



Aspectos técnicos de cultivo, riego y nutrición en lechuga, tomate y melón para la zona central de Chile

Editor: Carlos Blanco M.

INSTITUTO DE INVESTIGACIONES AGROPECUARIAS

Boletín INIA / N° 406

ISSN 0717-4829



Ministerio de
Agricultura

Gobierno de Chile



Aspectos técnicos de cultivo, riego y nutrición en lechuga, tomate y melón para la zona central de Chile

Editor:

Carlos Blanco Moreno

Ingeniero Agrónomo Magíster

INIA LA PLATINA

Santiago, Chile, 2019

BOLETÍN INIA N° 406

ISSN 0717 - 4829



Aspectos técnicos de cultivo, riego y nutrición en lechuga, tomate y melón para la zona central de Chile

La presente publicación tiene por objetivo dar a conocer los resultados de investigaciones desarrolladas en el cultivo de lechuga, tomate y melón considerando aspectos técnicos de cultivo, riego y nutrición. Esta presentación se realiza en el marco del proyecto "Validación de pautas de cultivo, riego y nutrición en lechuga, tomate y melón para la zona central de Chile", proyecto financiado por la Subsecretaría de Agricultura.

Editor:

Carlos Blanco Moreno

Ingeniero Agrónomo, Magíster en Ciencias, INIA-La Platina

Autores de capítulos:

Carlos Blanco M. Ingeniero Agrónomo Mg. INIA La Platina

Gloria Tobar C. Técnico Agrícola. INIA La Platina

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

Fabio Corradini S. Ingeniero Agrónomo Mg. INIA La Platina

Marcelo Vidal S. Ingeniero Agrónomo INIA Rayentué

Sofía Felmer E. Ingeniero Agrónomo INIA Rayentué

Victoria Mueña Z. Ingeniero Agrónomo INIA La Cruz

Juan Pablo Martínez C. Ingeniero Agrónomo Dr. INIA La Cruz

Luis Salinas P. Ingeniero Agrónomo INIA La Cruz

Karen Farías G. Ingeniero Agrónomo INIA La Cruz

Mabel Muñoz S. Ingeniera Administración Agrícola. INIA Remehue

Editores Técnicos:

Juan Pablo Manzur P. Ingeniero Agrónomo Dr. INIA La Platina

Revisora de Textos:

Maria Jesús Espinoza Garrido. Encargada de Comunicaciones INIA La Platina

Director Responsable:

Emilio Ruz Jerez. Director Regional INIA La Platina

Boletín INIA N° 406

Cita Bibliográfica correcta:

Blanco M., Carlos. 2019. Aspectos técnicos de cultivo, riego y nutrición en lechuga, tomate y melón para la zona central de Chile. Santiago, Chile. Instituto de Investigaciones Agropecuarias, INIA. Boletín N° 406. 88 p.

© Instituto de Investigaciones Agropecuarias, INIA, 2019. Ministerio de Agricultura. Centro Regional de Investigación La Platina. Avda. Santa Rosa 11610. Teléfono: (56-2) 25779102. La Pintana, Región Metropolitana, Chile.

ISSN 0717 - 4829

Permitida la reproducción parcial o total de esta obra sólo con permiso previo y por escrito del Instituto de Investigaciones Agropecuarias, INIA.

Diseño y Diagramación: Jorge Berríos Villablanca. Diseñador Gráfico.
Impresión: Gráfica Andes Ltda.

Cantidad de ejemplares: 300

Santiago, Chile. 2019

Índice

Capítulo 1

LECHUGA	7
Parte 1. Tipos de lechugas para la Zona Central de Chile	7
Introducción	7
<i>Lactuca sativa</i> L. var. capitata (L.) Janchen	8
<i>Lactuca sativa</i> L. var. longifolia (Lam.) Janchen	8
<i>Lactuca sativa</i> L. var. acephala Dill.	9
<i>Lactuca sativa</i> L. var. crispa L.	9
Parte 2. Evaluación del comportamiento varietal de distintos tipos de lechugas	11
Lechugas que no acogollan de hojas sueltas o de corte.	11
Lechugas que acogollan o forman cabeza	14
Parte 3. Aspectos nutricionales del cultivo de lechuga	18
Curvas de extracción de nutrientes en condiciones hidropónicas	18
Dinámicas de absorción y requerimiento de nutrientes en campo	20
Parte 4. Nutrición nitrogenada en lechuga para condiciones de cultivo en campo	22
Investigación	25
Biomasa	27
Contenido Mineral	28
Cálculo dosis de fertilización de N en lechuga	28
Determinación del balance nutricional en lechuga	29
Calidad Agronómica	31
Rendimiento	32
Conclusiones	32

Parte 5. Manejo del riego para optimizar el rendimiento	
comercial de lechugas	33
Aspectos generales	33
Disponibilidad y calidad de agua en lechugas	34
Calidad química y biológica del agua de riego	35
Demanda de agua en el cultivo de lechuga	37
Coeficientes de cultivo	38
Tecnificación del riego en el cultivo de la lechuga	40
Monitoreo y control del riego	41
Efecto del riego sobre la calidad comercial de lechugas	
tipo Iceberg	42
Períodos fenológicos críticos del riego	46

Capítulo 2

TOMATE	49
Nutrición y fertilización en tomate injertado	49
Introducción	49
Nutrición en tomate	50
Sintomatologías de deficiencias y excesos nutricionales	
en tomate fresco	53
Sintomatología visual en macronutrientes	53
Sintomatología de déficit de micro-nutrientes	55
Requerimiento nutricional en tomate injertado	56
Fertilización en tomate franco e injertado	58
Fertilización nitrogenada	58
Épocas de aplicación del nitrógeno	60
Fertilización fosfatada	61
Dosis de fósforo	61
Épocas de aplicación del fósforo	62
Fertilización potásica	63
Dosis de potasio	63
Épocas de aplicación del potasio	64
Aplicaciones de Ca, Mg y S y algunos micronutrientes	65

Capítulo 3

MELÓN	67
Melones con potencial exportable	67
Introducción	67
Riego en melón para la Zona Central de Chile	68
Investigación	68
Balance Hídrico	69
Agua aplicada por tratamiento	70
Efecto de la cantidad de agua aplicada en el diámetro promedio del fruto	71
Efecto de la cantidad de agua en el peso promedio del fruto.	72
Producción de fruta y función de producción.	73
Función de producción	74
Comentarios	75
Evaluaciones de calidad en Postcosecha de melones	75
Evaluaciones de Melón Piel de Sapo, var. Bravura con potencial exportable	76
Resultados	76
Porcentaje de pérdida de peso.	76
Porcentaje de pudriciones	78
Porcentaje de pardeamiento	79
Sólidos solubles y firmeza.	80
Comentarios	80

Capítulo 4

BIBLIOGRAFÍA CITADA	81
----------------------------	----

Capítulo 1

Lechuga

Parte 1.

Tipos de lechugas para la zona central de Chile

Carlos Blanco M.

Ingeniero Agrónomo Magíster
cblanco@inia.cl

Mabel Muñoz S.

Ingeniera en Administración Agrícola
amunoz@inia.cl

Gloria Tobar C.

Técnico Agrícola
gtobar@inia.cl

Introducción

En la actualidad, la oferta de distintos tipos de lechugas es mucho más diversa en relación a años anteriores, otorgando al consumidor la posibilidad de acceder a nuevos productos. Esta gran oferta significa un nuevo desafío para los productores, quienes se ven enfrentados a tomas de decisiones más complejas y nuevos manejos agronómicos para los diferentes tipos de lechuga. Esta diversificación en tipos de lechugas se ha visto favorecida con la presencia en el mercado de las denominadas lechugas “marinas”, sumándose a la oferta de las conocidas lechugas “escarolas”, “milanesas” y “costinas”.

La lechuga (*Lactuca sativa* L.) pertenece a la familia Asteraceae, es la planta más importante del grupo de hortalizas de hoja que se consumen crudas, es ampliamente conocida y se cultiva en casi todos los países del mundo. El aporte nutricional de la lechuga son primariamente vitaminas y minerales a la dieta humana, más un buen aporte en fibra y una gran cantidad de agua.

Esta especie prefiere para su desarrollo climas frescos y húmedos. En general es resistente a bajas temperaturas en sus primeras etapas de desarrollo, aunque cercano a la época de cosecha éste factor puede producir daños que reducen la calidad del producto. Las altas temperaturas producen emisiones prematuras del tallo floral, quemaduras en las hojas y mermas en la calidad y presentación del producto final.

La lechuga presenta una gran diversidad dada principalmente por diferentes tipos de hojas y hábitos de crecimiento de las plantas. Las variedades se agrupan en los siguientes tipos según sus características morfológicas (Krarup y Moreira, 1998).

***Lactuca sativa* L. var. capitata (L.) Janchen**

Corresponde a las lechugas conocidas como de amarra (porque antiguamente se amarraban para blanquear sus hojas internas), mantecosas o españolas. Presentan hojas lisas, orbiculares (redondo-circular), anchas, sinuosas y de textura suave o mantecosa; las hojas más internas forman un cogollo amarillento al envolver las más suaves. Estas variedades tienen menor tamaño y son más precoces, con ciclos de entre 55 a 70 días, por lo que son los más usados para la producción en invernadero.

La mayoría de las variedades tradicionales cultivadas en el país pertenecen a esta variedad botánica, como las llamadas Milanese, Francesa, Reina de Mayo y Española (Saavedra, 2017).

***Lactuca sativa* L. var. longifolia (Lam.) Janchen**

Corresponde a las lechugas llamadas romanas o cos, conocidas en Chile específicamente como “costinas”. La planta desarrolla hojas grandes, erguidas, oblongas y obovadas, con nervadura prominente, superficie ligeramente ondulada y borde irregularmente dentado. El tallo se presenta de mayor longitud que en las variedades anteriores y permanece protegido por el conjunto de hojas, las que forman una cabeza cónica o cilíndrica.

***Lactuca sativa* L. var. *acephala* Dill.**

Esta subespecie de lechuga se caracteriza por tener las hojas sueltas y dispersas, corresponden a las llamadas Lollo Rosa, Lollo Bionda, Hoja de Roble, etc. Son las lechugas de corte o de hojas sueltas ("loose leaf"), ya que como su nombre lo indica, este tipo no forma cogollo, sino que sus hojas son sueltas, no envolventes. Aunque se comercializan enteras, su principal virtud se aprecia en las huertas caseras, ya que sus hojas se pueden ir cosechando individualmente. Son muy populares para cultivo hidropónico, aunque también se cultivan en suelo. Estas plantas forman una roseta muy plana, las hojas pueden variar en contenido de antocianos, dando muy interesantes colores o combinaciones de colores, además los bordes de las hojas son muy variados en formas (Saavedra, 2017).

***Lactuca sativa* L. var. *crispa* L.**

Corresponde a las lechugas de cabeza, Great Lakes o Batavias, mal llamadas "escarolas". En Chile, este tipo forma numerosas hojas de borde irregularmente recortado (crespo); las externas se disponen abiertamente y las más nuevas e internas forman un cogollo o grumo central compacto, llamado cabeza.

En este grupo se distinguen dos subtipos, las llamadas Iceberg que forman una cabeza compacta y las Batavia que forman una cabeza menos densa, son más pequeñas y de forma irregulares. En ambos casos, en su desarrollo la planta pasa desde un estado de roseta hasta que las primeras hojas se alargan, pero cada incremento en número de hojas aumenta el grosor de la planta hasta que se convierte en más ancha que larga cuando madura. Cuando alcanza 10 a 12 hojas, estas se ponen curvadas envolviendo las hojas interiores, lo cual lleva a formar una cabeza esférica (Saavedra, 2017).

En la **Figura 1**, se puede observar los distintos tipos de lechugas de acuerdo a su morfología y agrupadas en aquellas que acogollan ("forman cabeza") y no acogollan ("no forman cabeza").

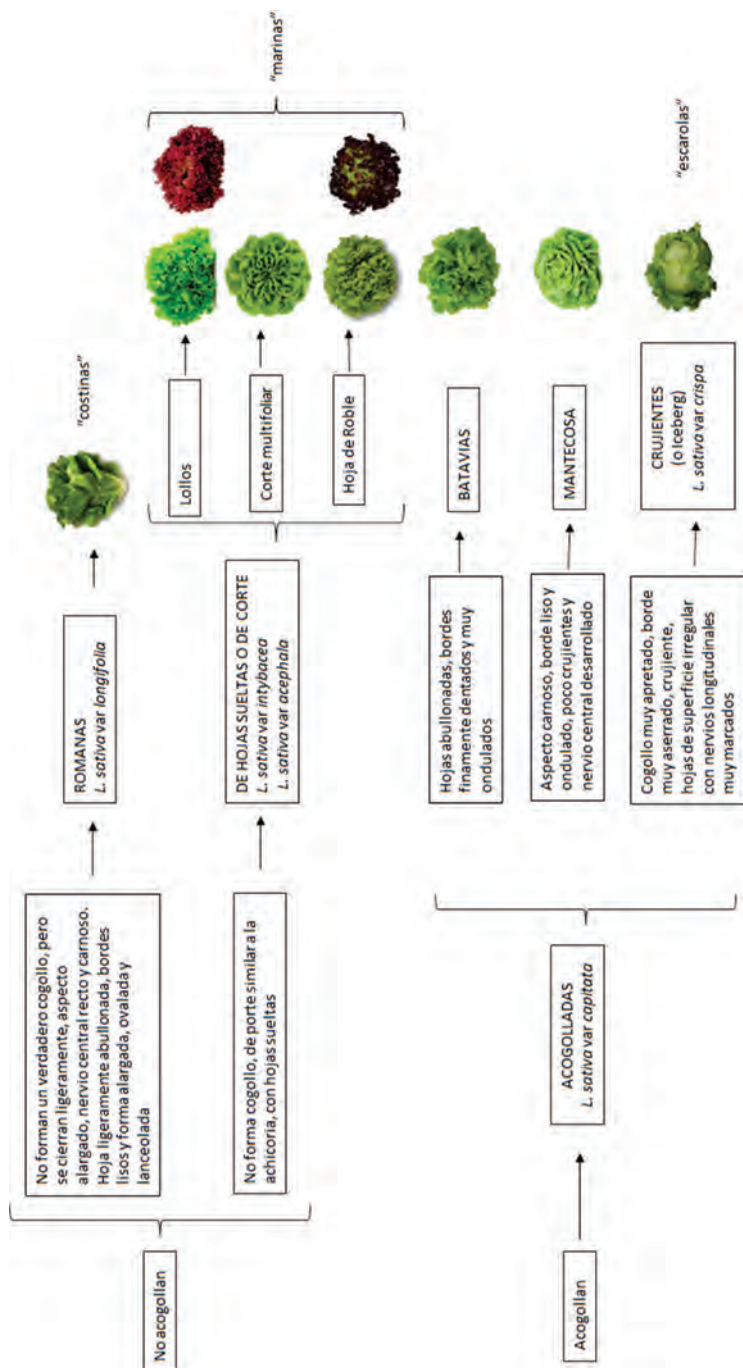


Figura 1. Esquema de la diversidad de tipos de lechugas cultivadas en Chile.

