

Capítulo 2

Manejo sustentable de la fertilidad del suelo: Recomendaciones para el uso de enmiendas orgánicas

Juan Hirzel C. y Francisco Salazar S.

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, semi-compostado, estabilizado, 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 aportan materia orgánica en cantidad y calidad, y nutrientes esenciales para los suelos agrícolas, lo cual contribuye a aumentar la fertilidad de los suelos y la productividad de los cultivos.

2.1. Uso de enmiendas orgánicas

Para el uso correcto de estas enmiendas orgánicas se debe 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 nutrientes.
- Presencia de microelementos, metales pesados y biodisponibilidad de éstos, que pueden limitar la dosis a utilizar.
- Considerar restricciones por carga microbiológica, ajustándose a normativas nacionales o internacionales.
- 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 las fechas de siembra, inicio de crecimiento de raíces

en frutales y especies perennes, o cercanas a períodos de cosecha en frutales. Considerar también los mayores potenciales de pérdidas de nutrientes en algunas épocas del año (por ejemplo, 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 objetivo 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 (**Figura 2.1**).

Figura 2.1. Pila de compost terminado previo a su uso en el campo.



2.1.1. Composición nutricional de las enmiendas orgánicas

En general las enmiendas orgánicas contienen los elementos esenciales para las plantas cultivadas, pero en proporciones nutricionales 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. Dentro de los nutrientes aportados por estas enmiendas, el N tiene el mayor riesgo de daño medioambiental asociado a una mala dosificación, ya que aplicado en dosis mayores a las necesidades del cultivo, puede contaminar el agua superficial, subterránea y el aire. Otro nutriente que en algunos casos presenta riesgo de contaminación ambiental es el P, ya que en bajas dosis puede causar problemas serios de contaminación en aguas superficiales y/o subterráneas.

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

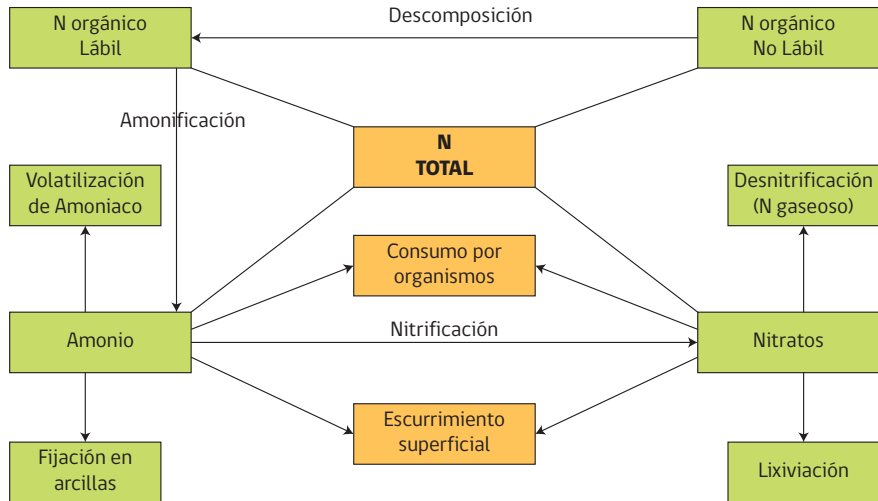
En general, el contenido de nutrientes en las enmiendas orgánicas es bajo (**Cuadro 2.1**). Sin embargo debido a los grandes volúmenes generados, estos pasan a constituirse en un importante recurso de nutrientes para el suelo. Este contenido de nutrientes se divide en una fracción orgánica y una soluble 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 (sistema de manejo, tipo de camas, sistema de almacenamiento, entre otros) y tipo de nutriente. Por ejemplo, en el caso del Potasio (K) este nutriente se encuentra 100% disponible en purines de lechería, pudiendo fácilmente ser utilizados 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, como ureidos, proteínas, fitatos, entre otros. La forma orgánica de los nutrientes debe ser transformada a formas solubles para su uso por las plantas, lo que ocurre naturalmente una vez que son aplicados al suelo a través de la mineralización (transformación biológica desde la fracción orgánica a inorgánica)

Cuadro 2.1. Composición nutricional de diversas enmiendas orgánicas existentes en Chile. Las concentraciones de materia orgánica (MO) y nutrientes están expresadas en base a peso seco.

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)	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	4*10 ⁻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.

Figura 2.2. Ciclo del N en el suelo post aplicación de la cama de broiler. (Adaptado de Sims y Wolf, 1994).



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 2.2**. Otros importantes nutrientes como potasio (K), calcio (Ca), magnesio (Mg), azufre (S), sodio (Na) y micronutrientes como 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. 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 generar desbalances y limitar la producción de praderas y/o cultivos.

En una forma práctica, el N de las enmiendas orgánicas puede ser dividido en cuatro fracciones:

1. N inorgánico, normalmente en su forma de amonio (NH_4^+), el cual puede ser utilizado directamente por varios cultivos, transformado a nitrato (NO_3^-) disponible para las plantas, o perderse al ambiente.
2. N orgánico rápidamente mineralizable, principalmente como urea que es fácilmente transformada a NH_4^+ .

3. N orgánico mineralizable a mediano plazo, como compuestos nitrogenados que son mineralizados por microorganismos del suelo en pocos meses.
4. N orgánico de lenta mineralización, como 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, según se indica en la ecuación 1.

