

## Parte 4.

# Nutrición nitrogenada en lechuga para condiciones de cultivo en campo

### **Carlos Blanco M.**

Ingeniero Agrónomo Magíster.

cblanco@inia.cl

### **Juan Pablo Martínez C.**

Ingeniero Agrónomo Dr.

INIA La Cruz

En general, el nitrógeno (N) es el nutriente con mayor impacto sobre el rendimiento y la calidad de los cultivos hortícolas. Es extremadamente dinámico en el suelo y sufre cambios que incluyen procesos de ganancias, transformaciones y pérdidas. El exceso de N en la fase de crecimiento de la lechuga origina un crecimiento desordenado, con hojas excesivamente grandes y frágiles que dificulta el manejo del cultivo (Maroto, 2002).

Para tener un balance equilibrado en lechuga, se recomienda fertilizar el cultivo entre 100 y 200 kg/ha de N disponible en la zona radical (Sorensen *et al.*, 1994). Por otra parte, se ha observado que el contenido de N disponible para la planta depende directamente del manejo del agua en distintos sistemas de riego (Cantliffe *et al.*, 1998). Cuando el contenido de N disponible es insuficiente para la planta, la absorción del N por parte de ella se reduce, produciendo disminuciones marcadas en los rendimientos y, por el contrario, si la aplicación de N es excesiva se producen pérdidas principalmente por lixiviación (Karam *et al.*, 2002). En la zona central de Chile, se ha constatado que el sistema de riego utilizado por los productores es 80% por surcos y, en algunos casos, el riego es excesivo ya que no se ajusta a turnos de riego y a las necesidades de agua del cultivo.

La cantidad de N disponible en los suelos superficiales de la Zona Central de Chile puede variar entre 5 a 20 mg/kg, disminuyendo sus contenidos con la profundidad. El contenido de N depende también del tipo de textura suelo, contenido de materia orgánica, presencia de micro flora del suelo, temperatura y pluviometría. El clima juega un papel dominante en la determinación del estado de N de los suelos.

El N disponible en el suelo se encuentra principalmente como nitrato ( $\text{NO}_3^-$ ) y amonio ( $\text{NH}_4^+$ ). La capa arable del suelo puede tener un contenido de N bajo la forma de nitrato entre 2 a 60 ppm. Este contenido varía con la estación, ya que es muy soluble en agua y las aguas de lluvia o riego lo pueden arrastrar hacia el subsuelo, acumulándose muchas veces en las napas freáticas. Las plantas pueden absorber el N también bajo la forma de ión amonio ( $\text{NH}_4^+$ ). El N absorbido como nitrato ( $\text{NO}_3^-$ ) por la planta es rápidamente reducido a ión amonio ( $\text{NH}_4^+$ ) a través de un paso intermedio que es la generación del ión nitrito ( $\text{NO}_2^-$ ) mediante la acción de la enzima nitrato reductasa, la cual contiene molibdeno (Mo). La principal diferencia entre el  $\text{NO}_3^-$  y  $\text{NH}_4^+$ , es que primero en el suelo se encuentra disuelto en solución; mientras que si el suelo contiene mucha arcilla y humus, gran parte del ión  $\text{NH}_4^+$  se encuentra retenido como catión intercambiable y no en solución. Quizás por esta razón un fertilizante en forma de nitrato actúa mucho más rápido que uno en forma de amonio. Se estima en suelos naturales una lixiviación de 5 a 20 kg/ha/año. La irrigación y la aplicación de fertilizantes aumentan las pérdidas por lixiviación, llegando a alcanzar magnitudes de hasta 80 kg/ha/año.

En la dinámica del N en las plantas, se ha observado que se pueden almacenar y traslocar elevados niveles de nitratos en las hojas sin sufrir efectos dañino para la planta. Sin embargo, las personas y/o el ganado que consumen alimentos con elevada cantidad de nitratos, pueden sufrir enfermedades tales como metahe-moglobinemia, la cual se produce en el hígado donde se reduce el nitrato a nitrito, que se combina con la hemoglobina y la deja inhibida para unirse al oxígeno. En seres humanos y animales el nitrato se puede convertir en nitrosaminas, que son potentes carcinógenos. En algunos países se limita el contenido de nitrato en los alimentos de origen vegetal.