Fuente: Fernando Condés y Pedro Hoyos, modificado por el autor. <https://www.mapa.gob.es/app/MateriaVegetal/Docs/esquematechuga.JPG>

Parte 2.

Evaluación del comportamiento varietal de distintos tipos de lechugas

Lechugas que no acogollan de hojas sueltas o de corte

Durante las distintas épocas del año se evaluaron variedades de lechugas de hojas sueltas o de corte “marinas” en el Centro Regional INIA La Platina con el objetivo de conocer su ciclo productivo y su caracterización morfológica, aportando información que puede ser de utilidad tanto para los productores como la agroindustria.

El establecimiento de las variedades fue en mesas de un metro de ancho regadas por dos cintas. Cada cinta con emisores distanciados a 20 cm entre ellos y con un caudal de 1 L/h por emisor. Se consideró una población de 12 plantas por metro cuadrado, lo que otorga una densidad de población de 85.716 plantas por hectárea. Los ciclos productivos, es decir, el tiempo que transcurrió desde trasplante a cosecha, fue variable para las distintas épocas fluctuando entre 52 a 85 días.

Por otra parte, de acuerdo a la época del año y la variedad, se presentan pesos diferentes, como se muestra en la **Figura 2**, que incluye siete variedades de lechuga, de las cuales cuatro son tipo “Hoja de Roble” como son las variedades Versai (RIJK ZWAAN), Kibrillen (RIJK ZWAAN), Cedar (NUNHEMS) y Navara (NUNHEMS); y tres son tipo “Lollos” como Soltero (NUNHEMS), Levistro (RIJK ZWAAN) y Bartimer (NUNHEMS).

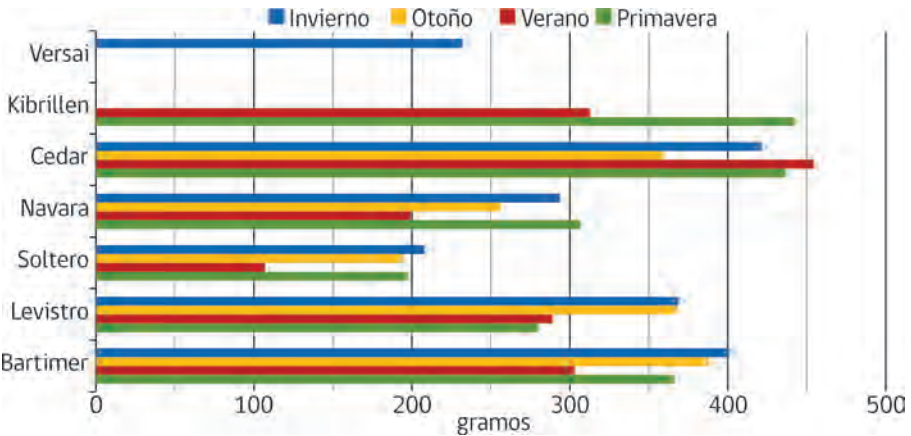


Figura 2. Peso de lechugas (g) obtenido en diferentes épocas del año para lechugas Lollos y Hoja de Roble.

En general, se puede observar que son variedades de un formato mediano, es decir, menor a 500 g. En las diferentes épocas del año los pesos fueron variando entre 120 a 440 g en promedio, y no se observó una clara diferencia entre los tipos de lechugas, ya sean Lollo y Hoja de Roble. La ventaja de estos tipos de lechugas es que se pueden cultivar durante todo el año, alcanzando un buen comportamiento productivo, sin expresar subida o floración. Sólo las variedades Versai y Kibrillen tienen definido su ciclo productivo a las épocas de otoño-invierno y primavera-verano, respectivamente. La variedad Soltero, en condiciones de campo, alcanza un peso promedio de 180 g, lo cual es mucho menor en comparación a las otras variedades, por lo cual debe ser destinada principalmente a cultivo hidropónico, donde pueden llegar a tamaños de 250 g.

En general este tipo de lechugas, al ser de hoja suelta tienen alrededor de un 8-10% de pérdida de hojas, ya que al estar en contacto con el suelo pueden mancharse o ensuciarse. Sin embargo, este factor se puede manejar con cubiertas plásticas utilizadas como mulch o alguna barrera física utilizada normalmente para control de malezas.

En la **Tabla 1** se puede apreciar una caracterización morfológica de las variedades considerando la época de primavera, la cual no varió demasiado en el resto de las épocas de producción.

Tabla 1. Caracterización morfológica de diferentes variedades de lechugas tipos Lollo y Hoja de Roble evaluada en primavera.

Variedad	Lechuga		Color		Consistencia	Forma interior
	Ancho (cm)	Alto (cm)	Externo	Interno		
Bartimer	24,8	11,4	Verde	Verde/Amarillo	Duro	Crespa
Levistro	23,3	14,0	Verde	Verde/Amarillo	Blando	Crespa
Soltero	23,0	16,8	Morado	Verde	Blando	Crespa
Navara	22,9	18,8	Morado	Verde	Duro	Crespa
Cedar	25,3	12,7	Verde	Verde/Amarillo	Duro	Crespa
Kibrillen	26,7	14,0	Verde	Verde/Amarillo	Medio	Crespa

Entre las variedades existe diferencia para el ancho de lechuga, siendo Kibrillen (Hoja Roble) la que alcanza un tamaño de 26,7 cm, no obstante, la diferencia con el resto de variedades es mínima (4 cm). Con respecto al alto de la lechuga,

en general, no se encontraron diferencias significativas entre ellas entregando un promedio de 14,6 cm.

En relación al color externo de las lechugas predomina el verde, sin embargo, dos variedades Soltero y Navara son moradas. El color interno puede variar entre verde a verde/amarillento y la consistencia puede ser dura o más suelta. La forma interna de las hojas en general es crespa.

En cuanto al rendimiento que se pueden obtener por hectárea de lechugas comerciales, ya sea Hoja de Roble o Lollos puede ser superior a un 90%. Para lograrlo, se debe emplear idealmente riego presurizado, sin caer en déficit ni en exceso, para no afectar la calidad. Es importante, además, realizar una nutrición balanceada del cultivo controlando el manejo del nitrógeno. En este sentido, la pérdida de rendimiento de lechugas que se consideran fallas al arraigamiento post-trasplante, pudriciones, entre otras, fluctuó en términos de ensayos entre un 5 y un 8 %. Además, se puede proyectar para estas variedades el aumento en la densidad de plantas por metro cuadrado, llegando a 14 unidades (100.000 plantas/ha) sin afectar la calidad de las lechugas.

La producción total, en términos de kg/m², se muestra en la **Tabla 2**. Existe un comportamiento varietal que es variable para las distintas épocas del año, destacándose Cedar y Kibrillen en primavera; Cedar en verano; y Bartimer y Cedar para otoño e invierno. De acuerdo a estos antecedentes, Cedar es una variedad que puede ser cultivada todo el año, logrando buenos rendimientos.

Tabla 2. Producción total de variedades de lechugas tipos Lollos y Hoja de Roble evaluada en diferentes épocas del año.

	Producción Total (kg/m ²)			
	Primavera	Verano	Otoño	Invierno
Bartimer	3,6	3,2	6,5	4,7
Levistro	3,0	2,8	6,0	4,5
Soltero	2,0	1,1	3,2	2,6
Navara	3,2	2,1	4,5	3,7
Cedar	4,7	4,5	6,3	5,0
Kibrillen	4,5	3,3	---	---
Versai	---	---	4,9	3,2



Figura 3. Ensayos de variedades comerciales de distintos tipos de lechugas de hojas sueltas. INIA La Platina.

Lechugas que acogollan o forman cabeza

Las lechugas que forma cabeza pertenece taxonómicamente a la especie *Lactuca sativa* var. *crispa* (dentro del grupo varietal *capitata*). En nuestro país se conocen como “lechugas escarolas” pero pertenecen al subtipo Iceberg las que forman una cabeza compacta.

En INIA La Platina se evaluó el comportamiento productivo de distintas variedades Iceberg en época primaveral. Al igual que en las lechugas de hojas sueltas anteriormente descritas, el objetivo fue conocer su ciclo productivo y su caracterización morfológica, aportando información que puede ser de utilidad tanto para los productores como la agroindustria.

El establecimiento de las variedades fue en mesas de un metro de ancho regadas por dos cintas. Cada cinta con emisores distanciados a 20 cm entre ellos y con un caudal de 1 L/h por emisor. Se consideró una población de 12 plantas por metro cuadrado, lo que otorga una densidad de población de 85.716 plantas por hectárea (**Figura 4**). El ciclo productivo, es decir, el tiempo que transcurrió desde trasplante a cosecha, fue de 58 días.



Figura 4. Ensayos de variedades comerciales de distintos tipos de lechugas Iceberg. INIA La Platina.

Las variedades evaluadas fueron Trojan y Corona (NUNHEMS), Monterrey (SLA), Journey y Vandenberg (SYNGENTA).

Los parámetros de rendimiento evaluados fueron peso sucio, peso limpio y producción total (kg/m²). Los parámetros de rendimiento en las distintas variedades Iceberg no presentaron diferencias entre ellas, lo que demuestra que son variedades bastante estables productivamente para la época evaluada como se aprecia en la **Tabla 3**.

Tabla 3. Parámetros de rendimiento evaluados en diferentes variedades de lechugas Iceberg en primavera media estación. INIA La Platina.

Variedad	Peso sucio (g)	Peso limpio (g)	Producción total (kg/m ²)
Trojan	1.006,9 a	736,3 a	8,1 a
Corona	1.105,6 a	742,3 a	8,0 a
Monterrey	1.154,7 a	914,8 a	9,6 a
Journey	1.132,8 a	885,1 a	9,3 a
Vandenberg	1.258,4 a	962,5 a	10,3 a
MEDIA	1.131,7 (n.s)	848,2 (n.s)	9,1 (n.s)
CV	12,0	14,6	13,9

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

En relación al peso sucio, es decir, tal cual es cortada en campo al momento de la cosecha todas las variedades sobrepasan los 1.000 g (1 kg) siendo este rendimiento muy atractivo. Esta presentación normalmente es utilizada para llenar cajas "plataneras" con un número variable entre 15 a 20 unidades que son comercializadas especialmente en mercados mayoristas y ferias libres.

Con respecto al peso limpio se obtuvieron pesos sobre los 700 g lo que permite diferenciar el producto según mercado objetivo. En el caso de mercados más formales como los supermercados, formalidad referida a la exigencia de trazabilidad del producto y asegurar la inocuidad del producto, este peso limpio alcanzado por la mayoría de las variedades, significa la presentación del producto en bolsas individuales logrando muchas veces un mejor precio. En términos generales, entre un 15 a 20% de hojas sucias se eliminan para dejar la lechuga en una presentación adecuada para este tipo de mercado.

La producción en términos de hojas de lechugas útiles para procesamiento, parámetro que puede ser de utilidad para la agroindustria fluctuó entre 8 a 10 en kg/m² lo que significa rendimientos entre 80 a 100 ton/ha.

Además, con el objetivo de generar información de utilidad para la industria del procesamiento se realizó una caracterización morfológica considerando otros parámetros de calidad.

En la **Tabla 4**, se aprecia que sólo el ancho de la lechuga mostró diferencias entre las variedades, siendo Corona (NUNHEMS) la que destaca con 16 cm y Trojan (NUNHEMS) la más baja con 14,2 cm. El resto de las variedades para esta variable no se diferencian entre ellas. Por otra parte, el alto de la lechuga no determinó diferencia entre las distintas variedades siendo en promedio 13 cm. En ambos parámetros, todas las variedades presentaron un buen potencial de crecimiento.

La parte interna de la lechuga, denominada corazón para efectos de la evaluación, no presentó diferencias entre las distintas variedades ya sea para alto y ancho, alcanzando valores promedios de 10,3 y 12,6 cm respectivamente.

Tabla 4. Caracterización morfológica de diferentes variedades de lechugas Iceberg evaluadas en época de primavera media estación. INIA La Platina.

Variedad	LECHUGA		CORAZÓN		COLOR			Forma Interior
	Ancho (cm)	Alto (cm)	Alto (cm)	Ancho (cm)	Externo	Interno	Consistencia	
Trojan	14,2 c	13,2 a	10,6 a	11,8 a	Verde	Amarillo	Medio	Crespa
Corona	16,0 a	12,5 a	9,2 a	12,6 a	Verde	Amarillo	Medio	Crespa
Monterrey	14,7 bc	13,9 a	10,4 a	13,2 a	Verde	Amarillo	Duro	Crespa
Journey	14,6 bc	13,8 a	11,3 a	12,9 a	Verde	Amarillo	Duro	Crespa
Vandenberg	15,7 ab	13,8 a	10,3 a	12,7 a	Verde	Amarillo	Duro	Crespa
MEDIA	15,0	13,3 (n.s)	10,4 (n.s)	12,6 (n.s)				
CV	4,8	5,0	7,8	6,1				

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

Las variables como color interno y externo, consistencia y forma interior fueron consideradas en esta caracterización.

El color está bien definido y estabilizado para todas las variedades y época evaluada, siendo todas de hojas externas verdes y las hojas nuevas que forman el corazón amarillas.

La consistencia varió de media a dura en las distintas variedades, carácter que está vinculado a la compacidad de las hojas, es decir, que tan apretadas están las hojas internamente, lo que define muchas veces el rendimiento en kg/lechuga y en procesamiento de la agroindustria determina la facilidad para soltar y cortar las hojas.

La forma interior de todas las variedades fue clasificada como crespa, no observándose diferencias entre ellas.

Parte 3.

Aspectos nutricionales del cultivo de lechuga

Fabio Corradini S.

Ingeniero Agrónomo Magíster

fabio.corradini@inia.cl

Carlos Blanco M.

Ingeniero Agrónomo Magíster.

cblanco@inia.cl

Victoria Muenza Z.

Ingeniero Agrónomo

victoria.muenza@inia.cl

El trabajo ejecutado en INIA La Platina se focalizó en validar el manejo nutricional en el cultivo de lechuga, tanto en condiciones de hidropónicas como campo, a fin de obtener información que permita optimizar el uso de fertilizantes y promover aplicaciones racionales de nutrientes apoyadas en coeficientes de extracción, para evitar la generación de contaminación ambiental en napas freáticas.

En este marco, se realizaron dos ensayos. El primero tuvo por objeto obtener curvas de absorción de nutrientes para los tipos de lechuga Iceberg, de hojas suelta “marina” y costina realizado en condiciones hidropónicas. El segundo fue realizado en campo y tuvo por objeto evaluar las dinámicas de absorción y requerimiento de nutrientes del cultivo de lechuga costina en dos condiciones edafoclimáticas contrastantes de la Región de Valparaíso con agricultores que participan en los Programas de Grupos Transferencia Tecnología (GTT) supervisados por INIA La Cruz.