Ecuación 1:

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

Donde: kg/ha/año = kilogramos por hectárea al año
kg/ha = kilogramos por hectárea

La cantidad de N inorgánico inicial se obtiene desde el análisis de la enmienda orgánica y corresponde a la suma del N en la forma de amonio (N-NH_4^+) y nitrato (N-NO_3^-). Esta suma normalmente viene expresada en porcentaje, por lo cual la cantidad de N inorgánico se obtiene con la ecuación 2.

Ecuación 2:

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

Las tasas de mineralización para las principales enmiendas orgánicas usadas en agricultura se indican en el **Cuadro 2.2**.

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 (t) por hectárea 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

Cuadro 2.2. 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.

broiler sería el siguiente. Utilice las ecuaciones 1 y 2, considerar un 65% de tasa de mineralización del N orgánico. (**Cuadro 2.2**):

8.400 kg de materia seca (12 t * 0,70 * 1.000 kg/t).

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. 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. Por lo 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 dinámicas de entrega de nutrientes de diferentes enmiendas orgánicas presentes en Chile y de fácil acceso a los agricultores, en los **Cuadros 2.3; 2.4; 2.5 y 2.6** 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. 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 2.3. Dosis referenciales de enmiendas orgánicas a emplear en frutales y vides en etapa de plena producción en función de su necesidad de N (kg de N a aplicar por tonelada producida).

Especie	Rendimiento (t/ha)	N (kg/t)	Dosis referencial de enmiendas orgánicas (t/ha)		
			Estado fresco*	Semi-compostado**	Compost***
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

Nota: la dosis máxima está limitada por restricciones microbiológicas y/o por normativas y regulaciones ambientales nacionales o internacionales.

* 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.

Cuadro 2.4. 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 (t/ha)	N (kg/t)	Dosis referencial de enmiendas orgánicas (t/ha)		
			Estado fresco*	Semi-compostado**	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		4 - 7	6 - 10
Zanahoria	30 - 80	2,5 - 3	4 - 8	5 - 10	8 - 16
Perejil	30 - 50	2,5 - 3		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		7 - 13	10 - 20
Betarraga	30 - 60	4 - 5	5 - 10	7 - 13	10 - 20
Repollo Morado	30 - 60	3 - 4		7 - 10	10 - 16
Lechuga	20 - 60	2,5 - 3		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		7 - 13	10 - 20
Tomate	50 - 100	2,5 - 3	8 - 12	10 - 15	16 - 24
Repollo Blanco	30 - 100	3 - 3,5		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		8 - 15	12 - 24

Nota 1: la dosis máxima está limitada por restricciones microbiológicas y/o por normativas y regulaciones ambientales nacionales internacionales.

Nota 2: para la producción de hortalizas cosechadas a ras de piso no se debe emplear Guano fresco de ningún tipo.

Para el caso de enmiendas frescas existen restricciones para la aplicación en hortalizas de hoja y otros cultivos y se deben respetar períodos de carencia.

* 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.

Cuadro 2.5. 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 (t/ha)		
			Estado fresco*	Semi-compostado**	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

Nota: la dosis máxima está limitada por restricciones microbiológicas y/o por normativas y regulaciones ambientales nacionales internacionales.

* 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.

qq = quintal métrico (100 kg).

Cuadro 2.6. 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 (t/ha)	N (kg/ton)	Dosis referencial de enmiendas orgánicas (t/ha)		
			Estado fresco*	Semi-compostado**	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

Nota: la dosis máxima está limitada por restricciones microbiológicas y/o por normativas y regulaciones ambientales nacionales o internacionales.

* 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.

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

- 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:

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

3. También debe conocer el porcentaje de humedad de la enmienda orgánica (Cuadro 2.1).
4. 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.
5. Una vez que obtenida esta información se emplea las ecuaciones 3 y 4:

Ecuación 3:

$$\text{Dosis de MO a aplicar (t/ha)} = \frac{(\text{MO a subir (\%)} * \text{DA (g/cm}^3\text{)} * \text{PDM (cm)})}{0,33 \text{ (Ef)}}$$

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:

$$\text{Dosis de EMO (t/ha)} = \frac{\text{Dosis MO a aplicar (t/ha)} * 10.000}{\% \text{ de MO en la EMO a utilizar} * (100 - \% \text{H}^\circ \text{ en EMO)}}$$

Donde: MO = materia orgánica.

EMO = enmienda orgánica.

%H° = porcentaje de humedad de la enmienda a utilizar.

10.000 = 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 g/cc, la dosis de un guano fresco (70% de materia orgánica y 30% de humedad) sería de 29,7 t/ha (30 t/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 t/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, todos los años en dosis moderadas que fluctúen entre 10 y 15 t/ha y que se ajusten a la necesidad de nutrientes del cultivo que prosigue.

Otra alternativa de uso de enmiendas orgánicas en alta dosis se puede generar cuando al aplicar junto a la incorporación de residuos de cereales, donde el aporte de N de la MO contribuye a estimular la descomposición del residuo. En este aspecto, como dosis referencial se puede indicar que la aplicación de 1 t 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 t de residuo de cereal (considerando un consumo de 10 kg de N como aporte externo por cada 1 t de residuo de cereal incorporado). Del mismo modo, la aplicación de 1 t 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 t de residuo de cereal. En el mismo contexto, la aplicación de 1 t 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 t de residuo de cereal.

