

# Capítulo 3

## Manejo sustentable de la fertilidad del suelo: Recomendaciones para la fertilización mineral

Juan Hirzel C. y Christian Hepp K.

### 3.1. Fertilización de cultivos

Si bien las alternativas de cultivos son variadas para Chile, se enfatizará en 3 de las especies de mayor superficie de siembra (maíz, trigo y arroz), y en la parte final se presenta una pauta de fertilización con nitrógeno, fósforo y potasio para la mayoría de las especies de cultivo que se desarrollan en nuestro país.

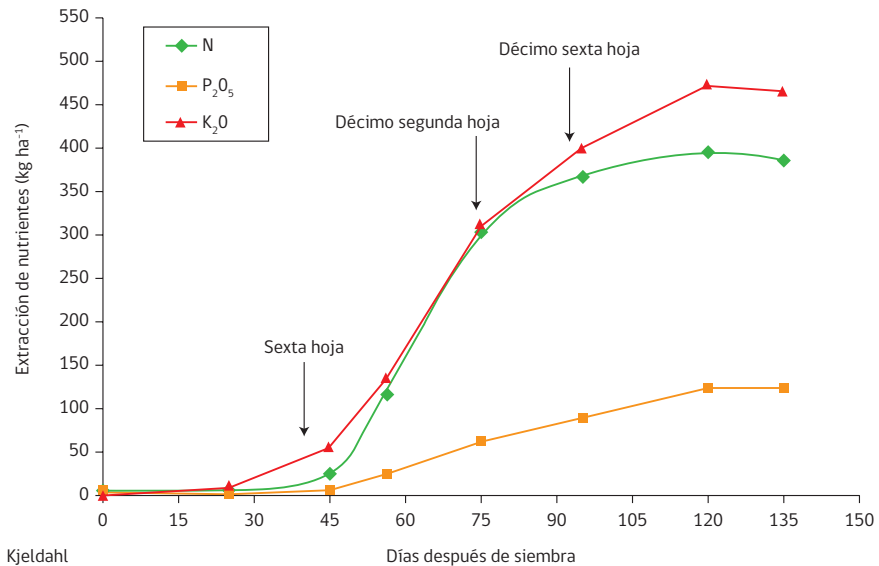
#### 3.1.1 Maíz

El maíz (*Zea mays* L.) es un cultivo que se puede desarrollar en una amplitud de condiciones de suelo y clima. Presenta una alta extracción de nutrientes, superando notablemente a otros cultivos como cereales de grano pequeño y leguminosas de grano. Este cereal se cultiva con distintos fines, pero principalmente para alimentación animal (ensilado y grano), avícola (granos) y de porcinos (granos), y para alimentación humana como grano, maíz dulce o maíz choclero.

El maíz de ensilaje es un importante suplemento alimenticio en sistemas pastorales, particularmente en la industria lechera, cuyas principales características son el alto rendimiento de materia seca (MS) y contenido de energía metabolizable. Los productores de leche de vaca en la zona centro sur y sur utilizan el maíz de ensilaje como alimento entre verano e invierno, con lo cual logran extender el período de lactancia y aumentar la producción, en tanto que en la zona central se utiliza durante todo el año.

En la planta de maíz, la relación de materia seca grano: hojas + tallo, es considerada un importante índice de valor nutritivo del forraje debido a la alta digestibilidad que presenta el grano y también su aporte de almidón.

**Figura 3.1.** Extracción de nutrientes en el cultivo de maíz (Hirzel y Best, 2002).



Si bien existen muchos híbridos comerciales con diferencias de precocidad en su ciclo de cultivo, en general todos presentan una extracción marcada de nutrientes que se acentúa a partir de la sexta hoja, como se puede observar en la **Figura 3.1**. Cabe destacar también la alta extracción de K que presenta este cultivo, la cual, expresada como K<sub>2</sub>O supera notablemente a las necesidades de N, como ocurre también en muchas especies vegetales.

En relación a la extracción de nutrientes realizada sólo por el grano de maíz, Laegreid *et al.* (1999) señalan extracciones de N:P:K de aproximadamente 16:3:3,3 por cada tonelada de grano, respectivamente. Al respecto, Fernández (1995; 1996) señala extracciones de N:P:K que en promedio corresponden a 9:1,4:2,5 por cada tonelada de grano, respectivamente. Las diferencias señaladas por estos autores obedecen a las variaciones en los materiales genéticos empleados.

Antecedentes experimentales generados con estudios de fertilización del cultivo de maíz para grano y ensilaje, permiten estimar las necesidades nutricionales. Como se observa en el **Cuadro 3.1**, las necesidades nutricionales son muy variables, y esta variabilidad depende de muchos factores, dentro de los cuales destaca principalmente el material genético, las propiedades físico-químicas del suelo (disponibilidad de nutrientes en el medio), y también las condiciones de clima.

**Cuadro 3.1.** Necesidades nutricionales del cultivo de maíz para grano o ensilaje, expresadas en función de la unidad de rendimiento (n = 240 muestras en seis híbridos comerciales). Fuente: Adaptado de Hirzel (2007).

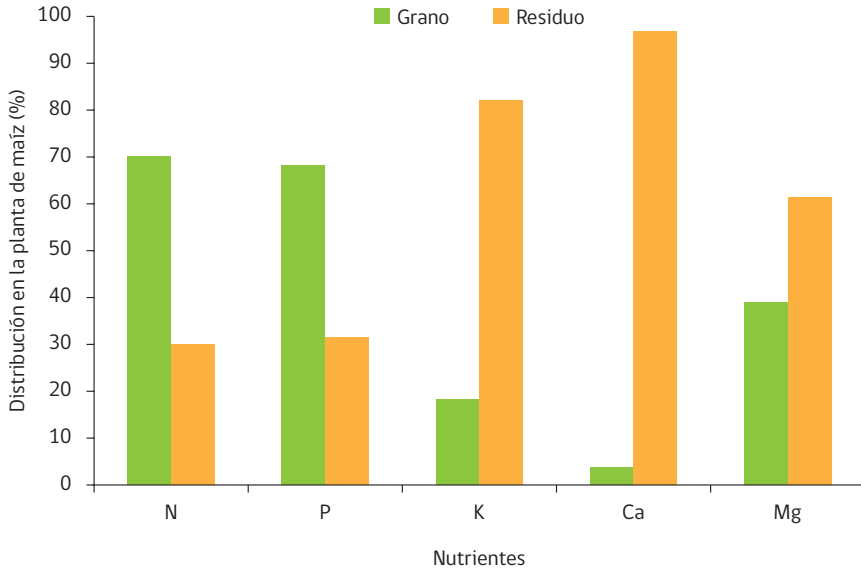
Nutriente	Tipo de maíz y necesidad nutricional	
	Grano (kg/t)	Ensilaje (kg/t MS)
N	14 - 26	6.9 - 14.5
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	6 - 13	3.1 - 6.9
K <sub>2</sub> O	16 - 38	8.2 - 23.2
CaO	3.0 - 7.5	1.5 - 4.5
MgO	3.2 - 7.4	1.7 - 4.0
S	1.4 - 2.6	0.8 - 1.3
Fe	0.24 - 0.41	0.109 - 0.185
Mn	0.04 - 0.06	0.019 - 0.029
Zn	0.03 - 0.05	0.013 - 0.021
Cu	0.002 - 0.009	0.001 - 0.004
B	0.016 - 0.018	0.007 - 0.008

La asignación de nutrientes en los diferentes componentes de planta de maíz se presenta en la **Figura 3.2**. Se observa que una gran parte de N y P extraído por la planta de maíz se concentra en el grano, en tanto que el residuo aéreo concentra una parte importante del K y Mg absorbido por la planta. Por su parte, el Ca se concentra principalmente en el residuo aéreo. Por lo tanto, al incorporar residuos de maíz se logra reciclar gran parte del K, Ca y Mg extraído con el cultivo, lo cual contribuye a reducir las necesidades de estos nutrientes en el cultivo siguiente, en la medida que el residuo incorporado logre su descomposición biológica en el suelo.

Respecto al efecto de la aplicación de diferentes nutrientes en el cultivo, diversos autores han demostrado efectos positivos de la aplicación de N, P, K, Ca y Zn. En relación al uso de enmiendas orgánicas como fuente de fertilización, se ha demostrado el efecto favorable en rendimiento de grano o materia seca para ensilaje con el uso de enmiendas en estado fresco (guano de broiler y purines de cerdo, por ejemplo) y guanos compostados, dejando un efecto residual positivo en la disponibilidad de nutrientes para el cultivo siguiente.

Otro de los factores de manejo a considerar en la fertilización del cultivo de maíz es el manejo de los residuos. Al respecto, algunos modelos teóricos indican que el N contenido en los residuos es paulatinamente mineralizado por la biomasa

**Figura 3.2.** Distribución de los nutrientes en la planta de maíz. Fuente: Adaptado de Hirzel (2007).



microbiana del suelo una vez que ha sido incorporado al suelo, quedando disponible al cultivo siguiente. Sin embargo, esta disponibilidad no ha sido evidenciada en condiciones experimentales de campo, dado que la descomposición del residuo obedece también al fraccionamiento inicial del mismo (trituración) y a la temperatura del suelo. Además, la biomasa del suelo tiende a generar compuestos humificados, los cuales presentan una relación C/N que fluctúa entre 18 y 22, por tanto una fracción importante del N contenido en el residuo formará parte de los compuestos húmicos que serán sintetizados por la actividad biológica del suelo, situación que permite incrementar el contenido de materia orgánica del suelo y mejorar sus propiedades físicas, químicas y biológicas.