Curvas de extracción de nutrientes en condiciones hidropónicas

El ensayo en condiciones hidropónicas consideró evaluar la extracción de nutrientes en las épocas de primavera y verano. Para la época de primavera se evaluó los tipos de lechuga conocidas Iceberg (escarola) y Lollo bionda (marina) y para verano la lechuga Romana (costina). La absorción de nitrógeno presentó

un comportamiento lineal en los cultivos de primavera, mientras que la absorción de fósforo, potasio, calcio y zinc tuvo un comportamiento doble sigmoideo. La absorción de otros nutrientes magnesio, manganeso y cobre se ajustó a un modelo exponencial.

Lo anterior significa, en primer lugar, que fósforo, potasio, calcio y zinc son requeridos en mayor medida por el cultivo durante el tercio medio del periodo de crecimiento, siendo necesario el aporte nutricional antes de alcanzar el 50% del tamaño final del cultivo. En segundo lugar, que el suplemento de nitrógeno es necesario durante todo el periodo del cultivo, incrementando su absorción proporcionalmente al incremento en peso de la lechuga.

Por último, se establece que magnesio, manganeso y cobre son necesarios durante todo el periodo de crecimiento del cultivo. Es importante recalcar que estas relaciones, si bien son verdaderas, corresponden a la absorción neta de nutrientes en condición hidropónica, por lo que es imprescindible considerar el aporte del suelo a la hora de llevar esta experiencia a campo.

La experiencia realizada también ha servido para generar una tabla con valores referenciales de contenido de nutrientes (**Tabla 5**). Esta puede ser utilizada para evaluar el éxito de un plan de fertilización en campo. Al finalizar el cultivo, el contenido total de nutrientes puede ser analizado para una muestra de lechugas evaluando si la concentración obtenida es similar a la referencia informada, ajustando de este modo futuros planes de fertilización.

Tabla 5. Contenido mineral de macro (%) (N, P, K, Ca) y micro nutrientes por tipo de lechuga (media y desviación estándar).

Tipo	% N	% P	% K	% Ca
Iceberg	4,20 ±0,12	0,485 ±0,029	4,65 ±0,34	1,49 ±0,17
Lollo bionda	4,27 ±0,37	0,443 ±0,026	5,48 ±0,91	1,02 ±0,16
Romana	2,33 ±0,23	0,246 ±0,016	2,41 ±0,29	0,708 ±0,087

Tipo	% Mg	Zn (mg/kg)	Mn (mg/kg)	Cu (mg/kg)
Iceberg	0,450 ±0,036	55,8 ±4,2	21,0 ±3,2	6,50 ±1,00
Lollo bionda	0,355 ±0,062	43,5 ±3,9	19,5 ±7,9	4,75 ±0,96
Romana	0,274 ±0,046	14,9 ±2,9	14,0 ±3,1	4,38 ±0,74

A partir de la información presentada en la **Tabla 5**, es posible concluir que el contenido final de nutrientes es diferente para cada tipo de lechuga estudiada. Esto nos indica que es relevante adaptar el manejo nutricional del cultivo, en función del tipo de lechuga a cultivar.

Por otra parte, los resultados de la experiencia indican que la época del año influye en la absorción de nutrientes, presentándose mayores diferencias entre el tipo Romana (verano) y los tipos Iceberg y Lollo bionda (ambas de primavera). Al respecto, la acumulación de materia seca de los tres tipos de lechuga presentaron similares características y es predicho de forma suficiente por la acumulación de días grado. Esto significa que los planes nutricionales también deben ser ajustados en función de la tasa de crecimiento del cultivo que variará con la época del año.

Dinámicas de absorción y requerimiento de nutrientes en campo

Se realizó un seguimiento del cultivo de lechuga Romana en las comunas de Casablanca y la localidad Lo Zárate en la Región de Valparaíso. El objetivo del ensayo fue evaluar las prácticas de manejo de los agricultores, por lo que este consideró un monitoreo de la condición del suelo y nutricional de las plantas durante el periodo productivo. La localidad de Lo Zárate presentó un crecimiento más lento del cultivo, producto de las menores temperaturas y un mayor número de días nublados (3 g de materia seca por día, contra 5 g en Casablanca).

El cambio, en la tasa de crecimiento del cultivo no afectó el contenido final de nutrientes, el cual fue similar para ambas localidades. Por otra parte, el contenido final de nutrientes fue similar al obtenido en condiciones hidropónicas, validando los valores presentados en la **Tabla 5**. Esto indica que el cultivo de ambos productores no tuvo deficiencias nutricionales. Sin embargo, esto no significa que los productores hayan realizado una fertilización óptima. En efecto, en la **Tabla 6** se observan los valores de nitrógeno disponible residual en el suelo (una vez que el cultivo fue cosechado), los cuales fueron de 260 y 264 mg/kg para Casablanca y Lo Zárate, respectivamente, cifras extremadamente altas y que evidencian una fertilización en exceso.

Tabla 6. Contenido inicial y final de nitrógeno disponible en el suelo a tres profundidades en cultivo de lechugas costinas en las localidades de Casablanca (CB) y Lo Zarate (LZ), Región de Valparaíso.

Localidad	Profundidad (cm)	N (mg/kg)	NO ₃ ⁻ (mg/kg)	NH4 ⁺ (mg/kg)
<i>Inicio (09-11-2016)</i>				
Casablanca	0-25	80	-	-
	25-75	10	-	-
	50-75	10	-	-
Lo Zárate	0-25	65	-	-
	25-75	-	-	-
	50-75	-	-	-
<i>Final (10-03-2017)</i>				
Casablanca	0-25	260	255	5
	25-75	271	265	6
	50-75	127	123	4
Lo Zárate	0-25	264	247	17
	25-75	109	99	10
	50-75	34	30	4

Por otra parte, en profundidad, en muestras de suelo tomadas a más de 50 cm donde la raíz de la lechuga no superará los 40 cm, se midieron cantidades de nitrógeno disponible de 127 y 34 mg/kg para Casablanca y Lo Zárate, lo cual está indicando que hay pérdidas de este nutriente por percolación profunda. Claramente, estas cantidades, dada su profundidad, no pueden ser extraídas por una rotación de cultivos de lechuga. En consecuencia, esta acumulación puede ir en aumento con dos implicancias directas: (1) potencial contaminación de la napa freática con nitrógeno y; (2) pérdida de dinero por un gasto inútil en fertilizantes.

La experiencia realizada indica que es necesario ajustar a la baja los planes tradicionales de fertilización si se quiere optimizar el rendimiento económico del cultivo. Para esto, será necesario evaluar fuentes fertilizantes y prácticas de manejo que permitan reducir el uso de insumos, sin generar una disminución en la producción. Esto, sumado a un apoyo a los productores mediante actividades de extensión sobre manejo de agua y nutrición del cultivo.

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 (NO_3^-) y amonio (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 (NH_4^+). El N absorbido como nitrato (NO_3^-) por la planta es rápidamente reducido a ión amonio (NH_4^+) a través de un paso intermedio que es la generación del ión nitrito (NO_2^-) mediante la acción de la enzima nitrato reductasa, la cual contiene molibdeno (Mo). La principal diferencia entre el NO_3^- y 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 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 respeto 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 ²	Kg/m ²
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/m² de lechugas se pueden determinar siendo los tratamientos con mayores aportes de nitrógeno, 3 y 6 g/N/lechuga alcanzaron pesos sobre 10 kg/m² 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.

Parte 5.

Manejo del riego para optimizar el rendimiento comercial de lechugas

Alejandro Antúnez B.

Ingeniero Agrónomo Ph.D.

aantunezb@inia.cl

Sofía Felmer E.

Ingeniero Agrónomo

sfelmer@inia.cl

Marcelo Vidal S.

Ingeniero Agrónomo

marcelo.vidal@inia.cl

Aspectos generales

La lechuga es la hortaliza con mayor tasa de consumo e importancia económica del mundo (Coelho *et al.*, 2005). La lechuga, después del choclo y el tomate, es la hortaliza de mayor superficie en Chile, representando en promedio de los últimos 7 años el 9% de la superficie total; lo que equivale, aproximadamente, a unas 6.900 hectáreas anuales (Saavedra, 2017).

La Región Metropolitana cuenta con una superficie de 15.403,2 kilómetros cuadrados, que representa únicamente el 2% del territorio nacional. A pesar de esto, concentra poco más del 40% de la población nacional. En la Región, la superficie cultivada con lechuga es de 1.830 hectáreas, representando un 25,7% de la superficie nacional (Odepa 2019). El cambio climático ha influenciado en la distribución e intensidad de las precipitaciones en la zona central de Chile, condicionando la disponibilidad del recurso para la agricultura (Cifuentes y Meza, 2008).

La cantidad de agua de riego aplicada es un factor importante para obtener el máximo rendimiento por hectárea, el crecimiento y el rendimiento del cultivo de lechuga aumenta en respuesta a la aplicación de agua (Sánchez, 2000). Se ha reportado que la lechuga es muy sensible al déficit o exceso de agua, debido al crecimiento superficial de las raíces en el suelo. Por tal motivo, programar la

aplicación del riego es muy importante en el cultivo, ya que el exceso de riego genera enfermedades, mientras que el déficit genera estrés y reducción del rendimiento comercial (Yazgan *et al.*, 2008). Van Bruggen *et al.*, (1990), señala que el rendimiento del cultivo de lechuga depende de múltiples factores como la temperatura, la humedad ambiental y la humedad del suelo.

El adecuado manejo del agua de riego tiene gran relevancia en la horticultura nacional, determinando la producción y calidad que define el retorno por ventas al productor (Saavedra, 2017). En relación al riego, se debe considerar, al menos, la disponibilidad de agua, la especie y variedad, la densidad de plantación, la calidad química y biológica del agua, los períodos fenológicos críticos de la especie y el instrumental que ayude a la programación y control del riego.

Este capítulo, busca orientar al productor de lechuga en las interrogantes básicas que determinarán el manejo y programación del riego para lograr adecuados niveles de producción y calidad.

En términos generales, el cultivo de lechuga requiere suficiente agua para reponer la humedad perdida por evapotranspiración (ET). El riego también servirá para enfriar el cultivo por medio de la transpiración, especialmente en días muy caluroso, además de permitir la lixiviación de sales que se acumulan en la zona de raíces.

La mayor cantidad de agua que se requiere en la producción de lechugas se utiliza en los últimos 30 días del cultivo, cuando las tasas de evapotranspiración son máximas, dependiendo la época de cultivo. Como se revisará en este capítulo, la cantidad de agua que requiere la lechuga dependerá de las condiciones meteorológicas durante el ciclo de cultivo, de las propiedades físicas de retención de agua en el suelo, y de las prácticas de riego. El exceso o déficit de agua aplicado al cultivo, tendrá un efecto marcado sobre la calidad y rendimiento comercial en el cultivo, como se estudió extensivamente en lechugas tipo Iceberg en la Región Metropolitana.

Disponibilidad y calidad de agua en lechugas

La disponibilidad de agua determinará la superficie a establecer con lechugas. En el diseño de riego en Chile, en general, se proyectan sistemas que cuenten con una adecuada seguridad de riego. Para ello, se desarrolla un ejercicio estadístico que permite determinar el “caudal disponible con 85% de probabilidad

de excedencia" (Q85%). En términos sencillos, este valor representa el volumen de agua por unidad de tiempo que posee el predio en al menos 85 años en una serie de 100.

Una adecuada determinación de la disponibilidad de agua, determinará en gran parte el éxito de la producción de lechugas. Como en todas las hortalizas, la escasez de agua de riego afectará fuertemente el rendimiento y calidad del cultivo. En años escasez de agua, se recomienda ajustar la superficie regada a la disponibilidad real de agua. En términos generales, la disponibilidad de agua necesaria para cultivar una hectárea de hortalizas en rotación (considerando especies de diferente requerimiento hídrico) equivale a aproximadamente 1 L/s. Es decir, un productor que tenga un pozo noria de caudal 3 L/s, puede cultivar y regar adecuadamente una superficie de 3 hectáreas de hortalizas regadas por goteo. Este requerimiento tenderá a aumentar en zonas en que se requiera regar en exceso para lixiviar sales y a disminuir en zonas donde esta práctica no sea necesaria por la ocurrencia de lluvias invernales.

Calidad química y biológica del agua de riego

Los aspectos de calidad del agua de riego se relacionan con la conservación del recurso suelo y la mantención del equipo de riego en óptimas condiciones. También, la calidad química y microbiológica del agua adquiere especial relevancia de manera de responder a mercados cada vez más exigentes, sometidos a regulaciones de trazabilidad en la cadena productiva.

En el agua de riego, pueden estar disueltas una serie de cationes (calcio, Ca^{2+} ; sodio, Na^+ , magnesio, Mg^{2+} , potasio, K^+) y aniones (cloruro, Cl^- ; sulfato, SO_4^{2-} ; carbonato, CO_3H^- ; bicarbonato, CO_3^{2-}) que se van acumulando en el perfil de suelo. El uso regular de aguas salinas, contribuye a aumentar la salinización del suelo y la consiguiente disminución de la productividad del cultivo. La salinización del suelo determina el incremento del potencial osmótico del mismo, con lo cual se dificulta la capacidad de absorción de agua por parte de las raíces de una planta. Además, salinidad con alto contenido de sodio y bajo en calcio, induce problemas de estructuración del suelo, que reduce la infiltración de agua en el suelo y puede llegar a causar obstrucción en equipos de riego localizado y emisores.

La evaluación de la calidad del agua, se hace por medio de un análisis químico, físico y microbiológico, a partir de una muestra de agua de riego. Los principales parámetros que definen el riesgo del uso de un determinado tipo de agua son el

contenido salino (C) expresado en g/L y la conductividad eléctrica (CE) en dS/m ($C = 0,64 \times CE$). A partir de estos parámetros se evalúa el riesgo de salinización de un suelo regado, siguiendo las recomendaciones de FAO (Ayers *et al.*, 1985) incluidas en la **Tabla 13**.

Tabla 13. Niveles de riesgo de salinización a partir del contenido salino y la conductividad eléctrica del agua de riego.

Contenido salino (g/L)	Conductividad eléctrica (dS/m)	Riesgo
< 0,45	< 0,7	Ninguno
0,45 < C < 2,0	0,7 < CE < 3,0	Ligero a moderado
> 2,0	> 3,0	Alto, severo

Nota: (Ayers *et al.*, 1985).

En general, con contenidos mayores a 2 g/L o con conductividad eléctrica mayor a 3 dS/m, los problemas de salinidad pueden ser muy graves. En este caso, deben implementarse medidas de manejo tales como lavado frecuente de sales.

Se ha comprobado que con salinidad en el agua por sobre 1 dS/m, reduce el crecimiento y rendimiento del cultivo de lechugas y puede contribuir a la formación de un área salinizada en la superficie del suelo. Por su parte, la salinidad por sobre 2,1 dS/m en la pasta saturada del suelo puede reducir el rendimiento en lechugas. En estos casos, se necesitará aplicar una fracción de agua adicional a los requerimientos de evapotranspiración (fracción de lixiviación) que puede ascender a 30% o más de la demanda evapotranspirativa. Cabe señalar que el cultivo de lechugas es más sensible a la salinidad durante la germinación y transplante.