Como ejemplo, si un productor de trigo quiere incorporar 6 t/ha de residuo usando un guano semicompostado, debería aplicar aproximadamente 5 t de esta enmienda orgánica, incorporada junto con el residuo. En otro ejemplo, si un productor de maíz quiere incorporar 10 t/ha de residuo usando un guano fresco, debería aplicar 6 t 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.

2.1.2. 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 y 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 deficiente 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 período de mayor crecimiento, previo a un rezago o después de un corte o pastoreo, siendo ideal a fines de invierno o inicios de primavera, de manera de contar con período 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 período 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, período en el cual existe 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

Figura 2.3. Aplicación de guano de broiler en otoño en huerto de manzano.



crecimiento de raíces (no hay riesgo de daño del sistema radical por aportes de nutrientes con reacción salina), y período 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 período de caída de hojas en frutales de hoja caduca y vides (fines de otoño e inicios de invierno), o en el período 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). En el caso de suelos arenosos las aplicaciones de invierno podrían generar lixiviación de nutrientes.

2.1.3. Aplicación incorporada o aplicación en cobertera sin incorporar

La incorporación de enmiendas orgánicas se realizará en función del cultivo para el cual se efectuará la aplicación.

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

En el caso de frutales, vides y hortalizas perennes ya establecidas, la aplicación de la enmienda puede ser más difícil. Una forma de adecuar su incorporación en frutales y vides es 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 en 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 y 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 uso más eficiente del nitrógeno aplicado.

Figura 2.4. Aplicación de guano de vacuno en cobertera sobre una pradera sometida a corte.



Figura 2.5. Aplicación de guano broiler en cobertera sobre el camellón de un huerto de manzano.



2.1.4. Uso de fertilización adicional

La aplicación adicional de 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 2.3; 2.4; 2.5 y 2.6**, para frutales, hortalizas, cultivos y praderas, respectivamente. En este caso, la dosis de N a aplicar como fertilización 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. 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 la especie a cultivar 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 t/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 período 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 y 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 estimulantes de vida en el suelo, lo cual se observa en la expresión 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

Figura 2.6. 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.



de ejemplo, en la **Figura 2.6** 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.

2.1.5. 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 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 a 3 meses.

2.2. Uso de purines en praderas y cultivos

Los purines son una mezcla de fecas, orina y aguas sucias, además pueden contener restos de materiales utilizados en la estabulación de animales (por ejemplo paja, tierra, arena y/o aserrín) y residuos de alimentos, provenientes de los sistemas de producción animal. En general, el contenido de materia seca no supera el 10%, por lo que su manejo es en forma líquida, normalmente gravitacionalmente o con el uso de bombas.

Por los grandes volúmenes generados, constituyen un aporte importante de macro y micronutrientes y materia orgánica, que pueden ser reciclados en los suelos. En el último tiempo, en el país se ha intensificado su manejo y uso, dado por el mayor conocimiento de los agricultores de las ventajas de su aplicación al suelo, la necesidad de reutilizarlos, el costo creciente de los fertilizantes inorgánicos y la normativa ambiental, especialmente de protección de cursos de agua.

2.2.1. Caracterización de purines

Los purines son una fuente importante de macronutrientes, micro nutrientes, y materia orgánica (**Cuadro 2.7**). En términos generales el 30 a 40% del nitrógeno se encuentra en forma soluble, principalmente amonio, con muy bajo contenido de nitrato (< 1%), siendo estas formas las disponibles para el cultivo y/o pradera

post aplicación. En el caso del fósforo, la disponibilidad inmediata de este nutriente es entre 50 y 60% y del potasio es entre 95 y 100%. Por lo tanto, es importante considerar que cuando se aplican purines, una parte de los nutrientes serán absorbidos por el cultivo (o perdidos al aire, suelo y/o agua) y otra quedará en el suelo y necesitará ser transformado por los microorganismos presentes en el suelo, previa utilización por las plantas. El aporte de micronutrientes en general es bajo, sin embargo, representan una buena fuente de minerales, permitiendo su reciclaje en el suelo.

2.2.2. Forma de aplicación

Existen diferentes formas de aplicar los purines: en superficie sin incorporación (praderas permanentes); en superficie con incorporación al suelo (previo al establecimiento de praderas o cultivos), además pueden ser inyectados al suelo a través de equipos que permiten incorporarlos a 10-50 cm de profundidad. Las aplicaciones en superficie sin incorporación al suelo pueden provocar pérdidas altas de nitrógeno por volatilización de amoníaco y generación de olores. Cuando los purines son incorporados al suelo, se puede reducir en forma importante las pérdidas de amoníaco y la emisión de olores. La efectividad de esta práctica de manejo dependerá de su rápida ejecución post aplicación (menor a 6 horas). Se trata de evitar la exposición de los purines a las condiciones ambientales, para reducir el potencial de pérdida.

En Chile casi la totalidad de los purines son aplicados en superficie por aspersión, utilizando carros o equipos de riego de alta presión e irrigadores móviles de baja presión. El uso de carros purineros con inyectores es incipiente a escala nacional.

2.2.3. Dosis

La selección de la dosis adecuada de aplicación de purines tiene ventajas económicas y ambientales. Para hacer una correcta estimación de la dosis de nutrientes a aplicar a un cultivo o pradera es necesario considerar: fertilidad y aporte de nutrientes del suelo; aporte de nutrientes por reciclaje animal (fecas, orina); pérdidas de nutrientes (escurrimiento, lixiviación, volatilización, fijación); requerimientos de cultivos y/o praderas; aporte de nutrientes disponibles y totales por la aplicación de purines, teniendo presente la eficiencia de uso del nutriente aplicado.