En contraste con el nitrato, elevados niveles de amonio son tóxicos tanto para las plantas como para los animales, es por ello que los animales han desarrollado una gran aversión a su olor, provocado por carbonato de amonio. Las plantas asimilan el amonio cerca del sitio de producción y rápidamente almacenan el exceso en las vacuolas, evitando el efecto tóxico en membranas y en citosol.

El cultivo de la lechuga en las tres principales regiones centrales de Chile (Región Metropolitana, Región de Valparaíso y Región Libertador Bernardo O'Higgins) representan en términos de superficie 3.341 ha (47%) de un total de 7.136 ha (100%) a nivel nacional (ODEPA, 2018). La Región Metropolitana (1.801 ha) es la segunda región con mayor superficie, antecedida por la Región de Coquimbo (2.619 ha).

Entre los factores que favorece el desarrollo de esta especie destaca la presencia durante todo el año como producto fresco en mercados, la oferta varietal de las empresas de semillas, posibilidad de diferentes épocas para desarrollar el cultivo durante todo el año, comunas como Colina y Lampa con presencia mayoritaria de agua de pozos que favorece un resguardo sanitario del producto, etc., sin embargo, el manejo productivo y la tecnificación en el cultivo no ha avanzado como en otras especies o rubros. Los distintos tipos y variedades que encontramos actualmente en el mercado, requieren de un manejo agronómico diferenciado ya sea en épocas, densidades, manejo del riego y nutrición entre otras.

Por otra parte, al ser esta especie, una hortaliza que normalmente es incorporada en nuestra dieta durante gran parte del año y accesible a gran parte de la población, es relevante establecer las bases para una adecuada nutrición. La mejor estrategia para determinar con precisión las necesidades de nutrientes de este cultivo es determinar las extracciones en sus órganos vegetativos, que para el caso de las lechugas, son las hojas.

Cuando se realiza un plan de nutrición en el cultivo, ya sea por aportes de fertilizantes sintéticos o a base de insumos ecológicos, se requiere focalizar una programación óptima, conocer la extracción de nutrientes y cinética de absorción, al efecto de ajustar las aportaciones a la demanda del cultivo.

Algunas referencias de literaturas indican dosis de referencia basadas en la necesidades de nitrógeno para un rango de rendimiento definido, 2-3 Kg N/ton con un rendimiento de lechugas de 20-60 ton/ha, cuidando de suplir las necesidades de nitrógeno y de la totalidad o mayoría de los nutrientes, y de evitar riesgos de contaminación ambiental asociadas a la generación de una sobre dosis de nitrógeno disponible (nitrógeno que se hace disponible derivado de la fertilización mineral o enmiendas en el ciclo de cultivo mayor a la necesidad de nitrógeno de la lechuga)(Hirzel, 2016).

El valor de referencia de requerimiento de nitrógeno para la especie a cultivar, se puede obtener a partir de un coeficiente constante, llamado coeficiente de extracción y definido como el total de kilogramos de nitrógeno para producir una tonelada de cosecha (BNAE, 2013) y así establecer un programa de nutrición ajustado.

En este contexto, INIA La Platina, ha focalizado como un aspecto relevante a investigar la nutrición en el cultivo de la lechuga debido a las brechas que ha levantado la Unidad de Vinculación y Transferencia Tecnológica y al requerimiento por parte de agricultores de la Región Metropolitana. Por otra parte, el conoci-

miento y la responsabilidad que hoy significa producir alimento conlleva a una seriedad en todas las etapas productivas, en donde el manejo de la nutrición, especialmente la nitrogenada adquiere gran importancia. El manejo racional de los aportes de N en el cultivo de la lechuga ayudará a la obtención de un producto inocuo con una seguridad alimentaria para el consumidor y evitará la contaminación difusa al medio ambiente.