Además del criterio físico-químico, la calidad microbiológica del agua es de gran importancia tanto para el mercado nacional como internacional. La Norma Chilena (NCh 1333) clasifica como apta para riego, al agua con concentraciones menores a 1.000 coliformes totales por 100 mL, destinadas al cultivo de verduras y frutas que se desarrollen a ras de suelo y que habitualmente se consumen en estado crudo (Nissen, *et al.*, 2000). Este criterio se ajusta al de la Organización Mundial de la Salud (OMS), aunque difiere de la legislación de países desarrollados. Por ejemplo, la norma japonesa considera agua apta para riego al agua con concentraciones menores a 50 coliformes totales por 100 mL de agua, en tanto la norma del Estado de California debe contener menos de 2,2 coliformes totales por 100 mL para el riego de cultivos.

Demanda de agua en el cultivo de lechuga

Básicamente, la cantidad de agua que necesita un cultivo de lechugas dependerá de la capacidad del suelo para retenerla, la cantidad de precipitación, y de la tasa de evapotranspiración de la superficie cultivada.

En cuanto a la capacidad de retención del suelo, para evaluar la cantidad de agua aprovechable para las plantas interesa conocer la fracción de agua que está entre capacidad de campo (CC) y punto de marchitez permanente (PMP). Capacidad de campo es el contenido de agua que queda retenida en el suelo luego de que éste se ha regado y dejado drenar libremente por un lapso de 24 a 48 horas y se mide en laboratorio sometiendo la muestra de suelo saturada a una succión de 1/3 de atmósfera.

El punto de marchitez permanente representa el límite inferior del agua retenida por el suelo disponible para la planta, y se mide en laboratorio sometiendo la muestra de suelo saturada a una succión de 15 atmósferas. De esta forma, descontando el valor de PMP del valor de CC del suelo, es posible calcular la cantidad de agua que retiene un suelo, la que multiplicada por la densidad aparente del suelo (D_a) y la profundidad de suelo ($Prof$), permite determinar la humedad aprovechable del suelo [$HA = (CC - PMP) \times D_a \times Prof$].

En general, los suelos agrícolas que menos agua retienen son los del tipo arenoso, que pueden almacenar del orden de 40 mm de agua en un metro de profundidad de suelo. Un suelo que tenga poca retención de humedad, requerirá riegos frecuentes, con láminas de agua relativamente menores a reponer (tiempos de riego cortos). Por otro lado, suelos arcillosos finos pueden almacenar hasta 200 mm de agua en un metro de suelo, permitiendo riegos de menor frecuencia, pero con mayor carga de agua (tiempos de riego largos).

En términos fisiológicos, a medida que el suelo se deseca, el agua remanente no está igualmente disponible para la planta. La mayor disponibilidad de agua ocurre cuando el suelo está a capacidad de campo, disminuyendo gradualmente a medida que el suelo pierde humedad.

Las lechugas son extremadamente sensibles al estrés hídrico. Independientemente del tipo de riego que se utilice, la calidad y el rendimiento del cultivo se verá afectado si la oportunidad de riego se retrasa o si la humedad en el suelo cae a valores muy bajos. El efecto más evidente del estrés hídrico será la reducción del

tamaño y engrosamiento de las hojas de la lechuga, con una reducción notoria en la calidad del producto que dificultará su comercialización.

Se ha demostrado que en presencia de virus, el estrés hídrico puede agravar la condición del cultivo. En riego por surcos, para evitar el detrimento fisiológico de las plantas de lechuga por falta de agua fácilmente disponible, el riego se efectúa cuando se ha agotado cerca del 30% del agua aprovechable. En riego localizado en cambio, se recomienda el uso de riego frecuentes (agotamiento del 10 a 20% del agua aprovechable en el suelo), evitando la saturación del suelo que puede gatillar el ataque de patógenos que afecten al cuello de la planta.

La evapotranspiración del cultivo (ET) estará determinada por factores propios del clima de la zona y por aspectos específicos relacionados con la variedad, período fenológico, densidad de plantación y manejo del cultivo. Para el diseño de un sistema de riego, se debe conocer la evapotranspiración del cultivo de referencia de la zona (ET_o). Al respecto, existen publicaciones nacionales que entregan valores medios mensuales de ET_o para las principales localidades del país. Debe tenerse especial precaución para que el sistema satisfaga los requerimientos de ET_c de los meses de máxima demanda del cultivo.

A nivel de campo, y con el fin de registrar la ET_o de un determinado sitio, se recurre usualmente a dos tipos de medición: mediante el cómputo diario de ET_o a partir de registros meteorológicos o a partir de la evaporación de bandeja. Cuando se decide implementar una estación meteorológica para el cómputo de la ET_o, se requiere registrar radiación solar, temperatura, presión de vapor o humedad relativa y velocidad del viento. Estos datos se integran generalmente en la ecuación FAO 56 Penman-Monteith. En Chile, existe una amplia red de estaciones meteorológicas que pueden revisarse en el sitio **www.agromet.cl**.

Coeficientes de cultivo

Para determinar la demanda del cultivo (ET_c), es necesario multiplicar el término ET_o por el valor del coeficiente de cultivo (K_c) para el tipo, variedad y densidad de plantación de la lechuga. Existen varias fuentes que reportan coeficientes de cultivo, aunque el propio productor puede validar y ajustar sus propios K_c de acuerdo a su propia experiencia y manejo específico.

El coeficiente de cultivo según la Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (FAO) para lechugas es 0,7 para la etapa inicial, 1,0 para la etapa media y 0,95 para la final (Allen *et al.*, 1998).

En la **Tabla 14**, se presenta un resumen de la duración de las etapas fenológicas publicadas en FAO 56, para lechuga (Allen *et al.*, 1998), con diferente propósito, en dos áreas agroecológicas.

Tabla 14. Duración de la etapa fenológica para lechuga (días).

Zona	Inicial	Desarrollo	Media	Final	Total
Tipo Mediterránea	30	40	25	10	105
Tipo Árida	25 días	35	30	10	100

Nota: (Allen *et al.*, 1998).

En términos generales, para optimizar el manejo del riego en lechugas, es conveniente realizar una programación preliminar basada en la mejor estimación que se tenga disponible de la ET_c , obtenida de la EB o ET_o , calculada a partir de un evaporímetro de bandeja o de una estación meteorológica y de un K_c adecuado a las condiciones agronómicas con que se maneja el cultivo. Una vez aplicado cierto criterio de riego, en terreno es conveniente apoyar la programación del riego con algún método o instrumental para decidir la aplicación, duración y frecuencia de riego.

La necesidades netas (NN) de riego estimadas para la zona central fluctúan en general entre 1.500 y 4.500 m³/ha, dependiendo de la zona, la variedad y la pluviometría del año de cultivo.

A partir de las necesidades netas de un cultivo, es posible determinar las necesidades brutas de riego, al considerar la eficiencia del sistema de riego ($NB = NN / \text{Eficiencia de riego}$). Por ejemplo, considerando una necesidad neta de 2.000 m³/ha, si se riega por goteo (eficiencia del 90%) se requerirán 2.222 m³/ha de agua de riego. En la misma zona de cultivo y variedad, regando por surcos (eficiencia del 45%) se requerirán 4.444 m³/ha.

Está demostrado que la tecnificación del riego mejora la eficiencia del uso del agua en forma considerable. Tradicionalmente, la lechuga se ha regado por surcos, con una eficiencia de riego estimada en 45%. Sin embargo, evaluaciones de campo indican que este nivel de eficiencia difícilmente se alcanza en riego por surcos y que en la práctica este valor fluctúa entre 25% y 35% (Antúnez *et al.*, 2015).

Tecnificación del riego en el cultivo de la lechuga

Para mejorar la eficiencia de riego en surcos, el principal cuidado será el control del tiempo de aplicación de agua de riego, asegurando que el agua llegue a la profundidad de raíces de las lechugas (no superior a 30 centímetros) a lo largo de todo el surco de riego. En la práctica, un riego por surcos eficiente debe diseñarse antes de la siembra o transplante, de manera de ajustarse al largo de surcos recomendado, lo que depende de la velocidad de infiltración de agua en el suelo, lo que se relaciona directamente con la textura de suelo.

En general, en lechugas se recomienda el uso de surcos, camellones o mesas cortos (30 a 40 metros) en suelos arenosos y relativamente largos (60 a 80 metros) en suelos arcillosos. En este cultivo es importante no sobre saturar las mesas o surcos de riego ya que el exceso de agua favorecerá el desarrollo de pudriciones en el cuello de la planta. Cuando la salinidad sea un problema, el transplante de la lechuga en el medio del camellón (evitando la parte más alta), permitirá que las sales afecten en menor grado al cultivo. También se ha probado que el riego de surcos alternadamente, favorece el desplazamiento de sales evitando afectar al cultivo.

En Chile, uno de los principales problemas detectados en riego por surcos es la falta de acondicionamiento mínimo del terreno para el riego superficial, que incluya el emparejamiento o nivelación del terreno. En general, movimientos de tierra de hasta 300 m³/ha son considerados viables económicamente, con el objetivo de dejar el suelo con una pendiente uniforme que facilite la conducción de agua por las regueras y el escurrimiento del agua a lo largo del surco de riego. Una tecnificación del riego más avanzada, en riego superficial, es el reemplazo de acequias de cabecera por un sistema de mangas plásticas o tuberías a baja presión.

En las últimas décadas, el cultivo de lechugas incluye el riego por goteo, con eficiencias potenciales del orden de 90%. Esta tecnología permite al agricultor prácticamente doblar la superficie que cultivaba antes por regar por surcos. Además, mediante el riego localizado, el productor puede controlar de forma eficiente la cantidad de agua aplicada, pudiendo implementar sistemas de inyección de fertilizantes e incluso pesticidas disueltos en la línea de riego. La incidencia de malezas y el control de plagas y enfermedades se ve favorecido al poder controlar el agua aplicada o dirigirla hacia la zona de raíces, todo esto influyendo positivamente en la calidad del producto a cosechar.

Se pueden implementar diferentes diseños de plantación, asociados al riego por goteo o cintas. Por ejemplo, una línea de goteo puede instalarse entre dos hileras de plantas o bien tres líneas de goteo pueden instalarse entre seis hileras de plantas, con múltiples combinaciones intermedias. Se recomienda cuidar las líneas de goteo durante la cosecha, para su reúso en el siguiente cultivo. Asimismo el espesor de la cinta determinará la duración de este elemento siendo las más delgadas (3 mil) de menor costo pero de menor duración. En países desarrollados, se ha probado que cintas de 12 mil de espesor pueden ser útiles para 8 a 12 ciclos de lechuga (3 a 4 años aproximadamente).

Monitoreo y control del riego

La programación del riego generalmente se basa en la medición directa o en cálculos de balance de agua en el suelo. En estos últimos, se efectúa un balance en el que el cambio en contenido de agua en el suelo en un determinado tiempo, está dado por la diferencia de entradas de agua al sistema (riego más precipitación) y las pérdidas (escorrentía superficial más drenaje más evapotranspiración). Existe una amplia disponibilidad de instrumentos y equipos que permiten controlar el contenido de agua en el suelo: tensiómetros, bloques de yeso y otros basados en capacitancia. Es conveniente recordar que el suelo es heterogéneo y se requerirá de un buen número de sensores para representar en forma adecuada el contenido de agua en el suelo.

Se debe comprobar que el agua, en la labor del riego ha sido capaz de infiltrar adecuadamente en el perfil de suelo, en toda la extensión del surco y a la profundidad en que crecen las raíces. Se pueden plantear diferentes técnicas de monitoreo, siendo la más elemental la exploración del suelo mediante calicatas o barreno, verificando por medio del tacto el grado de humedad del suelo. También se puede emplear el tensiómetro que es un instrumento que mide la fuerza con que está siendo retenida el agua en la matriz del suelo. Este instrumento, cuando marca entre 0 y 5 centibares (cb), indica que el suelo está recién regado y se encuentra cercano a saturación. El suelo requiere riego en el cultivo de la lechuga, si su lectura está entre 10 y 15 cb en riego por goteo o cuando marca entre 25 y 30 cb en riego por surcos.

Técnicas de monitoreo más sofisticadas se basan en la capacitancia del suelo, tales como sondas FDR (Frequency Domain Reflectometry) y TDR (Time Domain Reflectometry). La sonda capacitiva está compuesta de una barra sobre la cual está impreso un circuito eléctrico que conecta sensores. Estos se pueden montar

cada 10 centímetros hasta una profundidad de unos 30 cm en el caso de lechugas. Una estación de monitoreo puede constar de una dos o tres sondas, que registran el contenido de agua en el suelo a diferentes profundidades de suelo.

Cabe destacar que todos los sensores de agua en el suelo deben instalarse en la zona del bulbo húmedo, cercano al lateral o cinta de riego.

Efecto del riego sobre la calidad comercial de lechugas tipo Iceberg

Para estudiar el efecto del riego sobre la calidad comercial de lechugas tipo Iceberg *Lactuca sativa* var. crispa, se efectuaron ensayos en dos temporadas. Ambos ensayos se establecieron en mesas de 1 m de ancho, con cuatro filas de lechugas espaciadas a 30 cm entre plantas, con dos líneas de riego con goteros correspondiente a los distintos tratamientos.

El suelo donde se realizaron los ensayos era de textura franco arcilloso con escasa pedregosidad y para la programación del riego se utilizó el coeficiente de cultivo reportados en FAO 56 (Allen *et al.*, 1998).

En las líneas de cada mesa bajo tratamiento, se instalaron goteros autocompensados antidrenantes marca Netafim, insertados en líneas de polietileno de 16 mm, espaciados a 20 cm entre sí, definiéndose cuatro tratamientos de riego:

- T1: Reposición del 40% de la ETc (1,2 L/h)
- T2: Reposición del 67% de la ETc (2L/h)
- T3: Reposición del 100% de la ETc (3L/h)
- T4: Reposición del 130% de la ETc (4L/h)

Las principales conclusiones derivadas de este ensayo se exponen a continuación.

En la **Tabla 15**, se presenta el peso limpio promedio de las lechugas obtenidos por los distintos tratamientos de riego.

En la primera temporada de cultivo (2016/2017), la cantidad de agua aplicada, afectó significativamente el peso de las lechugas bajo el tratamiento T1, resultando con menor peso que T2, T3 y T4, donde no se encontraron diferencias significativas entre estos tratamientos. Estos resultados, son similares a los publicados por Acharya *et al.*, (2013) donde el menor peso de lechugas, se obtuvo

Tabla 15. Peso limpio de lechugas Iceberg bajo distintos tratamientos de riego, en dos temporadas de evaluaciones. INIA La Platina.

Tratamiento	Peso Limpio (g)	
	2016/2017	2018
T1 (40%)	332,2 a $\pm 22,7$	435,6 a $\pm 21,4$
T2 (67%)	764,2 b $\pm 22,8$	440,5 a $\pm 21,5$
T3 (100%)	688,7 b $\pm 24,5$	432,8 a $\pm 21,9$
T4 (130%)	698,5 b $\pm 25,2$	427,8 a $\pm 22,1$

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

con déficit de riego. También Tarqui *et al.*, (2017) encontró que el peso fresco promedio de lechugas, no fue distinto entre los tratamientos de 75% y 100% de la ET0 pero sí fue afectada con la aplicación 50%.