La cantidad de purín a aplicar debe tener en cuenta el desbalance nutricional propio de este tipo de residuos, esto quiere decir, que de acuerdo al requerimiento del cultivo y aporte del purín, puede producirse desbalances ya que, algunos nutrientes están más disponibles que otros. Por ejemplo, en sectores con reiteradas

aplicaciones de purines de lechería se ha observado excesivos contenidos de K en el suelo. Esta situación disminuye la absorción de magnesio, sodio y calcio por las plantas, lo que puede resultar en la expresión de la enfermedad de hipomagnesemia en vacas. En el caso de purines de cerdo, el contenido de Zn puede limitar la dosis a aplicar. Tanto para P como para K, aplicaciones de purines en suelos deficitarios no generarán una acumulación significativa o exceso de nutrientes. Este fenómeno se produce después de aplicaciones reiteradas (varios años de manera consecutiva) o por sobre fertilización, esto es, por fertilización con purines en sectores que reciben fertilización inorgánica (comercial) completa cada año. De allí la relevancia de realizar un plan de manejo de uso de purines a nivel predial, como parte del plan anual de fertilización. En aplicaciones de superficie sobre praderas o cultivos establecidos, otro factor importante es la carga de materia seca por unidad de área. Altas dosis de aplicación de purines pueden saturar los suelos y producirse un daño físico de las plantas por “encostramiento” del purín.

Como ejemplo, si se aplican 100.000 litros de purines por hectárea, equivalentes a 100 toneladas, para conocer el aporte de nutrientes se debe realizar un análisis en un laboratorio con experiencia en el tema o al no contar con análisis, utilizar valores promedio de lecherías similares. En el **Cuadro 1** se entrega como guía el contenido de nutrientes para un purín bovino típico de sistemas pastoriles, los cuales han sido usados como base para estimar los aportes de macronutrientes, suponiendo su uso en pradera (rendimiento 10 t MS/ha) y maíz forrajero (rendimiento 20 t MS/ha). Se puede observar que el purín aporta una cantidad importante de nutrientes, y que para el K en maíz corresponde al 100% de los requerimientos. La diferencia se deberá aportar por parte del suelo o a través del uso de fertilizantes químicos.

2.2.4. Época de aplicación

Con el fin de hacer un uso adecuado de los nutrientes, los purines deben distribuirse cuando los cultivos o praderas están en crecimiento activo, donde las demandas de los nutrientes son más altas. En general, el uso más eficiente de N se observa en aplicaciones de purines realizadas desde fines de invierno y en primavera, en comparación a las de otoño e invierno. Desde una perspectiva ambiental, la época de aplicación de purines es muy importante. En invierno se esperan altas pérdidas de N debido al riesgo de lixiviación (lavado de nutrientes del suelo en profundidad) y escurrimiento (arrastre de nutrientes en superficie, a favor de la pendiente topográfica del terreno) por la alta pluviometría durante ese período. Aplicaciones invernales favorecerían además la dispersión de los patógenos presentes en estos residuos, por lixiviación o escurrimiento del material contaminado a cursos de

agua. Aplicaciones en primavera, por el contrario, favorecería su eliminación, dado el efecto negativo de los rayos ultravioletas (luz solar) sobre la sobrevivencia de los patógenos comúnmente presentes. Otro aspecto negativo de la aplicación de purines en el período invernal es el posible daño que pueden sufrir las praderas o los cultivos por efecto de la maquinaria utilizada, la cual incrementa el riesgo de compactación y erosión del suelo. La volatilización de amoníaco también depende de las condiciones climáticas. Es más alta en aplicaciones realizadas en clima caluroso y seco, condiciones que se dan preferentemente en la época de primavera-verano.

2.2.5. Plan de manejo de purines a nivel predial

El correcto manejo y uso de purines en un predio debiera considerar un plan anual de aplicaciones al suelo, al igual que lo que se hace para enmiendas orgánicas o fertilizantes comerciales.

- Producción de purines en el predio. Se deberá estimar la producción mensual y anual de purines en el predio, y la cantidad de nutrientes aportados por los purines anualmente.
- Disponibilidad de superficie “productiva potencial” para uso con purines. Se deberá determinar la superficie de suelo agrícola disponible para aplicación de purines en cada predio, debiéndose descontar el área utilizada por construcciones, caminos, bosques o bosquetes, cursos de agua (considerando una franja ribereña de al menos 5 metros sin aplicación) y otros. También se deberá descontar, si es el caso, potreros que estén cercanos a caminos públicos o viviendas, con la finalidad de evitar molestias por aplicación de purines cercanos a ellas.
- Requerimientos de cultivos y praderas. Se deberá estimar la superficie utilizada por los diferentes cultivos y praderas, determinando los requerimientos de nutrientes de ellos anualmente.
- Aptitud de suelos. Con la finalidad de hacer un mejor uso de los purines en las distintas épocas del año, se deberá determinar, de acuerdo a antecedentes técnicos prediales y experiencia de agricultor y trabajadores, la aptitud de los distintos potreros para aplicación de purines. Para ello, se debe clasificar en: a) potreros sin ninguna limitación, con suelo profundos, poca pendiente, sin cursos de agua cercanos; b) potreros con limitación moderada, con suelos menos profundos y/o con pendiente leve y/o cursos de agua cercanos; y c) potreros con limitación, suelos delgados y/o con pendiente fuerte y/o

inundables y/o cercanos a cursos de agua. En estos potreros, por ejemplo, se podrá aplicar purines sólo en algunas épocas del año.