## Investigación

Este trabajo aborda las extracciones de N durante un ciclo de lechugas tipo Iceberg variedad Mohawk (*Lactuca sativa* var *crispa*) adecuada para época de otoño-invierno. La lechuga se caracteriza por ser un cultivo de rápido crecimiento y de hábito más bien invernical (Marotto, 1995), aun cuando existen variedades de primavera-verano.

El trasplante se realizó durante febrero del 2018 (22 de febrero) en mesas de un metro en un suelo con textura franco arenosa.

El número de plantas teóricas por metro cuadrado fue de 14 unidades. La densidad de plantas utilizadas en el ensayo determina una densidad por hectárea cercana a las 100.000 unidades (**Figura 5**).



**Figura 5.** Ensayo en cultivo de lechuga tipo Iceberg para determinar el coeficiente de extracción de nitrógeno bajo condiciones de campo. INIA La Platina.

Se utilizó riego por goteo por cintas con un caudal por emisor de 1L/h con una distancia de emisores a 20 cm.

La fertilización se realizó por medio del riego. Antes del establecimiento del cultivo se obtuvo un muestreo de suelo para realizar un análisis de fertilidad completa en laboratorio.

El suelo utilizado para la investigación tenía un aporte residual bajo de nitrógeno disponible, 13 mg/kg, equivalente a un suministro de 36 kg/ha, asumiendo una densidad aparente ( $D_a$ ) de 1,4. Los niveles de fósforo y potasio residuales fueron altos, mayores a 20 y 150 mg/kg respectivamente, por tanto, no fue necesario aplicar.

La cosecha fue realizada mediante parámetros cualitativos como son tamaño y peso. Se realizó una cosecha a término de cultivo (26 de abril del 2018). Se evaluó una superficie de 1 metro cuadrado para determinar rendimiento y calidad (**Figura 6**).

Para determinar los tratamientos a aplicar en el ensayo se consideró los antecedentes previos obtenidos en dos ensayos hidropónicos de lechugas que tuvieron por objetivo determinar la extracción de los nutrientes.



**Figura 6.** Momento de cosecha en ensayo de lechuga para determinar coeficiente de extracción de nitrógeno. INIA La Platina.

En el caso de la extracción del N (**Tabla 5**) permitió calcular un valor de extracción teórico para las condiciones hidropónicas en base a peso por unidad de lechuga (1,5 g N/lechuga), este se utilizó como parámetro para analizar el comportamiento de la especie bajo condiciones de campo y definir los tratamientos.

Los tratamientos evaluados en el ensayo fueron el aporte de N residual del suelo y 0,75; 1,5; 3,0 y 6,0 g N/lechuga. Estos tratamientos como dosis de nitrógeno por hectárea fueron ajustados a la población real de plantas evaluadas en el ensayo (99.999 plantas/ha), descontando el aporte de nitrógeno como suministro del suelo, 36 kg/ha y considerando una eficiencia de riego del 90%.

La aplicación de los distintos tratamientos de nitrógeno fue realizada en dos oportunidades (12 y 26 de marzo del 2018).

Los resultados obtenidos se detallan a continuación:

## Biomasa

En la **Tabla 7** se puede observar el peso fresco y seco en lechuga tipo Iceberg. El mayor peso fresco y seco fue para el tratamiento con mayor aporte de nitrógeno 6 g N/lechuga con 619,4 g y 22,7 g. respectivamente, marcando diferencias con el resto de los tratamientos. Es importante mencionar que este tratamiento consideró un aporte de N excesivo para el cultivo, equivalente a 705 kg N/ha, lo que en la práctica es extremadamente perjudicial para cultivo, medio ambiente y elevados costos en fertilización nitrogenada, por tanto, se debe determinar una aporte de N que logre un balance en términos de rendimiento, calidad, inocuidad y cuidado del medioambiente. El resto de los tratamientos no presentaron diferencias entre ellos, ya sea para peso fresco y seco. En general, se puede estimar que el peso seco en lechugas es aproximadamente un 4% independiente del tratamiento de nitrógeno aplicado.

