




INSTITUTO DE INVESTIGACIONES AGROPECUARIAS



Guía de manejo y buenas prácticas de aplicación de enmiendas orgánicas en agricultura

Autores

Juan Hirzel Campos
Francisco Salazar Sperberg

Ministerio de Agricultura
Instituto de Investigaciones Agropecuarias
Centro Regional de Investigación Quilamapu

Chillán, 2016

ISSN 0717-4829

BOLETÍN INIA - N° 325



INSTITUTO DE INVESTIGACIONES AGROPECUARIAS

GUÍA DE MANEJO Y BUENAS PRÁCTICAS DE APLICACIÓN DE ENMIENDAS ORGÁNICAS EN AGRICULTURA



JUAN HIRZEL CAMPOS
FRANCISCO SALAZAR SPERBERG
Centro Regional de Investigación Quilamapu

Chillán, Chile, 2016

ISSN 0717 - 4829

BOLETÍN INIA - N° 325

Autores
Juan Hirzel Campos
Ingeniero Agrónomo M.Sc., Dr.
Investigador INIA Quilamapu

Francisco Salazar Sperberg
Ingeniero Agrónomo Ph.D.
Investigador INIA Remehue

Director Regional INIA
Rodrigo Avilés Rodríguez

Edición
Hugo Rodríguez A.

Boletín INIA N°325

Este Boletín fue editado por el Instituto de Investigaciones Agropecuarias (INIA),
Centro Regional de Investigación INIA Quilamapu.

Permitida su reproducción total o parcial, citando la fuente y los autores.

Cita bibliográfica correcta:

Hirzel C., Juan y Salazar S., Francisco. 2016. Guía de manejo y buenas prácticas de aplicación de enmiendas orgánicas en agricultura. Boletín INIA N°325. 56 p. Instituto de Investigaciones Agropecuarias, Chillán, Chile.

Diseño y Diagramación
Ricardo González Toro

Chillán, abril de 2016.

ÍNDICE

PRÓLOGO	4
1. COMPOSICIÓN NUTRICIONAL	8
2. CONTENIDO DE HUMEDAD Y MATERIA SECA	21
3. ÉPOCA DE APLICACIÓN DE LA ENMIENDA ORGÁNICA	22
4. APLICACIÓN INCORPORADA O APLICACIÓN EN COBERTERA SIN INCORPORAR	24
5. USO DE FERTILIZACIÓN ADICIONAL	26
6. ALGUNAS EVIDENCIAS CIENTÍFICAS RESPECTO AL USO DE ENMIENDAS ORGÁNICAS EN DIFERENTES CONDICIONES DE SUELO Y CULTIVOS	31
BIBLIOGRAFÍA	54



PRÓLOGO

La actividad agrícola tanto a nivel internacional como nacional, está expuesta a constantes desafíos, dentro de los cuales se encuentran: la necesidad de aumentar la productividad, mejorar la calidad e inocuidad de los alimentos, aumentar la eficiencia de uso de los recursos, y cuidar el medioambiente, por citar las más importantes.

El reciclaje de residuos y subproductos de la actividad agropecuaria contribuye al uso eficiente del carbono, nitrógeno, fósforo, azufre y otros nutrientes, reduciendo emisiones al medioambiente. Dentro de estos subproductos se encuentran las “enmiendas orgánicas”, caracterizadas por ser compuestos constituidos, principalmente, por carbono orgánico y otros nutrientes que, usados adecuadamente, contribuyen a aumentar la productividad de los cultivos agrícolas, mejorar la sustentabilidad del recurso suelo y reducir la contaminación ambiental.

El INIA, en su constante aporte al desarrollo científico y tecnológico de la agricultura y ganadería, ha trabajado durante más de 15 años en el desarrollo del uso de estas enmiendas orgánicas, considerando guanos frescos, guanos compostados, compost de origen vegetal, vermicompost, humus, y lodos de la industria alimenticia, por nombrar algunos. Numerosos trabajos científicos y divulgativos han sido generados por los investigadores de nuestro Instituto, liderando la productividad nacional en este aspecto. Es por esto que el presente trabajo tiene por objetivo

compartir la experiencia generada de una manera amigable para el uso de agricultores, técnicos y profesionales del agro, y personas de diferentes rubros interesadas en usar cualquier producto que pertenezca al abanico de enmiendas orgánicas generadas en Chile. Además, este Boletín tiene por objetivo ser una guía técnica del uso adecuado de enmiendas orgánicas en la agricultura.

En las siguientes páginas se concentran aspectos básicos de características, composición, tecnologías de uso, buenas prácticas de manejo, y ejemplos de resultados productivos asociados al uso de enmiendas orgánicas.

Con este nuevo Boletín INIA apuntamos a seguir siendo un aporte de tecnología para el sector agropecuario de nuestro país.

Javier Chilian

Sub Director de Investigación y Desarrollo
INIA Quilamapu

Las enmiendas orgánicas empleadas en agricultura corresponden a fuentes de materia orgánica de origen animal y vegetal, dentro de las cuales se encuentran los guanos en estado fresco y semi-compostado, estabilizados, guanos fosilizados, compost, humus, abonos verdes, residuos de cultivos, residuos de madera de la industria forestal (aserrín, viruta, corteza), lodos de agroindustrias o de ciudades, o combinaciones de algunas de estas fuentes. Estas enmiendas orgánicas aportan; materia orgánica en cantidad y calidad y nutrientes esenciales a los suelos agrícolas, lo cual contribuye a aumentar la fertilidad de los suelos y la productividad de los cultivos.



Pila de Compost terminado previo a su uso en el campo.

Para el uso correcto de estas enmiendas orgánicas se deben considerar los siguientes aspectos:

- Composición nutricional, principalmente para no exceder las necesidades de nutrientes, en especial nitrógeno (N), fósforo (P) o potasio (K) de las especies cultivadas, y así evitar riesgos de contaminación ambiental asociada a la aplicación o dinámica de disponibilidad de estos dos nutrientes.

- Presencia de microelementos o metales pesados y biodisponibilidad de éstos que pueden limitar la dosis a utilizar.
- Contenido de humedad, para evitar problemas asociados a la dificultad de aplicación o de almacenaje de estas enmiendas.
- Época de aplicación de la enmienda, para evitar efectos negativos asociados a aplicaciones cercanas a la fecha de siembra, o fecha de inicio de crecimiento de raíces en frutales y especies perennes, o cercanas a periodos de cosecha en frutales. Junto con ello además mayores potenciales pérdidas de nutrientes en algunas épocas del año (Ej. Lixiviación de nitrógeno en invierno).
- Aplicación incorporada o aplicación en cobertera sin incorporar, con el fin de ajustarse a la realidad de cada sistema de producción y a la vez reducir las posibles pérdidas de nutrientes por volatilización (N y azufre (S)) asociadas a aplicaciones en cobertera sin incorporar, con condiciones de viento y temperatura alta.
- Uso de fertilización adicional, con el objeto de no exceder las necesidades nutricionales del cultivo, y así evitar riesgos de contaminación ambiental asociado a aplicaciones excesivas de nitrógeno y en algunos casos fósforo.

El detalle de cada uno de estos puntos se presenta a continuación:

1 COMPOSICIÓN NUTRICIONAL

Las enmiendas orgánicas en general contienen todos los elementos esenciales para las plantas cultivadas, pero en relaciones nutricionales que son diferentes a las necesarias por dichas plantas, y aplicadas en dosis apropiadas permiten lograr los mismos rendimientos que se obtienen con el uso de fertilizantes convencionales (Cherney *et al.*, 2002; Hirzel, 2007; Hirzel *et al.*, 2007a; Hirzel *et al.*, 2013; Villalobos, 2008). Dentro de los nutrientes aportados por estas enmiendas con mayor riesgo de daño medioambiental asociado a una mala dosificación, se encuentra el N, que aplicado en dosis mayores a las necesidades del cultivo pueden contaminar el agua superficial, subterránea y el aire. Otra nutriente que en algunos casos presenta riesgo de contaminación ambiental es el P, ya que en bajas dosis pueden causar problemas serios de contaminación en aguas superficiales y/o subterráneas.

Dada que las situaciones en las cuales existe un riesgo de contaminación por P son muy bajas, y además la fijación de este nutriente en el suelo es en general alta (60-98% del P total aplicado) (Hirzel, 2011; Havlin *et al.*, 1999), excepto en zonas con pendiente y riesgos de escorrentía asociados al uso de altas dosis de P, la atención se centra en la dosis de N a emplear.

En general el contenido de nutrientes en las enmiendas orgánicas es bajo (Cuadro 1), sin embargo debido a los grandes volúmenes generados estos pasan a constituirse en un importante recurso de nutrientes al suelo. Este contenido de nutrientes se divide en una fracción orgánica y una soluble o disponible, siendo ésta última la de rápida disponibilidad para su absorción por las plantas. Cuando se consideran estas dos fracciones se habla de nutrientes totales. Por lo tanto si comparamos fertilizantes comerciales con enmiendas orgánicas, hay que tener presente la distinta disponibilidad de sus nutrientes, y cuya disponibilidad varía de acuerdo a distintos factores en las enmiendas orgánicas (Ej. Sistema de manejo, tipo de camas, sistema de almacenamiento, entre otros) y tipo de nutriente. Por ejemplo en el caso del Potasio este nutriente se encuentra 100% disponible en purines de lechería, pudiendo fácilmente ser utilizado por las plantas, pero dosis excesivas pueden

causar problemas al afectar la absorción de magnesio, lo que se puede manifestar como hipomagnesemia en vacas lecheras pastoreando praderas que han sido fertilizadas con esta enmienda orgánica.

Los nutrientes N y P de una enmienda se presentan principalmente en formas orgánicas, ureidos, proteínas, fitatos, entre otros (Sims y Wolf, 1994). La forma orgánica de los nutrientes debe ser transformada a formas solubles para su uso, lo que ocurre naturalmente una vez aplicado al suelo a través de la mineralización (transformación biológica desde la fracción orgánica a inorgánica) de estos nutrientes. Un ejemplo de las fracciones de N dentro de una enmienda orgánica en estado fresco (Cama de broiler) se presenta en la Figura 1. Otros importantes nutrientes como potasio (K), calcio (Ca), magnesio (Mg), azufre (S), sodio (Na) y micronutrientes hierro (Fe), manganeso (Mn), zinc (Zn), cobre (Cu), boro (B) y molibdeno (Mo) presentan una liberación similar a la observada con el uso de fertilizantes convencionales (Hirzel *et al.*, 2007b; Hirzel y Walter, 2008; Hirzel *et al.*, 2010; Hirzel y Walter, 2015). Estos macro y micronutrientes son importantes en la nutrición de plantas y hacen de las enmiendas orgánicas una fuente importante y completa de éstos. Sin embargo también es importante considerar que el uso en altas dosis o en años sucesivos podría causar acumulación de algunos de ellos en el suelo, pudiendo con ello generar desbalances y limitar la producción de praderas y/o cultivos.

Cuadro 1.1. Composición nutricional de diversas emmiendas orgánicas existentes en Chile.

Parámetro determinado	Guano Broiler (n = 30)	Guano de Pavo (n = 10)	Guano de Pavo Madurado (n = 10)	Bioestabilizado de cerdo (n = 20)	Purín bovino (n=102)	Estiércol de bovino (n=10)	Compost de residuos vegetales (n = 8)	Humus de Lombriz (n = 3)
Humedad (%)	19 - 43	15 - 50	24 - 50	10 - 45	97,0	75,8	11 - 60	60 - 80
pH	6,9 - 9,1	5,3 - 7,4	5,6 - 8,2	6,8 - 8,6	7,3	8,0	6,1 - 8,5	7,4 - 8,1
CE (dS m ⁻¹)	6,0 - 16,0	7,7 - 18,2	10,0 - 18,2	3,2 - 13,4	35,7	3,0	0,28 - 0,88	3,0 - 6,7
MO (%)	65 - 70	64 - 85	66 - 83	41 - 60	66,1	62,0	20 - 60	70 - 80
Relación C/N	6,6 - 16,7	9,0 - 12,8	8,1 - 16	8,8 - 20,6	0,9	16,6	12 - 30	20 - 28
C total (%)	43 - 44	36 - 47	31 - 41	26 - 41	4,3	34,4	11 - 34	40 - 47
N total (%)	2,1 - 3,7	3,3 - 4,4	2,3 - 4,5	1,5 - 3,4	8,23	2,16	0,8 - 1,7	1,5 - 1,8
N amoniacal (%)	0,31 - 0,65	0,6 - 1,3	0,4 - 1,5	0,7 - 1,3	2,96	0,42	4x10 ⁻⁵ - 9*10 ⁻⁴	10*10 ⁻³
N nítrico (%)	0,3 - 0,65	0,05 - 0,15	0,06 - 0,5	0,01 - 0,05	0,08	S/inf.	18x10 ⁻⁴ - 3*10 ⁻²	0,12
P total (%)	0,81 - 2,25	1,7 - 3,1	2,05 - 3,88	2,27 - 3,78	0,88	0,63	0,31 - 0,4	1,0 - 1,4
K total (%)	1,2 - 3,7	2,5 - 3,4	3,1 - 3,6	1,0 - 2,0	5,00	2,13	0,21 - 0,41	0,08 - 0,12
Ca total (%)	1,3 - 3,1	4,4 - 7,5	4,8 - 7,9	3,2 - 6,4	1,84	1,38	1,1 - 1,75	2,0 - 2,5
Mg total (%)	0,33 - 0,65	0,65 - 1,25	1,0 - 1,47	0,96 - 1,88	0,82	0,49	0,38 - 1,17	0,25 - 0,35
Na total (%)	0,23 - 0,78	0,18 - 0,28	0,18 - 0,78	0,13 - 0,65	1,21	0,28	0,05 - 0,16	0,6 - 1,0
S total (%)	0,2 - 0,4	0,3 - 0,6	0,3 - 0,6	0,18 - 0,98	0,56	0,38	S/inf.	S/inf.

Nota: Las concentraciones de materia orgánica (MO) y nutrientes están expresadas en base a peso seco.