Con esta información se podrá elaborar un plan de manejo de purines prediales, estimando si en el predio existe un exceso o falta de nutrientes aportados por los purines. En el segundo caso se podrá complementar con enmiendas orgánicas o fertilizantes comerciales. Por otro lado, al existir un exceso se deberá reducir las dosis y/o el uso de cultivos más extractivos.

Cuadro 2.7. Caracterización de purines de predios lecheros del sur de Chile (base peso fresco)*.

Parámetro	Unidad	Promedio	Mínimo	Máximo
Materia seca	(%)	3,05	0,19	13,75
Materia orgánica	(%)	66,11	31,71	85,25
pH	(u)	7,34	5,75	8,77
Carbono	(%)	4,34	0,54	10,73
N total Kjeldahl	(kg/t)	1,46	0,19	5,25
Nitrógeno amoniacal	(kg N-NH ₃ /t)	0,54	0,05	2,11
Nitrógeno nítrico	(kg N-NO ₃ /t)	0,01	0,00	0,03
Fósforo total	(kg P ₂ O ₅ /t)	0,52	0,04	2,17
Potasio total	(kg K ₂ O/t)	1,12	0,13	4,88
Calcio total	(kg CaO/t)	0,68	0,03	2,77
Magnesio total	(kg MgO/t)	0,32	0,02	1,49
Sodio total	(kg Na/t)	0,20	0,03	0,95
Azufre total	(kg S/t)	0,11	0,01	0,43

* n = 102 a excepción de S con n = 52.

Cuadro 2.8. Ejemplo de cálculo dosis de purín en pradera con un rendimiento estimado de 4 t MS/ha y de maíz forrajero de 20 t MS/ha.

Parámetro	Unidad	Aporte purín	Requerimiento pradera	Balance pradera	Requerimiento maíz	Balance maíz
Nitrógeno total	(N total)	88	280	-134	240	-94
Fósforo	(P ₂ O ₅)	31	100	-48	96	-44
Potasio	(K ₂ O)	67	313	-201	106	+6

Literatura consultada

- Andraski, T., and L.G. Bundy. 2008. Corn residue and nitrogen source effects on nitrogen availability in no-till corn. *Agronomy Journal* 100:1274-1279.
- Alvarado, R., R. Madariaga, y A. Gómez. 1991. Pudrición del tallo en arroz: Respuesta varietal. *IPA Quilamapu* 50:32-35.
- Angus, J.F., M. Ohnishi, T. Horie, and L. Williams. 1994. A preliminary study to predict net nitrogen mineralization in a flooded rice soil using anaerobic incubation. *Australian Journal of Experimental Agriculture* 34:995-999.
- Atanasiu, N., y J. Samy. 1985. Nutrición de la planta: fertilizantes y abonos orgánicos para el arroz. En: *Arroz uso eficaz de los fertilizantes*. Conzett + Huber AG., Zurich, Suiza.
- Baghdadi, M., and A. Sadowski. 1998. Estimation of nutrient requirements of sour cherry. *Acta Horticulturae* 468:515-521.
- Balmaceda, M. 2008. Fertilización cálcica en el cultivo del maíz. 27 p. Tesis de Ingeniero Agrónomo. Universidad de Talca, Talca, Chile.
- Bengtsson, B., and P. Jensén. 1997. Uptake and transport of calcium and boron in apple trees. *Third International Symposium on Mineral Nutrition of deciduous Fruit Trees*. p. 87. Zaragoza, Spain.
- Benton, J. 1998. *Plant nutrition manual*. 149 p. CRC Press LLC, Washington, USA.
- Brooke, A., and R. Stevens. 1994. *Tree fruit nutrition. A comprehensive manual of deciduous tree fruit nutrient needs*. Washington State Fruit Commission. Published by Good Fruit Grower. 211 p.
- Bushong, J.T., R.J. Norman, W.J. Ross, N.A. Slaton, C.E. Wilson, and E.E. Gbur. 2007. Evaluation of several indices of potentially mineralizable soil nitrogen. *Communications in Soil Science and Plant Analysis* 38:2799-2813.
- Campillo, R., C. Jobet, y P. Undurraga. 2007. Optimización de la fertilización nitrogenada para trigo de alto potencial de rendimiento en Andisoles de la Región de La Araucanía, Chile. *Agricultura Técnica, Chile* 67:281-291.
- Campillo, R., C. Jobet, and P. Undurraga. 2010. Effects of nitrogen on productivity, grain quality, and optimal nitrogen rates in winter wheat cv. Kumpa-INIA in Andisols of Southern Chile. *Chilean Journal of Agricultural Research* 70:122-131.
- Chaudary, R.C., and D.V. Tran. 2001. Speciality rices of the world: a prologue. p. 3-12. In Chaudary, D.C., D.V. Tran, and R. Duffy (eds.) *Speciality rices of the world. Breeding, production and marketing*.

