



Capítulo 5

Antecedentes Nutricionales del Cultivo del Maíz en Chile

Marcelo Vidal S.
Ing. Agrónomo
marcelo.vidal@inia.cl
INIA Rayentué

Rafael Ruiz S.
Ing. Agrónomo
Consultor

Alejandro Antúnez B.
Ing. Agrónomo Ph.D.
INIA La Platina

Claudia Araya R.
Ing. Agrónomo

5.1 Introducción

La planta de maíz es muy eficiente en la producción de biomasa, dado que en condiciones de cultivo puede alcanzar en cuatro ó cinco meses un peso seco 1000 veces superior a la semilla que le dio origen. Su ciclo fenológico se divide en dos grandes etapas: la vegetativa (V) y la reproductiva (R) (Figura 17).



Fuente: Andrade (1995).

Figura 17. Ciclo fenológico del cultivo de maíz

El rendimiento del maíz está determinado principalmente por el número final de granos por superficie, que depende de la tasa de crecimiento del cultivo. Por cual, para alcanzar altos rendimientos, el maíz debe lograr un óptimo estado fisiológico con una alta eficiencia de conversión de la radiación interceptada en biomasa. La adecuada disponibilidad de nutrientes, especialmente a partir del momento en que son requeridos en mayores cantidades (de cinco a seis hojas desarrolladas), asegura un buen crecimiento foliar y una alta eficiencia de conversión de radiación interceptada. En las últimas décadas, la selección y adopción de materiales genéticos con mayor potencial de rendimiento y el uso de nuevas tecnologías, han incrementado el rendimiento y calidad del cultivo de maíz. Sin embargo, la producción de granos de este cultivo está principalmente limitada por el uso de fertilizantes nitrogenados y la disponibilidad de agua en el suelo (Maddonni *et al.*, 2004).

5.2 Dinámica de absorción de NPK en maíz.

La tasa de acumulación de nitrógeno es máxima entre el estadio V5-V6 y los 15-20 días después de la floración, alcanzando valores de $3,8 \text{ kg N ha}^{-1} \text{ día}^{-1}$ (Uhart y Andrade, 1995). En maíces tardíos con altos rendimientos, se ha reportado tasas de acumulación de $8,4 \text{ kg N ha}^{-1} \text{ día}^{-1}$ entre V6 y emisión de panoja.

El nitrógeno se acumula en partes vegetativas hasta floración para luego ser movilizado hacia los granos en crecimiento. Niveles normales de N en la planta entera al estado V4-V6 son de 3,5 a 5,0%. Al momento de la floración, el cultivo puede acumular entre el 60 y 70% de los requerimientos totales de N, lo cual indica que este nutriente debe estar disponible para la planta antes y durante el estadio V5-V6 (Echeverría y García, 2005). El valor de suficiencia de N en la hoja bajo la mazorca en floración es de 2,7 a 3,5%.



Foto 10. Comparación entre Maíz normal y Maíz con deficiencia de nitrógeno en floración.

El fósforo (P), debe estar disponible en las primeras etapas del ciclo del maíz, donde es absorbido mayormente. La reducida movilidad del P y la retención (fijación, adsorción e inmovilización) del fertilizante fosfatado en el suelo, obligan a la aplicación localizada de este nutriente, especialmente en suelos de bajo contenido de P disponible y en siembras tempranas.



Foto 11. Deficiencia de fósforo en Maíz.

El potasio (K), es importante para el vigor de las cañas, el buen crecimiento de la parte aérea del maíz y el desarrollo de las raíces. Es absorbido intensamente a partir de V5 hasta floración.

5.3 Eficiencia de uso de nutrientes

El uso eficiente de nutrientes ha ganado últimamente más atención con el aumento en los costos de los fertilizantes y la continua preocupación por el impacto ambiental, particularmente por la calidad del agua. La utilización de balances de nitrógeno para la formulación de recomendaciones de fertilización, si bien es sostenida por una sólida base teórica, está restringida por: la variabilidad entre los rendimientos esperados y los realmente alcanzados; la variabilidad del N en el suelo, y, las eficiencias de uso estimadas de las distintas fracciones de N.