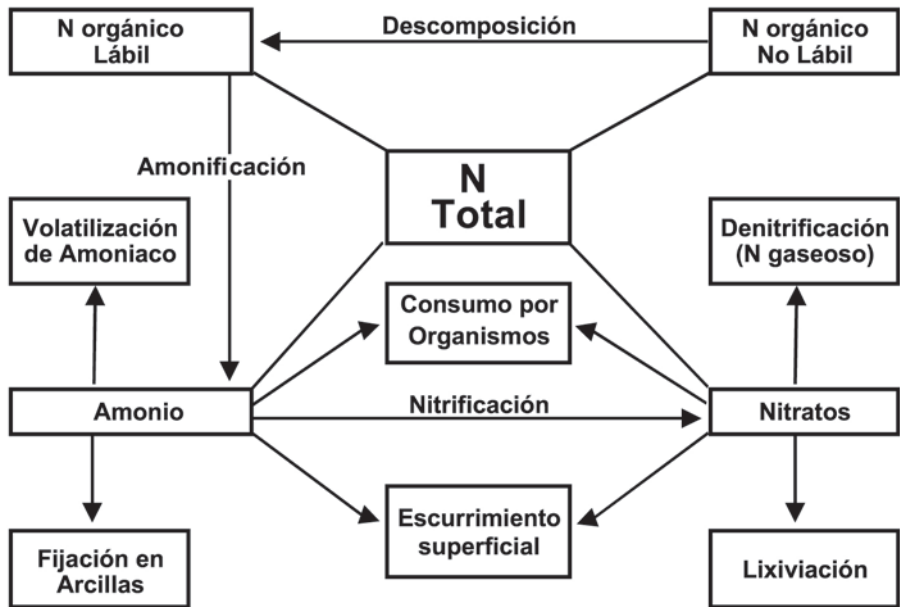


Figura 1.1. Ciclo del N proveniente desde la cama de broiler una vez que es aplicado al suelo (Adaptado de Sims y Wolf, 1994).

En una forma práctica, el N de las enmiendas orgánicas puede ser dividido en cuatro fracciones (Chescheir *et al.*, 1986):

1. N inorgánico, normalmente en su forma de NH_4^+ , el cual puede ser utilizado directamente por varios cultivos, transformado a NO_3^- disponible para las plantas, o ser perdido al ambiente.
2. N orgánico rápidamente mineralizable, principalmente urea que es fácilmente transformada a NH_4^+ .
3. N orgánico mineralizable a mediano plazo, compuestos nitrogenados que son mineralizados por microorganismos del suelo en pocos meses.
4. N orgánico de lenta mineralización, complejos orgánicos que son resistentes a la descomposición microbiana y que pueden tomar años para ser mineralizados.

En el mismo contexto, los resultados experimentales para la mineralización del N orgánico contenido en las enmiendas orgánicas, indican que esta mineralización en muchos casos puede ser representada con ecuaciones matemáticas simples (Hirzel, 2007; Hirzel *et al.*, 2010; Tyson y Cabrera, 1993), según se indica en la ecuación 1.

Ecuación 1.

$$\text{N total (kg/ha / año)} = \text{N inorgánico inicial (kg/ha)} + \text{N orgánico inicial (kg/ha)} * \text{Tasa de mineralización (valor decimal)}$$

La cantidad de N inorgánico inicial se obtiene desde el análisis de la enmienda orgánica y corresponde a la suma del N a la forma de amonio (N-NH₄⁺) y nitrato (N-NO₃⁻). Esta suma normalmente viene expresada en porcentaje, por lo cual la cantidad de N inorgánico se obtiene con la ecuación 2.

Ecuación 2.

$$\text{N inorgánico (kg/ha)} = \text{Dosis de enmienda (ton/ha) (\% / 100)} * \text{materia seca (\% / 100)} * (\text{N-NH}_4^+ + \text{N-NO}_3^-) * 1000$$

Las tasas de mineralización para las principales enmiendas orgánicas usadas en agricultura se indican en el Cuadro 1.2.

Cuadro 1.2. Tasas de mineralización de N orgánico en diferentes enmiendas orgánicas durante la misma temporada de aplicación.

Enmienda orgánica	Tasa de mineralización de N orgánico de diferentes enmiendas orgánicas durante el primer año de aplicación (%)
Humus	10 – 20
Compost	15 – 40
Bioestabilizado de cerdo	40 – 50
Guano de bovinos de engorda	40 – 50
Guanos de broiler y pavo	60 – 70
Guano de Cerdo	60 – 70
Purines de Cerdo	90 – 95

Fuente: Adaptado de Hartz *et al.*, 2000; Hirzel, 2007; Hirzel *et al.*, 2007b; Hirzel *et al.*, 2010; Hirzel y Salazar, 2011; Hirzel, 2014; Laos *et al.*, 2000; Preusch *et al.*, 2002; Redman *et al.*, 1989; Rogers *et al.*, 2001; Tyson y Cabrera, 1993; Whalen *et al.*, 2000.

Dada la alta variación cualitativa obtenida en la caracterización de las diferentes enmiendas orgánicas (compuestos orgánicos), para la aplicación de la ecuación planteada es necesario contar con un análisis inicial de la enmienda a utilizar que indique el contenido de N total, orgánico e inorgánico (amonio + nitrato).

Por ejemplo, si se aplican 12 toneladas por ha de cama de broiler en estado fresco, con un contenido de humedad de 30%, N total de 3% y N inorgánico de 0,5%, entonces el N total aportado con la aplicación incorporada de la cama broiler sería el siguiente (ecuaciones 1 y 2) (considerar un 65% de tasa de mineralización del N orgánico, Cuadro 1.2.):

- 8.400 kg de materia seca (12 ton * 0,70 * 1.000 kg ton/ha).
- N orgánico = 2,5% (3% – 0,5%)
- N total (kg/ha / año) = N inorgánico inicial (kg/ha) + N orgánico inicial (kg/ha) * 0,65
- N total (kg/ha / año) = 8.400 * 0,005 + 8.400 * 0,025 * 0,65 = 178,5 kg/ha.

Por su parte, la mineralización del P orgánico sigue un patrón similar a la indicada para el N orgánico, ya que los procesos involucrados en su mineralización son similares a los que afectan al N (Hirzel *et al.*, 2010; Hirzel, 2014). Sin embargo, al usar compost de cualquier naturaleza, la mineralización del P orgánico es favorecida por la actividad enzimática fosfatasa asociada al crecimiento de biomasa del suelo y a los factores benéficos generados por el incremento en la actividad microbiana del suelo, lo cual se puede traducir en aportes de P netos mayores que la cantidad aplicada con la enmienda orgánica.

Además del aporte de nutrientes en la misma temporada de aplicación de una enmienda orgánica, también se genera un aporte residual de N para la temporada siguiente, el cual comprende entre el 10 a 15% del N total aplicado (Hirzel *et al.*, 2007b). Por tanto, cuando se usan enmiendas orgánicas todas las temporadas, la dosis de esta enmienda debe reducirse dado el aporte residual de nitrógeno que comienza a ser acumulativo en el tiempo, llegando a una dosis equivalente al 85 o 90% del N disponible necesario para el cultivo que se desee fertilizar.

Para el caso de enmiendas orgánicas de origen animal, la composición nutricional de un mismo tipo de enmienda es variable debido principalmente a los siguientes factores:

- Tipo, categoría y raza animal.
- Dieta suministrada.
- Suplementos usados en la dieta.
- Tipo de cama utilizada (cuando se usa material de cama).
- Manejo y condiciones de almacenamiento de los residuos.
- Tratamiento.

Considerando la composición nutricional promedio y las cinéticas de entrega de nutrientes de diferentes enmiendas orgánicas presentes en Chile y de fácil acceso a los agricultores, en los cuadros 1.3., 1.4., 1.5. y 1.6. se presentan dosis referenciales de uso de enmiendas orgánicas para frutales y vides, hortalizas, cultivos, y praderas, respectivamente. Estas dosis referenciales están basadas en las necesidades de N para un rango de rendimiento definido, cuidando de suplir las necesidades de N y de la totalidad o mayoría de los otros nutrientes, y de evitar riesgos de contaminación ambiental asociadas a la generación de una sobre dosis de N disponible (N que se hace disponible derivado de la enmienda en el ciclo de cultivo > necesidad de N de la especie vegetal cultivada). En el caso de especies frutales, hortalizas de fruto como tomate, y cultivos como la papa, se debe considerar el uso complementario de K dado el alto consumo de este nutriente por dichas especies (Havlin *et al.*, 1999; Hirzel, 2011; Hirzel, 2014). Del mismo modo, en el caso de algunos cultivos anuales como la papa y remolacha, que presentan una alta respuesta a la fertilización fosforada, se puede considerar el uso complementario de P al momento de siembra, en función del contenido de P disponible del suelo (P Olsen).

Cuadro 1.3. Dosis referenciales de enmiendas orgánicas a emplear en frutales y vides en función de su necesidad de N (*Kg de N a aplicar por tonelada producida*).

Especie	Rendimiento (ton/ha)	N (Kg/ton)	Dosis Referencial de Enmiendas Orgánicas (ton/ha)		
			Estado fresco*	Semicompostado**	compost***
Vid para vino	5 – 20	4 – 5	2 – 6	3 – 8	4 – 12
Vid para vino	5 – 20	4 – 5	2 – 6	3 – 8	4 – 12
Uva de mesa	20 – 40	3 – 3,5	5 – 10	7 – 13	10 – 20
Manzano verde	50 – 100	0,6 – 0,8	5 – 10	7 – 13	10 – 20
Manzano rojo	50 – 80	0,4 – 0,6	3 – 5	4 – 7	6 – 10
Peral	30 – 70	2,5 – 3	7 – 10	10 – 13	14 – 20
Naranja	40 – 70	2,5 – 3	5 – 12	7 – 15	10 – 24
Limón	30 – 60	3 – 3,5	5 – 12	7 – 15	10 – 24
Kiwi	30 – 60	2 – 3	5 – 12	7 – 15	10 – 24
Nogal	4 – 8	20 – 35	6 – 12	8 – 15	12 – 24
Cerezo	6 – 15	4 – 6	2 – 8	3 – 10	4 – 16
Ciruelo	10 – 40	4 – 6	6 – 12	8 – 15	12 – 24
Duraznero	20 – 40	4 – 5	8 – 12	10 – 15	16 – 24
Damasco	15 – 25	5 – 6	6 – 10	8 – 13	12 – 20
Palto	6 – 15	8 – 12	6 – 12	8 – 15	12 – 24
Frambueso	10 – 15	8 – 10	5 – 8	7 – 10	10 – 16
Arándano	10 – 30	3 – 6	3 – 5	5 – 7	6 – 12
Frutilla	30 – 60	2 – 3	5 – 8	7 – 10	10 – 16

*Guanos de gallina, broiler y pavo con cama de viruta, aserrín, capotillo, paja u otro de alta relación C/N (residuos forestales y vegetales).

** Guanos de cerdo, vacuno, aves, mezclado con residuos forestales y/o agrícolas, y guanos fosilizados.

***Compost de residuos y/o subproductos vegetales, compost de mezcla de subproductos animales y vegetales.

ton = tonelada.

Cuadro 1.4. Dosis referenciales de enmiendas orgánicas a emplear en hortalizas en función de su necesidad de N (*Kg de N a aplicar por tonelada producida*).

Especie	Rendimiento (ton/ha)	N (Kg/ton)	Dosis Referencial de Enmiendas Orgánicas (ton/ha)		
			Estado fresco*	Semicompostado**	compost***
Coliflor	25 – 40	5 – 7	6 – 12	8 – 15	12 – 24
Poroto Verde	8 – 12	6 – 7	3 – 5	4 – 7	6 – 10
Endivia	10 – 30	5 – 7	4 – 6	5 – 8	8 – 12
Achicoria	30 – 60	3 – 3,5	4 – 8	5 – 10	8 – 16
Arveja	8 – 14	6 – 8	4 – 5	5 – 7	8 – 10
Pepino	20 – 50	3 – 4	4 – 10	5 – 13	8 – 20
Zapallo Guarda	60 – 100	1,5 – 2	5 – 10	7 – 13	10 – 20
Acelga	30 – 40	2,5 – 3	3 – 5	4 – 7	6 – 10
Zanahoria	30 – 80	2,5 – 3	4 – 8	5 – 10	8 – 16
Perejil	30 – 50	2,5 – 3	3 – 6	4 – 8	6 – 12
Puerro	20 – 60	3 – 3,5	4 – 8	5 – 10	8 – 16
Rabanitos	10 – 30	5 – 6	3 – 6	4 – 8	6 – 12
Nabo	10 – 25	5 – 6	3 – 6	4 – 8	6 – 12
Repollo Bruselas	10 – 30	8 – 10	5 – 10	7 – 13	10 – 20
Betarraga	30 – 60	4 – 5	5 – 10	7 – 13	10 – 20
Repollo Morado	30 – 60	3 – 4	5 – 8	7 – 10	10 – 16
Lechuga	20 – 60	2,5 – 3	3 – 5	4 – 7	6 – 10
Ciboulette	30 – 70	3 – 4	5 – 10	7 – 13	10 – 20
Apio	20 – 60	4 – 5	5 – 10	7 – 13	10 – 20
Espinaca	10 – 30	4 – 5	5 – 10	7 – 13	10 – 20
Tomate	50 – 100	2,5 – 3	8 – 12	10 – 15	16 – 24
Repollo Blanco	30 – 100	3 – 3,5	6 – 12	8 – 15	12 – 24
Cebolla	25 – 50	3 – 3,5	6 – 10	8 – 13	12 – 20
Ajo	25 – 40	3 – 3,5	6 – 8	8 – 10	12 – 16
Brócoli	10 – 20	10 – 12	6 – 12	8 – 15	12 – 24

*Guanos de gallina, broiler y pavo con cama de viruta, aserrín, capotillo, paja u otro de alta relación C/N (residuos forestales y vegetales).

** Guanos de cerdo, vacuno, aves, mezclado con residuos forestales y/o agrícolas, y guanos fosilizados.

***Compost de residuos y/o subproductos vegetales, compost de mezcla de subproductos animales y vegetales.

ton = tonelada.