En la temporada 2018, no se encontraron diferencias significativas entre los tratamientos de riego ($p = 0,9812$). Esto pudo deberse a las condiciones climáticas (lluvias) que afectó la respuesta del cultivo a los tratamientos de riego deficitario. El diámetro promedio de lechugas bajo distintos tratamientos de riego se presenta en el **Tabla 16**.

Tabla 16. Efecto de distintas cargas de agua en el diámetro promedio de lechugas tipo Iceberg bajo distintos tratamientos de riego. INIA La Platina.

Tratamiento	Diámetro (mm)	
	2016/2017	2018
T1 (40%)	64,5 a $\pm 1,62$	134,8 a $\pm 2,4$
T2 (67%)	89,4 b $\pm 1,63$	131,4 a $\pm 2,5$
T3 (100%)	89,4 b $\pm 1,75$	137,2 a $\pm 2,5$
T4 (130%)	91,8 b $\pm 1,80$	133,0 a $\pm 2,5$

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

En la temporada 2016/2017 el diámetro promedio resultó menor que en la 2018 en todos los tratamientos evaluados. En la temporada 2016/2017, el diámetro de las lechugas bajo el tratamiento T1 fue significativamente inferior a los demás tratamientos. El tratamiento que promedió lechugas mayor de diámetro, fue T4 pero, sin diferencias significativas con T3 y T2. Estos resultados son

similares a los reportados por Bozkurt y Sayilicam (2011) y Kirnak *et al.*, (2016). En la temporada 2018 no resultó significativa la diferencias de diámetro entre tratamientos de riego ($P=0,39$).

El rendimiento comercial de lechugas bajo a distintas cargas de agua de ambas temporadas, se presenta en el **Tabla 17**.

Tabla 17. Rendimiento comercial medio de lechugas sometidas a distintas cantidades de agua en dos temporadas de evaluación.
INIA La Platina.

Tratamiento	Rendimiento comercial U/ha	
	2016/2017	2018
T1 47%	9.415	56.220
T2 67%	73.513	71.875
T3 100%	60.459	56.250
T4 130%	53.457	62.500

El rendimiento comercial de lechugas bajo los tratamientos T2 y T3, fue mayor en la temporada 2016/2017, que en la temporada 2018. Debido, posiblemente, a las condiciones ambientales de cada temporada.

En ambas temporadas, el tratamiento T2 resulta con mayor producción comercial con 73.513 unidades/ha en la temporada 2016/2017 y 71.875 unidades/ha en la temporada 2018. Similares resultados encontraron Bozkurt y Sayilicam (2011) quienes señalaron que en lechugas al aire libre, el mayor rendimiento comercial se alcanzó con el tratamiento de 75% de la ETC y disminuye al aumentar la cantidad de agua aplicada.

La función de producción de las evaluaciones realizadas en la temporada 2016/2017 y 2018, se presentan en la **Figura 7**.

En la temporada 2016/2017, el máximo rendimiento se alcanzó reponiendo aproximadamente 185 mm de agua, mientras que en la temporada 2018, el máximo rendimiento comercial se alcanzó aplicando 183 mm por temporada. Alturas de agua superiores e inferiores generaron disminución del rendimiento comercial (**Figuras 8 y 9**). Estos valores están en el rango de las alturas reportadas por Sammis *et al* (1988), que determinaron que la aplicación de 205 mm de agua alcanzó el mayor rendimiento del cultivo.

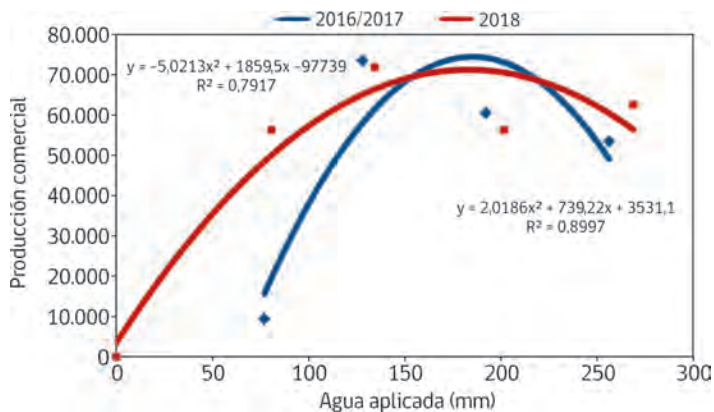


Figura 7. Relación entre la producción de lechugas comercial y la cantidad de agua aplicada de ambas temporadas. INIA La Platina.

Figura 8.
Lechugas tipo Iceberg afectadas por déficit de riego. Se observan numerosas unidades que llegan deformes o bajo peso a cosecha.



Figura 9.
Lechugas tipo Iceberg afectadas por exceso de riego. Se observan numerosas unidades con pudriciones fungosas o con ablandamiento del corazón en cosecha.



En resumen, de acuerdo a los ensayos de riego efectuados en la Región Metropolitana, la producción de lechugas se afecta con el déficit y exceso de agua, obteniéndose los mejores resultados con aplicaciones de agua sobre el 70% de la ETC. En general, un riego deficiente durante el periodo de crecimiento del cultivo, genera bajo rendimiento comercial al producir lechugas bajo peso (baja categoría), lo que afecta directamente con el precio final de venta en el mercado. La calidad también se afecta, ya que se engrosa la hoja, perdiendo sabor y suavidad. Si bien, aplicaciones elevadas de agua aumentan el peso fresco de las lechugas, el rendimiento comercial se ve afectado por mayor incidencia de enfermedades causadas por hongos y prevalencia de corazón blando.

Períodos fenológicos críticos del riego

Como se revisó anteriormente, el cultivo de la lechuga es muy sensible tanto al exceso como al déficit de riego. Sin embargo, pueden definirse algunos períodos críticos, en que la falta de agua determinará fuertes pérdidas en el rendimiento comercial del cultivo.

- **Preplantación:** En general, se hace riego de pre transplante de 5 a 10 cm de agua, dependiendo de las condiciones de humedad del suelo, preparando el suelo para el transplante. Un grupo creciente de productores entierra la cinta de riego entre 5 a 10 cm de profundidad previo al trasplante. Luego de la cosecha, la cinta se extrae del suelo y, en países desarrollados se reutiliza para otro ciclo de cultivo.

Esta práctica se ha popularizado porque reduce la mano de obra para "ordenar" las cintas que se mueven con el viento, aunque también tendría beneficios reduciendo la evaporación directa desde el suelo.

- **Postrasplante:** Debe mantenerse el suelo cercano a capacidad de campo (10 a 15 cb de tensión), en los primeros 20 cm de profundidad de suelo. Para ello, se recomienda regar frecuentemente en riego localizado y cada 4 ó 5 días en riego por surcos, dependiendo de la demanda atmosférica.
- **Desarrollo del cultivo:** Normalmente, el riego se va haciendo más frecuente o con mayor duración, a medida que la lechuga se desarrolla, previniendo el estrés hídrico. La mayor parte de las raíces del cultivo estarán en los primeros 30 cm de suelo. Las raíces profundas (30 a 40 cm) podrían llegar a ser activas cuando el cultivo de lechuga se acerca a la madurez en suelos profundos.

Idealmente el riego debe mantener la tensión del suelo en rangos inferior a 15 cb en los primeros 20 cm, sin permitir que el suelo se seque demasiado.

- **Precosecha:** El requerimiento de agua del cultivo de lechugas, normalmente es máximo durante las 2 semanas previo a cosecha. A medida que esta demanda se incrementa, es necesario aumentar el tiempo de riego o la frecuencia de los eventos de riego. Se requiere cosecha una lechuga turgente y en buen estado hídrico, por lo que no puede descuidarse el riego en esta etapa.

En riego por goteo, el riego deficitario puede restringir el bulbo mojado desde donde las raíces extraen el agua y los nutrientes. Es necesario destacar que el exceso de agua y fertilización en variedades tipo “escarolas” puede causar defectos como corazón blando, reduciendo el valor comercial del cultivo. Ciertas prácticas como suspender el riego antes de cosecha pueden causar que se partan y quemen por acción directa del sol en hojas nuevas.

Capítulo 2

Tomate

Juan Martínez C.

Ingeniero Agrónomo Dr.
jpmartinez@inia.cl

Luis Salinas P.

Ingeniero Agrónomo
luis.salinas@inia.cl

Karen Farías G.

Ingeniero Agrónomo
grollmuskaren@gmail.com

Carlos Blanco M.

Ingeniero Agrónomo Magíster
cblanco@inia.cl

Nutrición y fertilización en tomate injertado

Introducción

En general el tomate fresco cultivado, bajo condiciones de invernadero, está siendo injertado para prevenir plagas y enfermedades. El cultivo de tomate injertado se caracteriza por presentar alta demanda de nutrientes, por poseer potenciales productivos más altos en comparación al tomate franco (no injertado). Esto conlleva a tener una estrategia de fertilización diferente en comparación al tomate fresco no injertado. Un adecuado programa de manejo nutricional, es efectivo solo cuando hay un claro entendimiento del rol de los nutrientes esenciales para la planta.

Consecuentemente, por estar el crecimiento y desarrollo de los cultivos estrechamente vinculados a una adecuada nutrición mineral, el conocimiento de la extracción que realiza la planta de estos elementos en el suelo, representa una información básica para el diseño y planificación de la fertilización de los cultivos (Betancourt y Pierre, 2013), la cual se detalla en este capítulo. El uso de portainjertos en tomate según Villasana (2010) y Godoy *et al.* (2009) implica un sistema de raíces más vigoroso y activo que tiene la capacidad de absorber una

mayor cantidad de nutrientes (nitrógeno); por tanto, los niveles descritos para una planta franca son distintos a los encontrados en una planta injertada. Por lo tanto, la fertilización en tomate (franco o injertado) se basa en la aplicación de macronutrientes como el nitrógeno, fósforo, potasio, magnesio y micronutrientes como boro, hierro y zinc. Los suelos donde se desarrolla el cultivo de tomate son de pH neutro a ligeramente alcalino (7 a 8), y en algunos de ellos presentan problemas de acumulación de sales.

Estas limitaciones deben ser bien manejadas ya que afecta notablemente el rendimiento y calidad de la fruta. Dentro de los tópicos que aborda este capítulo esta la importancia de la nutrición en tomate, la descripción de las sintomatologías de deficiencias y toxicidades que afectan este cultivo, los criterios para un oportuno y adecuado diagnóstico, y las correcciones nutricionales (dosis, época, etc.) a través de fertilización.

Nutrición en tomate

El propósito de cualquier programa de nutrición mineral en tomate es suministrar los elementos minerales o nutrientes que son absorbidos por la planta en la dosis y momento oportuno para optimizar su utilización. El tomate, como cualquier planta, requiere elementos nutritivos imprescindibles o esenciales, aquellos que no deben faltar para el funcionamiento fisiológico y el desarrollo completo del ciclo vegetativo. Los criterios de esencialidad de un elemento nutritivo más relevante son: la deficiencia del elemento impide a la planta completar su ciclo vegetativo, la deficiencia es exclusiva del elemento en cuestión, y la falta del elemento no puede ser reemplazada por otro.

Son 17 los elementos considerados esenciales para el crecimiento y producción de todas las especies cultivadas incluidos los tomates. Los tres elementos esenciales con mayor requerimiento por parte de la biomasa del cultivo de tomate (raíces, tallo, hojas y fruta) son el carbono (C), el hidrógeno (H) y el oxígeno (O).

Estos elementos representan el 90% de la materia seca de la planta. De ellos, el C es suministrado desde la atmósfera, el cual es transformado en carbohidratos a través del proceso de la fotosíntesis. El H y el O son proporcionados por el agua. De los nutrientes minerales esenciales para la planta se distinguen los de mayor requerimiento y se encuentran en mayor proporción en ella, denominados macro-nutrientes (Marschner, 2012). Entre los macro-nutrientes se consideran nitrógeno (N), potasio (K), Calcio (Ca), fósforo (P), magnesio (Mg) y azufre (S).

Aquellos elementos esenciales requeridos en menor proporción en la planta, se denominan micro-nutrientes (Marschner, 2012). Se consideran como micro-nutrientes (o elementos minerales traza) los siguientes: zinc (Zn), manganeso (Mn), cobre (Cu), hierro (Fe), boro (B), molibdeno (Mo), cloro (Cl) y, últimamente, pero sin importancia práctica, el níquel (Ni).

Este criterio para diferenciar los nutrientes puede llevar a confusiones, ya que en casos de extremo déficit, un micro-nutriente puede adquirir más relevancia que un macro-nutriente. La necesidad de agregar vía fertilización algunos de los 14 elementos minerales esenciales, surge si el balance entre lo que el cultivo requiere y lo que el suelo suministra es insuficiente. Este déficit nutricional se acentúa en casos cuando el nutriente es poco móvil y no logra llegar al sitio estratégico de acción tales como yemas, flores o frutos recién cuajados. En uno u otro caso será necesario reponer la diferencia vía fertilización al suelo o foliar.

Los análisis químicos del agua y del suelo son importantes en el programa nutricional, los cuales determinan la capacidad para suministrar nutrientes a la planta y con base a una adecuada interpretación, se pueden diagnosticar los aportes, las deficiencias y/o toxicidades de cada nutriente. Por lo tanto, estas consideraciones son un paso esencial para la formulación de recomendaciones de manejo nutricional de cualquier cultivo (Sepúlveda *et al.*, 2012). En el caso de la nutrición del cultivo de tomate, se pone en manifiesto que los períodos de mayor consumo nutricional, y una mayor acumulación de biomasa en la planta, se asocia también con una extracción mayor de nutrientes. En este sentido, se plantea que con el inicio del cuajado y crecimiento de los frutos comienzan a aumentar también las necesidades de nutrientes de la planta y, en consecuencia, cualquier déficit de algún elemento repercutirá de manera negativa en el crecimiento y rendimiento del tomate (Hernández *et al.*, 2009).

En las primeras etapas de crecimiento de la planta de tomate, las hojas y el tallo son los órganos que más materia seca acumulan en la planta, y en las etapas finales del cultivo los mayores aportes corresponden a las hojas y al fruto (Betancourt y Pierre, 2013). Importante destacar que autores como Villasana (2010) y Godoy *et al.* (2009) y, Sánchez-Rodríguez *et al.*, (2013) trabajaron en la nutrición del cultivo, estudiando las extracciones de nutrientes en plantas injertadas. Los datos obtenidos en estas investigaciones muestran que los cultivos incompatibles tienen menor rendimiento con respecto a una planta franca, produciendo un marchitamiento en las hojas, debido a un déficit hídrico, producido por la baja conductividad hidráulica del xilema.

En caso contrario en donde exista una compatibilidad las plantas injertadas presentaron mayor vigor que se refleja en un incremento de 9% en acumulación de materia seca y en una mayor acumulación de todos los macronutrientes, excepto para Mg. Debido a las bondades del injerto, los objetivos a cumplir se han ido ampliando (Lee, 2003; Oda, 2007), entre ellos se cita mayor absorción de nutrimentos y contenido mineral en la parte aérea, el incremento en el vigor de la planta y la vida de postcosecha de la fruta.