### 3.1.2. Trigo

En términos nutricionales el cultivo de trigo se caracteriza por su alto requerimiento de N y K, además de otros nutrientes esenciales como P, S y Ca. En general, el N y K representan cerca del 80% del total de los nutrientes en las plantas de trigo, el P, S, Ca y el Mg en conjunto constituyen el 19%, mientras que el total de los micronutrientes constituyen menos del 1%.

En relación al N, las plantas de trigo absorben este nutriente como ión nitrato o como ión amonio. La forma en que ocurre la traslocación de este elemento depende de la fuente del N absorbido y del metabolismo de la raíz. El N absorbido es transportado por el xilema hacia las hojas como ión nitrato, o puede ser reducido en las raíces y transportado en forma orgánica como aminoácidos o amidas. Al respecto, gran parte del amonio absorbido tiene que ser incorporado en compuestos orgánicos en las raíces.

A nivel de floema, el N es un nutriente móvil, por lo cual, en condiciones de deficiencia de este elemento, puede ser retraslocado desde las hojas viejas a las más jóvenes, y posteriormente traslocado desde allí a los granos en desarrollo. Las principales formas orgánicas de N en la savia del floema son amidas, aminoácidos y ureidos. Los iones nitrato y amonio no están presentes en esta savia, sino principalmente en el xilema. El N en el cultivo de trigo es el mayor componente de proteínas, aminoácidos, enzimas y del ácido nucleico. Forma parte también del grano maduro, principalmente como proteínas concentradas en el endosperma, que es la parte que compone la harina.

La deficiencia de N en las plantas reduce notoriamente la tasa de crecimiento. En el caso de los cereales, el macollaje es pobre y la área foliar es pequeña; el número de espigas por unidad de área junto con el número de granos por espiga son reducidos. Como este nutriente es un componente de la clorofila, su deficiencia se visualiza como un amarillamiento o clorosis generalizada de las hojas, apareciendo primero en las hojas basales mientras que las superiores permanecen verdes. En casos de deficiencia severa se manifiesta una clorosis generalizada en toda la planta. Finalmente disminuye el rendimiento del cultivo y el contenido de proteínas del grano. Los excesos de N son menos evidentes que su deficiencia. Ellos incluyen crecimiento vegetativo prolongado, coloración verde oscuro en el follaje, aumento en la susceptibilidad de la planta al ataque de fitopatógenos y un retraso de la madurez del cultivo.

La concentración de N en la planta de trigo disminuye con el transcurso de los períodos fenológicos, alcanzando valores de 3,5–4,2% en el estado de plena macolla, hasta 0,9–1,2% al estado de madurez a la cosecha. La concentración adecuada en hojas superiores previo al estado de espiga formada, fluctúa entre 1,75 y 3,0%. En el caso del grano de trigo la concentración de N fluctúa entre 1,6 y 2,4% al momento de la cosecha, superando a los otros nutrientes.

Respecto al P, la deficiencia de este nutriente restringe el desarrollo de la planta, retarda el crecimiento, macollaje, desarrollo de raíces y la madurez. Los síntomas de deficiencia normalmente comienzan en las hojas más viejas y se caracterizan

por una coloración azul-verdosa a rojiza, lo cual puede llevar a una coloración rojiza y tintes bronceados, que normalmente se inician desde los márgenes. A menudo las hojas presentan una coloración verde más oscura que las plantas normales. Esto se debe a que la expansión de las células y hojas se retarda más que la formación de clorofila, de modo que el contenido de clorofila por unidad de área foliar resulta mayor. Un síntoma de la deficiencia de P es la disminución de la relación tallo/raíz, así como el menor crecimiento del conjunto de los puntos de crecimiento. Niveles extremadamente elevados de P pueden resultar en síntomas de toxicidad, lo cual se manifiesta generalmente como puntos acuosos en el tejido de la hoja, tornándose finalmente en necróticos. En casos muy severos, la toxicidad por P puede provocar la muerte de la planta.

La concentración de P en la planta de trigo disminuye con el proceso de madurez, pudiendo oscilar entre 0,23 y 0,30% en el estado de plena macolla, y disminuir a valores entre 0,12 y 0,18% al estado de madurez de cosecha.

En relación al K, la deficiencia de este nutriente es manifestada como una clorosis a lo largo del borde de la hoja, seguido por una quemadura y bronceamiento del extremo de las hojas viejas. El área afectada se presenta encarrujada cuando aumenta la deficiencia de este elemento. Los síntomas de deficiencia de K aparecen en las hojas viejas debido a la movilidad de este nutriente. Las plantas afectadas están generalmente achaparradas y presentan entrenudos acortados. Estas plantas muestran crecimiento lento y achaparrado, cañas débiles y susceptibles a la tendadura, mayor incidencia de plagas y enfermedades, rendimientos más bajos, granos chupados y baja calidad del grano. Las plantas con deficiencia de K pueden perder el control sobre la tasa de respiración y presentar déficit de agua interno. Altas concentraciones de K contribuyen a incrementar la tolerancia y resistencia de la planta frente a enfermedades y plagas.

La concentración de K en la planta de trigo disminuye con la madurez del cultivo, fluctuando desde 3,8-4,5% al estado de plena macolla, disminuyendo a 0,9-1,2% al estado de madurez de cosecha.

Por su parte, la deficiencia de Ca genera hojas pequeñas, retorcidas y de coloración verde oscuro. Aunque todos los puntos de crecimiento son sensibles a la deficiencia de Ca, los meristemas de las raíces son los más afectados. El Ca es un nutriente mineral no tóxico incluso en altas concentraciones, y es muy efectivo en detoxificar concentraciones elevadas de otros elementos minerales en las plantas. Además, contenidos elevados de Ca dentro de la planta favorecen la tolerancia o resistencia frente al ataque de enfermedades y plagas.

La concentración de Ca en la planta de trigo disminuye con la madurez, alcanzando valores de 0,28-0,30% al estado de plena macolla, hasta niveles de 0,08-0,10% durante la madurez de cosecha.

Por su parte, el Mg es un elemento que se trasloca fácilmente desde las partes viejas hacia las más jóvenes, por tanto sus síntomas de deficiencia aparecen primero en las partes más viejas de la planta. Un síntoma típico de la deficiencia de Mg es la clorosis intervenal de hojas viejas en la cual las venas permanecen verdes pero el área entre ellas se torna amarilla. Cuando la deficiencia llega a ser más severa, el tejido de la hoja se torna uniformemente clorótico, luego de color café y necrótico. Las hojas se manifiestan pequeñas y se quiebran fácilmente.

La concentración de Mg en la planta de trigo tiende a disminuir con la madurez, pudiendo fluctuar desde 0,14-0,16% al estado de plena macolla hasta valores de 0,05-0,07% a la madurez de cosecha.

Respecto al Zn, en el trigo los síntomas comunes de la deficiencia son detención del crecimiento de la planta, macollaje pobre, desarrollo de coloración verde ligera, amarillamiento, puntos blanqueados, bandas cloróticas en ambos lados de la nervadura central, y hojas pequeñas. Los entrenudos son cortos y los procesos de floración, fructificación y madurez pueden retrasarse. Una concentración elevada de P en la solución de suelo puede inducir deficiencia de Zn. La toxicidad por Zn puede traducirse en reducción del crecimiento de la raíz y de la expansión de la hoja, seguida por clorosis. Ello está asociado con concentraciones superiores a 200 mg/kg de Zn en el tejido. El exceso de Zn puede inducir deficiencia de Fe, que se reconoce por una clorosis intervenal en las hojas nuevas de la planta.

La concentración de Zn decrece con la madurez de la planta de trigo, alcanzando niveles de 12 a 20 mg/kg al estado de plena macolla y de 10 a 12 mg/kg a la madurez de cosecha del cereal.

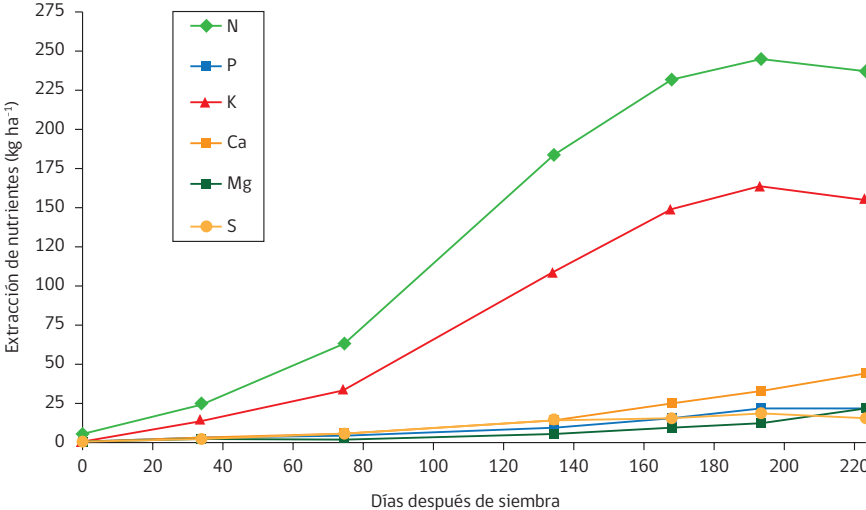
Respecto al manejo nutricional del cultivo de trigo, se debe considerar que cuanto mayor sea el nivel de rendimiento, mayor será también la necesidad de nutrientes por el cultivo. Sin embargo, en el caso del cultivo de trigo es fundamental considerar también el cultivar (variedad comercial) y el hábito de crecimiento. En relación al cultivar se observan diferencias en la acumulación de proteínas del grano, indicando así variaciones en la necesidad de N de la planta. Cada cultivar presenta una base genética única, que le otorga atributos exclusivos respecto a rendimiento, potencial y calidad del grano. Respecto al hábito de crecimiento, en general los cultivares de hábito invernal generan mayores extracciones totales

de nutrientes que aquellos de hábito primaveral, principalmente por su mayor permanencia en el suelo. Otros factores que afectan la variabilidad en las necesidades nutricionales del cultivo de trigo son las propiedades físico-químicas del suelo, condiciones climáticas, y el manejo agronómico. De esta forma, un mismo cultivar de trigo sembrado en diferentes sitios presentará también diferentes necesidades nutricionales para iguales niveles de rendimiento. Por tanto, para definir las cantidades de nutrientes a aplicar en este cultivo y en otros cultivos, se deben considerar los factores que influyen en sus necesidades nutricionales.