El valor de eficiencia difiere de acuerdo a si se expresa en base al Nitrógeno aportado por el fertilizante, o al Nitrógeno potencial mineralizable. Para Nitrógeno aportado por el fertilizante, su eficiencia puede variar de 40 a 60% y varía con las condiciones climáticas, de suelo y de manejo. La eficiencia para el Nitrógeno potencial mineralizable es mayor, porque la mineralización es favorecida por condiciones de temperatura, humedad y también por el crecimiento y absorción de N por parte de los cultivos, estimándose un rango de 60 a 85%.

La eficiencia en el uso del nitrógeno proveniente de los fertilizantes (EUN), está generalmente influenciada por tres factores: 1) Suministro del N por el suelo, tipo de fertilizante y otras entradas, 2) absorción del N por el cultivo y 3) pérdidas del sistema suelo-planta (Ladha *et al.*, 2005). Para la necesidad de fertilización, la magnitud de la eficiencia depende del tipo de fertilizante, el momento y la forma de aplicación variando de entre 50% para aplicaciones de pre-siembra a 85% bajo fertirriego convencional (García y Daverede, 2008).

La eficiencia de recuperación (ER), de un nutriente específico como el N, se define como el porcentaje del nutriente recuperado en la biomasa de la planta que se encuentra sobre el suelo durante el ciclo de crecimiento (Cassman *et al.*, 2002). De acuerdo a Bruulsema *et al.* (2004), la ER puede variar dependiendo de la parte de la planta considerada en la recuperación (planta completa, biomasa sobre suelo, porción cosechada) y las fuentes de nutrientes utilizadas (fertilizantes, residuos de cosecha, mineralización de N y fijación atmosférica). Se ha determinado que la eficiencia de recuperación del cultivo bajo condiciones favorables para N proveniente de fertilizantes es de 50-70%, para P de 10-25% (15% de promedio), y para K, de 50-60% (Isherwood, 1990).

5.4 Contaminación por lixiviación de Nitratos (NO₃-)

La lixiviación de NO₃- causa un serio problema de contaminación de las napas freáticas y de acuíferos en general. El problema se genera debido a que en la mayoría de los suelos el ion NO₃- no es retenido, al tener carga negativa.

Cuando los nitratos se lixivian son arrastrados a las aguas subterráneas, en donde las altas concentraciones de NO₃- en el agua de consumo humano conllevan al riesgo de enfermedades graves. Para resguardar la salud humana, la Agencia de Protección Medioambiental de Los Estados Unidos estableció un estándar de

10 mg L⁻¹ de NO₃⁻ de para el agua potable (U.S. Environmental Protection Agency, 1995), estándar que se estableció en Chile con la Norma Chilena Oficial 409/1 .Of. 84 (INN, 1984).

Los nitratos en agua potable pueden causar metahemoglobinemia (“síndrome de los bebés azules”) en niños por debajo de los seis meses de edad, cáncer gástrico en adultos y puede tener efectos tóxicos en ganado y aves (USDA, 1999).

Los principales factores que influyen en la lixiviación de nitratos son:

- **La textura del suelo:** Los suelos de textura gruesa tienen una capacidad de retención de agua más baja y por lo tanto, un potencial de lixiviación de nitratos mucho mayor comparado con suelos de textura fina.
- **Tipo de cultivo:** En cultivos frutales, las raíces extraen nitrógeno a una profundidad de suelo mayor, que en cultivos hortícolas con un sistema radicular superficial.
- **El pH:** Los suelos ácidos contienen una significativa cantidad de partículas cargadas positivamente que pueden retener parcialmente los nitratos y disminuir su lixiviado. Como referencia, los suelos de la Región de O’Higgins no tienen un pH del rango en el cual estos fenómenos son importantes (menores a pH 5,0). Los nitratos presentan alta movilidad en suelos neutros o alcalinos, pudiendo ser lixivados fácilmente cuando encuentran condiciones favorables.
- **Precipitaciones y tipo de riego:** En condiciones de excesivas precipitaciones o riegos, los nitratos se lixivian del perfil.
- **Características de los fertilizantes nitrogenados aplicados:** Fuentes orgánicas y amoniacales de N tienen un potencial de lixiviación menor en comparación con las fuentes nítricas que tienen un potencial de lixiviación alto. Sin embargo, las fuentes amoniacales son rápidamente transformadas a nitratos en suelos bien aireados con temperaturas favorables.

5.5 Recomendaciones de fertilización para el cultivo del maíz

Las siguientes recomendaciones de fertilización para el cultivo del maíz en la Región de O'Higgins, han sido desarrolladas a partir del Proyecto "Mejoramiento de la competitividad del maíz mediante la implementación del riego por pulsos (Surge Flow)", financiado por el Fondo de Innovación para la Competitividad (FIC) Región del Libertador General Bernardo O'Higgins y ejecutado por INIA Rayentué.

El maíz es uno de los cultivos de más alta dinámica de crecimiento y absorción de nutrientes. Requiere de grandes cantidades de nitrógeno, fósforo y potasio, especialmente, en las primeras etapas de desarrollo, para favorecer el crecimiento y exploración de raíces.

5.6 Aporte del suelo

Para cuantificar el aporte del suelo, es necesario realizar un muestreo de suelo previo a la siembra, determinando la cantidad de nutrientes disponibles. Este muestreo de suelo convencional se realiza en los primeros 20 centímetros de suelo y considera el contenido de N-disponible (Nitratos + Amonio), P-Olsen, K-disponible, pH, conductividad eléctrica y materia orgánica. A partir del análisis de suelo, se determina un valor crítico de disponibilidad de nutrientes en este, que depende del manejo del suelo y de la zona de cultivo.

Para realizar un plan de fertilización, previamente es recomendable realizar un análisis que incluya el aporte del suelo y la extracción de nutrientes del cultivo, que entregan información base para los cálculos de la dosis de fertilización a aplicar al cultivo del maíz.

En el Cuadro 23, se presenta la categorización de referencia del contenido de los nutrientes del suelo. Este rango de referencia se emplea para contrastarlo con los resultados del análisis de fertilidad del suelo a cultivar.

Cuadro 23. Categorización del contenido de N, P, K, Ca y Mg en el suelo según análisis.

Elemento	Deficiente	Bajo	Medio	Alto
N ppm	< 10	20 - 11	35 - 21	80 - 36
P ppm	< 5	10 - 5	20 - 10	30 - 20
K ppm	< 50	100 - 50	180 - 100	250 - 180
Ca cmol /kg	< 2	4 - 2	9 - 5	14 - 10
Mg cmol /kg	< 0,25	0,5 - 0,26	1 - 0,5	1,8 - 1

Fuente: Laboratorio de Suelos y Nutrición Vegetal, INIA La Platina.

Si se requiere mayor precisión para estimar el Nitrógeno, se recomienda determinar el N potencial mineralizable, para lo cual se toma tres muestras compuestas de suelo de entre 0 y 60 cm de profundidad (Cuadro 24).