Cuadro 1.5. Dosis referenciales de enmiendas orgánicas a emplear en cultivos en función de su necesidad de N (*Kg de N a aplicar por quintal producido*).

Cultivo	Rendimiento (qq/ha)	N (Kg/qq)	Dosis Referencial de Enmiendas Orgánicas (ton/ha)		
			Estado fresco*	Semicompostado**	compost***
Arroz	40 – 80	1,2 – 1,5	3 – 6	4 – 8	6 – 12
Arvejas	10 – 30	4 – 6	4 – 6	5 – 7	8 – 12
Avena	40 – 60	2,5 – 2,8	6 – 8	8 – 10	12 – 16
Cebada	50 – 70	2,2 - 2,5	4 – 6	5 – 8	8 – 12
Frejoles	10 – 30	3 – 3,5	3 – 5	4 – 6	6 – 10
Garbanzos	6 – 20	0 – 4	0 – 2	0 – 3	0 – 4
Lentejas	6 – 20	0 – 4	0 – 2	0 – 3	0 – 4
Maíz	120 – 200	2,2 - 2,5	10 – 15	13 – 20	20 – 30
Maravilla	30 – 50	4 – 5	6 – 10	8 – 13	12 – 20
Papas tardías	400 – 700	0,3 - 0,4	6 – 8	8 – 10	12 – 16
Papas tempranas	300 – 600	0,3 - 0,4	5 – 6	6 – 8	10 – 12
Raps - Canola	25 – 40	4 – 6	5 – 8	6 – 10	10 – 16
Remolacha	800 – 1200	0,15 – 0,2	5 – 8	6 – 10	10 – 16
Tabaco	30 – 50	4 – 5	6 – 8	8 – 10	12 – 16
Trigo Pan	40 – 120	2,6 – 3,2	6 – 10	8 – 13	12 – 20
Trigo candeal	60 – 100	3,2 – 3,4	8 – 11	10 – 14	16 – 22

*Guanos de gallina, broiler y pavo con cama de viruta, aserrín, capotillo, paja u otro de alta relación C/N (residuos forestales y vegetales).

** Guanos de cerdo, vacuno, aves, mezclado con residuos forestales y/o agrícolas, y guanos fosilizados.

***Compost de residuos y/o subproductos vegetales, compost de mezcla de subproductos animales y vegetales.

ton = tonelada.

qq = quintal métrico (100 kg)

Cuadro 1.6. Dosis referenciales de enmiendas orgánicas a emplear en praderas en función de su necesidad de N (*Kg de N a aplicar por tonelada producida*).

Pradera	Rendimiento (ton/ha)	N (Kg/ton)	Dosis Referencial de Enmiendas Orgánicas (ton/ha)		
			Estado fresco*	Semicompostado**	compost***
Gramíneas	10 – 15	1,2 – 2,0	2 – 4	3 – 5	4 – 8
Leguminosas****	10 – 20	0	2 – 3	2 – 3	2 – 3
Mixtas****	10 – 15	0,2 – 0,4	2 – 3	2 – 3	2 – 3

* Guanos de gallina, broiler y pavo con cama de viruta, aserrín, capotillo, paja u otro de alta relación C/N (residuos forestales y vegetales).

** Guanos de cerdo, vacuno, aves, mezclado con residuos forestales y/o agrícolas, y guanos fosilizados.

*** Compost de residuos y/o subproductos vegetales, compost de mezcla de subproductos animales y vegetales.

**** La aplicación de enmiendas orgánicas en praderas de leguminosas y en praderas mixtas se realiza con el fin de aportar fósforo, potasio, calcio, magnesio, azufre y micronutrientes, como también actuar como enmienda orgánica de suelos.

ton = tonelada.

La aplicación de enmiendas orgánicas al suelo, además de ser un aporte de nutrientes para los cultivos, genera beneficios como los siguientes:

- mejora la estructura del suelo y la estabilidad de los agregados,
- mejora la porosidad, la retención de agua y movimiento de agua y oxígeno,
- mejora la resistencia a la erosión,
- aumenta la vida benéfica del suelo (biomasa del suelo),
- aumenta las reservas de nutrientes.

Cuando el objetivo de aplicar una enmienda orgánica es mejorar la materia orgánica del suelo, la dosis de aplicación de esta enmienda se determina en función de ciertos factores que se detallan a continuación:

- El contenido de materia orgánica del suelo medido a distantes profundidades. Por ejemplo, 0-10 cm en praderas, 0-20 cm en cultivos anuales y hortalizas, 0-30 cm en frutales y viñas.
- Conocer la densidad aparente del suelo, la que puede obtener por análisis químico o descripción del tipo o serie de suelo.

- También debe conocer el porcentaje de humedad de la enmienda orgánica (Cuadro 1.1).
- Porcentaje de aumento en el contenido de materia orgánica que se pretende conseguir con la aplicación de la enmienda orgánica. En este punto es importante considerar un enfoque técnico-económico con programas de aplicaciones paulatinas de dosis moderadas a través del tiempo, ya que resultaría bastante costoso aplicar dosis altas de cualquier enmienda orgánica.
- Una vez que obtenida toda esta información se emplea las ecuaciones 3 y 4:

Ecuación 3.

$$\text{Dosis de MO a aplicar (ton/ha)} = \frac{(\text{MO a subir (\%)} * \text{DA (g/cc)} * \text{PDM (cm)})}{0,33 (\text{Ef})}$$

Donde:

- MO = materia orgánica.
- DA = densidad aparente del suelo.
- PDM = profundidad de muestreo de suelo en que se determinó el contenido de materia orgánica.
- Ef = 1/3 de lo aplicado que es la eficiencia de incorporación neta de la materia orgánica agregada al suelo.

Ecuación 4.

$$\text{Dosis de MO (ton/ha)} = \frac{\text{Dosis MO a aplicar (ton/ha)} * 10000}{\% \text{ de MO en la EMO a utilizar} * (100 - \% \text{H}^\circ \text{ en EMD})}$$

Donde:

- MO = materia orgánica
- EMO = enmienda orgánica.
- H° = porcentaje de humedad del GAP a utilizar.
- 10000 = factor de corrección de unidades.

Por ejemplo, para subir el contenido de materia orgánica de un suelo del secano interior desde 2% hasta 2,2%, en los primeros 20 cm del suelo y considerando una densidad aparente de 1,2 gr/cc, la dosis de un Guano fresco (70% de materia orgánica y 30% de humedad) sería de 29,7 ton/ha (30 ton/ha). Esta dosis es muy alta para cualquiera de las especies cultivadas en Chile, pudiendo generar algún daño en el cultivo por exceso de N y con riesgo de contaminación ambiental. Como referencia, el uso de 30 ton/ha de Guano fresco puede generar un aporte real de N desde 330 a 660 kg/ha (promedio 495), lo cual puede superar la necesidad del cultivo más exigente en N que es el maíz (necesidad de fertilización desde 300 a 450 kg N/ha para diferentes ambientes dentro de Chile, considerando ya los aportes del suelo). Por tanto, para esta situación se sugiere realizar aplicaciones paulatinas en el tiempo, es decir realizar aplicaciones todos los años en dosis moderadas que fluctúen entre 10 y 15 ton/ha y que se ajusten a la necesidad de nutrientes del cultivo que prosigue.

Otra alternativa de uso de enmiendas orgánicas en alta dosis, puede generarse cuando se aplica junto a la incorporación de residuos de cereales, donde el aporte de N de la EMO contribuye a estimular la descomposición del residuo. En este aspecto, como dosis referencial se puede indicar que la aplicación de 1 ton de Guanos frescos (11 – 22 kg de N de aporte real, según tipo de guano y composición nutricional) puede contribuir a la descomposición de 1 a 2 ton de residuo de cereal (considerando un consumo de 10 kg de N como aporte externo por cada 1 ton de residuo de cereal incorporado). Del mismo modo, la aplicación de 1 ton de Guanos semicompostados (8 – 15 kg de N de aporte real, según tipo de enmienda y composición nutricional) puede contribuir a la descomposición de 0,8 a 1,5 ton de residuo de cereal. En el mismo contexto, la aplicación de 1 ton de Compost (6 – 11 kg de N de aporte real, según tipo de compost y composición nutricional) puede contribuir a la descomposición de 0,6 a 1,1 ton de residuo de cereal.

Como ejemplo, si un productor de trigo quiere incorporar 6 ton/ha de residuo usando un Guano semicompostado, debería aplicar aproximadamente 5 ton de esta enmienda orgánica, incorporada junto con el residuo. En otro ejemplo, si un productor de maíz quiere incorporar 10 ton/ha de residuo usando un Guano fresco, debería aplicar 6 ton de esta enmienda orgánica, incorporada junto con el residuo. En ambos casos se considera que se cuenta con la maquinaria y técnica de incorporación adecuada.

2 CONTENIDO DE HUMEDAD Y MATERIA SECA

El contenido de humedad y de materia seca de cada enmienda orgánica es variable en función de la partida, época del año de producción, manejo de la enmienda en el plantel de producción o cancha de compostaje cuando correspondiera, y los valores de referencia se presentan en el Cuadro 1.1.

Cuando la enmienda orgánica está muy húmeda se puede dificultar la aplicación a través de maquinaria, por tanto se deberá elegir la forma y maquinaria apropiada de aplicación, de manera de asegurar una aplicación homogénea en el campo. Se recomienda de todas formas emplear enmiendas orgánicas con bajo contenido de humedad (menor a 45%). Existen en el país disponible equipos para aplicación de enmiendas orgánicas en forma líquida y sólida, la mayoría de ellos en superficie. También se están utilizando, aunque en forma incipiente, equipos que permiten reducir los olores y pérdidas por volatilización de amoníaco como por ejemplo carros purines con aplicación en bandas o de inyección al suelo (Foto 2.1).

Por otra parte, entre menor sea el contenido de humedad de la enmienda orgánica, será más fácil y homogénea su aplicación en el campo y también más fácil la regulación de la maquinaria a emplear para la aplicación. Menores volúmenes en una enmienda con mayor contenido de materia seca también reducen los costos de aplicación, siendo un factor determinante en su uso.



Foto 2.1. Aplicación de purines de lechería en pradera con equipo de aplicación en bandas.

3 ÉPOCA DE APLICACIÓN DE LA ENMIENDA ORGÁNICA

El momento de aplicación de la enmienda orgánica dependerá de la especie vegetal con la cual se esté trabajando.

Para cultivos anuales, hortalizas anuales, establecimiento de praderas, plantación de frutales y vides, la época de aplicación de la enmienda orgánica debe ser entre 7 a 15 días previo a la siembra, establecimiento o plantación (incorporado con rastraje), de manera tal de reducir las pérdidas gaseosas de N y S asociadas a aplicaciones muy tempranas, y también reducir el riesgo de daño por aplicaciones muy cercanas a la siembra, y que se asocian a una mala distribución o mala incorporación de las enmiendas orgánicas, quedando zonas con alta concentración de nutrientes, equivalente a una mezcla de fertilizante aplicada con mala regulación de máquina. Cabe destacar que en el caso de hortalizas se recomienda el uso de enmiendas compostadas para cumplir normas sanitarias.

Para praderas permanentes la época adecuada de aplicación corresponde al periodo de mayor crecimiento, previo a un rezago, o después de un cortes o pastoreos, siendo ideal a fines de invierno o inicios de primavera, de manera de contar con periodo de lluvia y humedad en el suelo que facilite la solubilización e incorporación natural de la enmienda orgánica en la primera capa de suelo. Los crecimientos de invierno son más lentos, reduciendo la necesidad nutricional en ese periodo y dando tiempo para que los nutrientes aportados con la enmienda orgánica se incorporen al suelo y queden disponibles a las raíces.

Para frutales y viñedos establecidos, como también para hortalizas perennes, la aplicación de la enmienda orgánica debe realizarse en otoño, periodo en el cual hay baja o nula necesidad nutricional (dando tiempo para que se incorporen al suelo los nutrientes aportados por la enmienda orgánica), baja o nula tasa de crecimiento de raíces (no hay riesgo de daño del sistema radical por aportes de nutrientes con reacción salina), y periodo de baja temperatura ambiental y alta presión atmosférica, lo cual reduce la volatilidad de los gases y los malos olores asociados a la aplicación de algunas

enmiendas orgánicas sin posibilidad de incorporación. Además, cuando se sincroniza la aplicación de la enmienda orgánica con el periodo de caída de hojas en frutales de hoja caduca y vides (fines de otoño e inicios de invierno), o en el periodo de caída de hojas de frutales de hoja persistente, se genera una mezcla de la enmienda con las hojas, capturando nutrientes en el proceso de descomposición de las hojas (filtro biológico), y acelerando la tasa de descomposición de estas hojas. Por otra parte, la aplicación de enmiendas orgánicas en frutales y vides debe realizarse al menos 4 meses previo a iniciar la cosecha, según se exige en las Buenas Prácticas Agrícolas (BPA).



Foto 3.1. Aplicación de guano de broiler en otoño en un huerto de manzanos.

4 APLICACIÓN INCORPORADA O APLICACIÓN EN COBERTERA SIN INCORPORAR

La incorporación de enmiendas orgánicas se realizará en función de la especie agrícola para la cual se ha realizado la aplicación.

En el caso de cultivos anuales, hortalizas anuales, establecimiento de praderas, plantación de frutales y vides, se recomienda incorporar la enmienda orgánica en la preparación de suelos utilizando el último o últimos rastrajes.

En el caso de frutales y vides ya establecidos, y hortalizas perennes ya establecidas, la aplicación de la enmienda orgánica en forma incorporada se hace difícil, pudiendo adecuar una incorporación en frutales y vides usando surcos laterales en los cuales se aplica la enmienda, para luego ser cubierto con el suelo removido. También se puede realizar incorporación usando una rastra de trabajo superficial. Otra opción a usar en frutales y vides es la aplicación en cobertera previo a la caída de hojas, donde las hojas que van cayendo generan el efecto de “filtro biológico” que evita la generación de gases volátiles o compuesto de mal olor y además atrapa nutrientes que se podían haber perdido a la forma gaseosa.