Respecto a las necesidades nutricionales del cultivo de trigo, en la **Figura 3.3** se puede observar que la extracción de nutrientes en el trigo cv. Dollinco-INIA (cultivar de hábito alternativo) presenta una extracción paulatina que alcanza su máximo casi al término del cultivo, y que a su vez el mayor nutriente extraído es el N. La extracción de nutrientes de este cultivar en su período de máxima acumulación corresponde a 30,6; 5,7; 24,7; 7,9; y 4,1 kg/t de N, P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>, K<sub>2</sub>O, CaO, y MgO, respectivamente, para un rendimiento de grano de 8 t/ha.

Respecto al mayor nutriente extraído, otros cultivares presentan una mayor extracción de K, como por ejemplo los cv. Tukán-INIA y Domo-INIA, cuya extracción de nutrientes en su período de máxima acumulación corresponde a 26,4-31,1; 6,0-7,4;

**Figura 3.3.** Extracción de nutrientes (Kg/ha) en el cultivo de trigo de invierno cv Dollinco-INIA.





30,7–32,5; 4,0–8,6; y 2,1–4,2 kg/t de N, P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>, K<sub>2</sub>O, CaO, y MgO, respectivamente, para un rendimiento de grano de 7 y 9 t/ha en cada cultivar respectivamente.

Las curvas de extracción de nutrientes permiten ajustar y armonizar de mejor forma los criterios de fertilización con el ritmo de crecimiento del cultivo de trigo. Por ejemplo, en los estadios fenológicos iniciales del cv. Kumpa-INIA (**Cuadro 3.2**) se produce gran parte de la extracción de los nutrientes evaluados. Así, al acercarse el término de la etapa vegetativa (inicio de hoja bandera), ya se ha producido una extracción de 80,3% del N; 76,6% del P; 98,4% del K; 62,6% del Ca; y 67,1% del Mg, en tanto que para el cv. Dollinco-INIA (**Cuadro 3.3**) al acercarse el término de

**Cuadro 3.2.** Extracción porcentual de N, P, K, Ca y Mg en trigo invernol cv. Kumpa-INIA.

Estado fenológico	Días después de siembra	Porcentajes acumulados*				
		N	P	K	Ca	Mg
Fin de macolla	111	27.3	16.1	36.2	18.3	15.4
Dos nudos	133	46.3	38.6	51.0	33.5	30.1
Inicio hoja bandera	153	80.3	76.6	88.4	62.6	67.1
Espigadura	174	98.5	95.9	97.2	93.1	95.1
Antesis	182	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0

\*La extracción máxima obtenida durante el ciclo de desarrollo evaluado del cultivo correspondió a 269 kg de N, 26 kg de P, 249 kg de K, 36 kg de Ca, y 14 kg de Mg.

**Cuadro 3.3.** Extracción porcentual de N, P, K, Ca y Mg en trigo invernol cv. Dollinco-INIA.

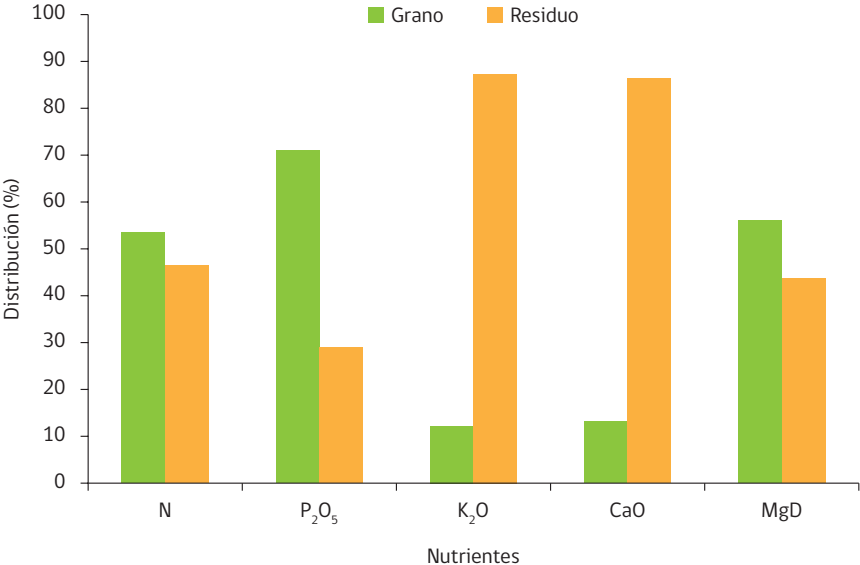
Estado fenológico	Días después de siembra	Porcentajes acumulados*				
		N	P	K	Ca	Mg
Fin de macolla	118	27.1	11.4	29.6	13.9	10.6
Dos nudos	140	43.6	30.5	53.1	35.7	28.8
Inicio hoja bandera	160	56.9	33.9	62.2	53.8	38.4
Espigadura	167	98.9	89.5	100.0	100.0	100.0
Antesis	181	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0

\*La extracción máxima obtenida durante el ciclo de desarrollo evaluado del cultivo correspondió a 286 kg de N, 33 kg de P, 244 kg de K, 36 kg de Ca, y 16 kg de Mg.

la etapa vegetativa (inicio de hoja bandera), ya se ha producido una extracción de 56,9% del N; 33,9% del P; 62,2% del K; 53,8% del Ca; y 38,4% del Mg. Sin embargo, los valores de absorción acumulada son menores que los del cv. Kumpa-INIA.

En relación al efecto de la aplicación de diferentes nutrientes en el cultivo, diversos autores han demostrado efectos positivos de la aplicación de N, P, Zn y encalado. Respecto a la parcialización de nutrientes en el cultivo de trigo, muchos trabajos experimentales han demostrado que existe respuesta a la aplicación parcializada de N, y que en general el rendimiento se maximiza con 3 aplicaciones de este nutriente, correspondientes a siembra (entre 15 y 20% del N total), inicio de macolla (entre 40 y 50% del N total) e inicio de encañado (30-40% del N total). En relación a la dosis de este nutriente, trabajos experimentales indican que existen diferencias entre cultivares y condiciones edafoclimáticas, pero que en general el rendimiento se maximiza cuando la dosis de N se determina en función de la necesidad de absorción del cultivo (dosis de reposición), con una variación que puede fluctuar entre 90 a 120% del consumo del cultivo. Las dosis de los otros nutrientes deben ajustarse a las necesidades nutricionales y las propiedades químicas del suelo.

**Figura 3.4.** Distribución de nutrientes en la planta de trigo de pan (promedio de los cv. Domo-INIA y Quelén-INIA). Fuente: Hirzel (2004).



La incorporación de residuos del cultivo de trigo es una práctica que trae beneficios a las propiedades físicas, químicas y biológicas del suelo. Al respecto en la **Figura 3.4** se observa que una fracción importante del N, P y Mg, y que la mayor parte del K y Ca extraídos con este cultivo, será devuelta al suelo junto con la incorporación de los residuos, lo cual tendrá un efecto notable sobre la reducción de dosis de algunos de estos nutrientes en el cultivo sucesivo. No obstante, se deberá considerar la aplicación de N necesario para lograr una adecuada descomposición del residuo incorporado, y así no afectar la disponibilidad de N para el cultivo sucesivo.

### 3.1.3. Arroz

El arroz (*Oryza sativa* L.) es uno de los cereales más importantes en el mundo y es alimento base para, al menos, la mitad de la población mundial. Generalmente se considera un cultivo anual semiacuático, reconociéndose más de 20 especies del género *Oryza*, de las cuales sólo dos son cultivadas, pudiendo ser acuáticas, semiacuáticas y de secano.

Respecto a las funciones nutricionales y los efectos de los nutrientes en la planta, el Nitrógeno debe ser suministrado de manera constante al cultivo para lograr una cosecha adecuada, especialmente durante la formación y desarrollo de la panícula. El rendimiento del cultivo está definido por el número de panículas por m<sup>2</sup> y por el número de granos por panícula. A su vez, el número de panículas depende del número de macollos, quedando definido dentro de los primeros 10 días posteriores al máximo macollaje. Los componentes anteriores están influenciados por la disponibilidad de N durante estos estados de desarrollo. Por su parte, el número de espiguillas por panícula se relaciona estrechamente con el contenido de N que presenta la vaina foliar durante las semanas previas a floración. Posteriormente, el N influirá en una eficiente asimilación de carbohidratos por parte del grano, y en un correcto llenado del mismo.