Cuadro 24. Aporte de N del suelo según categoría de N- potencial mineralizable (0-60 cm)

N Mineralizable (ppm)	Categoría Relativa	Aporte Estimado suelo (kg/ha)
> 100	Alto	100
99 - 60	Medio	80
59 - 40	Bajo	60
< 40	Muy Bajo	30

5.7 Extracción de nutrientes del cultivo

El crecimiento y la extracción de nutrientes del cultivo dependen, principalmente, del tipo de suelo y del manejo agronómico. En estudios realizados durante tres temporadas seguidas en la Región de O'Higgins, se ha constatado que, dentro de las principales limitantes de suelo para el cultivo del maíz grano destacan: pedregosidad y/o suelos de texturas arenosas, que determinan rendimientos potenciales de relativamente bajos. También, suelos desnivelados y compactados con escasa porosidad que provocan bajos rendimientos. Los suelos de textura fina sin problemas de drenaje o de compactación, representan un sustrato ideal para la obtención de altos rendimientos de maíz grano. Los más altos rendimientos se obtienen en suelos de texturas finas con alta materia orgánica (más de 5%).

Entre las labores de manejo del cultivo, un elevado tiempo y caudal de riego afecta fuertemente el rendimiento, seguido por el manejo de la fertilización y el control de malezas. Con frecuencia, estos problemas de manejo aparecen juntos en el predio. El plan de fertilización empleado tendrá mayor o menor impacto sobre el rendimiento dependiendo del manejo del riego, de la densidad de plantas y del híbrido cultivado, entre otros.

En el Cuadro 25, se presenta el rendimiento potencial según rango de textura de suelo y el porcentaje de reducción de rendimiento al efectuar manejos deficientes o cuando se cultiva en un suelo con las limitaciones mencionadas. Este Cuadro resume los resultados de ensayos efectuados en la Región de O'Higgins, en las últimas tres temporadas.

Cuadro 25. Rendimiento potencial según rango de textura de suelo y porcentaje de reducción de rendimiento al efectuar manejos deficientes.

Rango de texturas	Rendimiento potencial (qq/ha)	% de disminución del rendimiento con manejo o suelo deficiente
Arenosa - Franco arenosa	120 -140	20
Franco arenosa - Franco arcillosa	140 -170	15
Franco arcillosa- Arcillosa*	160 -190	10

*En suelos arcillosos compactados, mal regados, la reducción de rendimiento podría incrementarse al 15%.

En el Cuadro 26, se presenta la extracción de N, P, K, Ca y Mg en dos suelos de la Región de O'Higgins.

Cuadro 26. Extracción de macronutrientes de plantas de maíz cultivado en dos suelos de la Región de O'Higgins, en función de la textura y rendimiento obtenido.

Elemento	Extracción kg/ha	
	Franco arenosa Rendimiento 125 qq/ha	Franco arcillosa Rendimiento 163 qq/ha
N	277	330
P	46	64
K	281	280
Mg	37	36
Ca	78	62

5.8 Recomendación de dosis de fertilización NPK a aplicar en maíz grano

Para la estimación de la dosis a aplicar de N, P y K, se supuso un suelo de textura media, profundo, en el cual se aplicaron correctamente los fertilizantes, con plantas sin problemas por exceso o falta de agua.

La cantidad de N, P y K disponible del suelo se calculó multiplicando la masa de suelo de una hectárea (hasta una profundidad de 30 cm), por el contenido del elemento en los distintos rangos, considerando una densidad aparente media de 1,3 ton m⁻³.

En los Cuadros 27, 28 y 29 se presenta la dosis recomendada de N, P y K a aplicar, de acuerdo al rendimiento esperado y a la disponibilidad del elemento en el suelo. La dosis bruta de N a aplicar, considera la eficiencia de aplicación del fertilizante nitrogenado del 50% con riego superficial bien efectuado.

Cuadro 27. Dosis de nitrógeno a aplicar de acuerdo al rendimiento (qq/ha) estimado y al análisis del suelo.