En el caso de praderas establecidas no se puede realizar la incorporación de enmiendas orgánicas sólidas. Para enmiendas líquidas el uso de inyectores permite incorporarlas en suelos a profundidades entre 10-50 cm dependiendo del tipo de inyector a utilizar. Estos equipos han sido utilizados en otros países para reducir la volatilización de amoníaco y olores, permitiendo hacer un mayor uso del nitrógeno aplicado,



Foto 4.1. Aplicación de guano de vacuno en cobertera sobre una pradera sometida a corte.



Foto 4.2. Aplicación de guano broiler en cobertera sobre el camellón de un huerto de manzanos.

5 USO DE FERTILIZACIÓN ADICIONAL

La fertilización adicional con fertilizantes convencionales se deberá realizar sólo si el aporte de N de la enmienda orgánica no logra cubrir la necesidad de N del cultivo a realizar, según nivel de rendimiento y necesidad de N por unidad de rendimiento señalada en los cuadros 3, 4, 5 y 6, para frutales, hortalizas, cultivos y praderas, respectivamente (Havlin *et al.*, 1999; Hirzel, 2011; Hirzel, 2014). En este caso, la dosis de N a aplicar como fertilización adicional o complementaria, se deberá determinar por diferencia simple entre la necesidad de N del cultivo y el aporte de N logrado con la aplicación de la enmienda orgánica (Hirzel, 2007; Hirzel *et al.*, 2007a; Hirzel y Walter, 2008; Hirzel *et al.*, 2009; Hirzel *et al.*, 2013). Para algunos cultivos en particular puede ser necesaria la aplicación adicional de otros nutrientes; como fósforo en papa y remolacha; potasio en tomates y hortalizas de fruto, por citar algunos.

Por ejemplo, si el cultivo a realizar es maíz con un rendimiento estimado de 160 qq/ha, la necesidad de N del cultivo se aproxima a 352 kg/ha (2,2 kg de N/qq), considerando que se trata de un híbrido de alta eficiencia de uso de N, sembrado en forma oportuna, con sistema de riego tecnificado, y buen nivel tecnológico aplicado en general. En el caso de emplear como enmienda orgánica un guano de cerdo semicompostado en dosis de 20 ton/ha, con 30% de humedad, 2% de N orgánico (50% de tasa de mineralización) y 0,5% de N inorgánico, el aporte real de N se aproxima a 210 kg/ha ($20.000 \text{ kg} * 0,7 * 0,02 * 0,5 + 20.000 \text{ kg} * 0,7 * 0,005$). En este caso, la dosis de N de complemento será de 142 kg/ha (Necesidad del cultivo de 352 kg de N – aporte de la enmienda de 210 kg de N). A su vez, esta dosis para el cultivo de maíz debe aplicarse al estado de 6 hojas cuando se emplea fertilización convencional, o parcializado entre las hojas 5 y 12 para riego presurizado.

La época de aplicación de este N adicional es propia de cada cultivo y generalmente corresponde al periodo de máxima tasa de crecimiento, que en todos los casos es muy posterior a la siembra o establecimiento para cultivos anuales y establecimiento de praderas y frutales, o en primavera para especies perennes donde la aplicación de la enmienda se realizó en otoño-invierno.

El uso de enmiendas orgánicas genera también un efecto residual en el suelo que puede representar entre un 10 a un 15% del aporte de N total contenido en la enmienda, y porcentajes diferentes de otros nutrientes. Pero además, genera aporte de materia orgánica, construcción de suelo y estimulante de vida en el suelo, lo cual se observa en la expresión de vegetativa del cultivo siguiente. Estos efectos son más notorios en las zonas de acumulación de las enmiendas dentro de un campo, siempre que esta acumulación se realice en zonas de cultivo. A modo de ejemplo, en la Foto 5.1. se observa la diferencia de desarrollo vegetativo en un cultivo de maíz cultivado en la zona donde se acumuló la enmienda orgánica empleada en la temporada anterior.



Foto 5.1. Diferencia de desarrollo en un cultivo de maíz con fertilización convencional como efecto residual de la acumulación del compost que se aplicó en el campo durante la temporada anterior.

5.1. Condiciones generales para aplicación de enmiendas orgánicas en el suelo

Cada vez que un agricultor aplique enmiendas orgánicas al suelo debe considerar lo siguiente (Sibley *et al.*, 1996; Ohio State University, 1998; MINSAL, 2001; MINAGRI, 2005):

- La distancia desde zona de aplicación a la vivienda más cercana, debe ser la necesaria para evitar riesgos de olores y de contaminación de cursos de agua, cuidando además de incorporar la enmienda orgánica al suelo de forma inmediata bajo los 5-10 cm., utilizando para ello, implementos como arado o rastra.
- Recuerde que la incorporación de la enmienda orgánica le ayuda a evitar pérdidas de nitrógeno por volatilización y los malos olores generados sobre todo con el uso de enmiendas orgánicas en estado fresco.
- No aplique cerca de cualquier curso superficial y/o noria.
- No aplique enmiendas orgánicas en zonas inundables o afloramientos de agua o cuando llueva.
- No se debe aplicar enmiendas orgánicas en suelos con pendiente superior a 15%, sin embargo, en el caso de frutales y viñas (también en plantaciones forestales), se podrá aplicar enmiendas orgánicas en suelos con pendiente superior a ésta, siempre y cuando se realice en base a buenas prácticas de conservación y manejo de suelos adecuados, por ejemplo: aplicación en casilla, entre otros.
- En caso de detectar proliferación de vectores o la generación de olores molestos, detenga la aplicación y tome las medidas necesarias para el control de estos vectores, como por ejemplo incorporación rápida y/o control con insecticidas.
- Supervisar la aplicación de la enmienda orgánica al suelo.

- Evitar la aplicación de enmiendas orgánicas en estado fresco durante la ocurrencia de vientos que pudiesen trasladar olores molestos a poblaciones vecinas.
- Evitar la aplicación de enmiendas orgánicas en estado fresco en horas del día en que existan temperaturas muy elevadas, de manera de minimizar la generación de olores molestos.
- Realizar la aplicación cuando las condiciones del suelo y climáticas lo permitan, no aplicar en épocas de lluvia intensa o cuando existan riesgos de saturación del suelo.
- En aplicaciones de cobertera sobre suelo barbechado incorporar las enmiendas orgánicas lo más rápido posible, idealmente dentro de las 6 horas post-aplicación.
- No aplicar enmiendas orgánicas en suelos cuya pendiente genere escurrimiento superficial hacia los cuerpos hídricos.
- Considerar el aporte de nutrientes en las enmiendas orgánicas a aplicar. Para esto pueden enviarse a análisis de laboratorio, usar kits de campo o tablas con valores promedio lecherías de la zona.
- Considerar aplicaciones de años anteriores con purines debido a su efecto residual. Esto aplica a potreros donde se repiten aplicaciones.

5.2. Condiciones generales para el almacenamiento transitorio de enmiendas orgánicas en el predio

Se recomienda evitar el almacenamiento de enmiendas orgánicas en el predio, programando la recepción del material para que sincronice con la fecha de aplicación. Para aquellas situaciones en las cuales no sea posible aplicar la enmienda orgánica de forma inmediata, se debe almacenar considerando las siguientes restricciones (MINSAL, 2001; MINAGRI, 2005):

- El lugar de almacenamiento debe estar ubicado a lejos de viviendas extra prediales y de cuerpos de aguas superficiales como ríos, lagos, vertientes, canales de riego o drenaje, así como también de infraestructuras tales como pozos y norias.
- El lugar de almacenamiento debe estar impermeabilizado, para así evitar la percolación de nutrientes y/o patógenos.
- El lugar debe contar con canales perimetrales de intercepción de aguas lluvias, a fin de evitar la mezcla con la enmienda orgánica que será almacenada.
- La topografía del terreno debe presentar una pendiente tal, que no permita el escurrimiento. En su defecto, se deberán tomar todas las medidas pertinentes para evitarlo.
- No podrán ser utilizados para almacenamiento los terrenos de inundación frecuente y/o afloramiento de agua.
- Evitar la proliferación de vectores y generación de olores molestos.
- El lugar de almacenamiento debe estar limpio y ordenado.
- La capacidad de almacenamiento debe considerar los volúmenes de enmiendas orgánicas manejadas en el predio, evitando la aplicación bajo condiciones de suelo saturado, para la zona sur esto equivale a una capacidad de a lo menos 2-3 meses.

6

ALGUNAS EVIDENCIAS CIENTÍFICAS RESPECTO AL USO DE ENMIENDAS ORGÁNICAS EN DIFERENTES CONDICIONES DE SUELO Y CULTIVOS

A modo de ejemplo, a continuación se presentan algunas evidencias científicas donde se ha evaluado el uso de enmiendas orgánicas en condiciones de campo y en condiciones controladas, en diferentes cultivos y condiciones de suelo.

6.1. Disponibilidad de nutrientes, valor fertilizante y fijación edáfica de nutrientes con el uso de compost industrial y guano de pavo semicompostado en un suelo sedimentario de la zona central de Chile.

El uso de bioestabilizado (B) (compost de la industria de carne de cerdo) y guano de pavo semicompostado (GP) en Chile son alternativas de fertilización económicamente convenientes.

No obstante, la entrega de nutrientes es variable en función del tipo de suelo, y para el caso del nitrógeno (N) es inferior que el uso de fuentes convencionales. Para contribuir a responder esta interrogante se realizó un experimento en condiciones controladas utilizando la técnica de incubación de suelos (humedad a capacidad de campo y temperatura de 25°C), determinando la tasa y dinámica de entrega de N, fósforo (P) y potasio (K) y se cuantificó la disponibilidad de estos nutrientes. El suelo empleado fue de textura franco arcillo limoso. Los tratamientos fueron: (1) control sin fertilización (C); (2) Tratamiento NPK fuentes conocidas en dosis iguales al aporte del B y dosis de N igual al GP (100 ppm de N) (FC); (3) B en dosis de N de 100 ppm (B); (4) GP en dosis de N de 100 ppm (GP). El diseño experimental fue bloques completos al azar con arreglo en parcelas divididas, donde la parcela principal fueron los tiempos de incubación (6) y la sub-parcela los tratamientos de fertilización (4), con 4 repeticiones. Las evaluaciones realizadas fueron pH, CE, N, P, K, zinc (Zn) y cobre (Cu) disponible. Los resultados indicaron que el uso de GP como fuente de fertilización no afectó el pH respecto del control son fertilización, en tanto que el uso de B generó una mayor

reducción del pH que el C, e inferior a la FC. La mayor CE y N disponible fue generada con la FC, seguida del B y GP, y ambos mayores al C. La concentración de P fue similar entre los tratamientos de fertilización y superior al C. Para el K disponible, la mayor concentración se obtuvo por el GP, seguido del B y luego de la FC, que superaron al C.

La mayor concentración de Zn se logró con el uso de B, asociado a la mayor concentración de Zn aplicada, seguido por el GP y FC, superando al C. La mayor concentración de Cu se logró con el FC, asociado a la mayor disminución de pH generada con este tratamiento, seguido del B y luego del GP, ambas similares al C. La disponibilidad de N en el suelo evaluado fue de 67% con la FC, 24% con el B, y 15% con el GP, respecto del C. La fijación de P fue de 67% con la FC, 64% con el B, y 60% con GP, respecto del C. La fijación de K fue de 34% con FC, 4% con B, y 23% con GP, respecto del C. La fijación de Zn fue de 37% con B y 31% con GP, respecto del C. La fijación de Cu fue 99% con B, y 100% con GP, respecto del C. En consecuencia estas enmiendas orgánicas generan una disponibilidad de N inferior al uso de FC, y un valor fertilizante nitrogenado 36% con B y 22% con GP. El valor fertilizante fosforado es de 109% con B y 121% con GP. El valor fertilizante potásico es 145% con B y 117% con GP. El Zn y Cu aportados con el B son fijados en 37 y 99%, respectivamente, en tanto que para GP esta fijación es de 31 y 100%, respectivamente.

El valor fertilizante de cada enmienda respecto de la fertilización convencional fue determinado a través de la siguiente ecuación:

$$\text{Valor fertilizante (\%)} = \frac{\text{Concentración media del nutriente (Trat - C) / Concentración Aplicada Tratamiento}}{\text{Concentración media del nutriente (FC - C) / Concentración Aplicada FC}} * 100$$

La fijación edáfica de nutrientes fue determinada con la siguiente ecuación:

$$\text{Fijación (\%)} = 100 - \left[\frac{\text{Concentración media del nutriente (Tratamiento - Control)}}{\text{Concentración nutriente aplicada con Tratamiento}} \right] * 100$$

Cuadro 6.1.1. Características químicas del bioestabilizado y Guano de Pavo utilizados en el experimento.

Parámetro determinado	Bioestabilizado	Guano de Pavo
Humedad (%)	46,9	34,1
pH	8,9	9,0
CE (dS m ⁻¹)	9,4	13,4
MO (%)	49,7	53,4
Relación C/N	6,7	11,5
C total (%)	28,8	31,0
N total (%)	4,3	2,7
N amoniacal (ppm)	4.689	3.024
N nítrico (ppm)	0,47	98
P total (%)	2,71	1,87
K total (%)	1,77	2,31
Ca total (%)	3,29	3,34
Mg total (%)	1,53	0,84
Na total (%)	0,65	0,48
Fe total (ppm)	1.326	260
Mn total (ppm)	557	606
Cu total (ppm)	5.970	7.306
Zn total (ppm)	2.736	312
B total (ppm)	Nd	Nd

Cuadro 6.1.2. Separación de medias para los tratamientos de fertilización empleados en el experimento.