**Tabla 7.** Peso fresco y seco (g) obtenido en lechugas tipo Iceberg sometidas a diferentes tratamientos de nitrógeno bajo condiciones de campo. INIA La Platina.

g N/lechuga	Peso Fresco (g)	Peso Seco (g)
N residual	488,5 b	18,9 b
0,75	495,5 b	18,4 b
1,5	478,6 b	18,1 b
3	538,4 b	19,4 b
6	619,4 a	22,7 a
CV	13,9	15,0

(\*) Letras diferentes indican diferencias estadísticas entre tratamientos, según prueba de Tuckey ( $p \leq 0,05$ )

## Contenido Mineral

Los valores de N extraído por la lechuga fluctuaron entre un 3,92 y 2,98% como se puede apreciar en la **Tabla 8**.

Los valores de absorción de N determinados en este ensayo concuerdan con valores muy cercanos obtenidos en investigaciones previas realizadas en INIA La Platina, en donde se determinó en condiciones de hidroponía valores de absorción de 3,81 % N (Martínez, J y Blanco, C; 2015) y 4,2% N (Corradini, F y Blanco, C; 2016), ambos resultados en lechuga tipo Iceberg producción primavera-verano.

Se puede determinar que independientemente del aporte de N al cultivo, la lechuga absorbe una cantidad de N cercana al 4% según las investigaciones realizadas. Esto demuestra que muchas veces prácticas agronómicas realizadas por agricultores tendientes a sobre fertilizar el cultivo, significa afectar la calidad del producto y medio ambiente, debido a que un porcentaje de N puede concentrarse en la lechuga como nitrato, como también pérdidas económicas, ya que parte importante se perderá por lavado en el perfil del suelo generando contaminación de napas subterráneas.

**Tabla 8.** Contenido promedio de N (%) en lechuga tipo Iceberg sometidas a diferentes tratamientos de nitrógeno cultivado en campo. INIA La Platina.

g N/lechuga	N (%)
N residual	3,02 ± 0,08 d
0,75	2,98 ± 0,18 cd
1,5	3,25 ± 0,18 c
3	3,56 ± 0,21 b
6	3,92 ± 0,12 a
CV	7,15

(\*) Letras diferentes indican diferencias estadísticas entre tratamientos, según prueba de Tuckey ( $p \leq 0,05$ )

## Cálculo dosis de fertilización de N en lechuga

Para realizar el cálculo de la dosis de fertilización de N, se debe utilizar el coeficiente de extracción para calcular la demanda por la planta. En la **Tabla 9**, se muestra el coeficiente de extracción de N en lechuga estimado en base a peso y expresado en proyección de toneladas de lechugas a obtener por hectárea. El coeficiente de extracción de N presentó una respuesta lineal positiva al incremento del nutriente en el cultivo, este responde con una mayor extracción en la medida que el nutriente esté disponible en una mayor concentración.

El tratamiento de 6 g N/lechuga, demostró la mayor extracción con un coeficiente estimado de 1,5 kg N/ton de lechuga producida, sin embargo, demuestra

un comportamiento similar y/o igual estadísticamente con los tratamientos de 1,5 y 3 g N/lechuga a los que se estimó un coeficiente de extracción de 1,3 y 1,4 kg N/ton de lechuga.

En este ensayo, el aporte residual era insuficiente para el cultivo, con un suministro de 36 kg N/ha, esto demostró una respuesta de extracción de N más baja junto al tratamiento con 0,75 g N/lechuga equivalente a 48 kg N/ha. La extracción para ambos tratamientos fue de 1,3 y 1,2 kg N/ton de lechuga producida.

**Tabla 9.** Coeficiente de extracción mineral por tonelada de lechuga tipo Iceberg sometidas a diferentes tratamientos de nitrógeno bajo condiciones de campo. INIA La Platina.

g N/lechuga	N (kg/ton)
N residual	1,3 ± 0,14 b
0,75	1,2 ± 0,21 b
1,5	1,3 ± 0,16 ab
3	1,4 ± 0,19 ab
6	1,5 ± 0,18 a
CV	7,1

Letras diferentes indican diferencias estadísticas entre tratamientos, según prueba de Tuckey (p ≤ 0,05).