Rdto. esperado (qq/ha)	Requerimiento N kg/ha	N Suelo (ppm)	Dosis neta a aplicar kg N/ha	Dosis bruta kg N/ha
120	263	Bajo (10 ppm)	224	448
		Medio (20 ppm)	185	370
		Alto (35 ppm)	127	253
140	310	Bajo	271	542
		Medio	232	464
		Alto	174	347
160	350	Bajo	311	622
		Medio	272	544
		Alto	214	427
180	395	Bajo	356	712
		Medio	317	634
		Alto	259	517

Para definir la dosis de fertilizante fosforado a aplicar, se debe considerar un nivel crítico de P en el suelo equivalente a 20 ppm (P-Olsen), y el parámetro empírico CP (Cantidad de fósforo), que define la masa (kg) de fertilizante a aplicar al suelo. Esto de modo que permita elevar la concentración de este elemento en 1 ppm de P-Olsen. Para la zona bajo riego de la Región de O'Higgins, el valor CP se encuentra en un rango entre cuatro y cinco.

Cuadro 28. Dosis de fósforo a aplicar de acuerdo al análisis del suelo y textura.

Índice de fósforo disponible en el suelo (ppm)	Categoría de suficiencia	Nivel de suficiencia	Rango de aplicación de P_2O_5 kg/ha	
			Suelo Arenoso (CP = 4)	Suelo Arcilloso (CP = 5)
3	Muy bajo	17	80	100
7	Bajo	13	52	65
13	Medio	7	28	35
18	Alto	2	8	10
20	Muy alto	0	0	0

En relación a la dosis de Potasio, al ser un elemento que tradicionalmente se considera suficiente en concentraciones en la zona regada de la Región de O'Higgins, no se cuenta con estudios que permitan concluir con base experimental esta dosificación. Sin embargo, el Cuadro 29, presenta una dosificación conservadora que permite mantener la fertilidad potásica del suelo.

Cuadro 29. Dosis de potasio a aplicar de acuerdo al rendimiento (qq/ha) estimado y al análisis del suelo.

K Disponible (ppm)	Categoría	Dosis (Kg K_2O /ha)	
		Rend = 120 qq/ha	Rend = 180 qq/ha
< 40	Muy Bajo	125	138
40 – 80	Bajo	75	83
80 – 120	Medio	60	60
> 120*	Alto		

5.9 Manejo de la fertilización del maíz

El manejo eficiente de la fertilización de cualquier cultivo, se basa en el conocimiento adecuado de las diferentes etapas del crecimiento durante el ciclo de vida. Las características de estas etapas, están determinadas por la constitución genética de la planta, las condiciones climáticas y edáficas del entorno. Para el manejo de la fertilización, es importante conocer la tasa de crecimiento de la planta y la dinámica de acumulación de los nutrientes esenciales en las diversas etapas del ciclo de vida del cultivo (Solórzano, 1999).

En cuanto a las épocas de aplicación, lo más eficiente en el caso del N, son sólo dos parcialidades: un 20 a 30% a la siembra y el restante con plantas entre V6-V8.

En el caso del P y el K, dada la baja movilidad en especial del primero, éstos nutrientes deben ser agregados en su totalidad en la siembra o antes de esta. Aplicaciones tardías de estos nutrientes son ineficientes. En el caso del N, una aplicación tardía con la mazorca formada, sólo incrementa el N del grano sin afectar el rendimiento final. Para producir cien kilos de maíz (1 qq) se requieren de 2,0 a 2,4 kg N.

En Chile, es muy común la aplicación de mezclas maiceras a la siembra y de urea al momento de la aporca. Las mezclas físicas de fertilizantes son fuentes inorgánicas para la nutrición vegetal, como es el caso de los productos conocidos como N-P-K, que resultan de la reacción química de varias materias primas ricas en estos elementos. Dentro de las materias primas utilizadas para hacer las mezclas destacan la urea, fosfatos mono y diamónico y muriato de potasio.