Parámetro medido	Tiempo de incubación (semanas)					
	0	1	2	4	8	16
pH	6,91 a	6,71 b	6,63 c	6,50 d	6,37 e	6,29 f
CE (dS m ⁻¹)	0,13 e	0,18 d	0,19 d	0,22 c	0,26 b	0,29 a
N-NH ₄ ⁺ (ppm)	16,9 b	19,8 a	19,0 a	9,6 c	3,7 d	3,7 d
N-NO ₃ ⁻ (ppm)	18,9 e	45,5 d	51,8 d	78,4 c	96,3 b	108,7 a
N disponible (ppm)	36 e	65 d	71 d	88 c	100 b	112 a
P disponible (ppm)	49,9 a	46,6 b	45,5 b	50,6 a	33,8 d	38,0 c
K disponible (ppm)	195 a	192 a	180 a	178 a	174 b	151 c
Zn disponible (ppm)	7,2 a	7,4 a	7,1 a	7,3 a	7,1 a	7,1 a
Cu disponible (ppm)	44,8 b	44,7 b	41,8 c	41,5 c	40,6 c	48,1 a

Letras distintas en una misma fila indican diferencia estadística según test de DMS (p<0,05).

Cuadro 6.1.3. Separación de medias para los tratamientos de fertilización empleados en el experimento.

Parámetro medido	Tratamientos de Fertilización			
	Control	Fertilización Convencional	Bioestabilizado	Guano de Pavo
pH	6,65 a	6,39 c	6,57 b	6,66 a
CE (dS m ⁻¹)	0,14 d	0,27 a	0,21 c	0,22 b
N-NH ₄ ⁺ (ppm)	6,4 c	23,0 a	12,4 b	6,7 c
N-NO ₃ ⁻ (ppm)	46,1 c	96,2 a	64,1 b	60,6 b
N disponible (ppm)	52,6 d	119,3 a	76,6 b	67,2 c
P disponible (ppm)	27,8 b	48,4 a	50,4 a	50,4 a
K disponible (ppm)	146 d	173 c	186 b	212 a
Zn disponible (ppm)	5,8 c	6,6 b	9,8 a	6,6 b
Cu disponible (ppm)	43,4 bc	44,7 a	43,6 b	42,5 c

Letras distintas en una misma fila indican diferencia estadística según test de DMS ($p < 0,05$).

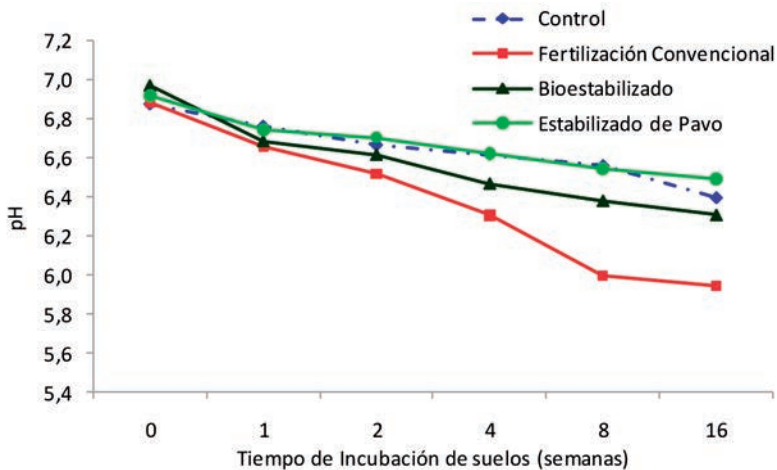


Figura 6.1.1. Evolución del pH del suelo con 4 tratamientos de fertilización que incluyen enmiendas orgánicas.

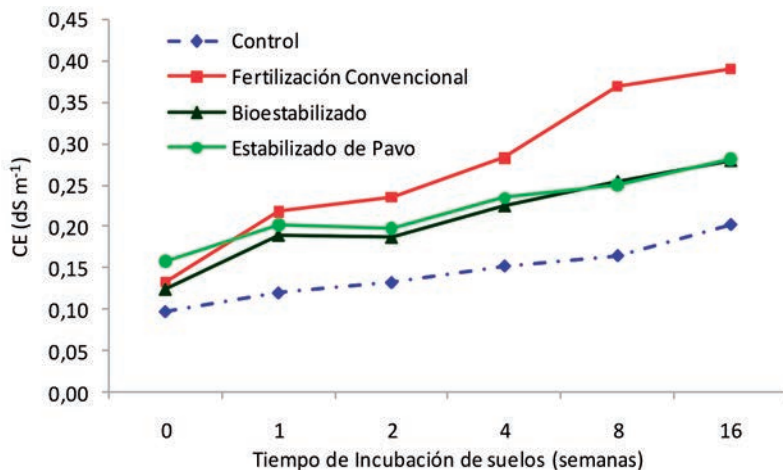


Figura 6.1.2. Evolución de la CE del suelo con 4 tratamientos de fertilización que incluyen enmiendas orgánicas.

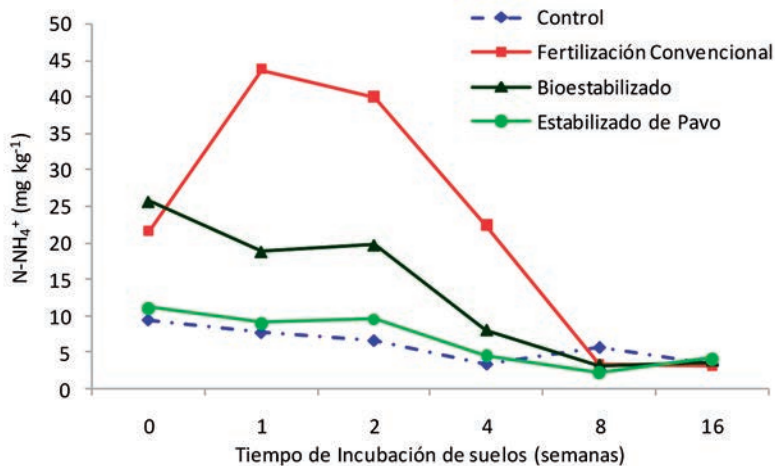


Figura 6.1.3. Evolución del N amoniacal del suelo con 4 tratamientos de fertilización que incluyen enmiendas orgánicas.

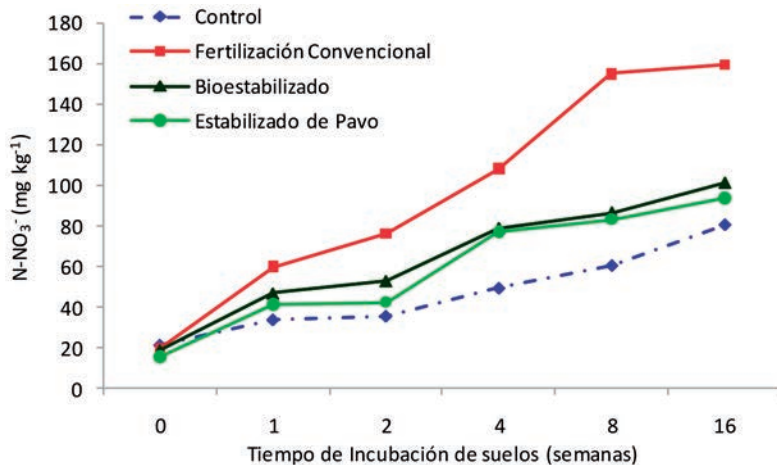


Figura 6.1.4. Evolución del N nítrico del suelo con 4 tratamientos de fertilización que incluyen enmiendas orgánicas.

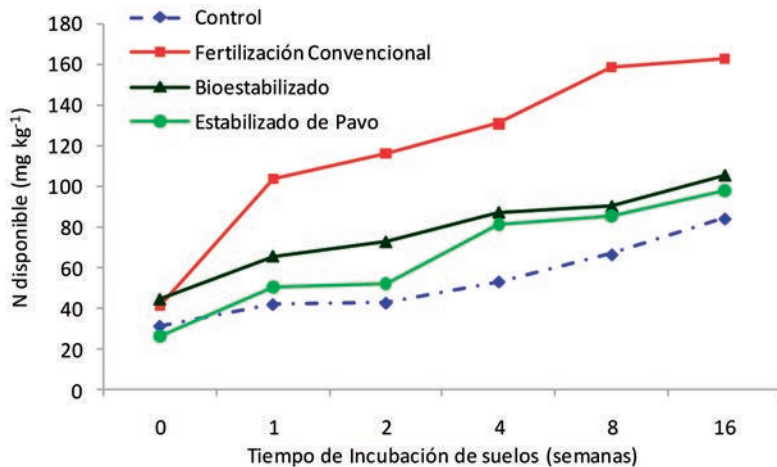


Figura 6.1.5. Evolución del N disponible (amonio + nitrato) del suelo con 4 tratamientos de fertilización que incluyen enmiendas orgánicas.

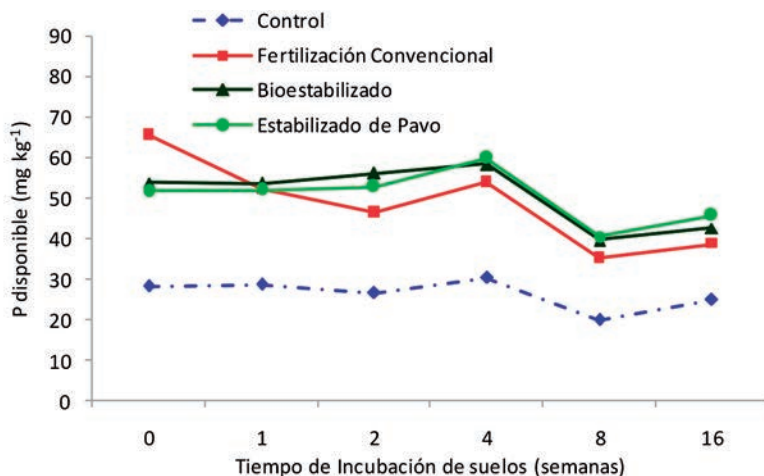


Figura 6.1.6. Evolución del P disponible del suelo con 4 tratamientos de fertilización que incluyen enmiendas orgánicas.

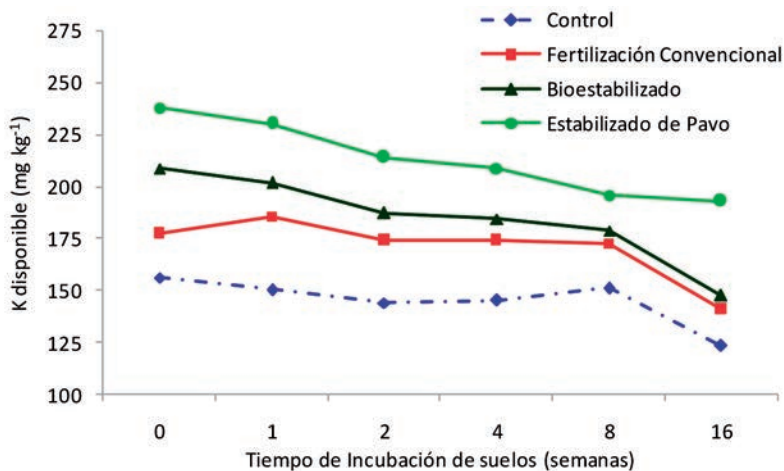


Figura 6.1.7. Evolución del K disponible del suelo con 4 tratamientos de fertilización que incluyen enmiendas orgánicas.

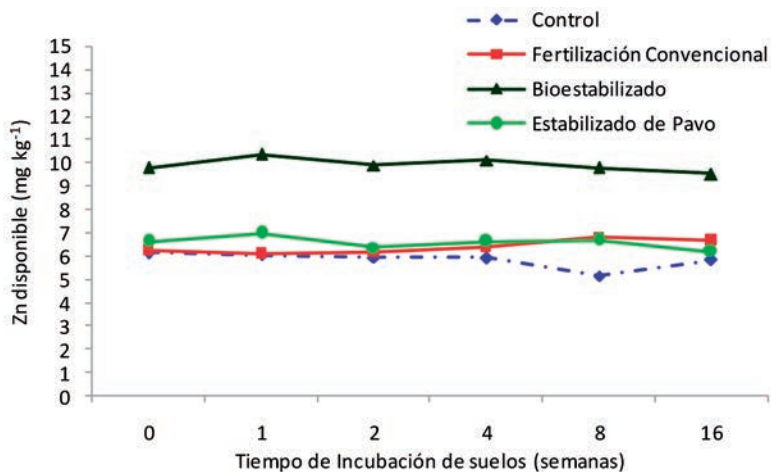


Figura 6.1.8. Evolución del Zn disponible del suelo con 4 tratamientos de fertilización que incluyen enmiendas orgánicas.

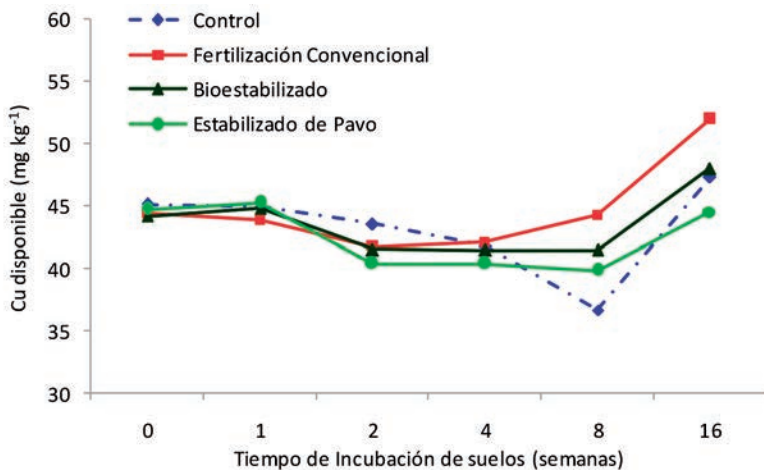


Figura 6.1.9. Evolución del Cu disponible del suelo con 4 tratamientos de fertilización que incluyen enmiendas orgánicas.

6.2. Efectos de dosis crecientes de un compost industrial de alta concentración de Cobre y Zinc sobre la producción de grano y extracción de nutrientes en maíz.