## Determinación del balance nutricional en lechuga

Es conocido el método basado en el llamado "balance nutricional", el cual estima la diferencia entre la cantidad de nutrientes que requiere un cultivo para alcanzar un rendimiento dado y la cantidad que le puede aportar el suelo, para luego corregir esta diferencia por un factor de eficiencia, obteniendo la dosis a aplicar. La eficiencia expresa que las plantas sólo pueden recuperar una fracción del fertilizante aplicado y que, por lo tanto, la dosis será necesariamente mayor que el déficit estimado.

El balance nutricional se expresa por la siguiente ecuación:

$$Dosis\ fertilización = \frac{Demanda\ cultivo - aporte\ suelo}{Eficiencia}$$

La complejidad del método reside principalmente en cómo estimar el aporte del suelo, el cual varía en función de muchos factores, siendo uno muy importante el contenido de nutrientes en el suelo. En cambio, la demanda tiene una relación directa con la biomasa producida y se puede expresar finalmente en función del rendimiento esperado.

Para aplicar la formula debemos determinar:

**Demanda del cultivo:** este requerimiento incluye el coeficiente de extracción de nitrógeno obtenido y el rendimiento esperado. Como el coeficiente de extracción se calculó en base peso (kg N/ton), es importante proyectar un peso unitario por lechuga a obtener a la cosecha, normalmente en gramos y multiplicarlo por el número de plantas por hectárea y llevarlos a toneladas (dividir por 1000).

**Tabla 10.** Distintos escenarios productivos en lechuga relación a número de plantas por hectárea, peso unitario de lechuga y proyección de rendimiento en toneladas por hectárea.

Nº lechugas por hectárea	Peso lechuga (g)	Rendimiento (ton/ha)
80.000	700	56
90.000	700	63
100.000	700	70

Consideremos como ejemplo distintos rendimientos productivos basados en distintos números de plantas por hectárea y una proyección de lechuga de 700 g (**Tabla 10**).

- **Demanda del cultivo**= 1,3 kg N/ton x 70 ton/ha= **91 kg N/ha**.

Se ha considerado un coeficiente de 1,3 kg N/ton de manera de evitar exceso de nitrógeno en la lechuga, expresado en la acumulación de nitratos en las hojas y evitar la contaminación de napas subterráneas. Estadísticamente los coeficientes de extracción obtenidos de 1,3; 1,4 y 1,5 kg N/ton de lechuga son similares entre sí (**Tabla 7**).

- **Aporte del suelo:** este valor se obtiene del contenido mineral de nitrógeno total presente en el suelo (amonio + nitratos) y que se obtiene mediante un análisis de suelo.

**Nitrógeno como aporte de suelo: 36 kg/ha** disponible, esto corresponde al resultado obtenidos mediante el análisis de suelo que determino 13 mg /kg, asumiendo una densidad aparente (Da) de 1,4 y un peso aproximado de suelo por hectárea de 2.000 ton.

**Saldo a cubrir:** Demanda cultivo - aporte de suelo = 91kg N/ha - 36 kg N/ha = **55 kg N/ha**.

- **Eficiencia:** se puede estimar en un 80% para el suelo donde se llevó a cabo la investigación.

**Dosis fertilización:** 55/0,8= **68,7 kg N/ha**.

El requerimiento de N para un sistema productivo basado en 100.000 lechugas/ha con una proyección de 700 g por lechuga equivalente a 70 ton/ha, requiere de un aporte de 68,7 kg N/ha vía riego.

Muy importante es tener presente que son estimaciones referenciales que pueden ser modificadas de acuerdo al tipo de suelo, antecedente del predio, considerando rotaciones anteriores, nivel de fertilización aplicado al cultivo anterior, utilización de enmiendas orgánicas (compost, residuos vegetales, guanos), porcentaje de materia orgánica y sistemas de aporte del nitrógeno ya sea por medio del riego o aplicación manual.

## Calidad Agronómica

Algunos parámetros de calidad agronómica asociada al producto se pueden apreciar en la **Tabla 11**, tales como; peso sucio al momento de la cosecha, peso limpio (descarte de hojas sucias), diámetro ecuatorial y polar. En todos los parámetros evaluados se observó que a mayor aporte de N representado por los tratamientos 3 y 6 g N/lechuga se obtienen diferencias con los tratamientos de menor aporte de N, es decir, nitrógeno residual; 0,75 y 1,5 g N/lechuga.