En la **Tabla 1** se presenta el contenido de N (%), P (%), K (%), Ca (%) y Mg (%) en fruto, hoja y tallo en plantas de tomate injertado bajo condiciones de invernadero en INIA-La Cruz. Esta tabla muestra que las plantas injertadas utilizadas presentan valores de contenido de macronutrientes mayores que plantas francas estudio realizado por Godoy *et al.* (2009), en especial en los valores de contenido de K.

Se debe ser riguroso en la nutrición del cultivo de tomate si es injertado o no, el cual permite evitar excesos de fertilizante y ser así más eficiente en la aplicación de nutrientes al cultivo. Por lo tanto, el conocer el comportamiento nutricional que tienen las variedades injertadas puede ayudar para la elaboración de un programa de fertilización óptimo (Rivero *et al.*, 2003) y, podría tener un efecto en la calidad del fruto, evitando un crecimiento excesivo de la planta (Lee, 2003; Oda, 2007).

Tabla 1. Contenido de N (%), P (%), K (%), Ca (%) y Mg (%) en fruto, hoja y tallo en plantas de tomate injertado bajo condiciones de invernadero en INIA-La Cruz.

Portainjerto	Estructura	N (%)	P (%)	K (%)	Ca (%)	Mg (%)
Amstrong	fruto	2,64	0,42	4,72	0,26	0,19
	hoja	3,26	0,39	3,62	4,71	1,04
	tallo	1,60	0,41	4,21	1,55	0,43
Arazi	fruto	2,69	0,43	4,99	0,25	0,19
	hoja	3,02	0,46	3,24	5,06	1,34
	tallo	1,57	0,41	4,18	1,46	0,56
Emperador	fruto	2,58	0,41	4,78	0,25	0,18
	hoja	3,07	0,40	3,33	4,97	1,20
	tallo	1,59	0,41	3,83	1,52	0,45
Maxifort	fruto	2,57	0,42	4,81	0,25	0,17
	hoja	3,08	0,40	2,98	4,81	1,26
	tallo	1,57	0,39	3,79	1,44	0,48

Sintomatologías de deficiencias y excesos nutricionales en tomate fresco

Sintomatología visual en macronutrientes

La sintomatología que se presenta en el cultivo de tomate resulta ser una buena guía para identificar tanto deficiencias como excesos nutricionales. Sin embargo como toda herramienta biológica tiene limitaciones para su uso, entre las cuales esta: a) semejanza visual en algunas deficiencias en el estado incipiente; b) síntomas que difieren si se trata de hojas nuevas o adultas; c) similitud visual entre una toxicidad y una deficiencia específica; d) existen casos en que coexisten varias deficiencias y/o toxicidades simultáneamente; y e) presencia de clorosis, amarillez, necrosis u otros síntomas originados por problemas de falta de aireación o mal drenaje, o plagas y enfermedades parecidos a los producidos por problemas nutricionales.

Sintomatologías macro-nutrientes

- **Nitrógeno.** El nitrógeno (N) es un constituyente base de la materia viva (aminoácidos, proteínas, ácidos nucleicos, pigmentos fotosintéticos, nucleótidos, ATP, etc.) que está estrechamente relacionado con el vigor de la planta (Marschner, 2012). La deficiencia de N en tomate produce una reducción rápida en el crecimiento de la planta, de las hojas y de los frutos, así como un debilitamiento de la planta y una disminución en su productividad (Adams *et al.*, 1978). Además, la deficiencia de N, produce hojas de color amarillo generalizado a nivel de toda la planta siendo acentuada en hojas viejas (Xu *et al.*, 2011). Se debe considerar que el cultivo de tomate presenta una respuesta rápida a la aplicación de N, incrementando así el crecimiento y el rendimiento de la parte aérea, e incluso con excesos podría tener un efecto negativo sobre la productividad y la calidad de la fruta (Adams *et al.*, 1978).
- **Fósforo.** El fósforo (P) es importante ya que juega un rol central en la transferencia de energía, entre otras funciones. El P juega un rol muy importante en el crecimiento y desarrollo de raíces de la planta, generando un sistema radicular vigoroso. La deficiencia de P produce efectos negativos sobre los estados tempranos de la división celular generando síntomas iniciales en reducción de crecimiento produciendo plantas más débiles y de menor ta-

maño. Como el P es un elemento móvil en la planta y puede ser transportado a sitios de crecimiento nuevo, causa síntomas como coloraciones oscuras a verde azuladas en las hojas más viejas de algunas plantas. La falta de P puede causar el retardo de la maduración y desarrollo pobre de semillas y frutos (Uchida, 2000). En el caso del tomate produce un incremento del contenido de antocianinas en las hojas y venas (Besford, 1980). Sin embargo, esto podría ser no muy consistente ya que el color púrpura también puede ser estimulado por el incremento de la intensidad luminosa e inhibido por plantas de tomates expuestas a altas temperaturas (Ulrychova y Sosnová, 1970).

- **Potasio.** El potasio (K) es el soluto inorgánico más importante en la planta (principal catión del xilema) que juega un rol esencial en la regulación hídrica de ella (regulación estomática), transporte de azúcares y activación de al menos 60 enzimas. La falta de este elemento produce una reducción de la altura de planta y área foliar, como también una clorosis intervenal (White, 1938; Adams *et al.*, 1978), lo cual es perjudicial para la productividad y calidad de la fruta. El K es el nutriente más importante que afecta la calidad de la fruta Winsor y Long, 1967; Adams *et al.*, 1978). Entre el 60–66% del K absorbido por la planta se encuentra en la fruta (Winsor *et al.*, 1958). La deficiencia de este elemento reduce la cuaja, el número de frutas por racimo y el peso por fruta (Clarke, 1944). Además, la deficiencia produce frutas insípidas (sin sabor) y carente de acidez (Hewitt, 1944), áreas verdes y amarillas que emergen en el color rojo de la superficie de la fruta (Wallace, 1951), una maduración desuniforme (Hewitt, 1944), manchas “vitreas” (Seaton y Gray, 1936). Se ha observado que aumentos de niveles de K en tomate: mejora la forma de la fruta (Winsor y Long, 1968), reduce la incidencia de desórdenes de maduración (Bewley y White, 1926; Adams *et al.*, 1978), reduce la proporción de fruta hueca (Winsor, 1966), mejora la firmeza de la fruta (Shafshak y Winsor, 1964) y mejora el sabor por aumento de la acidez (Davis y Winsor, 1967).
- **Calcio.** El calcio (Ca) es el constituyente de la membrana celular de los tejidos de la planta y juega un rol esencial para asegurar su integridad, estabilidad y funcionamiento fisiológico a nivel de dicha membrana (permeabilidad). Además, el Ca cumple un rol estructural en las paredes celulares de las plantas, teniendo un efecto sobre la firmeza (Hanger, 1979). La deficiencia de Ca produce muerte de meristemas apicales y márgenes foliares, clorosis de hojas jóvenes, y un agrandamiento y coloración verde oscuro de las hojas maduras (Kalra, 1956). Se ha observado también que la firmeza del fruto de

tomate aumenta cuando se incrementa la concentración de Ca en el medio de cultivo (Hamson, 1952). El Ca también juega un papel esencial en la defensa de las plantas contra las enfermedades, mantenimiento de la integridad de la membrana, señalización de múltiples vías de defensa a través de la activación de enzimas; lanzamiento de la fitoalexina, un agente antimicrobiano, reparación y refuerzo de membranas dañadas y paredes celulares, y síntesis de barreras estructurales (McLaughlin y Tansley, 1999). La deficiencia de Ca en plantas, específicamente en tomate, incrementa la respiración y la senescencia de la planta, como también podría reducir la pos cosecha de la fruta. Además, la deficiencia de Ca en el cultivo de tomate podría acentuar desórdenes fisiológicos como el "Blossom-End Rot" (Taylor y Locascio, 2004).

- **Magnesio.** El magnesio (Mg) es el elemento central de la clorofila, la cual juega un rol esencial en la fotosíntesis, siendo una de las funciones más importante para la planta (Marschner, 2012). El déficit de Mg es muy común en suelos de pH alcalino, mostrando clorosis intervenal en hojas basales y medias de la planta. Esta deficiencia puede ser acentuada con excesos en fertilización de N y K de acuerdo a lo reportado por Adams *et al.* (1978). En casos más avanzados aparece necrosis marginal e intervenal, afectando negativamente el crecimiento y desarrollo del cultivo de tomate. El nivel límite descrito para empezar a manifestar la sintomatología de deficiencia de Mg es 0,3%, acentuándose con contenidos inferiores (Ward y Miller, 1969).

Sintomatología de déficit de micro-nutrientes

La disponibilidad de los micro-nutrientes en el suelo depende principalmente del pH de suelo. Algunos de los suelos donde se cultiva el tomate, como aquellos de la provincia de Quillota en la Región de Valparaíso, presentan pH alcalinos (Hardessen, 2012), lo que provoca una restricción en la disponibilidad de estos elementos. Los micro-nutrientes que presentan una menor disponibilidad en la zona de cultivo del tomate en Chile son hierro (Fe), zinc (Zn) y boro (B). Su baja disponibilidad en el suelo está asociada a la presencia de carbonatos y bicarbonatos. Los micronutrientes más relevantes para el cultivo de tomate en Chile se presentan a continuación:

- **Hierro.** La deficiencia de hierro (Fe) en tomate produce clorosis en hojas nuevas, crecimiento retardado, cambios en las actividades enzimáticas y en los contenidos de los compuestos orgánicos del tejido, tales como, ácido

ribonucleico, proteínas, sustancias fenólicas y compuestos nitrogenados solubles (Bisht, 2002). El síntoma en hojas más jóvenes se debe a que la translocación del Fe es lenta o nula desde las hojas más viejas. Los frutos de tomate provenientes de plantas deficientes en Fe son más pequeños, maduran a un color amarillo pálido con bajo licopeno y acidez titulable (Bisht, 2002). Estudios de suelo realizados por INIA en la región de Valparaíso muestran que suelos de Quillota presentan un pH elevado (pH 8), lo que podría estar produciendo una deficiencia de este elemento y una menor productividad en este cultivo (Hardessen, 2012).

- **Zinc.** La deficiencia de Zn es una deficiencia común de micronutrientes en las plantas y causa severas reducciones en el crecimiento (Tsui, 1948; Kaya y Higgs, 2001), la productividad y calidad de la fruta (Kösesakal y Ünal, 2009). La deficiencia de Zn es muy común en tomate y se presenta con una sintomatología típica (moteado intervenal) que difiere si se trata de hojas nuevas o más viejas. Es característico una formación de los brotes en roseta con las primeras hojas pequeñas, cloróticas con moteado intervenal y necrosis marginal; y brotes con entre-nudos cortos. Frecuentemente el déficit de Zn se presenta en conjunto con el de Fe.
- **Boro.** El boro (B) es un micronutriente en el que la cantidad debe manejarse cuidadosamente ya que el margen entre deficiencia y toxicidad es muy estrecho. El déficit de B produce una reducción del crecimiento (Gupta, 1983) y una sintomatología visual similar a lo que se denomina “escoba de bruja” en ápice terminal (observaciones realizadas por los autores a 25 ppm en condiciones de invernadero en INIA-La Cruz). El nivel crítico foliar en tomate es de 30 ppm, con valores inferiores se estaría en deficiencia de este elemento. La deficiencia de B también produce un aumento muy significativo en el contenido de flavonoides, siendo las flavonas las que se acumulan con mayor importancia (Carpena *et al.*, 1982).

Requerimiento nutricional en tomate injertado

La estrategia recomendada para el cálculo de fertilización del tomate, se basa fundamentalmente en conocer el requerimiento nutricional (extracción de nu-

trientes) por parte de la fruta y biomasa vegetativa aérea. Un adecuado programa de manejo nutricional sólo se puede hacer cuando hay una comprensión clara del rol de todos los nutrientes.

Consecuentemente, por estar el crecimiento de los cultivos estrechamente vinculado a una adecuada nutrición mineral, el conocimiento de la extracción que realiza la planta de estos elementos en el suelo, se convierte en una información básica para el diseño y planificación de la fertilización de los cultivos. Por ejemplo, Tjalling (2006) muestra en la tabla 2 el requerimiento de nutrientes por tonelada de fruta producida de tomate no injertado, es decir, franca.

Por otra parte, el uso de portainjertos en tomate según Villasana (2010), Godoy *et al.* (2009) implica un sistema de raíces más vigoroso y activo, lo que le podría conferir una mejor capacidad de absorber nutrientes en relación a una planta franca. En la **Tabla 2** se muestran también los requerimiento de nutrientes por tonelada de fruta producida de tomate variedad patrón injertado con portainjertos comerciales Amstrong, Arazi, Emperador y Maxifort bajo condiciones de invernadero en INIA-La Cruz.

En términos de extracción mineral Tjalling (2006) determinó que los coeficientes de extracción de nutrientes de kilogramos de fruta por tonelada producida (kg/ton) del tomate en invernadero fueron: 2,2; 0,5; 3,9; 1,6 y 0,4 para N, P, K, Ca y Mg, respectivamente.

Tabla 2. Requerimiento de nutrientes por tonelada de fruta producida de tomate franco e injertada bajo condiciones de invernadero en INIA-La Cruz.

	N (kg/ton)	P (kg/ton)	K (kg/ton)	Ca (kg/ton)	Mg (kg/ton)
Franco referencia (*)	2,2	0,5	3,9	1,6	0,4
Injertadas (**)	2,6	0,4	4,3	2,3	0,6
Amstrong	2,6	0,4	4,3	2,8	0,5
Arazi	2,6	0,5	4,3	2,2	0,7
Emperador	2,7	0,4	4,5	2,5	0,6
Maxifort	2,5	0,4	4,2	1,9	0,5

(*) Planta no injertada (franca) de referencia, Tjalling (2006).

(**) Promedio de plantas injertadas de experimento INIA-La Cruz.

Fertilización en tomate franco e injertado

Fertilización nitrogenada

Dosis de nitrógeno¹. De acuerdo a estudios como Tjalling (2006), el requerimiento de nutrientes por tonelada de fruta producida de tomate franco e injertado son de alrededor de 2,2 y 2,6 kg de N/ton (**Tabla 2**) respectivamente. Este valor incluye la biomasa vegetativa (tallos y hojas). Los cálculos están basados en el llamado Modelo de Stanford (1973), ampliamente aplicado y de éxito en los rubros en que se ha aplicado en el país.

$$\text{Dosis fertilización} = \frac{\text{Extracción de cultivo} - \text{Aporte suelo}}{\text{Eficiencia (\%)}}$$

El cálculo de dosis² se realiza de la siguiente manera teniendo en cuenta:

- a) En la **Tabla 3** se muestran diferentes requerimientos para tres niveles productivos de tomate franco e injertado. Para un nivel productivo de 160 ton/ha para planta injertada se calcula de acuerdo a lo siguiente:

Requerimiento neto de N para 160 ton: 2,6 kg N/ton x 160 ton/ha = 416 kg/ha

Tabla 3. Requerimiento neto (kg/ha) para tres rendimientos (ton/ha).