El uso de bioestabilizado (compost de la industria de carne de cerdo) presenta un comportamiento creciente en Chile, sin embargo puede exceder las concentraciones de Cobre (Cu) y Zinc (Zn) que indica la norma Chilena de Compost. Para determinar los efectos del Cu y Zn aportado por el uso de bioestabilizado en el cultivo de maíz, se llevó a cabo 2 experimentos durante la temporada 2010-2011, en las localidades de Talca y Chillán. Los tratamientos evaluados fueron: (1) Control sin fertilización; (2) Fertilización Convencional (nitrógeno (N), fósforo (P), y potasio (K)) con fuentes conocidas (urea, superfosfato triple, muriato de potasio) en dosis iguales al aporte del bioestabilizado para una dosis equivalente de 350 kg de N/ha; (3) bioestabilizado en dosis de N equivalente a 350 kg/ha (15,33 ton/ha) (relación de N:P₂O₅:K₂O 1:1,44:0,5); (4) bioestabilizado en dosis de N equivalente a 700 kg/ha (30,65 ton/ha); (5) bioestabilizado en dosis de N equivalente a 1.400 kg/ha (61,31 ton/ha).

Se debe considerar que el aporte real de N disponible desde el bioestabilizado equivale a un 40% del N total aplicado con esta enmienda. El diseño experimental fue bloques completamente al azar con 4 repeticiones. Los resultados indicaron que el uso de bioestabilizado en dosis crecientes no afectó las concentraciones de Cu y Zn en el grano de maíz, respecto del uso de fertilización convencional, en tanto que en planta entera, en una de las localidades se presentó incluso una menor concentración de Cu con el uso de bioestabilizado respecto de la fertilización convencional.

Por su parte, la extracción de Cu y Zn en planta entera con el uso de bioestabilizado en dosis crecientes fue similar, o inferior en el caso del Cu, a lo obtenido con el uso de fertilización convencional, dependiendo de la localidad de evaluación. La producción de materia seca (MS) total sólo presentó diferencias entre tratamientos en una de las localidades de evaluación, asociado a su menor nivel de fertilidad del suelo y por tanto mayor respuesta a la fertilización aplicada, con una relación directamente proporcional entre el aumento de la dosis de bioestabilizado y la producción de MS obtenida. Esta producción de MS no tuvo relación con la extracción de Cu generada en cada tratamiento.

El rendimiento de grano con el uso de bioestabilizado en dosis crecientes fue inferior o similar a la fertilización convencional, en función de la localidad de evaluación,

asociado a la potencialidad de rendimiento de cada zona y a la tasa de entrega de N con cada tratamiento de fertilización (mayor con el uso de fertilización convencional). En consecuencia, el aporte de Cu y Zn a través del uso de bioestabilizado en diferentes dosis para un cultivo de maíz no afecta la concentración y extracción de estos nutrientes por el cultivo, y tampoco afecta la productividad de este cultivo.



Foto 6.2.1. Maíz fertilizado con dosis crecientes de bioestabilizado en aportes correspondientes a 350, 700 y 1.400 kg de N total/ha.

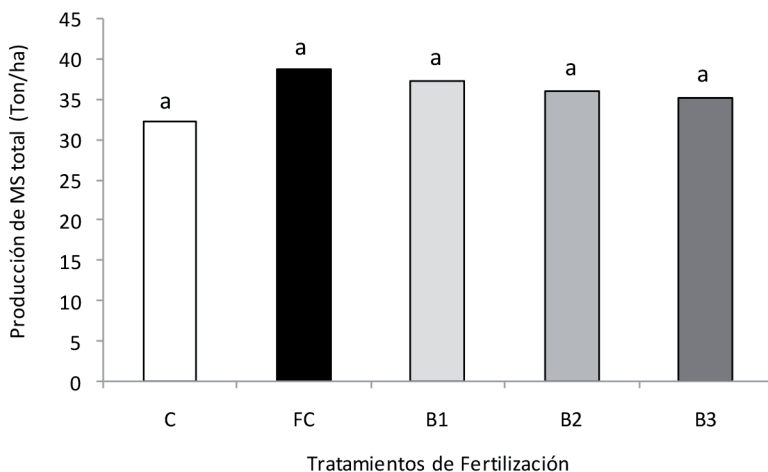


Figura 6.2.1. Producción de MS total en maíz frente a diferentes tratamientos de fertilización, Talca 2010-2011. Letras distintas indican diferencia estadística entre tratamientos, según test de Tukey ($p < 0,05$).

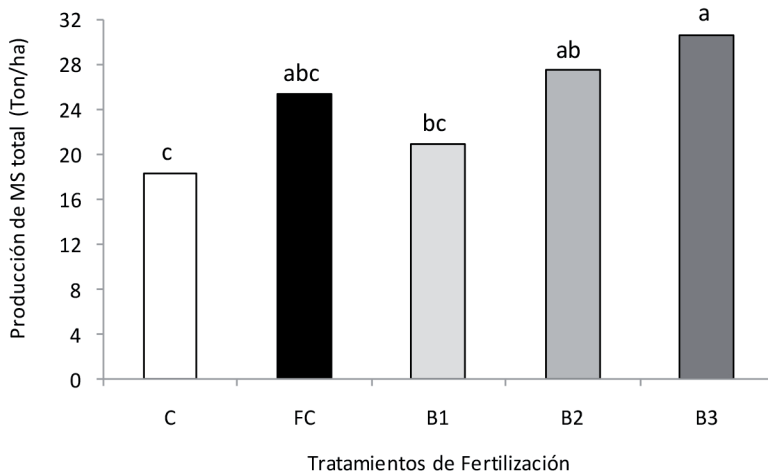


Figura 6.2.2. Producción de MS total en maíz frente a diferentes tratamientos de fertilización, Chillán 2010-2011. Letras distintas indican diferencia estadística entre tratamientos, según test de Tukey ($p < 0,05$).

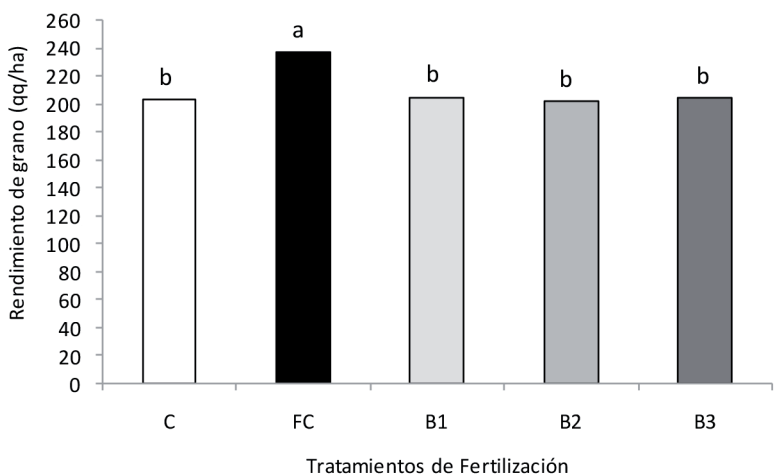


Figura 6.2.3. Rendimiento de Grano de maíz frente a diferentes tratamientos de fertilización, Talca 2010-2011. Letras distintas indican diferencia estadística entre tratamientos, según test de Tukey ($p < 0,05$).

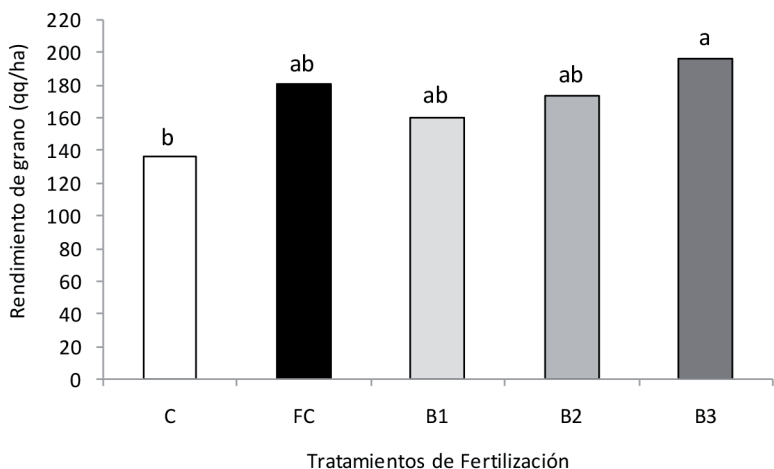


Figura 6.2.4. Rendimiento de Grano de maíz frente a diferentes tratamientos de fertilización, Chillán 2010-2011. Letras distintas indican diferencia estadística entre tratamientos, según test de Tukey ($p < 0,05$).

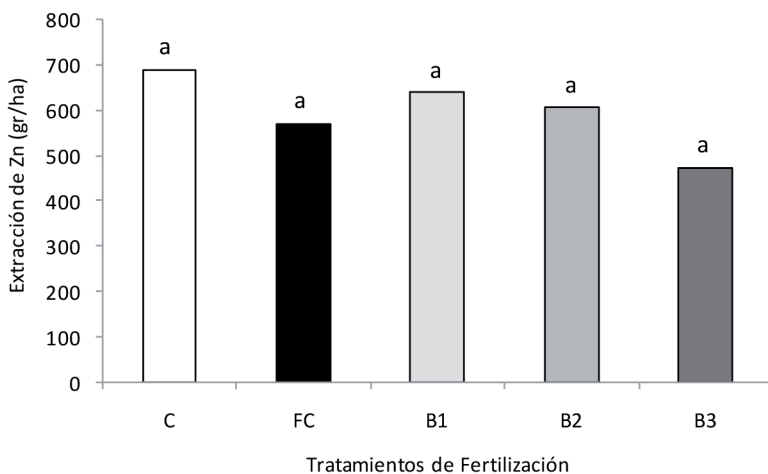


Figura 6.2.5. Extracción de Zinc en planta entera de maíz, Talca 2010-2011. Letras distintas indican diferencia estadística entre tratamientos, según test de Tukey ($p < 0,05$).

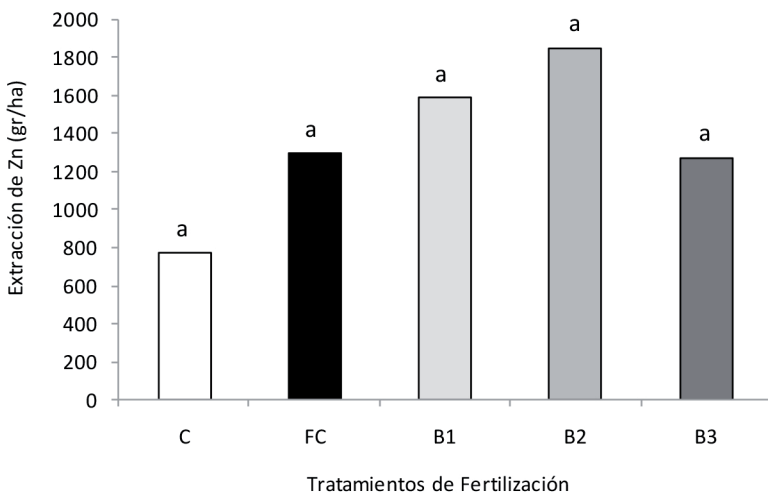


Figura 6.2.6. Extracción de Zinc en planta entera de maíz, Chillán 2010-2011. Letras distintas indican diferencia estadística entre tratamientos, según test de Tukey ($p < 0,05$).

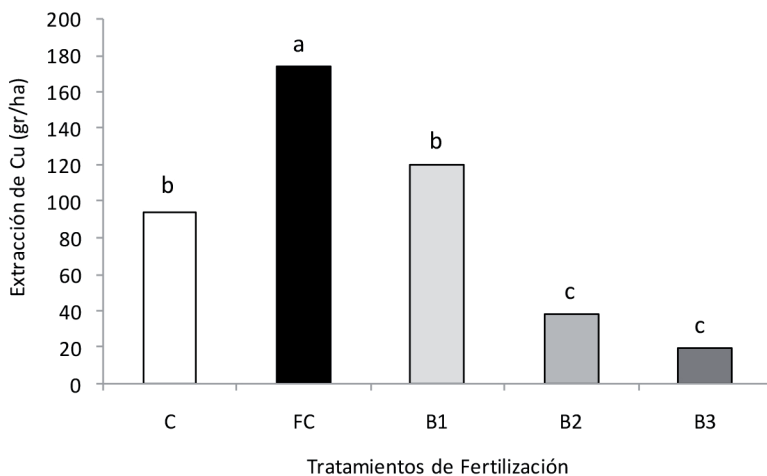


Figura 6.2.7. Extracción de Cobre en planta entera de maíz, Talca 2010-2011. Letras distintas indican diferencia estadística entre tratamientos, según test de Tukey ($p < 0,05$).

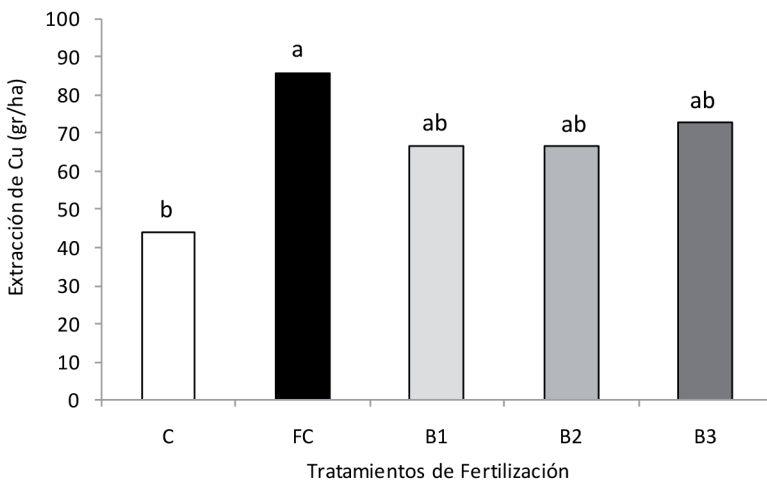


Figura 6.2.8. Extracción de Cobre en planta entera de maíz, Chillán 2010-2011. Letras distintas indican diferencia estadística entre tratamientos, según test de Tukey ($p < 0,05$).