**Tabla 11.** Parámetros de calidad agronómica en lechugas tipo Iceberg sometidas a diferentes tratamientos de nitrógeno bajo condiciones de campo. INIA La Platina.

g N/lechuga	Peso sucio (g)	Peso limpio (g)	Diámetro ecuatorial (cm)	Diámetro polar (cm)
N residual	670,8 b	602,1 c	11,5 b	11,5 b
0,75	762,9 b	694,1 bc	11,2 b	11,5 b
1,5	649,1 b	582,6 c	11,3 b	11,5 b
3	889,3 a	762,1 ab	13,0 a	13,4 a
6	913,4 a	838,1 a	13,7 a	13,5 a
CV	24,5	24,6	13,2	12,9

Letras diferentes indican diferencias estadísticas entre tratamientos, según prueba de Tuckey ( $p \leq 0,05$ ).

Los tratamientos de 3 y 6 g N/lechuga son bastante atractivos por el peso y diámetros alcanzados. En relación al peso limpio alcanzan pesos sobre los 750 g y diámetros sobre los 13 cm como producto limpio. Cerca de un 15% de su peso al momento de la cosecha puede perder una lechuga, producto del corte de hojas sucias que normalmente están en contacto con el suelo y manchadas con tierra, exigencia de algunos mercados más exigentes como los supermercados al momento de la comercialización.

## Rendimiento

El rendimiento en lechugas expresado en plantas y kilogramos por metro cuadrado se puede observar en la **Tabla 12**.

Con respecto a las plantas por metro cuadrado no se encontró diferencias entre los tratamientos, considerando que la densidad de plantación al momento del establecimiento del cultivo fue de 14 plantas por metro cuadrado.

**Tabla 12.** Rendimiento en lechugas tipo Iceberg sometidas a diferentes tratamientos de nitrógeno bajo condiciones de campo. INIA La Platina.

g N/lechuga	N°Planta/m <sup>2</sup>	Kg/m <sup>2</sup>
N residual	13,0 ± 0,4 a	8,0 ± 1,0 b
0,75	12,5 ± 0,2 a	8,4 ± 0,4 b
1,5	12,8 ± 0,4 a	8,8 ± 0,6 b
3	13,8 ± 0,2 a	10,7 ± 0,3 a
6	13,5 ± 0,2 a	10,5 ± 0,1 a
CV	5,61 (n.s)	10,6

Letras diferentes indican diferencias estadísticas entre tratamientos, según prueba de Tuckey ( $p \leq 0,05$ ).

Diferencias de rendimiento en kg/m<sup>2</sup> de lechugas se pueden determinar siendo los tratamientos con mayores aportes de nitrógeno, 3 y 6 g/N/lechuga alcanzaron pesos sobre 10 kg/m<sup>2</sup> de lechugas proyectando un peso total superior a las 100 ton por hectárea.

## Conclusiones

El N es uno de los nutrientes más importantes para el cultivo de lechuga, siendo un elemento que debe incluir en un programa de fertilización en este tipo de hortaliza de hoja. El coeficiente de extracción para nitrógeno más adecuado para el cálculo de la dosis de fertilización es de 1,3 kg N/ton. El incremento de las aplicaciones de N en un cultivo de lechugas, tipo Iceberg de producción otoño-invierno, produce aumentos significativos en el peso fresco y el seco de la planta. El exceso de N en las lechugas tipo Iceberg afecta su calidad produciendo un menor arropollamiento, una abertura y deshidratación de las hojas. Dosis altas y tardías de nitrógeno reduce la calidad de la lechuga (cabezas más pequeñas) con abertura y pérdida de hojas. El exceso de fertilización nitrogenada produciría pérdidas de calidad saludable y posibles impactos negativos en el medio ambiente (contaminación difusa por escurrimiento superficial y percolación) a niveles mayores a 3 g N/lechuga. En riego por goteo se sugiere privilegiar aplicaciones tempranas de nutrientes que realizar parcializaciones homogéneas durante todo el cultivo.