Respecto a la forma de N absorbido, durante las primeras fases de crecimiento la planta de arroz prefiere las formas amoniacales (NH<sub>4</sub><sup>+</sup>), mientras que en las fases cercanas a madurez prefiere el N en forma de nitrato (NO<sub>3</sub><sup>-</sup>). El N en forma de amonio es favorable hasta el estado de iniciación de panículas, y posteriormente la absorción de nitrato se ve favorecida, sobre todo durante la fase de formación embrionaria de la panícula, estimulando el incremento en el número de flores de la panícula y el peso de los granos. El N amoniacal, por su parte, aumenta el número de macollas y el número de panículas por planta. Si bien en condiciones de suelo inundado se prefiere aplicar las formas amoniacales de N, o que deriven

en amonio (urea), dependiendo de la profundidad de laboreo. En los primeros 5-10 cm de suelo se presenta una condición aeróbica que permitiría la transformación de amonio a nitrato, proceso que es acelerado por la acumulación de temperatura. No obstante, lo señalado anteriormente, en Chile no hay evidencia científica en las variedades modernas que indique las ventajas de realizar aplicaciones de N a la forma de nitrato posteriores a la siembra. Los excesos de N, sobre todo asociados a fenómenos climáticos anormales durante la fase reproductiva, especialmente bajas temperaturas, generan desórdenes de crecimiento y distribución interna de este nutriente que favorece el crecimiento vegetativo, puede retardar la cosecha y reducir el rendimiento.

En relación al reparto interno de N en la planta de arroz, estudios realizados con N15 indican que entre 3 y 5% se encuentra en las raíces, entre el 30 y 44% se encuentra en las estructuras vegetativas aéreas, entre el 37 y 40% se encuentra en la panícula, y entre el 7 y 13% se encuentra en las estructuras senescentes.

Respecto al Fósforo, este elemento favorece el crecimiento radical y por tanto mejora la absorción de agua y otros nutrientes. También aumenta la resistencia a períodos de menor disponibilidad de agua. Un suministro adecuado de P mejora la floración y fecundación de granos, aumenta la precocidad del cultivo, y eleva el peso de los 1000 granos. La mayor absorción de P se presenta durante el período de desarrollo vegetativo y se reduce después de la formación embrionaria de la panícula. A su vez, esta absorción es favorecida por incrementos de temperatura, con un óptimo de 30°C. La disponibilidad de P en suelos inundados es favorecida por los procesos de óxido-reducción, liberándose parte del fósforo retenido como fosfato de hierro y de aluminio.

El potasio, por su parte, juega un rol importante al principio del crecimiento vegetativo, con énfasis durante la formación de macollas, teniendo una influencia directa en la determinación del número final de panículas. Durante la fase de maduración favorece la síntesis y traslocación de hidratos de carbono de bajo peso molecular, interviene en la activación de procesos de fosforilación (transporte de energía) para activar el transporte de compuestos nitrogenados solubles hacia los granos en formación, evitando su acumulación en otros tejidos, favoreciendo también el peso de los 1000 granos. Además, el K aumenta la resistencia de la planta a diversas enfermedades, como por ejemplo a la pudrición de tallos detectada en Chile, como también a condiciones climáticas adversas (altos niveles de radiación solar y temperatura, o baja temperatura durante el macollaje y la floración), presentando un rol importante en la economía de uso y pérdida del agua por transpiración desde la planta.

El K estimula también la división celular, participa del transporte de fotones durante la fotosíntesis, dirige la síntesis de almidón, inulina, aminoácidos y proteínas, también modifica la permeabilidad de las células e interfiere en los mecanismos de plasmólisis y turgencia, y junto al P y Mg participan activamente del metabolismo de los hidratos de carbono.

Respecto al Azufre, este elemento es importante durante todo el ciclo de crecimiento de la planta de arroz, incidiendo fuertemente en la calidad del grano, ya que forma parte de algunos aminoácidos esenciales, forma parte del metabolismo del N en la síntesis de proteínas y de hidratos de carbono. Está relacionado con la reducción de nitratos, cataliza la formación de clorofila junto al Cu y Fe, interviene como transportador de hidrógeno, contribuye a regular el ciclo de los ácidos tricarbónicos, y forma parte de los radicales del tipo sulfuro (SH). Las cantidades de S absorbidas por el cultivo son relativamente bajas en comparación a otros nutrientes (N y K), siendo cubiertas por el aporte natural de los suelos (mineración de la materia orgánica), por lo cual, es poco común aplicar fertilizantes azufrados en el cultivo de arroz. La disponibilidad de S es reducida en sistemas inundados como efecto de las reacciones óxido-reducción.

El calcio por su parte, contribuye a la rigidez de las plantas y resistencia a la tendadura. Por su parte, el Magnesio se localiza en los anillos pirrólicos que constituyen la clorofila, y participa como catalizador en las actividades enzimáticas de las nitrato reductasas o enzimas autoinducidas que requieren presencia de molibdeno (Mo). En sistemas inundados la disponibilidad de Ca y Mg es mejorada como efecto de los procesos de óxido-reducción.

Otro elemento de importancia para el cultivo de arroz es el Silicio. La extracción de silicio (Si) que realiza la planta de arroz es superior a la de cualquier otro elemento mineral, presentando una concentración que puede fluctuar entre el 2 y 9% de la materia seca de la planta. Este elemento se deposita principalmente en las células epidérmicas de las hojas, formando una doble capa silíceo que es responsable de la resistencia a enfermedades. Estudios realizados en Japón señalan una extracción promedio de 433 kg/ha de Si. En términos cuantitativos, por cada tonelada de rendimiento de grano paddy la planta de arroz extrae 100 kg de Si, de los cuales gran parte se concentra en la cáscara de arroz.

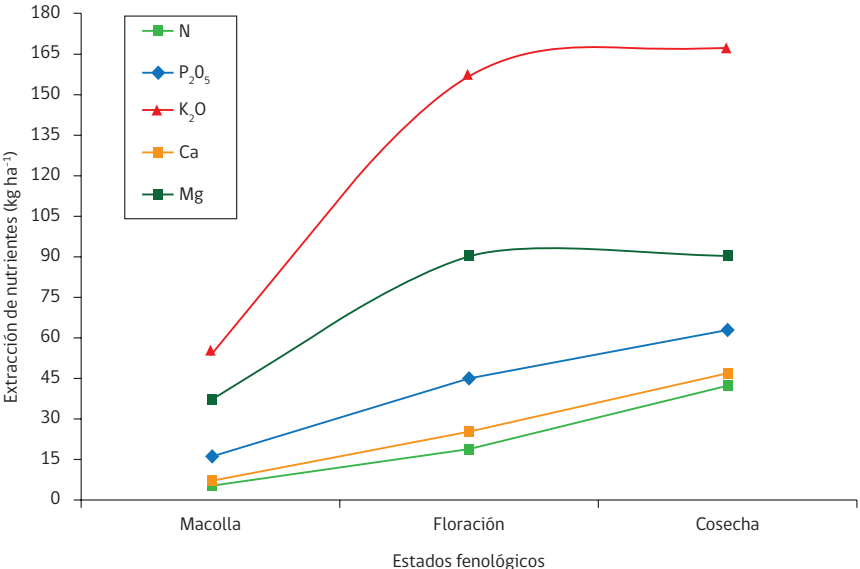
El Si está involucrado en todo el ciclo de crecimiento de la planta de arroz, afectando principalmente en la fase entre formación de panícula y maduración del grano. Este elemento esencial para el cultivo del arroz promueve el desarrollo en longitud y la actividad oxidativa del sistema radical, protegiendo además a las plantas de la toxicidades de Fe y Mn producidas en condiciones anaeróbicas del

suelo inundado. Por último, un buen nivel de Si en el suelo mejora la disponibilidad de P para el cultivo de arroz.

Respecto a los micronutrientes, el Fe participa en la formación de clorofila, previene la clorosis y forma parte de actividades enzimáticas. Los excesos de Fe pueden inhibir la absorción de K. El boro contribuye a la absorción del N y participa en el metabolismo del Ca, estimula la actividad meristemática y la formación del polen. El zinc estimula el desarrollo inicial de las plantas, y su deficiencia puede afectar el rendimiento potencial del cultivo. En sistemas inundados y como efecto de los procesos de óxido-reducción, se generan aumentos en la disponibilidad de Fe, Mn y Mo, y reducción de la disponibilidad de Zn y Cu.