- Food and Agriculture Organization of the United Nations. Science Publishers, Enfield, New Hampshire, USA.
- 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.
- Conradie, W.J. 1980. Seasonal uptake of nutrients by Chenin blanc in sand culture. I. Nitrogen. *South African Journal of Enology and Viticulture* 1:59-65.
- Conradie, W.J. 1981. Seasonal uptake of nutrients by Chenin blanc in sand culture II. Phosphorous, Potassium, Calcium and Magnesium. *South African Journal of Enology and Viticulture* 2:7-13.
- Cordero-Vásquez, A., and J.I. Murillo-Vargas. 1990. Removal of nutrients by rice cultivar CR 1821 under flood irrigation. *Agronomía Costarricense* 14:79-83.
- Coulter, J., and E.D. Nafziger. 2008. Continuous corn response to residue management and nitrogen fertilization. *Agronomy Journal* 100:1774-1780.
- Cuevas, G., F. Martinez, and I. Walter. 2003. Field-grown maize (*Zea mays* L.) with composted sewage sludge. Effects on soil and grain quality. *Spanish Journal of Agricultural Research* 1:111-119.
- Fernández, M. 1995. Fertilización nitrogenada y su eficiencia en maíz de grano. *Simiente* 65:122-132.
- Fernández, M. 1996. Influencia de la fertilización de largo plazo en el cultivo de maíz y en la residualidad de P y K en un Mollisol calcáreo. *Agricultura Técnica (Chile)* 56:107-115.
- Frageria, N.K., Carvalho, G.D., Santos, A.B., Ferreira, E.P.B., and Knupp, A.M. 2011. Chemistry of Lowland Rice Soils and Nutrient Availability. *Communications in Soil Science and Plant Analysis* 42:1913-1933
- Grist, D.H. 1975. *Rice*. 5th ed. Longman, London, UK.
- Halvorson, A.D., D.C. Nielsen, and C.A. Reule. 2004. Nitrogen fertilization and rotation effects on no-till dryland wheat production. *Agronomy Journal* 96:1196-1201.

- Hargreaves, J. 2008. The use of compost and compost teas in the production of strawberries and raspberries. Ph.D. Tesis. Dalhousie University, Halifax, Nova Scotia.
- Hargreaves, J., M.S. Adl., and P.R. Warman. 2009. Are compost teas an effective nutrient amendment in the cultivation of strawberries? Soil and plant tissue effects. *J Sci Food Agric* 89:390-397.
- Haynes, R.J., and M.S. Mokolobate. 2001. Amelioration of Al toxicity and P deficiency in acid soils by additions of organic residues: a critical review of the phenomenon and the mechanisms involved. *Nutrients Cycling and Agroecosystems* 59:47-63.
- Herrmann, A., and F. Taube. 2004. The range of the critical nitrogen dilution curve for maize (*Zea mays* L.) can be extended until silage maturity. *Agronomy Journal* 96:1131-1138.
- Hewstone, C. 1999. Producción de materia seca y absorción de macro y micronutrientes en trigo cultivado en el sur de Chile. *Agricultura Técnica (Chile)* 59:271-282.
- Hirzel, J., y S. Best. 2002. Necesidades nutricionales del cultivo de maíz en el valle regado de la VIII región. Informativo Agropecuario BIOLECHE - INIA-QUILAMAPU 15-3. VIII región. Chile.
- Hirzel, J. 2004. Fertilización del cultivo. p. 49-75. En M. Mellado (ed.) Boletín de trigo 2004. Manejo tecnológico. Boletín INIA N° 114. Instituto de Investigaciones Agropecuarias, Chillán, Chile.
- 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. Universidad Politécnica de Madrid. España. 139 p.
- Hirzel, J., I. Matus, F. Novoa, and I. Walter. 2007a. Effect of poultry litter on silage maize (*Zea mays* L.) production and nutrient uptake. *Spanish Journal of Agricultural Research* 5:102-109.
- 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. *Soil Science and Plant Nutrition* 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* 68:264-273.