Rendimiento (ton/ha)	Requerimiento neto N (kg/ha)	
	Franco referencia	Injertadas
80	176	208
120	264	312
160	352	416

- b) El aporte de N por parte del suelo va a depender principalmente del contenido mineral de N que se obtiene del análisis de suelo (N disponible para la planta: nitratos + amonio).

¹ Esto representa solo un ejemplo de cómo calcular la dosis de N en tomate injertado debido a la gran dispersión en el contenido de N encontrada en los suelos de los productores que cultivan tomate.

² Para el análisis de cálculo de dosis no se considerará el calcio, debido a que se sabe que en tomate la disponibilidad en el suelo de este mineral no se encuentra en déficit. Para el caso del magnesio, su disponibilidad dependerá del pH del suelo. El déficit de este mineral se da mayormente en suelos de tipo alcalino como los de la Comuna de Quillota.

Aporte N estimado por parte del suelo = 56 Kg/ha. Este valor de aporte proviene de la extracción de N de testigos sin fertilizar con N (suelo indicó 28 ppm de N mineral³), el cual sería estimado multiplicando la concentración por dos (28 mg/kg x 2). Esto es así ya que 28 mg/kg considerando 1 ha, la cual pesa alrededor de 2000 ton que contiene aproximadamente 56 kgs.

- c) Saldo a cubrir: Requerimiento cultivo - aporte del suelo = 416 kg/ha - 56 kg/ha = 360 kg/ha
- d) Dosis referencia de N: saldo a cubrir / eficiencia recuperación (80% para suelos de la Región de Valparaíso): 360/0,8= **450 kg N/ha**.

De acuerdo al nivel productivo se pueden estimar dosis (kg/ha) aproximadas que debería aplicar para un suelo con disponibilidad media de N (**Tabla 3**). Por lo tanto, si se asume una eficiencia del 80% para el N aplicado vía riego localizado, las dosis de acuerdo al rendimiento esperado se muestran en la **Tabla 4**.

Tabla 4. Dosis de nitrógeno (kg/ha) para tres rendimientos (ton/ha).

Rendimiento (ton/ha)	Dosis de N (kg/ha)	
	Franco referencia	Injertadas
80	150	190
120	260	320
160	370	450

Estos datos son referenciales que pueden modificarse de acuerdo a apreciaciones del vigor, productividad y calidad de la fruta a la cosecha y almacenaje, complementado con los análisis foliares.

Es importante considerar que los cálculos presentados son referenciales y pueden ser modificados de acuerdo, principalmente, al tipo de suelo en el cual se hará la aplicación y el aporte que reciba éste, a partir de la fertilización del año anterior y enmiendas orgánicas (compost, residuos vegetales, guanos); como los aportes pueden presentar valores altos, intermedios o bajos dependiendo del manejo, el requerimiento se modifica. Asimismo, el cálculo consideró para esta estimación una eficiencia de aplicación de nitrógeno del 80%, la cual puede aumentar en sistemas productivos con un óptimo manejo del riego.

³ Este valor corresponde a un contenido de disponibilidad de nitrógeno medio de un suelo agrícola obtenido del análisis de suelo.

Épocas de aplicación del nitrógeno

El ciclo de cultivo del tomate tiene una duración de alrededor de 130 días después del transplante (DDT), es decir desde transplante hasta el final de la cosecha. Este período se compone de cuatro etapas sincronizadas con las distintas etapas fenológicas del cultivo, las cuales son:

- 1) 0 - 46 DDT → transplante, establecimiento y desarrollo.
- 2) 47 - 96 DDT → Iniciación floral a formación de fruto.
- 3) 97 - 109 DDT → formación de fruto a inicio de cosecha.
- 4) 110 - 130 DDT → inicio a fin de cosecha.

Se recomienda parcializar la aplicación de fertilizantes y abonos orgánicos nitrogenados (estimada en 450 kg de N/ha) en la temporada, calculado para una producción de 160 ton/ha y un nivel medio de N (28 mg/kg) según análisis de suelo, considerar un 15% fertilización de base (68 kg N/ha) y el resto durante el cultivo (85%), en los porcentajes que se muestra en el **Tabla 5**.

Tabla 5. Parcialización de la aplicación de fertilización y enmiendas nitrogenadas en la temporada para tomate injertado.

Período de aplicación	% de la dosis de referencia	kg N /ha
0 - 46 DDT	14	63
47 -96 DDT	34	153
97 - 109 DDT	29	130
110 - 130 DDT	8	36

La recomendación es parcializar la aplicación anual del N (estimada en 450 kg de N/ha) de acuerdo a lo indicado en el **Tabla 5**. En la primera aplicación, 15% del requerimiento (fertilización base) puede contener el fertilizante más amonio que nitrato, pero las próximas aplicaciones deben contener más nitrato que amonio. Se debe aplicar alrededor de 55-65% del nitrógeno total hasta el inicio de floración a formación de fruto (46 -96 DDT), el resto debe ser aplicado después en aplicaciones parciales.

En cuanto a fuentes de fertilizante nitrogenado estas van a depender del pH del suelo. En general, en suelo con pH superiores a 7 conviene la aplicación de urea sola o en mezclas con fertilizantes nítricos o de nitratos de amonio. Si el pH es menor de 6 como ocurre en áreas de cerros puede ser conveniente utilizar mayor proporción de nitratos de calcio o potasio o mezclas de ambos. Nitrato de calcio utilizado temprano, preplantación puede contribuir al transporte de Ca hacia el fruto.

En el caso de suelos de texturas gruesas o de muy alta permeabilidad conviene incrementar el número de aplicaciones, como utilizar fertilizantes nitrogenados de entrega controlada.

Fertilización fosfatada

La fertilización con fósforo (P) se utiliza con el objetivo principal de aumentar el desarrollo de raíces así como también para todas las funciones a nivel fisiológico de la planta de tomate. Este mineral se encuentra abundante en gran parte de los suelos de la zona en donde se cultiva tomate en Chile. Sin embargo, es un mineral de baja movilidad en el suelo, y ocasionalmente aparecen niveles deficitarios de P en tomates. Es por ello que se debe realizar aplicaciones de fósforo lo más cerca posible al sistema radicular, considerando reponer el volumen absorbido por el cultivo en cada temporada.

Dosis de fósforo⁴

El requerimiento neto de fósforo (P) para un cultivo de tomate injertado se estima multiplicando el coeficiente de extracción P (0,4 kg P/ton) por las toneladas de fruta producida para una planta de tomate injertada

- a) Requerimiento neto de P para 160 ton/ha: $160 \text{ ton} \times 0,4 \text{ kg/ton} = 64 \text{ kg P/ha}$
- b) Aporte suelo estimado = 16 kg/ha (el análisis de suelo indicó 32 mg/kg de P-Olsen= medio⁵). Este valor se obtiene dividiendo las ppm de P-Olsen por 2.
- c) Saldo a cubrir: Requerimiento cultivo - aporte suelo= $64 \text{ kg P/ha} - 16 \text{ kg/ha} = 48 \text{ Kg P/ha}$
- d) Dosis de referencia de P = Saldo a cubrir / Eficiencia recup. (33%) = $48 \text{ kg P} / 0,33 = 146 \text{ Kg de P/ha}$
- e) Conversión a P_2O_5 : P a aplicar x factor conversión= $146 \text{ kg de P/ha} \times 2,3 = 335 \text{ kg } P_2O_5/\text{ha}$.

⁴ Esto representa sólo un ejemplo de cómo calcular la dosis de fósforo en tomate injertado, pero hay que considerar que en general existe una dispersión en el contenido de P encontrada en los suelos de los productores de la Comuna área de Quillota. Particularmente, los valores, mostrados en la tabla 6 son válidos para un suelo de 32 mg/ kg P Olsen.

⁵ Este valor corresponde a un contenido de disponibilidad de fósforo Olsen medio de un suelo agrícola obtenido del análisis de suelo.

En la **Tabla 6** se muestra el requerimiento neto de P y dosis de fósforo (kg/ha) para distintos niveles productivos.

Tabla 6. Requerimiento neto y dosis de fosforo (P, P_2O_5) (kg/ha) para tres rendimientos en tomate injertado (ton/ha).

Rendimiento (ton/ha)	Requerimiento neto P (kg/ha)	Dosis de P (kg/ha)	Dosis de P_2O_5 (kg/ha)
80	32	48	110
120	48	97	223
160	64	146	335

Estos cálculos son referenciales, ya que varían según la cantidad de ppm de P-Olsen que entregue el análisis de suelo, que para los escenarios de la tabla 6 fue 32 mg/kg, con lo cual se modificaría el aporte del suelo. En cuanto a las fuentes de fósforo, se puede recomendar los fosfatos monoamónicos (MAP) y el ácido fosfórico, dado que en estas formas el fósforo aplicado presenta una mejor recuperación por parte del cultivo (eficiencia y solubilidad).

Estos fertilizantes presentan una mayor movilidad en la zona de raíces. Es recomendable informarse sobre que fuente de P es la que incluyen los fertilizantes que se aplicarán, si es en base a fosfato diamónico, el P es de muy baja eficiencia en suelos neutros y alcalinos. Estos cálculos también dependen del desarrollo de raíces, ya que este nutriente es absorbido por contacto directo entre las raíces y este mineral. Variedades de tomate con un desarrollo de raíces más vigoroso serán más eficientes en la absorción de P.

Épocas de aplicación del fósforo

En un ciclo de cultivo del tomate, el fósforo se debería aplicar parcializado dentro de las primeras tres etapas del cultivo, que va desde el momento del trasplante hasta el inicio de la cosecha.

- 1) 0 - 46 DDT → transplante, establecimiento y desarrollo.
- 2) 47 - 96 DDT → Iniciación floral a formación de fruto.
- 3) 97 - 109 DDT → formación de fruto a inicio de cosecha.

Se recomienda parcializar la aplicación del P (estimada en 335 kg de P_2O_5 /ha) en la temporada calculado para una producción de 160 ton/ha de la siguiente manera: considerar un 33 % fertilización de base (111 kg P_2O_5 /ha) y el resto durante el cultivo, en los porcentajes de la **Tabla 7**.

Tabla 7. Período, porcentaje (%) de la aplicación y kg de P_2O_5 /ha a suministrar en la temporada para tomate injertado.

Periodo aplicación Días después de trasplante (DDT)	% de la dosis de referencia	kg P_2O_5 /ha
0 - 46 DDT	25	84
47 -96 DDT	21	70
97 - 109 DDT	21	70

Se podría recomendar una aplicación foliar de fósforo durante la floración en combinación con boro y zinc.

Fertilización potásica

La cifra de extracción de potasio (K) por la planta injertada es la más alta de todos los nutrientes, con 4,3 kg de K/ton de fruta producida (**Tabla 2**). Cabe señalar que el potasio se considera como el catión más importante, ya que actúa regulando el turgor de la planta y el crecimiento del fruto. Sin embargo, este nutriente es antagonista del Ca con respecto a la movilidad hacia la fruta, por lo cual se debe aplicar correctamente ya que, un exceso de potasio en la fertilización, afectaría negativamente en los contenidos de Ca en la fruta, produciendo problemas en postcosecha.

Dosis de potasio⁶

El requerimiento neto de K (fruta + biomasa vegetativa) se calcula multiplicando el requerimiento de extracción de este elemento por la fruta producida. El coeficiente de extracción de K es de 4,3 kg/ton. para tomate injertado.

⁶ Esto representa solo un ejemplo de cómo calcular la dosis de potasio en tomate injertado debido a la gran dispersión en el contenido de éste elemento en los suelos de los productores de tomate de las comunas de Quillota y Limache.

- a) Requerimiento neto K para 160 ton = 160 ton x 4,3 kg/ton = 688 kg de K/ha
- b) Aporte suelo estimado = 225 kg K/ha (si el análisis de suelo indica 225 ppm de K disponible = alto).
- c) Saldo a cubrir = Requerimiento neto - Aporte suelo = 688 kg K/ha - 225 kg/ha = 463 kg K/ha
- d) Dosis de referencia de K = saldo a cubrir/Eficiencia recuperación (70%) = 463 kg/ha/0,70= 661 kg K/ha
- e) Conversión a K_2O : dosis K x factor conversión = 661 kg K/ha X 1,2 = 793 kg de K_2O /ha.

En la **Tabla 8** se muestra el requerimiento neto por parte de la planta y la dosis de K (kg K_2O /ha) para tres niveles productivos del cultivo bajo condiciones de invernadero⁷.

Tabla 8. Requerimiento neto y dosis de potasio (K) (kg K_2O /ha) para tres rendimientos en tomates injertados.

Rendimiento (ton/ha)	Requerimiento neto K (kg/ha)	Dosis de K (kg/ha)	Dosis de K_2O (kg/ha)
80	344	170	204
120	516	416	499
160	688	661	793

Épocas de aplicación del potasio

El potasio, por su importancia en la regulación hídrica dentro de la planta, está presente en todo el ciclo productivo de la planta, concentrando las aplicaciones en el período de mayor demanda por la fruta, esto en los períodos desde inicio de cuaja hasta inicio de cosecha.

Se sugiere parcializar la aplicación de enmiendas potásicas (K) (estimada en 793 kg de K_2O /ha) en la temporada, calculado para una producción de 160 ton/ha en tomate injertado de acuerdo a los siguientes porcentajes (%) que se muestran en la **Tabla 9**.

⁷ Por ejemplo, si el análisis de suelo arroja un valor de 225 ppm, la dosis de K_2O a suministrar para un rendimiento 160 ton sería 793 kg/ha (o 793 gr/m²).

Tabla 9. Porcentaje (%) de la aplicación y kg de K_2O /ha a suministrar en la temporada para un ciclo productivo de tomate injertado.

Periodo aplicación	% de la dosis de referencia	kg K_2O /ha
0 - 46 DDT	12	95
47 - 96 DDT	37	293
97 - 109 DDT	36	286
110 - 130 DDT	15	119

En la primera aplicación se puede usar una mezcla de 55% nitrato de potasio y 45% sulfato de potasio, pero en las próximas aplicaciones la fuente de potasio preferida es nitrato de potasio perlado o granulado.

Se debe aplicar cerca de un 40 a un 50 % del total de potasio hasta la iniciación de floración a formación del fruto, el resto debe ser aplicado después en aplicaciones parciales.

Aplicaciones de Ca, Mg y S y algunos micronutrientes

El Ca debe ser aplicado como nitrato de calcio durante todas las etapas de crecimiento de la planta. Una cantidad pequeña puede ser incluida en la aplicación base, seguida por cantidades mayores durante el crecimiento vegetativo y desarrollo de la fruta. Algo de magnesio podría ser incluido en la aplicación base, seguido por dosis más altas durante las fases de crecimiento vegetativo y formación de fruta, como sulfato de Mg. El S se puede aplicar a través de sulfato en la aplicación base. Los micronutrientes se deben aplicar de acuerdo a los requerimientos del cultivo, y en general dependen de las condiciones de pH del suelo. Si el pH del suelo fuera elevado se debe decidir que fuente de microelementos es la más adecuada (quelato o sal) para ser usado. Por ejemplo, si hay deficiencia de B se puede agregar vía suelo (ácido bórico) y/o aplicaciones por vía foliar, para restablecer los niveles óptimos en hoja.