En relación a las necesidades nutricionales del cultivo de arroz, en la **Figura 3.5** se observa que la extracción de nutrientes en el cv. Diamante-INIA (principal cultivar utilizado en Chile) presenta una extracción paulatina entre los estados iniciales y el máximo macollaje, y posteriormente leves aumentos en la acumulación de N y K, a diferencia de otros nutrientes que presentan una acumulación creciente hasta estados avanzados del cultivo. A su vez, el nutriente con mayor extracción es el K. En términos productivos, las necesidades nutricionales corresponden a 12 kg de N; 8,4 kg de  $P_2O_5$ ; 22 kg de  $K_2O$ ; 6,2 kg de CaO; y 5,6 kg de MgO por cada tonelada

**Figura 3.5.** Extracción de nutrientes en el cultivo de arroz cv. Diamante-INIA para un rendimiento de 75 qq/ha.

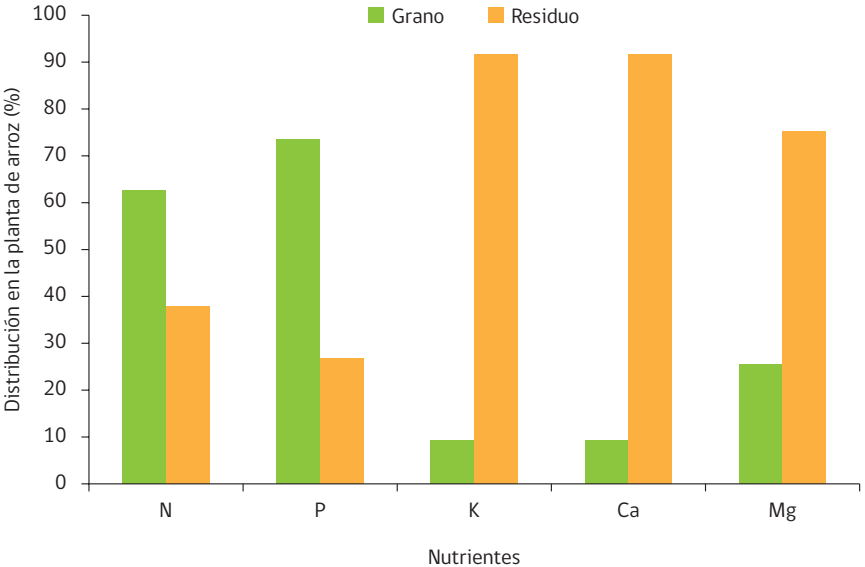


de rendimiento. Como información adicional y también de manera orientativa, las necesidades de micronutrientes para este cultivar corresponden a 6,4 kg de Fe; 1,88 kg de Mn; 56 g de Zn; 12 g de B; y 15 g de Cu por cada tonelada de rendimiento.

Si bien las necesidades nutricionales del cultivo de arroz son altas para algunos nutrientes como el K, generalmente desde el campo sólo se extrae el grano cosechado, dejando el residuo en pie para su incorporación o quema en la próxima preparación de suelo. Por su parte, la incorporación de residuos permite reponer gran parte del K, Ca, S, y de los microelementos; sin embargo, cuando se realizan labores de quema de residuos previo al siguiente cultivo, se produce una pérdida del N y S contenido en los residuos, a través del proceso de volatilización hacia la atmósfera.

En la **Figura 3.6** se presenta la distribución de nutrientes en la planta de arroz considerando el grano y el residuo, lo cual permite estimar los aportes nutricionales generados con la incorporación de residuos, y a su vez fundamenta la importancia de realizar esta labor. Como se observa en dicha figura, la incorporación de residuos de arroz al suelo permite retornar gran parte del K, Ca y Mg extraído con el cultivo de arroz anterior, lo cual reduce notablemente las necesidades nutricionales del cultivo siguiente.

**Figura 3.6.** Distribución de nutrientes en la planta de arroz (grano y residuo aéreo). Adaptado de Cordero-Vásquez y Murillo-Vargas (1990).



Respecto al manejo de nutrientes en el cultivo de arroz, la mayor atención se debe prestar a la dosis de N y a su forma de parcialización. La dosis se debe determinar en función de la productividad del cultivo que genera diferencias en la necesidad de N, y en la capacidad de aporte natural del suelo (con diferencias entre distintos órdenes taxonómicos de suelo asociado a la evolución de los materiales secundarios y su relación con los pools activos de materia orgánica), dado que la absorción de N proviene principalmente desde las reservas (mineralización de materia orgánica, ciclos dinámicos de la biomasa microbiana, y  $\text{N-NH}_4^+$  fijado en las arcillas) y de la fertilización nitrogenada. Además, una pequeña fracción deriva del agua de riego y otras fuentes ambientales y bióticas. La capacidad de suministro natural de N del suelo es determinada a través de la mineralización en condiciones similares a las que se presentan en condiciones de campo. Para determinar esta capacidad de suministro natural del suelo, las muestras se deben incubar en condiciones óptimas de mineralización; suelos inundados en relación suelo: agua de 1:2,5 con una temperatura de 20 a 40°C, por un tiempo de 14 a 21 días sin agitación de las muestras.

El uso de dosis de N mayores a las necesidades del cultivo puede generar desórdenes en el desarrollo fenológico, aumentando el período vegetativo y produciéndose el inicio del período reproductivo en forma más tardía, lo que puede aumentar la esterilidad floral debido a las bajas temperaturas que se pueden producir en ese período, dado que en la fase final del cultivo las temperaturas ambientales comienzan a disminuir, afectando negativamente la madurez de los granos y finalmente el rendimiento comercial. Al respecto, es común encontrar situaciones productivas en las cuales no se ha conseguido una adecuada madurez del grano asociado a un uso incorrecto en la dosis de N (dosis mayores a lo necesario para la situación edafoclimática particular). Cuando se reduce el tiempo de desarrollo del cultivo también disminuye el potencial de rendimiento y con ello las necesidades de N.

Respecto a la parcialización del N, el mayor rendimiento de grano se genera con aplicaciones de N en 2 ó 3 estados fenológicos; (1) 50% siembra y 50% al inicio de panícula, ó (2) 33% a la siembra, 33% al inicio de macolla y 34% al inicio de panícula. La estrategia de parcialización a usar por el productor dependerá de la oportunidad de realización de las labores (fecha de siembra y su relación con la fecha adecuada) y de la superficie sembrada.

### **3.1.4. Pautas de fertilización para cultivos en general**

En términos generales y para la mayoría de los cultivos, las dosis referenciales de nitrógeno, fósforo y potasio se pueden determinar en función del rendimiento del



cultivo y de la categoría de fertilidad del elemento de referencia dentro del suelo, como se presenta en el **Cuadro 3.4**. La dosificación del nutriente se determinará con la siguiente ecuación:

$$\text{Dosis de nutriente (kg/ha)} = \text{rendimiento (qq/ha)} * \text{dosis de referencia (kg/qq)}$$

Para la dosificación de nitrógeno y en términos muy generales, se deberá considerar el contenido de materia orgánica del suelo (menor a 3%, entre 3,1 y 6%, o mayor a 6,1%, para una categoría baja, adecuada, o alta, respectivamente) o con mayor precisión, la concentración de nitrógeno mineralizable (menor a 30 ppm, entre 31 y 60 ppm, y mayor a 61 ppm para una categoría baja, adecuada o alta, respectivamente). Para la dosificación de fósforo y en términos generales,

**Cuadro 3.4.** Dosis de referencia de N - P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> - K<sub>2</sub>O para cultivos anuales. (kg de nutriente a aplicar por cada quintal producido).

Cultivo	Rendimiento (qq/ha)	N (kg/qq)	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> (kg/qq)	K <sub>2</sub> O (kg/qq)
Arroz	40 - 80	1,2 - 1,5	0,5 - 0,8	0,5 - 1
Arveja	10 - 30	4 - 6	3 - 4	2 - 3
Avena	40 - 60	2,5 - 2,8	2 - 2,5	1 - 1,5
Cebada	50 - 70	2,2 - 2,5	1,8 - 2,2	1 - 1,5
Frejol	10 - 30	3 - 3,5	2 - 3	2 - 3
Garbanzo	6 - 20	0 - 4	3 - 4	2 - 3
Lenteja	6 - 20	0 - 4	3 - 4	2 - 3
Maíz	120 - 200	2,2 - 2,5	0,6 - 1	0,4 - 1
Maravilla	30 - 50	4 - 5	2 - 3	1,5 - 2,5
Papa tardía	400 - 700	0,3 - 0,4	0,4 - 0,8	0,3 - 0,7
Papa temprana	300 - 600	0,3 - 0,4	0,5 - 0,8	0,4 - 0,8
Raps - Canola	25 - 40	4 - 6	2 - 4	2 - 3
Remolacha	800 - 1200	0,15 - 0,2	0,2 - 0,4	0,12 - 0,2
Tabaco Burley	30 - 50	4 - 5	2,5 - 3,5	3 - 4
Tabaco Virginia	30 - 50	4 - 5	2,5 - 3,5	3 - 4
Trigo Pan	40 - 120	2,5 - 3,2	1 - 1,6	0,8 - 1,2
Trigo Candeal	60 - 100	3,2 - 3,4	1 - 1,6	0,8 - 1,2

1 tonelada = 10 quintales

se deberá considerar la concentración de Fósforo disponible (Olsen) (menor a 8 ppm, entre 8,1 y 16 ppm, y mayor a 16,1 ppm para una categoría baja, adecuada o alta, respectivamente).

Para la dosificación de potasio y en términos muy generales, se deberá considerar la concentración de Potasio disponible (menor a 120 ppm, entre 121 y 160 ppm, y mayor a 160 ppm para una categoría baja, adecuada, o alta respectivamente). De esta forma, entre mayor sea la concentración del elemento o nivel de disponibilidad del elemento en el suelo, menor será la dosis de referencia a emplear.

La dosis referencial de nutriente "kg/qq" tiene un rango de variación, que depende del nivel de fertilidad del suelo. De esta forma, en suelo cuya categoría de fertilidad del elemento es alta, se usará el valor menor dentro del rango, en tanto que en suelos donde el elemento se encuentre dentro de la categoría baja se usará el valor mayor dentro del rango. Para suelos donde el elemento se encuentre en la categoría media o normal o adecuada, se usará un valor medio dentro del rango. En el caso del nitrógeno, cuando se dispone de sistemas de riego que permitan realizar muchas aplicaciones dentro del ciclo del cultivo (pivote u otro), se usará el valor menor del rango, dado que al aumentar el número de aplicaciones se hace más eficiente su uso (reducción de pérdidas desde el sistema suelo-planta). Los niveles de referencia para el análisis de suelo se presentan en el **Cuadro 3.5**.