- 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., and S. Best. 2009. Effect of two rootstocks on the seasonal nutritional variability of Braeburn apple. *International Plant Nutrition Colloquium*. Paper 1375. Davis, California, USA.
- 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., y F. Salazar. 2011. Uso de enmiendas orgánicas como fuente de fertilización en cultivos. *Fertilización de Cultivos en Chile*. Hirzel, J. (Editor). Colección Libros INIA N°28, Chillán, Chile. 2011. 434 p.
- Hirzel, J. 2011. Acumulación de nutrientes en Frutos de Arándano. *Revista Red Agrícola* 40:36-41.
- Hirzel, J., P. Undurraga, y J. González. 2011. Chemical properties of volcanic soil as affected by seven years rotations. *Chilean Journal of Agricultural Research* 71:304-312.
- Hirzel, J., K. Cordero, C. Fernández, J. Acuña, M. Sandoval, and E. Zagal. 2011. Soil potentially mineralizable nitrogen and its relation to rice production and nitrogen needs in two paddy rice soils of Chile. *J. Plant Nut. Japón* 35:396-412.
- Hirzel, J. F. Cerda, P. Millas and A. France. 2012. Compost Te effects on Production and extraction of nitrogen in ryegrass cultivated on soil amended with commercial compost. *Compost&Science Utilization* 20(2):97-104.
- Hirzel, J. y R. Galdames. 2013. Acumulación de nutrientes en frutos de peras: estudio prospectivo en un huerto comercial. *Revista Frutícola* 1:42-45.
- 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., M. Barrera, y A. Ried. 2013a. Necesidades nutricionales del olivo cultivar Arbequina de diferentes edades. Parte 1: Nitrógeno, Fósforo y Potasio. Revista Tierra Adentro 102:47-50.
- Hirzel, J., M. Barrera, y A. Ried. 2013b. Necesidades nutricionales del olivo cultivar Arbequina de diferentes edades. Parte 2: Calcio, Magnesio y Azufre. Revista Tierra Adentro 102:51-54.
- Hirzel, J. 2014. Acumulación de nutrientes en frutos de kiwi: estudio prospectivo en un huerto comercial. Revista Frutícola 35:53-56.
- Hirzel, J., S. Rebolledo, M. Carus, y V. Bianchini. 2014. Estudio de la composición nutricional de árbol de nogal adulto. Revista Frutícola 36:53-56.
- 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.
- Jensen, L.S., I.S. Pedersen, T.B. Hansen, and N.E. Nielsen. 2000. Turnover and fate of ¹⁵N-labelled cattle slurry ammonium-N applied in the autumn to winter wheat. European Journal of Agronomy 12:23-35.
- Johnson, V., A. Dreier, and P. Grabouski. 1973. Yield and protein responses to nitrogen fertilizer of two winter wheat varieties differing in inherent protein content of their grain. Agronomy Journal 65:259-263.
- Jokela, W.E., and G.W. Randall. 1997. Fate of fertilizer nitrogen as affected by time and rate of application on maize. Soil Science Society of America Journal 61:1695-1703.
- Jordan-Meille, L., and S. Pellerin. 2004. Leaf area establishment of a maize (*Zea mays* L.) field crop under potassium deficiency. Plant and Soil 265(1-2):75-92.
- Juliano, B.O. 1993. Rice in human nutrition. Food and Nutrition Series N° 26. FAO, Rome, Italy. International Rice Research Institute (IRRI), Los Baños, Laguna, Philippines.
- Kim, K., D.E. Clay, C.G. Carlson, S.A. Clay, and T. Trooien. 2008. Do synergistic relationships between nitrogen and water influence the ability of corn to use nitrogen derived from fertilizer and soil? Agronomy Journal 100:551-556.

- Kowalenco, C. 1994. Growing season dry matter and macroelement accumulations in Willamette red raspberry and related soil-extractable macroelement measurements. *Canadian Journal of Plant Science* 74:565-571.
- Kumura, A. 1956. Studies on the effect of internal nitrogen concentration of rice plant on the constitutional factor of yield. *Proc. Crop Sci. Soc. Japan* 24:177-180.
- Laegreid, M., O.C. Bockman, and O. Kaarstad. 1999. *Agriculture, fertilizers and the environment*. 294 p. CABI Publishing, Wallingford, UK.
- 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.
- Marschner, H. 1990a. Functions of mineral nutrients: macronutrients. Part I Nutritional Physiology. p. 195-267. In Marschner, H. (ed.) *Mineral nutrition of high plants*. Academic Press Limited, London, England.
- Marschner, H. 1990b. Functions of mineral nutrients: Micronutrients. Part I Nutritional physiology. p. 269-340. In Marschner, H. (ed.) *Mineral nutrition of high plants*. Academic Press Limited, London, England.
- Mellado, Z.M. 2007. Importancia y evolución del trigo en Chile. In M. Mellado (ed) *El trigo en Chile. Cultura, ciencia y tecnología*. Colección Libros INIA N° 21. p. 15-35. Instituto de Investigaciones Agropecuarias, Centro Regional de Investigación Quilamapu, Chillán, Chile.
- Mengel, K., and E. Kirkby. 1987. *Principles of plant nutrition*. 4th ed. 686 p. International Potash Institute, Worblaufen-Bern, Switzerland.
- Millner, J.P., R. Villaver, and A.K. Hardacre. 2005. The yield and nutritive value of maize hybrids grown for silage. *New Zealand Journal of Agricultural Research* 48:101-108.
- Navarro, S., y G. Navarro. 2003. *Química agrícola: El suelo y los elementos químicos esenciales para la vida vegetal*. 478 p. Ediciones Mundi-Prensa, Madrid, España.
- Pang, X.P., and J. Letey. 2000. Organic farming: challenge of timing nitrogen availability to crop nitrogen requirements. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 64(1):247-253.
- Polcarpo, M., L. Di Marco, T. Caruso, P. Gioacchini, and M. Tagliavini. 2002. Dynamics of nitrogen uptake and partitioning in early and late fruit ripening peach (*Prunus persica*) tree genotypes under a mediterranean climate. *Plant and Soil* 239:207-214.