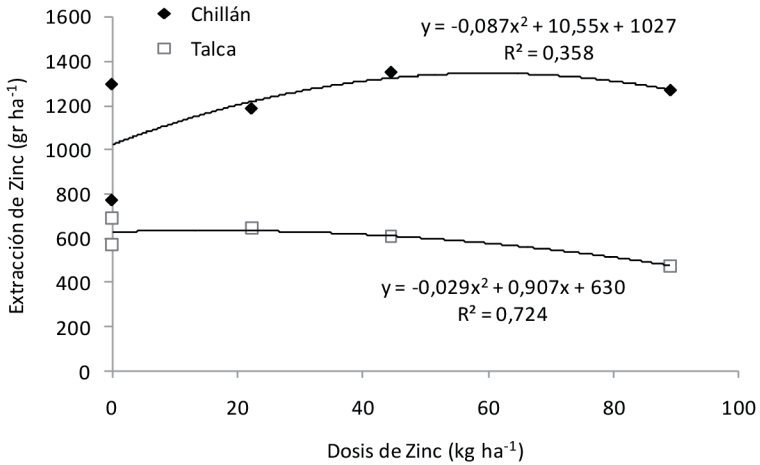


Figura 6.2.9. Relación entre la extracción de zinc y dosis crecientes de este elemento en ambas localidades de evaluación. Temporada 2010-2011.

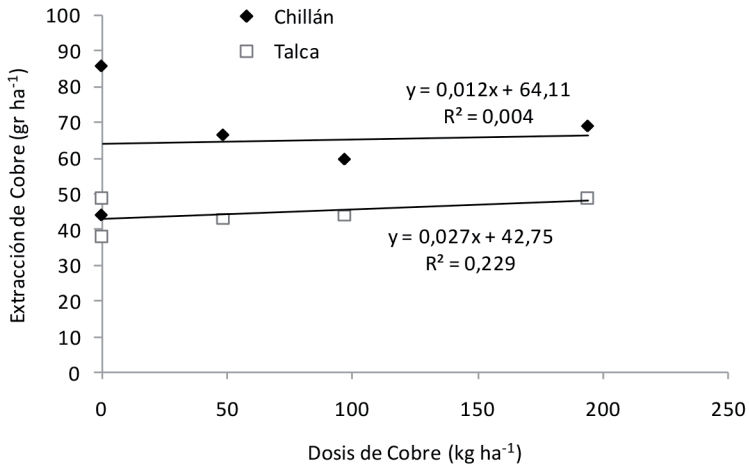


Figura 6.2.10. Relación entre la extracción de cobre y dosis crecientes de este elemento en ambas localidades de evaluación. Temporada 2010-2011.

6.3. Uso de enmiendas orgánicas como fuente de fertilización alternativa en el cultivo de arroz.

El uso de fertilizantes en el cultivo de arroz constituye uno de los costos directos de mayor importancia para este cultivo. Además, el uso de fertilizantes convencionales (químicos o de síntesis) en el largo plazo reduce el contenido de materia orgánica (MO) del suelo, y aquellos nutrientes de alta dinámica como el nitrógeno (N), quedan expuestos a procesos de pérdida, dado que la sincronía de absorción por el cultivo no es acorde a la rápida liberación de N de estos fertilizante. Por su parte, el uso de enmiendas orgánicas constituye una alternativa de fertilización de inferior costo, de aporte de MO y de la totalidad de nutrientes que requiere el cultivo, incluyendo aquellos como el fósforo, potasio, calcio, magnesio, zinc y boro, que en la mayoría de los suelos arroceros de Chile no alcanzan el nivel de suficiencia para el cultivo. Por otra parte, la entrega del N contenido en las enmiendas orgánicas es más controlada en relación al uso de fertilizantes convencionales, pudiendo lograr un 70% de entrega en un periodo de 3 a 4 meses para los guanos de broiler y pavo, y un 40 a 50% de entrega en dicho periodo para los compost de guano de cerdo o pavo.

Para evaluar el efecto de uso de las 2 principales enmiendas orgánicas comercializadas en Chile (Guano de Broiler y bioestabilizado (compost de guano de cerdo)) en las 2 principales variedades de arroz (Diamante-INIA y Zafiro-INIA), se realizó un experimento durante 2 temporadas consecutivas (2011-12 y 2012-13) en el campo experimental DIGUA de INIA, camino Parral a Cauquenes.

Los tratamientos de fertilización evaluados fueron los siguientes:

1. Control sin fertilización (C).
2. Fertilización convencional con dosis de 80 kg de N/ha parcializado $\frac{1}{2}$ a la siembra y $\frac{1}{2}$ a la macolla (FC1).
3. Fertilización convencional con dosis de 80 kg de N/ha parcializado $\frac{1}{2}$ a la siembra y $\frac{1}{2}$ al inicio de panícula (FC2).
4. C + N en macolla (40 kg/ha).
5. C + N en inicio de panícula (40 kg/ha).
6. Bioestabilizado (B) en presiembra en dosis equivalente a 80 kg de N/ha.
7. Guano broiler (GB) en presiembra en dosis equivalente a 80 kg de N/ha.
8. B en dosis equivalente a 40 kg de N/ha + N en macolla (40 kg/ha).

9. B en dosis equivalente a 40 kg de N/ha + N en inicio de panícula (40 kg/ha).
10. GB en dosis equivalente a 40 kg de N/ha + N en macolla (40 kg/ha).
11. GB en dosis equivalente a 40 kg de N/ha + N en inicio de panícula (40 kg/ha).

El diseño experimental fue Bloques al azar con arreglo en parcelas divididas, donde la parcela principal fue el tratamiento de fertilización y la subparcela la variedad de arroz. Además se trabajó con 4 repeticiones por tratamiento.

El tamaño de cada unidad experimental de fertilización es de 15 m² (3 m * 5 m), de los cuales 7,5 m² fueron ocupados por cada variedad de arroz. La superficie total sembrada en cada temporada fue 660 m² en 44 unidades experimentales, separados por pretilas para evitar efecto de bordes en las aplicaciones de los tratamientos de fertilización.

Los parámetros evaluados fueron:

- Rendimiento de grano.
- Coeficiente de reparto de materia seca.
- Altura de plantas.
- Relación beneficio marginal/Costo marginal de la fertilización.

El Costo de fertilización de cada tratamiento (promedio de ambas temporadas) se presenta en el Cuadro 6.3.1.

Cuadro 6.3.1. Costos de fertilización promedio de temporadas 2011-12 y 2012-13.

Tratamiento	Dosis de Enmiendas o Fertilizantes (kg/ha)					Costo fertilización (\$/ha)
	B	GB	Urea	SFT	Muriato	
1	0	0	0	0	0	0
2	0	0	178	141	130	\$173.344
3	0	0	178	141	130	\$173.344
4	0	0	89	0	0	\$61.833
5	0	0	89	0	0	\$61.833
6	3.316		0	0	0	\$96.318
7		3.162	0	0	0	\$86.911
8	1.658		89	0	0	\$124.992
9	1.658		89	0	0	\$124.992
10		1.581	89	0	0	\$120.289
11		1.581	89	0	0	\$120.289

Los resultados obtenidos fueron los siguientes:

El rendimiento de grano para los tratamientos de fertilización en ambas temporadas se presenta en la figura 6.3.1 (a y b), y separado por variedades en la figura 6.3.2 (a y b). A su vez en el Cuadro 6.3.2 y 6.3.3 se presenta el análisis económico del experimento, considerando la relación beneficio marginal/costo marginal de la fertilización, de las temporadas 2011-12 y 2012-13, respectivamente.

Para la primera temporada el rendimiento de grano fluctuó entre 53 a 88 qq/ha, pero en los tratamientos fertilizados este rendimiento fluctuó entre 65 a 88 qq/ha (figura 6.3.1a). El mayor rendimiento de grano se obtuvo en todos los tratamientos que recibieron fertilización, independiente de la fuente (convencional o enmiendas orgánicas) (figura 6.3.1a). Sin embargo, sólo los tratamientos 2 (fertilización convencional parcializado en siembra y macolla), 3 (fertilización convencional parcializado en siembra e inicio de panícula), 7 (guano broiler en presiembra), 8 (bioestabilizado + N en macolla), 9 (bioestabilizado + N en inicio de panícula), 10 (guano broiler + N en macolla) y 11 (guano broiler + N en inicio de panícula) superaron al control sin fertilización ($p < 0,05$).

Para la segunda temporada el rendimiento de grano fluctuó entre 60 a 84 qq/ha, pero en los tratamientos fertilizados este rendimiento fluctuó entre 62 a 84 qq/ha (figura 6.3.1b). El mayor rendimiento de grano se obtuvo en todos los tratamientos que recibieron fertilización, independiente de la fuente (convencional o enmiendas orgánicas) (figura 6.3.1b). Sin embargo, sólo los tratamientos 2 (fertilización convencional parcializado en siembra y macolla), 3 (fertilización convencional parcializado en siembra e inicio de panícula), 9 (bioestabilizado + N en inicio de panícula), y 11 (guano broiler + N en inicio de panícula) superaron al control sin fertilización ($p < 0,05$).

La altura de plantas fue medida sólo en la primera temporada y fluctuó entre 70 y 84 cm. No se evidenció diferencia de altura entre los tratamientos fertilizados, independiente de la fuente de fertilización (convencional o enmienda orgánica). Los tratamientos que superaron en altura al control sin fertilización fueron 2 (fertilización convencional parcializado en siembra y macolla), 3 (fertilización convencional parcializado en siembra e inicio de panícula), 7 (guano broiler en presiembra), 9 (bioestabilizado + N en inicio de panícula), 10 (guano broiler + N en macolla) y 11 (guano broiler + N en inicio de panícula), similar a lo obtenido en el rendimiento de grano.

El índice de cosecha en la primera temporada fluctuó entre 0,51 y 0,57. Los tratamientos de fertilización aplicados no generaron diferencias en el índice de cosecha. Para la segunda temporada el índice de cosecha fluctuó entre 0,43 y 0,47, inferior a la temporada 2011-12. Hubo diferencias entre tratamientos de fertilización, y los mayores IC se obtuvieron con los tratamientos 1 (control sin fertilización), 2 (fertilización convencional parcializado en siembra y macolla), 6 (bioestabilizado), 9 (bioestabilizado + N en inicio de panícula) y 11 (guano broiler + N en inicio de panícula).

Respecto a las mediciones de estas mismos parámetros, separando el efecto entre variedades, para la primera temporada se obtuvo un rendimiento de grano e índice de cosecha similar entre las variedades Diamante-INIA y Zafiro-INIA (figura 6.3.2a), en tanto que la altura de plantas fue mayor en la variedad Diamante-INIA. Para la segunda temporada tampoco hubo diferencias de rendimiento entre las variedades evaluadas (figura 6.3.2b), en tanto que el índice de cosecha fue mayor en la variedad Zafiro-INIA.

El análisis económico en la primera temporada de evaluación indicó que la mejor relación beneficio marginal sobre costo marginal de la fertilización empleada (o también diferencial de ingreso neto derivado de la fertilización respecto del control sin fertilizar), se logró con los tratamientos 7 (guano broiler en presiembra), 5 (N en inicio de panícula en dosis de 40 kg/ha) y 9 (bioestabilizado + N en inicio de panícula) (Cuadro 6.3.2). Para la segunda temporada el análisis económico indicó que la mejor relación beneficio marginal sobre costo marginal de la fertilización empleada, se logró con los tratamientos 11 (guano broiler + N en inicio de panícula), 7 (guano broiler en presiembra), y 3 (fertilización convencional parcializado en siembra e inicio de panícula) (Cuadro 6.3.3). El tratamiento que generó el mayor diferencial de ingreso marginal versus costo marginal para la primera temporada (Cuadro 6.3.2) fue el uso de Guano Broiler en presiembra (80 kg N/ha) con un diferencial de \$449.932/ha, en tanto que para la segunda temporada (Cuadro 6.3.3) fue el uso de Guano broiler en presiembra (40 kg N/ha) + 40 kg de N/ha aplicado en Inicio de Panícula, lo cual generó un diferencial de \$240.803/ha. En ambas temporadas el uso de Guano Broiler, ya sea sólo o en combinación con N convencional aplicado al inicio de panícula, generó un diferencial de ingreso neto mayor al uso de fertilizantes convencionales.

En conclusión, el uso de enmiendas orgánicas como fuente alternativa de fertilización en el cultivo de arroz permite lograr rendimientos similares a los obtenidos con el uso de fertilizantes convencionales, con una relación beneficio/costo más favorable al cultivo, donde destaca el uso de guano broiler.

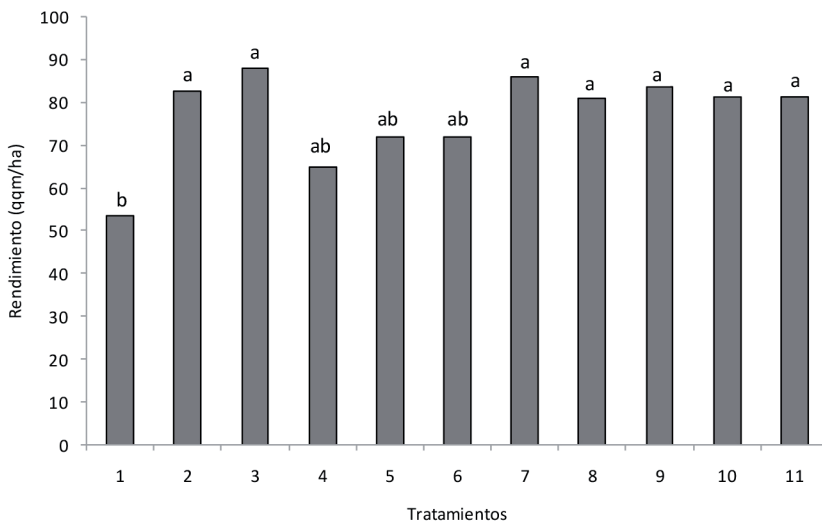


Figura 6.3.1a. Rendimiento de grano en el cultivo de arroz frente a diferentes tratamientos de fertilización que incluyen fertilizantes convencionales y enmiendas orgánicas. Los valores corresponden a las medias de las variedades Diamante-INIA y Zafiro-INIA. Estación Digua, Parral 2011-2012.

Letras distintas sobre las barras indican diferencia estadística entre tratamientos, según test de Tukey ($p < 0,05$).