Por ejemplo, un productor de papa tardía de la zona de Orilla de Maule (región del Maule) cuyo rendimiento normal para este cultivo fluctúa entre los 45 y 50 t/ha (400 a 450 qq/ha) debe calcular las necesidades totales de nitrógeno, fósforo y potasio de su cultivo. Considerando que el suelo es textura franco arenosa, de nivel medio de fósforo y nitrógeno, bajo en potasio, y que el rendimiento de referencia para el cálculo será de 50 t/ha (500 qq/ha). Los factores de dosificación de nutrientes y dosis de nutrientes a aplicar serán los siguientes:

- N;  $0,35 \text{ kg/qq} * 500 \text{ qq/ha} = 175 \text{ kg de N/ha}$ .
- $\text{P}_2\text{O}_5$ ;  $0,6 \text{ kg/qq} * 500 \text{ qq/ha} = 300 \text{ kg de } \text{P}_2\text{O}_5/\text{ha}$ .
- $\text{K}_2\text{O}$ ;  $0,7 \text{ kg/qq} * 500 \text{ qq/ha} = 350 \text{ kg de } \text{K}_2\text{O/ha}$ .

Se debe considerar que en todos los cultivos, el fósforo se aplica 100% a la siembra en la línea de siembra, el potasio se puede aplicar 100% a la siembra para dosis menores a 150 kg de  $\text{K}_2\text{O/ha}$ , y en 2 parcialidades (siembra y aporca) cuando la dosis es mayor a 150 kg de  $\text{K}_2\text{O/ha}$  (para ajustar la dosis de mezcla total de siembra a la capacidad de aplicación de la máquina sembradora o abonadora de pre-siembra). El nitrógeno debe ser parcializado, es decir, entre 40 y 50% a la siembra y entre

**Cuadro 3.5.** Características químicas de suelo apropiadas a las especies agrícolas.

Elemento o variable analizada	Unidad de medida	Nivel adecuado según textura	
		Franco arenosa a franco limo arenosa	Franco limosa a franco arcillosa
Materia orgánica	%	Mayor a 1,5	Mayor a 1,5
pH (agua 1:2,5) **	--	6,2 - 7,5	6,0 - 7,2
Conductividad eléctrica	dS/m	Menor a 1,5	Menor a 1,5
Capacidad de intercambio catiónico (CIC)	cmol(+)/kg	8 - 15	15 - 30
Nitrógeno inorgánico	mg/kg	15 - 30	20 - 40
Fósforo Olsen	mg/kg	Mayor a 15	Mayor a 20
Potasio intercambiable	cmol(+)/kg	0,3 - 0,6	0,4 - 0,8
Calcio intercambiable	cmol(+)/kg	6 - 10	8 - 12
Magnesio intercambiable	cmol(+)/kg	1,0 - 1,5	1,2 - 2,0
Sodio intercambiable	cmol(+)/kg	0,03 - 0,3	0,05 - 0,6
Suma de bases	cmol(+)/kg	Mayor a 8	Mayor a 10
Relación de calcio sobre la CIC	%	60 - 65	55 - 65
Relación de magnesio sobre la CIC	%	12 - 15	10 - 15
Relación de potasio sobre la CIC	%	2 - 3	3 - 4
Azufre	mg/kg	Mayor a 8	Mayor a 10
Hierro	mg/kg	4 - 20	6 - 20
Manganeso	mg/kg	3 - 10	5 - 20
Zinc	mg/kg	2 - 10	2 - 10
Cobre	mg/kg	0,5 - 1	0,5 - 1
Boro	mg/kg	0,8 - 1,5	1 - 2

\*\*La excepción es arándano y lupino (pH inferior a 5,8 para arándano e inferior a 6,5 para lupino).

50 y 60% a la aporca. En otros cultivos, la distribución de las parcializaciones de nitrógeno pueden ser diferentes, para lo cual se requiere de información específica de cada cultivo (consultar el Libro INIA N° 28. "Fertilización de Cultivos en Chile", 2011). Además, con los sistemas modernos de riego como el pivote y/o similares, se pueden realizar muchas aplicaciones de nitrógeno, aumentando la eficiencia de uso de este elemento (reducción de pérdidas desde el sistema suelo-planta), y reduciendo la dosis total a emplear en el cultivo.

### **3.2. Fertilización de frutales y viñas**

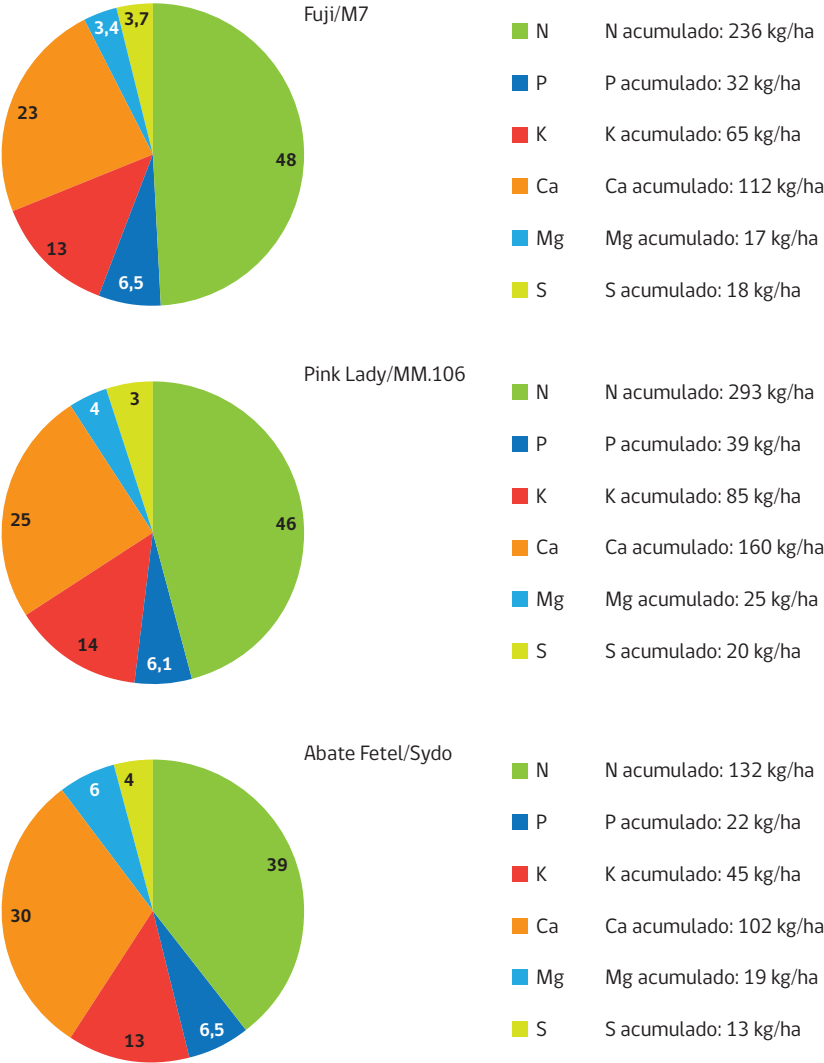
Al establecer un huerto frutal o un viñedo, las plantas utilizadas presentan reservas nutricionales acumuladas durante su proceso de multiplicación y producción en vivero, las cuales les permitirán iniciar el crecimiento radical y aéreo en el campo, para luego utilizar los nutrientes suministrados tanto por el suelo, fertilización de fondo, de cobertera o solución de fertirrigación.

Una vez determinada la capacidad de aporte de nutrientes del suelo y del agua, se deben determinar también las necesidades de fertilización o de aplicación de enmiendas, que permitan corregir aquellas propiedades físico-químicas del suelo que pudieran limitar el normal crecimiento y desarrollo de las plantas.

En muchas situaciones edáficas no será necesario realizar una fertilización abundante al momento del establecimiento del huerto (fertilización de fondo), ya que las necesidades nutricionales anuales de la mayoría de las especies frutales son inferiores a las presentadas por otras plantas cultivadas, como los cereales y las hortalizas, y los suelos utilizados normalmente presentan una condición de fertilidad química adecuada para la mayoría de los nutrientes esenciales. No obstante, en la medida que aumente la edad de los huertos y con ello se alcance el período de plena producción, será necesario incrementar paulatinamente las aplicaciones o aportaciones de nutrientes, sobre todo en algunos nutrientes específicos, ya que existen especies que presentan una mayor respuesta o necesidad nutricional para determinados nutrientes, como por ejemplo el kiwi, cuyas necesidades de K en el período de producción duplican a las necesidades de N; o el ciruelo, cuyo tamaño de fruto y producción por árbol son mejorados frente a una mayor disponibilidad de N, por lo cual, durante el período de producción de fruta o etapa adulta necesitarán de una fertilización más abundante en algunos nutrientes.

Respecto a los primeros años de desarrollo de un huerto frutal o viñedo, se puede mencionar que en general, los principales nutrientes extraídos son el N y el Ca, que es corroborado por la acumulación de nutrientes en plantas terminadas de vivero.

**Figura 3.7.** Reparto porcentual de la acumulación de macronutrientes (valores dentro del gráfico circular) y acumulación total (valores a la derecha de cada gráfico) en plantas de manzano (Fuji/M.7 y Pink Lady/M.106) y peral (Abate Fetel/Sydo) al término del período de vivero. La acumulación total de plantas terminadas en vivero fue estimada en función de una densidad de 50.000 pl/ha. Análisis realizados en el Laboratorio de INIA Quilamapu (2010).