- Preusch, P.L., P.R. Adler, L.J. Sikora, and T.J. Tworkosky. 2002. Nitrogen and phosphorus availability in composted and uncomposted poultry litter. *Journal of Environmental Quality* 31(6):2051-2057.
- Plénet, D., S. Etchebest, A. Mollier, and S. Pellerin. 2000. Growth analysis of maize field crops under phosphorus deficiency. *Plant and Soil* 223:117-130.
- 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.
- Rettke, M., T. Pitt, N. Maier, and J. Jones. 2006. Quality of fresh and dried fruit of apricot (cv. Moorpark) in response to soil-applied nitrogen. *Australian Journal of Experimental Agriculture* 46:123-129.
- Rodriguez, A., W. Hoogmoed, and L. Brussaard. 2008. Soil quality assessment in rice production systems: establishing a minimum data set. *Journal of Environment Quality* 37:623-630.
- 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.
- Roy, R.N., A. Finck, G.J. Blair, and H.I.S. Tandon. 2006. Plant nutrients and basics of plant nutrition. p. 25-42. In Roy, R.N. *et al.* (eds.) *Plant nutrition for food security. A guide for integrated nutrient management*. FAO Fertilizer and Plant Nutrition Bulletin 16. FAO, Rome, Italy.
- Sahrawat, K. 2006. Organic matter and mineralizable nitrogen relationships in wet-land rice soils. *Communications in Soil Science and Plant Analysis* 37:787-796.
- Sainz, H.R., Echeverría, H.E., and Barbieri, P.A. 2004: Nitrogen balance as affected by application time and nitrogen fertilizer rate in irrigated no-tillage maize. *Agron. J.* 96(6), 1622-1631.
- Schreiner, R., C. Scagel, and J. Baham. 2006. Nutrient uptake and distribution in mature "Pinot noir" vineyard. *HortScience* 41(2):336-345.
- Sharma, P., C. Chatterjee, C. Sharma, and S. Agarwala. 1986. Zinc deficiency and anther development in maize. *Plant and Cell Physiology* 28:11-18.
- Sheehy, J.E., M. Mnzava, K.G. Cassman, P.L. Mitchell, P. Pablico, R.P. Robles, and A. Ferrer. 2004. Uptake of nitrogen by rice studied with a ¹⁵N point-placement technique. *Plant and Soil* 259:259-265.

- Shimizu, T. 1967. Processes of yield formation in rice plants from the point of dry matter production (in Japanese). *Dry Matter Production in Crops* 4:12-26.
- Sims, J.T., and D.C. Wolf. 1994. Poultry waste management: agricultural and environmental issues. *Advances in Agronomy* 52:1-83.
- Singh, J.N., and N. Murayama. 1963. Analytical studies on the productive efficiency of nitrogen in rice. *Soil Science and Plant Nutrition* 9:25-35.
- Smith, G.S., C.J. Clark, and J.G. Buwalda. 1988. Nutrients dynamics of a kiwifruit ecosystem. *Scientia Horticulturae* 37:87-109.
- Stassen, P., and M. North. 2005. Nutrient distribution and requirement of Forelle pear trees on two rootstocks. *Acta Horticulturae* 671:493-500.
- Stone, P.J., and R. Savin. 1999. Grain quality and its physiological determinants. p. 85-120. In Satorre, E.H., and G.A. Slafer (eds.) *Wheat: ecology and physiology of yield determination*. Food Products Press, New York, USA.
- Soon, Y., A. Haq., and M. Arshad. 2007. Sensitivity of nitrogen mineralization indicators to crop and soil management. *Communications in Soil Science and Plant Analysis* 38:2029-2043.
- Soto, P., E. Jahn, y S. Arredondo. 2002. Población y fertilización nitrogenada en un híbrido de maíz para ensilaje en el valle regado. *Chilean Journal of Agricultural Research* 62:255-265.
- Tagliavini, M., C. Zavalloni, A. Rombola, M. Quartieri, D. Malaguti, F. Mazzanti, P. Millard, and B. Marangoni. 2000. Mineral nutrient partitioning to fruits of deciduous trees. *Acta Horticulturae* 512:131-140.
- Tanaka, A., S. Patnaik and C.T. Abichandani. 1959. Studies on the nutrition of rice plant. III. Partial efficiency of nitrogen absorbed by rice plant at different stages of growth in relation to yield of rice (*O. sativa*, var. *indica*). *Proc. Indian Acad. Sci. Sec. B*49(4):207-216.
- Tinarelli, A. 1989. *El arroz*. 575 p. Ediciones Mundi-Prensa, Madrid, España.
- 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.
- Trolldenier, G. 1979. Nitrogenaseaktivitaet in der Rhizosphaere von Sumpfreis in Abhaengigkeit von der Mineralstoffernaehrung. *Mitteilungen der Deutschen Bodenkundlichen Gesellschaft*. Goettingen 29:334-337.

- Val, J., A. Gil, Y. Aznar, E. Monge and A. Blanco. 2000. Nutritional study of an apple orchard as endemically affected by Bitter Pit. *Acta Horticulturae* 512. P. 493-502.
- 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.
- Wienhold, B. 2007. Comparison of laboratory methods and an in situ method for estimating nitrogen mineralization in an irrigated silt-loam soil. *Communications in Soil Science and Plant Analysis* 38:1721-1732.
- Wilson, C.E., R.J. Norman, and B.R. Wells. 1994. Chemical estimation of nitrogen mineralization in paddy rice soils. I. Comparison to laboratory indices. *Communications in Soil Science and Plant Analysis* 25(5&6):573-590.
- Yuri, J. 2002. Nutrición Mineral en Pomáceas. Bitter pit: "Un problema vigente". *Revista Frutícola* Vol 23(1). Centro de Pomáceas, Facultad de Ciencias Agrarias, Universidad de Talca.
- Zavalloni, C., B. Marangoni, M. Tagliavini, and D. Scudellari. 2001. Dynamics of uptake of calcium, potassium and magnesium into apple fruit in a high density planting. *Proceedings of the Fourth International Symposium on Mineral Nutrition of Deciduous Fruit Crops. Acta Horticulturae* 564:113-122.