La aplicación usual en la Región de O'Higgins, contempla un promedio de 622 kg ha⁻¹ de mezcla (N, P, K) y 560 kg N ha⁻¹ como urea al momento de la aporca, totalizándose alrededor de 110 kg ha⁻¹ de P₂O₅, 123 kg ha⁻¹ de K₂O y 370 kg N ha⁻¹. Aunque, existen productores que aplican hasta 600 kg N ha⁻¹. Estas dosis se deciden sin que, en la mayoría de los casos, exista un análisis de suelo previo.

Literatura Citada

Bruulsema, T; Fixen, P; Snyder, C. 2004. "Fertilizer nutrient recovery in sustainable cropping systems". Better Crops. 2004, Vol 88, (4). 15-17.

Cassman, K; Dobermann, A; Walters, D. 2002. "Agroecosystems, nitrogen-use efficiency, and nitrogen management". Ambio. 2002, Vol 31, (2). 132-140.

Calviño, P. y Echeverría, H. 2003. "Incubación anaeróbica del suelo como diagnostico a la respuesta de nitrógeno en maíz bajo siembra directa". Ciencia del suelo, 2003. Vol 21: 24-29.

Echeverría, H y García, F. 2005. Fertilidad de suelos y fertilización de cultivos. Balcarce: Ediciones INTA. 525 p. ISBN N° 987-521-192-3.

González, L.; González, A. y Mardones, A. 2003. "Evaluación de la vulnerabilidad natural del acuífero freático en la cuenca del río Laja, centro-sur de Chile". Revista Geológica de Chile, Departamento de Ciencias de la Tierra, Universidad de Concepción. 2003. Vol. 30, (1): 3-22.

INN. 1994. Instituto Normal de Normalización. "Norma Chilena Oficial 409/1.Of. 84. 1984".

Isherwood, K. 1999. IFA, 5th AFA International Annual Conference, 1999, Cairo, Egypt. 1990. <http://www.fertilizer.org>.

Ladha, J; Pathak, H. and Krupnik, T. 2005. "Efficiency of fertilizer nitrogen in cereal production: retrospects and prospects". Adv. Agronomy. Vol. 87: 85-156.

Maddonni, G.; Ruiz, R.; Vilaríño P; García de Salamone, I. 2003. Fertilización en los cultivos de grano. En: Producción de granos. Bases funcionales para su manejo. Ed. Facultad de Agronomía, Universidad de Buenos Aires. Cap. 19. 783 p.

Pyr, S.A. 2014. Manual de fertirriego. El fertirriego entrega un alto rendimiento con riego por caudal intermitente [en línea]. [Consulta: 03 de agosto 2014] Disponible en internet: http://pyrargentina.com.ar/files/productos/02_20101020142322.pdf.

Uhart, S. y Andrade, F. 1995. "Nitrogen Deficiency in maize: I. Effects on crop growth, development, dry matter partitioning and kernel set". Crop Science. Vol. 35 (5): 1384-1389.

Salvador, R. 2001. Maíz [en línea]. Chapingo. Mexico. 2001 [ref. de 10 julio de 2014]. Disponible en Web: <http://www.chapingo.mx/bagebage/08.pdf>.

Solórzano, P. 1999. "Crecimiento de la planta de arroz y acumulación de N-P-K a lo largo de su ciclo de vida, en Calabozo-Guárico, Venezuela". En: XV congreso Venezolano de la ciencia del suelo. Barquisimeto- Lara, Venezuela. 1999.

Snyder, C. y Bruuselman, T. 2007. Nutrient Use Efficiency and Effectiveness in North America: Indices of Agronomic and Environmental Benefit. International Plant Nutrition Institute. International Plant Nutrition Institute. Norcross, GA, USA. 2007, 4 p.

U.S. 1995. "Environmental Protection Agency. Drinking Water regulations and Health advisories", Office of Water, Washington, D.C. 4 p.

USDA. 1999. Guía para la Evaluación de la Calidad y Salud del Suelo. Departamento de Agricultura, Washington, D.C., E.E.U.U. 82 p.