Posteriormente, cuando el huerto comienza su etapa productiva se incrementa notablemente la absorción de K, llegando a ser el principal elemento extraído.

Una vez realizadas las correcciones físico-químicas necesarias en el suelo donde se ha establecido la plantación, se podrá considerar que se ha alcanzado una condición de crecimiento y desarrollo que no presente limitaciones nutricionales al huerto frutal o viñedo (ausencia de respuesta a la fertilización). No obstante, para conservar y generar sustentabilidad en los recursos productivos, será necesario realizar anualmente la reposición de gran parte de los nutrientes extraídos, con excepción de aquellos que son suministrados muchas veces en cantidades superiores a las necesidades del huerto, como el caso del N en aquellos suelos con alto contenido de materia orgánica.

Para conocer la extracción anual de nutrientes se deben realizar muestreos destructivos (extracción de plantas o árboles completos y su análisis de producción de materia seca y composición nutricional para cada componente), los cuales son impracticables en huertos comerciales. No obstante, se dispone de bastante información científica que permite orientar la magnitud de estas necesidades en función del nivel de rendimiento que alcance cada huerto o viñedo, ya que existe una relación entre la producción de materia seca y la extracción de nutrientes en frutos respecto del total de la planta, como se puede apreciar en la **Figura 3.8**.

**Figura 3.8.** Representación del reparto de materia seca y de nutrientes dentro de un árbol frutal. F = frutos; H = hojas; MR = madera de renovación o de la misma temporada; MP = madera permanente; RR = raíces de renovación o de la misma temporada; RP = raíces permanentes.



En general, en etapa de producción, aquellas especies que fructifican en madera producida el mismo año (duraznero, nectarin, frambueso y vid), presentan una relación de extracción de N entre la biomasa total y los frutos, mayor a la que se presenta en especies que presentan otro hábito de fructificación (madera producida el año anterior, o dardos y brindillas producidos en madera de 2 o más años, como ocurre en manzano, peral y cerezo).

Una vez que se determina la extracción anual de nutrientes de un huerto, se puede realizar una relación de esta extracción con la productividad, expresando la necesidad nutricional como “kg de nutriente por 1 tonelada de fruta a producir (kg/t)”, lo cual se empleará como índice agronómico que facilite la estimación de las necesidades nutricionales del huerto.

Por ejemplo, si un huerto de manzano en etapa de producción logra un rendimiento de 60 t/ha, y presenta una extracción anual de nutrientes (ganancia anual de nutrientes) de 62 kg de N; 28 kg de  $P_2O_5$ ; 130 kg de  $K_2O$ ; 55 kg de CaO; 32 kg de MgO, entonces los índices de necesidad nutricional para esta especie y huerto serán de 1 kg de N/t; 0,47 kg de  $P_2O_5$ /t; 2,2 kg de  $K_2O$ /t; 0,9 kg de CaO/t; y 0,53 kg de MgO/t de fruta a producir. No obstante, estos indicadores de necesidad nutricional no deben ser aplicados como una relación matemática directamente proporcional al rendimiento, sino que deben ser ajustadas a los índices de fertilidad del suelo para cada nutriente, a la relación de vigor del portainjerto (para especies que requieren del uso de portainjerto), y a posibles relaciones nutricionales que pudieran afectar negativa o positivamente la calidad de la fruta a producir.

En complemento a lo anterior, en el **Cuadro 3.6** se presentan los índices de necesidad de nitrógeno (N), fósforo ( $P_2O_5$ ) y potasio ( $K_2O$ ) por cada tonelada de fruta a producir en diferentes especies de frutales para el período de plena producción. Al igual que lo señalado para los cultivos, el índice de necesidad presenta un rango, desde el cual se elegirá un valor en función de la categoría de fertilidad en la cual se presente el nutriente en el suelo (ver **Cuadro 3.5**), como también del vigor de cada variedad dentro de una misma especie y de posibles efectos de antagonismo, defectos o beneficios del aporte de algunos nutrientes en dosis mayores a las de reposición.

Una vez que se determinan las necesidades nutricionales del huerto, se deberá realizar la parcialización de los nutrientes, para lo cual se sugiere usar la guía de parcialización que se presenta en el **Cuadro 3.7**. Para aquellas especies y variedades de cosecha temprana dentro de la temporada estival como por ejemplo los cerezos, se debe incrementar la fracción de nutrientes aplicada durante la

postcosecha. A su vez, para aquellas especies y variedades de cosecha tardía dentro de la temporada (corto período de postcosecha), como por ejemplo el kiwi o la vid vinífera, se debe disminuir el porcentaje de nutrientes aplicados durante la postcosecha, y en el caso del N se puede suspender esta aplicación para evitar problemas de diferenciación de yemas y lignificación de madera por aplicaciones tardías de este nutriente.

**Cuadro 3.6.** Dosis de referencia de N - P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> - K<sub>2</sub>O para frutales (kg de nutriente a aplicar por tonelada producida).

Especie	Rendimiento (t/ha)	N (kg/t)	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> (kg/t)	K <sub>2</sub> O (kg/t)
Vid vinífera	5 - 20	4 - 5	1,5 - 2	5 - 6
Uva de mesa	20 - 40	3 - 3,5	1,5 - 2	5 - 6
Manzano verde	50 - 100	0,6 - 1	0,3 - 0,6	1,5 - 2
Manzano rojo	50 - 80	0 - 0,6	0,3 - 0,6	1,2 - 1,8
Peral	30 - 70	2,5 - 3	0,6 - 1	3 - 4
Naranja	40 - 70	2,5 - 3	0,5 - 1	3 - 4
Limón	30 - 60	3 - 3,5	0,5 - 1	3 - 4
Kiwi	30 - 60	2 - 3	1 - 1,5	6 - 8
Nogal	4 - 8	20 - 35	15 - 20	30 - 40
Cerezo	6 - 15	4 - 6	2 - 3	8 - 12
Ciruelo	10 - 40	4 - 6	2 - 3	4 - 8
Duraznero	20 - 40	4 - 5	2 - 3	6 - 8
Damasco	15 - 25	5 - 6	2 - 3	6 - 8
Palto	6 - 15	8 - 12	5 - 6	10 - 15
Frambueso	10 - 15	8 - 10	3 - 4	5 - 8
Arándano	10 - 30	3 - 6	1 - 2	5 - 8
Frutilla	30 - 60	2 - 3	1 - 2	3 - 5



**Cuadro 3.7.** Guía orientativa de parcialización de nutrientes en huertos frutales, parroquiales o viñedos cuya cosecha se realiza a mediados de la temporada estival.

Nutriente	Período fenológico	Porcentaje de la dosis a aplicar (%)
Nitrógeno	Brotación a cuaja	10 - 30
	Cuaja a cosecha	40 - 60
	Postcosecha	20 - 40
Fósforo	Brotación a cuaja	20 - 30
	Cuaja a cosecha	30 - 40
	Postcosecha	20 - 30
Potasio	Brotación a cuaja	10 - 20
	Cuaja a cosecha	50 - 60
	Postcosecha	20 - 30
Calcio	Brotación a cuaja	20 - 40
	Cuaja a cosecha	60 - 80
Magnesio	Cuaja a cosecha	50 - 60
	Postcosecha	40 - 50

Otro aspecto a considerar en la parcialización de nutrientes es el manejo específico de éstos durante el período de crecimiento de frutos, con el propósito de mejorar su calidad y condición de viaje, sobretudo en aquellas especies cuya fruta se destina a mercados lejanos. Al respecto se debe tener especial cuidado en el manejo de los nutrientes con mayor influencia en la calidad de la fruta, a saber; N, Ca y K.

Los excesos de N generan problemas en la calidad de la fruta, en tanto que el incremento en la concentración de Ca mejora la calidad. Por su parte, el K mejora la calidad de la fruta con énfasis en el calibre, concentración de sólidos solubles, color y firmeza, con la excepción que en los frutos de manzano susceptibles a desórdenes nutricionales como el "Bitter pit" una alta concentración de K compete con la absorción y acumulación de Ca, afectando negativamente la calidad.

Finalmente, el manejo de la fertilización se puede evaluar con un análisis de tejido, realizado anualmente en épocas y tejidos específicos para cada especie, como se presenta en el **Cuadro 3.8**, y cuyos valores referenciales son presentados en la segunda edición del Libro INIA N° 31 "Diagnóstico nutricional y principios de fertilización en frutales y vides", 2014.

