42.40	20	67.307
T7	1	4	75.2	54.05	38.22	24	65.974
T7	1	4	84.6	65.83	40.98	22	71.481
T7	1	4	82.9	58.10	41.83	21	71.642
T7	1	4	79.1	59.43	41.12	22	69.192
T8	2	4	77.5	76.51	49.70	25	63.457
T8	2	4	76.6	71.88	46.36	29	66.036
T8	2	4	76.1	67.97	42.47	24	66.644
T8	2	4	75.9	59.67	37.72	23	70.000
T8	2	4	71.7	84.88	52.45	30	59.546

Cuadro N° 23 Extracción de N,P y K por la planta en mg maceta⁻¹

TRA	A	B	Extracción de nitrógeno por la planta mg maceta ⁻¹	Extracción de fósforo por la planta mg maceta ⁻¹	Extracción de potasio por la planta mg maceta ⁻¹
T1	1	1	154.997	19.41	272.23
T1	1	1	237.466	71.15	341.39
T1	1	1	199.655	29.26	322.78
T1	1	1	184.830	37.35	346.55
T1	1	1	254.996	46.20	322.53
T2	2	1	451.878	62.47	446.80
T2	2	1	414.663	61.15	473.52
T2	2	1	372.789	80.48	580.55
T2	2	1	398.723	113.26	478.45
T2	2	1	448.974	93.82	435.89
T3	1	2	707.189	98.77	979.59
T3	1	2	516.591	95.03	822.56
T3	1	2	599.487	110.23	1022.90
T3	1	2	470.271	76.44	961.23
T3	1	2	503.406	90.80	959.03
T4	2	2	649.784	108.34	200.60
T4	2	2	608.371	85.50	1202.91
T4	2	2	740.609	83.99	1085.60
T4	2	2	653.759	117.30	1023.78
T4	2	2	582.091	95.45	1130.24
T5	1	3	429.695	99.63	742.71
T5	1	3	391.245	85.23	761.69
T5	1	3	540.197	127.39	988.46
T5	1	3	490.994	89.68	819.89
T5	1	3	331.714	63.58	671.39
T6	2	3	470.400	90.73	1047.40
T6	2	3	511.357	100.50	868.63
T6	2	3	515.089	88.18	964.59
T6	2	3	557.559	121.30	1041.62
T6	2	3	611.006	122.33	1119.23
T7	1	4	686.893	116.55	1131.96
T7	1	4	616.998	95.36	1165.17
T7	1	4	734.114	121.44	1263.69
T7	1	4	735.413	116.45	1245.25
T7	1	4	678.392	106.44	1291.72
T8	2	4	787.652	117.97	1512.44
T8	2	4	818.873	106.02	1416.72
T8	2	4	605.865	121.14	1250.65
T8	2	4	573.429	108.90	1210.36
T8	2	4	687.058	110.24	1326.88

Cuadro N° 24 Variables del suelo pH y contenido de carbono orgánico

TRA	A	B	pH _(1:1) inicial del suelo	pH _(1:1) final del suelo	Contenido de carbono orgánico del suelo g maceta ¹
T1	1	1	4	4.25	70.70
T1	1	1	4	4.29	60.20
T1	1	1	4	4.39	80.15
T1	1	1	4	4.28	75.25
T2	2	1	4	7.12	59.15
T2	2	1	4	6.79	58.10
T2	2	1	4	6.49	67.90
T2	2	1	4	7.14	58.45
T3	1	2	4	5.95	72.10
T3	1	2	4	5.83	88.90
T3	1	2	4	6.09	80.15
T3	1	2	4	5.91	94.15
T4	2	2	4	7.24	92.05
T4	2	2	4	7.20	81.20
T4	2	2	4	7.30	67.55
T4	2	2	4	7.15	75.95
T5	1	3	4	5.24	61.25
T5	1	3	4	5.35	81.55
T5	1	3	4	5.21	88.90
T5	1	3	4	5.27	86.80
T6	2	3	4	6.92	89.95
T6	2	3	4	6.74	88.55
T6	2	3	4	6.84	86.45
T6	2	3	4	7.08	90.65
T7	1	4	4	6.01	76.30
T7	1	4	4	6.46	82.25
T7	1	4	4	6.78	78.40
T7	1	4	4	6.36	89.95
T8	2	4	4	7.36	86.80
T8	2	4	4	6.60	90.65
T8	2	4	4	7.31	87.85
T8	2	4	4	7.17	74.90

Donde A es la aplicación de enmienda (1, sin encalado; 2 con encalado) y B las materias orgánicas en estudio (1 sin materia orgánica, 2 estiércol de cuy, 3 compost mixto y 4 bokashi)