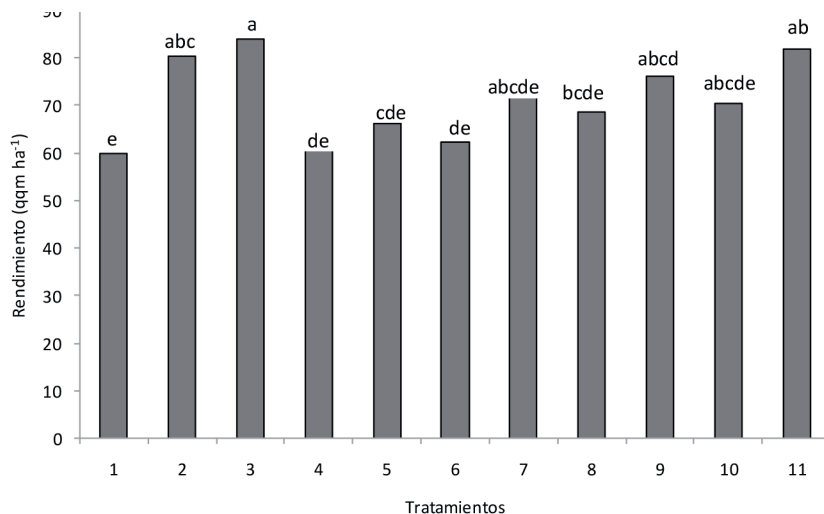


Figura 6.3.1b. Rendimiento de grano en el cultivo de arroz frente a diferentes tratamientos de fertilización que incluyen fertilizantes convencionales y enmiendas orgánicas. Los valores corresponden a las medias de las variedades Diamante-INIA y Zafiro-INIA. Estación Digua, Parral 2012-2013.

Letras distintas sobre las barras indican diferencia estadística entre tratamientos, según test de Tukey ($p < 0,05$).

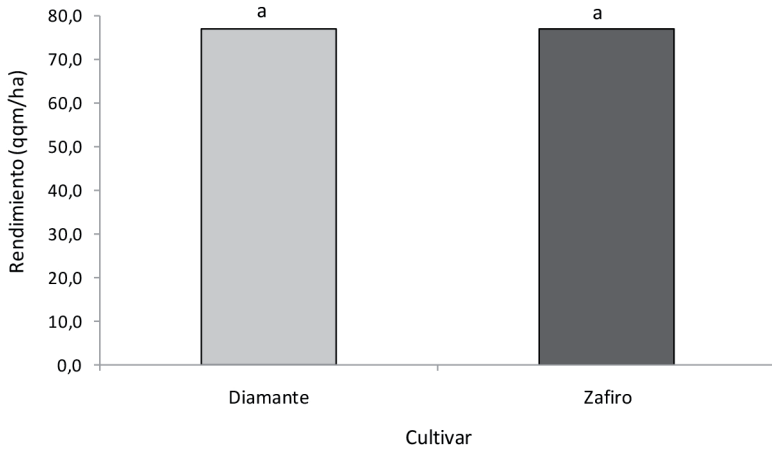


Figura 6.3.2a. Rendimiento de grano en los cultivares de arroz Diamante-INIA y Zafiro-INIA como promedio de diferentes tratamientos de fertilización que incluyen fertilizantes convencionales y enmiendas orgánicas. Estación Digua, Parral 2011-2012.

Letras distintas sobre las barras indican diferencia estadística entre tratamientos, según test de Tukey ($p < 0,05$).

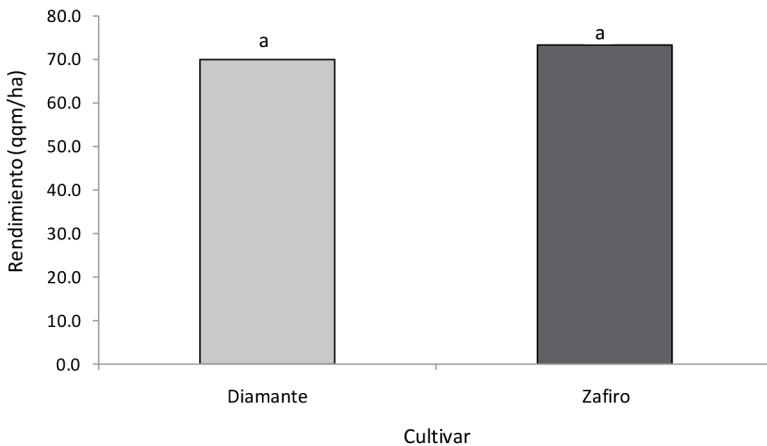


Figura 6.3.2b. Rendimiento de grano en los cultivares de arroz Diamante-INIA y Zafiro-INIA como promedio de diferentes tratamientos de fertilización que incluyen fertilizantes convencionales y enmiendas orgánicas. Estación Digua, Parral 2012-2013.

Letras distintas sobre las barras indican diferencia estadística entre tratamientos, según test de Tukey ($p < 0,05$).

Cuadro 6.3.2. Análisis económico de las estrategias de fertilización empleadas en el experimento. Temporada 2011-2012.

Tratamiento	Costo fertilización (\$/ha)	Rendimiento de grano (qq/ha)	Ingreso Bruto (\$/ha)	Ingreso Marginal (\$/ha)	Costo Marginal (\$/ha)	Relación Beneficio Marginal/ Costo Marginal
1	0	53	882138	-	-	-
2	173.344	82,6	1363606	481468	173344	2,8
3	173.344	87,8	1449142	567004	173344	3,3
4	61.833	65,0	1071904	189766	61833	3,1
5	61.833	72,0	1187812	305674	61833	4,9
6	96.318	71,9	1187025	304887	96318	3,2
7	86.911	86,0	1418981	536843	86911	6,2
8	124.992	81,0	1336395	454257	124992	3,6
9	124.992	83,8	1382266	500129	124992	4,0
10	120.289	81,2	1339890	457752	120289	3,8
11	120.289	81,1	1338610	456472	120289	3,8

Nota: El valor del quintal de arroz utilizado para el cálculo fue \$16.500. El valor de los fertilizantes y enmiendas se determinó a precios de mercado del mes de octubre como promedio del año 2011 y 2012 puesto en predio y aplicado.

Cuadro 6.3.3. Análisis económico de las estrategias de fertilización empleadas en el experimento. Temporada 2012-2013.

Tratamiento	Costo fertilización (\$/ha)	Rendimiento de grano (qq/ha)	Ingreso Bruto (\$/ha)	Ingreso Marginal (\$/ha)	Costo Marginal (\$/ha)	Relación Beneficio Marginal/ Costo Marginal
1	0	60	987835	-	-	-
2	173.344	80.5	1327467	339632	173344	2,0
3	173.344	84.0	1386148	398313	173344	2,3
4	61.833	64.3	1060837	73001	61833	1,2
5	61.833	66.3	1093954	106119	61833	1,7
6	96.318	62.3	1027685	39849	96318	0,4
7	86.911	72.5	1196910	209074	86911	2,4
8	124.992	68.6	1131345	143509	124992	1,1
9	124.992	76.1	1255613	267778	124992	2,1
10	120.289	70.5	1163324	175489	120289	1,5
11	120.289	81.8	1348928	361092	120289	3,0

Nota: El valor del quintal de arroz utilizado para el cálculo fue \$16.500. El valor de los fertilizantes y enmiendas se determinó a precios de mercado del mes de octubre como promedio del año 2011 y 2012 puesto en predio y aplicado.

BIBLIOGRAFÍA

Cherney, D.J., J.H. Cherney, and E.A. Mikhailova. 2002. Orchardgrass and tall fescue utilization of nitrogen from dairy manure and commercial fertilizer. *Agronomy Journal* 94:405-412.

Chescheir, G.M., P.W. Westerman, and L.M. Safley Jr. 1986. Laboratory methods for estimating available nitrogen in manures and sludges. *Agricultural Wastes* 18:175-195.

Circular 9B/20, Instruye en relación a utilización de guano de aves de carne, MINSAL, julio 2001.

Hirzel, J., I. Matus, F. Novoa and I. Walter. 2007a. Effect of poultry litter on silage maize (*Zea mays* L.) production and nutrient uptake. *Spain J. Agric. Res.* 5(1):102-109.

Hirzel, J. 2007. Estudio comparativo entre fuentes de fertilización convencional y orgánica, cama de broiler, en el cultivo de maíz (*Zea mays* L.). Tesis Doctoral. Escuela Técnica Superior de Ingenieros Agrónomos. Universidad Politécnica de Madrid. España. 139 p.

Hirzel, J., I. Walter, P. Undurraga and M. Cartagena. 2007b. Residual effects of poultry litter on silage maize (*Zea mays* L.) growth and soil properties derived from volcanic ash. *SSPN* 53:480-488.

Hirzel, J., and I. Walter. 2008. Availability of nitrogen, phosphorous and potassium from poultry litter and conventional fertilizers in a volcanic soil cultivated with silage corn. *Chilean Journal of Agricultural Research* 68(3):264-273.

Hirzel, J., F. Novoa, P. Undurraga and I. Walter. 2009. Short-term effects of poultry litter application on silage maize (*Zea mays* L.) Yield and soil chemical properties. *Compost Science and Utilization* 17(3):189-196.

Hirzel, J., P. Undurraga and I. Walter. 2010. Mineralization of nitrogen and nutrients released in a volcanic soil amended with poultry manure. *Chilean Journal of Agricultural Research* 70(1):113-121.

Hirzel, J. Fertilización de Cultivos en Chile. 2011 (Editor). Colección Libros INIA N-28, Chillán, Chile. 434 p.

Hirzel, J., and P. Undurraga. 2013. Nutritional Management of Cereals Cropped Under Irrigation Conditions. pp: 99-130. In: *Crop Production*, Aakash Goyal and Muhammad Asif (Ed). ISBN 978-953-51-1174-0. 190 p.

Hirzel, J., L. León, F. Flores, and F. Cerda. 2013. Manure-Based Organic soil amendments provide an adequate nutritional source for corn production in Chile when combined with urea applications. *Compost&Science* 21:1-13.

Hirzel, J. 2014 (Editor). Diagnóstico Nutricional y Principios de Fertilización en Frutales y Vides. Segunda edición aumentada y corregida. Colección Libros INIA-31. ISSN 0717-4713. 322 p.

Hirzel, J., and I. Walter. 2015. Pig Compost Use on Zinc and Copper Concentrations in Soils and Corn Plants. *American Journal of Plant Sciences* 6:524-536.

Land Application of Poultry Litter, Ohio State University Extension Fact Sheet, 1998. Laos, F., P. Satti, I. Walter, M.J. Mazzarino, and S. Moyano. 2000. Nutrient availability of composted and noncomposted residues in a Patagonian Xeric Mollisol. *Biology and Fertility of Soils* 31:462-469.

Pauta Técnica para la aplicación de Guanos, abril 2005, Ministerio de Agricultura, SAG-INDAP. Preusch, P.L., P.R. Adler, L.J. Sikora, and T.J. Tworokosky. 2002. Nitrogen and phosphorus availability in composted and uncomposted poultry litter. *Journal of Environmental Quality* 31(6):2051-2057.

Redman, M.H., S.A. Wigglesworth, and A.J.A. Vinten. 1989. Nitrogen dynamics of a leguminous green manure. p. 98-112. In Hansen, J., and K. Henriksen (eds.) *Nitrogen in organic wastes applied to soils*. Academic Press, San Diego, California, USA.

Rogers, B.F., U. Krogmann, and L.S. Boyles. 2001. Nitrogen mineralization rates of soils amended with nontraditional organic wastes. *Soil Science* 166:353-363.

Salazar, F.J.; Alfaro, M.; Teuber, N. y Saldaña, R. 2005. Uso de lodos de la industria salmonera en suelos agrícolas. *Revista Tierra Adentro (Chile)*, N°60:35-37.

Salazar, F.J. 2005. Reciclaje y compostaje de residuos orgánicos en agricultura. *Revista Tierra Adentro (Chile)* N° 62:50-51.

Salazar, F.J. 2007. Dosis, época y técnicas de aplicación de purines ganaderos. *Revista Fedagro (Chile)*, 13(30):6-7.

Salazar, F. 2012. Manual de manejo y utilización de purines de lechería. Consorcio Lechero (Chile). 116p.

Sibley, J.L., W.A. Dozier, J.O. Donald, D.G. Himelrick, J.H. Wilhoit, and E.S. Lyle. 1996. Poultry litter looks promising in surface mine land reclamation. 43(2).

Sims, J.T., and D.C. Wolf. 1994. Poultry waste management: agricultural and environmental issues. *Adv. Agron.* 52:1-83.

Tisdale, S., W. Nelson, J. Havlin, and J. Beaton. 1999. Soil fertility and fertilizers. An introduction to nutrient management. 503 p. 6th ed. Prentice-Hall, Upper Saddle River, New Jersey, USA.

Tyson, S.C., and M.L. Cabrera. 1993. Nitrogen mineralization in soils amended with composted and uncomposted poultry litter. *Commun. Soil. Sci. Plant Anal.* 24(17-18):2361-2374.

Villalobos, R. 2008. Evaluación de enmiendas orgánicas como fuentes alternativas de fertilización en el cultivo de arroz. Tesis de Ingeniero Agrónomo. 34 p. Universidad de Talca, Talca, Chile.

Whalen, J.K., C. Chang, G.W. Clayton, and J.P. Carefoot. 2000. Cattle manure amendments can increase the pH of acid soils. *Soil Science Society of America Journal* 64:962-966.

Otros sugeridos

Acuerdo de Producción Limpia (2008).

Comisión Nacional de Buenas Prácticas Agrícolas (2006).

Anónimo. (2006). Guía de Recomendaciones de Manejo de Purines de Lechería. Ministerio de Agricultura, Gobierno de Chile, Superintendencia de Servicios Sanitarios y Federación de Productores de Leche. 7p.

PABCO, Planteles Animales Bajo Certificación Oficial. (2007). Manual de Procedimientos N°1.

PABCO/MP1. Procedimiento de ingreso al Programa de Planteles de Animales Bovinos Bajo Certificación Oficial. División de Protección Pecuaria, Subdepartamento de Industria y Tecnología Pecuaria, Servicio Agrícola y Ganadero, Chile. 26 p.