**Cuadro 3.8.** Pauta de muestreo de tejidos foliares para su diagnóstico.

Especie	Época de muestreo	Tejido	Cantidad de tejido
Kiwi	noviembre, enero, febrero	Hojas jóvenes maduras antes de formación de frutos	60 - 100
Vid vinífera	noviembre (fin de floración)	Pecíolos opuestos al racimo de la zona exterior de la planta, colectados al inicio de formación de las bayas	50 - 100
Durazno, Nectarín, Damasco, Ciruelo, Guindo, Cerezo, Almendro	enero - febrero	Hojas jóvenes maduras (incluyendo pecíolo) del tercio medio de la ramilla del año	50 - 100
Manzano, Peral	enero - febrero	Hojas jóvenes maduras de dardos nuevos sin frutos ubicados en la periferia	50 - 100
Nogal	enero - febrero	Hojuela terminal de la hoja compuesta del tercio medio de un brote	50 - 100
Naranja Limonero	marzo - abril	Hojas de 4 a 7 meses de edad provenientes de brotes de primavera que no presenten frutos	50 - 100
Palto	marzo - abril	Hojas de 5 a 7 meses de edad provenientes de brotes de primavera que no presenten frutos	100
Frutilla	Primavera (primer ciclo de producción con frutos presentes)	Hojas sin pecíolo recientemente maduras provenientes de todas las zonas de la planta	50 - 100
Frambueso	1/2 diciembre a enero	Hojas recientemente maduras de las cañas laterales del año	50 - 100
Arándano	enero - febrero (una semana después de terminada la cosecha)	Hojas recientemente maduras del brote anual fructífero	50 - 100

### 3.3. Fertilización de praderas en la Región de Aysén

La Región de Aysén está dominada por suelos originados de cenizas volcánicas (Andisols) con diferentes grados de desarrollo. En muchas zonas existen también Inceptisols e incluso Entisols, aunque también Mollisols en las zonas de estepa. La región se divide en una Zona Húmeda (vertiente occidental de la cordillera patagónica), Zona Intermedia (vertiente oriental), Estepa (planos orientales) y Microclima (rodea los grandes lagos: perilacustre). Dentro de cada zona hay también variaciones climáticas, desde el extremo norte al sur de la región.

La región tuvo una colonización reciente (siglo XX) y muchos valles cubiertos de bosque nativo fueron quemados durante ese período, lo que posteriormente implicó procesos profundos de erosión en laderas, junto con establecimiento de praderas rústicas para incorporar luego el ganado en las zonas más aptas. Estas praderas originalmente sembradas con pasto ovido, trébol blanco, trébol rosado, chéptica, poa, pasto miel y otras, constituye hoy la base de la pradera naturalizada de las diferentes zonas. Mediante manejo de la fertilidad del suelo es factible recuperar estas praderas y lograr niveles medios de producción entre 5 y 7 t MS/ha.

#### 3.3.1. Fertilidad de suelos

El INIA realizó una prospección que incluyó más de 45.000 análisis de suelo en la Región de Aysén, los que se resumen en el **Cuadro 3.9** Junto con apreciarse gran

**Cuadro 3.9.** Niveles de fertilidad en suelos de diferentes zonas de la Región de Aysén (Patagonia).

Zona		N	P	K	S	pH	MO
	n	mg/kg					%
Estepa	464	20,0	18,0	267,0	3,1	6,1	10,1
Húmeda central	1179	24,8	10,1	137,4	2,9	5,7	14,0
Húmeda norte	1011	36,0	11,1	127,2	3,1	5,4	18,4
Húmeda sur	271	15,8	11,9	107,4	2,3	5,5	11,3
Intermedia central	5341	17,1	17,5	211,3	2,8	6,1	11,6
Intermedia norte	238	17,8	9,9	125,6	2,6	5,8	13,5
Intermedia sur	615	18,2	21,8	205,3	3,2	6,0	11,2
Perilacustre	420	15,5	15,8	228,2	5,0	6,5	5,1
Total muestras	9539						

variabilidad entre zonas, quedan de manifiesto las deficiencias generalizadas de azufre y secundariamente de fósforo. Los niveles de potasio son especialmente limitantes en las zonas más húmedas de la costa, donde también predominan suelos de mayor acidez.

En la mayoría de los casos, el azufre debe considerarse en las dosis de fertilización en praderas y cultivos, ya que su deficiencia limitará también la respuesta a los demás nutrientes. Así como ocurre con el nitrógeno, el azufre disponible (sulfato) se encuentra en el suelo en formas solubles y móviles, por lo que tiende a perderse con gran facilidad desde las capas superficiales de suelos muy permeables a través de lixiviación. Sólo un 6% de las muestras superó en promedio los 5 mg/kg, nivel considerado bajo para azufre, lo que indica la relevancia de este elemento en casi cualquier programa de mejoramiento de la fertilidad.

Gran parte de los suelos de Aysén presentan alto contenido de materia orgánica, la que por características del clima frío presenta una lenta mineralización y entrega sólo gradualmente nutrientes disponibles al suelo.

El **Cuadro 3.10** muestra promedios de contenido de bases del suelo y la saturación de aluminio asociada. Se aprecia que la saturación de aluminio es elevada en la Zona Húmeda, mientras que en la Intermedia Central (principal zona ganadera), los suelos tienen valores muy bajos de saturación. Lo anterior define requerimientos de encalado para ciertas zonas costeras.

**Cuadro 3.10.** Concentración de bases en suelos de la región de Aysén y saturación de aluminio.

Zona	Ca	Mg	K	Na	Al	ClCe	Sat Al
	cmol(+)/kg						%
Estepa	9,6	2,7	0,9	0,2	0,0	13,1	0,3%
Intermedia norte	4,4	1,0	0,4	0,1	0,1	5,8	2,9%
Intermedia centro	10,2	1,6	0,6	0,1	0,0	12,7	0,7%
Intermedia sur	7,3	1,3	0,5	0,1	0,1	9,7	2,7%
Húmeda norte	1,2	0,4	0,3	0,1	0,6	2,8	24,9%
Húmeda centro	2,6	0,8	0,4	0,1	0,4	4,6	11,8%
Húmeda sur	1,6	0,4	0,3	0,1	0,6	3,0	19,1%
Perilacustre sur	16,3	3,7	0,9	0,2	0,0	21,8	0,1%

### 3.3.2. Estrategias de mejoramiento de praderas en Aysén

La pradera naturalizada en suelos de baja fertilidad crece en Aysén por períodos muy acotados, desde fines de octubre hasta enero o febrero y puede rendir desde menos de 1 t MS/ha hasta 2 a 3 t MS/ha. Estas praderas se pueden mejorar vía fertilización (S-P en la zona intermedia; P-cal en la zona húmeda) y llegar a rendir normalmente entre 5 a 8 t MS/ha. Dada la presencia abundante de leguminosas (sobre todo en la zona intermedia), se puede optar a que el nitrógeno requerido para el crecimiento sea aportado por el trébol blanco, mediante fijación simbiótica.

La pradera naturalizada fertilizada presenta un período de crecimiento más amplio (entre octubre y abril). Junto al aumento de cantidad de forraje, existe en estos casos un mejor valor nutritivo del forraje, debido a los cambios botánicos que se producen en las praderas, como también al mejor estatus nutricional del suelo. Ambas condiciones pueden aplicarse en la mayoría de las situaciones de suelos ganaderos, con mayor o menor dificultad, dependiendo de variables como pendiente, cobertura de vegetación, palizadas muertas, etcétera.

**Figura 3.9.** Pradera naturalizada con niveles corregidos de S y P. Presenta abundancia de trébol blanco.



En aquellos suelos que permiten labranza (CUS III y IV), es posible intensificar más los sistemas y lograr aumentos sustanciales de producción en praderas y cultivos. Las praderas establecidas son el paso siguiente, con la siembra de especies forrajeras de mayor potencial productivo y calidad; dentro de las gramíneas el pasto ovillo, ballica perenne y festuca, entre las leguminosas tréboles blancos y rosados mejorados. Estas praderas presentan crecimiento desde fines de septiembre hasta abril, aunque variable según la zona, ya que en sectores de mayor altitud puede ser más corta la temporada. Los rendimientos fluctúan habitualmente entre 7 y 10 t MS/ha, pudiendo en ciertos casos llegar a 12 t MS/ha.

También es posible desarrollar ciertos cultivos de zonas frías como brásicas forrajeras (raps, nabos, rutabagas) y cereales para uso forrajero o grano.

### **3.3.3. Dosis habituales de fertilización**

Los fertilizantes más utilizados como fuente de azufre son el S elemental (ventilado o granulado) y el sulfato de calcio (yeso agrícola), siendo el segundo más recomendable por su mejor solubilidad y no tener efecto acidificante. La dosis de azufre fluctúa generalmente entre 30 a 50 kg S/ha como yeso, y entre 80 a 100 kg/ha en el caso del S elemental.

Una vez corregido el nivel de azufre, el fósforo se puede aportar en forma de superfosfatos, cuya dosis dependerá de los niveles de P en el suelo. Una vez corregido el fósforo a niveles sobre 20 a 25 mg/kg (Olsen), se utilizan dosis de mantención del orden de 30 a 40 kg de  $P_2O_5$ /ha. En suelos ácidos puede ser recomendable utilizar fuentes menos solubles como la roca fosfórica.

Las dosis de fertilización indicadas debieran ajustarse de acuerdo a los rendimientos esperados en las praderas y/o cultivos.

### **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.
- 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.
- 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.
- 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. Martínez, 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. 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.
- Hepp, C. y Stolpe, N.B. 2014. Caracterización y propiedades de los suelos de la Patagonia Occidental (Aysén). Instituto de Investigaciones Agropecuarias, Centro de Investigación INIA Tamel Aike, Coyhaique, Chile. *Boletín Técnico* N° 298, 138pp.
- Hepp, C., Teuber, O., Salvo, R., Pinochet, D., Cisternas, E., Galdames, R. Elizalde, F. y Tapia, M. 2011. Cultivo y utilización de brásicas forrajeras en la Patagonia húmeda (Aysén). Instituto de Investigaciones Agropecuarias INIA. C.Hepp (ed.). Coyhaique, Chile, 2011. *Boletín Técnico* N° 228, 116 p.
- 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 <sup>15</sup>N-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.
- 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.
- 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.
- 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. Leley. 2000. Organic farming: challenge of timing nitrogen availability to crop nitrogen requirements. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 64(1):247-253.
- Policarpo, 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 wetland 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 <sup>15</sup>N 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.
- 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.
- 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.
- 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.
- 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.
- 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.