Capítulo 3

Melón

Sofía Felmer E.

Ingeniero Agrónomo
sfelmer@inia.cl

Alejandro Antúnez B.

Ingeniero Agrónomo Ph.D.
aantunezb@inia.cl

Marcelo Vidal S.

Ingeniero Agrónomo
marcelo.vidal@inia.cl

Melones con potencial exportable

Introducción

En la Región de O'Higgins la superficie cultivada con melón, según la Oficina de Estudios y Planificación Agrarias (ODEPA, 2019), corresponde a 1.607 hectáreas, situándose como el cuarto cultivo en importancia regional concentrándose principalmente en las comunas de Quinta de Tilcoco, San Vicente de Tagua Tagua, Pichidegua y Las Cabras. En estas comunas hay localidades que tienen las condiciones de clima y suelo ideales para producir fruta de buena calidad.

La exportación desde Chile de Cucurbitáceas al mercado internacional, en especial de melones, ha sido incipiente en los últimos años. Este comportamiento puede ser explicado por consideraciones técnicas y comerciales, entre las que destacan: (a) emergencia de nuevas enfermedades fungosas y virales, ocasionadas principalmente por el monocultivo y excesiva aplicación de agua, (b) largos períodos de transporte a mercados distantes de destino y la competencia con otros países más cercanos al hemisferio norte, (c) actualmente, el cultivo se destina solo al mercado interno y las variedades tradicionales tienen mala postcosecha, (d) finalmente, hay una falta de conocimiento en el manejo de pre y postcosecha de Cucurbitáceas, entre ellas el melón.

Riego en melón para la Zona Central de Chile

El período de establecimiento del cultivo del melón es desde julio hasta enero, otorgando tres épocas de producción; primor o producción temprana, media estación y producción tardía. En este cultivo, el riego se realiza en todas las épocas de producción, ya sea por método gravitacional, surcos (82% de la superficie regional) o presurizado (18% de la superficie regional). La labor del riego, se caracteriza por ser una práctica utilizada por la mayoría de los productores con aplicación de altos volúmenes de agua para obtener melones del mayor tamaño posible.

El riego es el factor más importante que limita los rendimientos de los cultivos. Una humedad adecuada en las etapas críticas del crecimiento de la planta, no solo optimiza los procesos metabólicos de las células, sino que también, aumenta la eficiencia de aplicación de los nutrientes (Yaghi *et al.*, 2013).

Los requerimientos hídricos del cultivo se incrementan a medida que la planta crece, por tal motivo, es necesario tener una ajustada programación de la aplicación de agua, para lograr un uso más eficiente del recurso, ya que el exceso de agua reduce la calidad de la fruta y el déficit disminuye la producción del melón (Chun-Zhi *et al.*, 2008), el exceso de aplicación de agua al cultivo del melón, generaría una menor concentración de sólidos solubles totales, mientras que, el déficit hídrico produce frutos más pequeños y rendimientos más bajos (Sensoy *et al.*, 2007). La aplicación excesiva de agua puede ocasionar problemas de calidad de la fruta, disminuir el rendimiento y estimular enfermedades a las plantas (Naji *et al.*, 2012). Por tal motivo, el objetivo del estudio es determinar el efecto de la aplicación de distintas láminas de riego en la producción y calidad del melón tuna (*Cucumis melo* var. *inodorus*).

Investigación

Los ensayos se realizaron en las temporadas estivales 2016/2017 con 8.930 pl/ha y la temporada 2017/2018 con 10.416 pl/ha. En ambas temporadas, se trabajó con melón tipo tuna “variedad H1013 representada por Semillas Agrical S.A” a la que se le aplicaron cuatro tratamientos de riego, equivalente la reposición del 40%, 67%, 100% y 130 % de la evapotranspiración de referencia, en un diseño de bloques con aplicación de los tratamientos al azar con cuatro repeticiones (**Figura 1**).



Figura 1. Vista de los ensayos en plena temporada (arriba, primera y abajo, segunda temporada).

Balance Hídrico

En las **Tablas 1 y 2**, se presenta el balance hídrico del cultivo de la primera y segunda temporada respectivamente.

Tabla 1. Riego aplicado, precipitación efectiva, evapotranspiración potencial, escurrimiento y percolación de agua (primera temporada). INIA CRI Rayentué.

Período	Riego (mm) (100%)	Lluvia Efectiva (mm)	ETc (mm)	Escurrimiento superficial (mm)	Percolación profunda (mm)
Noviembre	22	9,9	19,1	0	13
Diciembre	210	0,6	171,9	0	39
Enero	231	0	206,8	0	24
Febrero	95	0	78,0	0	16

Tabla 1. Riego aplicado, precipitación efectiva, evapotranspiración potencial, escurrimiento y percolación de agua (segunda temporada). INIA CRI Rayentué.

Período	Riego (mm) (100%)	Lluvia Efectiva (mm)	ETc (mm)	Escurrimiento superficial (mm)	Percolación profunda (mm)
Diciembre	83	0,1	75,9	0	8
Enero	167	0	154,9	0	12
Febrero	150	0	139,6	0	10
Marzo	50	0	33,9	0	16

El balance hídrico se realizó con la aplicación de agua correspondiente al 100% de la ETc. En ambas temporadas, sólo se generaron pérdidas de agua por percolación profunda, probablemente por: a) ineficiencia del sistema de riego por goteo, b) ajuste en el tiempo de riego, c) rotura de las líneas de riego, d) alta retención de humedad del suelo.

Agua aplicada por tratamiento

En la **Tabla 3**, se presenta la cantidad de agua aplicada por tratamiento en ambas temporadas.

Tabla 3. Lámina de agua aplicada según tratamiento. INIA CRI Rayentue.

Tratamientos teóricos	Temporada 2016/2017 m³ aplicados	Temporada 2017/2018 m³ aplicados
T1 (40%)	2.232	1.862
T2 (67%)	3.719	3.102
T3 (100%)	5.579	4.662
T4 (130%)	7.439	6.182

La cantidad de agua aplicada según la temporada varió debido a las condiciones ambientales particulares de cada temporada. Las temperaturas de la temporada 2016/2017 fueron más altas, por lo tanto el requerimiento hídrico fue mayor.

Efecto de la cantidad de agua aplicada en el diámetro promedio del fruto

En la **Tabla 4**, se puede apreciar los resultados para diámetro del fruto.

Tabla 4. Resultados de diámetro de frutos de melones tuna sometidos a diferentes tratamientos de carga de agua. INIA CRI Rayentue.

Tratamientos	Temporada 2016/2017		Temporada 2017/2018	
	Diámetro promedio (mm)	E. E.	Diámetro promedio (mm)	E. E.
T1 (40%)	128,8 a	± 1,8	126,2 a	± 2,3
T2 (67%)	133,1 ab	± 2,3	130,9 ab	± 2,1
T3 (100%)	139,1 b	± 2,0	139,4 bc	± 2,3
T4 (130%)	139,8 b	± 1,6	141,4 c	± 3,9

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

El diámetro de la fruta se vio afectado por los tratamientos de riego en ambas temporadas (**Figura 2**), siendo el tratamiento de riego deficitario (T1) el que generó melones de menor diámetro ecuatorial en comparación a los tratamientos con mayor aplicación de lámina agua.



Figura 2. Tamaño de la fruta según tratamiento de riego.

Respecto a los tratamientos T3 y T4 no se generaron diferencias en el diámetro ecuatorial. Naji *et al.*, 2012 encontró similares resultados bajo un déficit del 50% de la ETC. (Sharmaa *et al.*, 2014; Ribas *et al.*, 2003) concluyen que el diámetro de la fruta es afectado al ser sometido a estrés hídrico y que la respuesta de parámetros de calidad de la fruta como, la firmeza y concentración de azúcares respecto al riego es dependiente del tipo de cultivar.

Efecto de la cantidad de agua en el peso promedio del fruto

El peso del fruto, junto con el diámetro, son los factores más determinantes para el valor de venta final de la fruta. En la **Figura 3**, se presenta el efecto de distintas tasas de riego sobre el peso promedio del fruto de melón tuna. En ambas temporadas de evaluaciones, los tratamientos T1 y T2 de riego deficitario durante ambas temporadas produjeron frutos de menor peso promedio que los tratamientos de riego con reposición ajustada y excesiva T3 y T4 respectivamente (**Figura 4**).

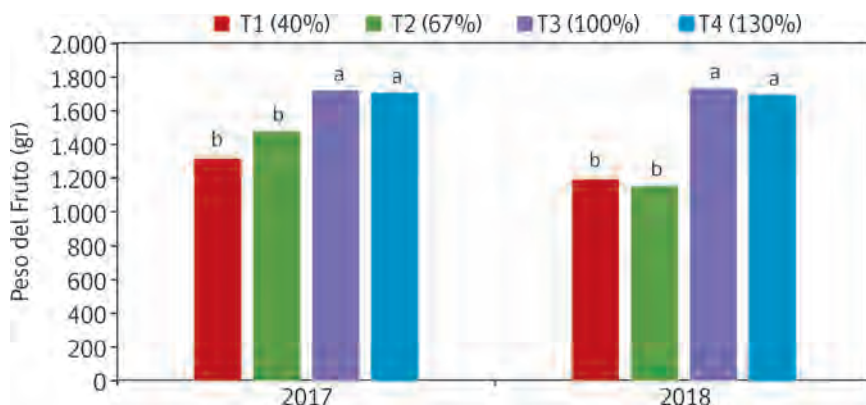


Figura 3. Efecto de distintas tasas de riego sobre el peso promedio del fruto de melón. Letras diferentes indican diferencias estadísticas ($p \leq 0,05$) entre tratamientos, según prueba de Tuckey.



Figura 4. Tamaño de los frutos de melones sometidos a tratamiento de riego deficitario y excedentario.

Nótese en la **Figura 4**, que la fruta bajo T1 resultó con mayor color que la fruta sometida a T4. Similares resultados encontraron otros autores (Chun-Zhi Zeng *et al.*, 2008; Sensoy *et al.*, 2007; Al-Mefleh *et al.*, 2012; Cabello *et al.*, 2008; Naji *et al.*, 2012). Cuevas *et al.*, (2017), informa que el riego deficitario durante el ciclo de crecimiento del melón redujo la masa fresca y el tamaño de la fruta de melón. Refaie *et al.*,(2012), en melón Cantaloupe concluyó que el riego con 120% de ETC produjo un incremento significativo de masa fresca y volumen de la fruta, con un incremento del grosor de la pulpa. Del mismo modo, otros autores que trabajaron con tres variedades de melón tipo inodoro, obtuvieron una disminución del peso de la fruta aplicando un 50% de la ETC (Sharmaa *et al.*, 2014). El incremento de la masa de la fruta del melón se ha asociado con el nivel de disponibilidad de agua dentro del perfil del suelo, que promueve el desarrollo de raíces asociado a una masa vegetativa vigorosa con asimilados fotosintéticos elevados (Refaie *et al.*, 2012).

Producción de fruta y función de producción

En la **Tabla 5**, se presenta la producción total de fruta obtenida para los distintos tratamientos de riego.

Tabla 5. Producción total de frutos de melones obtenidos bajo diferentes tratamientos de riego.

Tratamientos	Temporada 2016/2017		Temporada 2017/2018	
	Frutos/ha	Ton/ha	Frutos /ha	Ton/ha
T1 (40%)	20.536	27,0	26.664	31,8
T2 (67%)	21.429	31,7	28.019	32,3
T3 (100%)	22.321	38,4	26.691	46,2
T4 (130%)	22.321	38,1	29.295	49,5

Nota: El número de plantas por hectárea fue de 8.939 y 10.416 para las temporadas 2016/2017 y 2017/2018 respectivamente.

La producción total de melón se afectó por la cantidad de agua aplicada. En ambas temporadas, el rendimiento total del melón sometidos a los tratamientos de riego deficitarios (40% y 67%) obtuvieron los menores rendimientos, inferior a las 33 ton/ha, en comparación al rendimiento logrado con los tratamientos de 100% y 130% de reposición de la ETC, esto debido principalmente a la disminución del peso del fruto.

Algunos autores señalan, que el rendimiento del melón se reduce un 22% al ser sometido a un déficit hídrico severo y que el peso de la fruta, es más sensible a la falta de agua que el número de frutos por planta (Naji *et al.*, 2012; Cabello *et al.*, 2008). En estas experiencias, el número de frutos por planta, no se afectó por los tratamientos de riego.

Función de producción

Para realizar la función de producción se consideró sólo la fruta comercial, correspondiente a las categorías extra, primera y segunda, según parámetros mencionados en la **Tabla 6**, graficándose.

La función de producción del agua aplicada *versus* el rendimiento comercial (extra, primera y segunda) de ambas temporadas se presenta en la **Figura 5**.

Mediante un análisis de regresión se obtuvo una función polinómica de segundo grado, con un coeficiente de determinación (R^2) 0.81. Según la **Figura 5**, con aplicaciones bajas de agua durante la temporada, el rendimiento comercial de melones (extra, primera y segunda) se ve altamente afectado, produciendo un poco más de 5.000 Kg/ha. La máxima producción se obtiene con la aplicación de 666 mm de agua, alcanzando un rendimiento de 25.512 kg/ha de melones con tamaño comercial. Cabello *et al.*, (2008), señala que es posible obtener altos ren-

Tabla 6. Categorización de la fruta de melón por rango de peso.

Categoría	Rango (g)
Extra	> 2.500
Primera	1.900 - 2.500
Segunda	1.600 - 1.900
Tercera	< 1.600

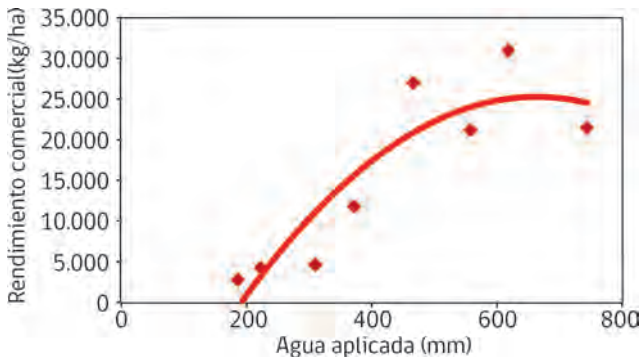


Figura 5. Relación entre el rendimiento comercial y la cantidad de agua aplicada.

dimientos comerciales con niveles de riego aplicados de entre 87 y 136% de la ETC, reportando como óptimo, según su estudio, la aplicación de 110% de la ETC.

Ribas, *et al.*, (2001) encontró en dos temporadas de estudio, que los rendimientos alcanzaron su máximo (34.000 Kg) cuando se aplicó 446 mm y 458 mm de riego.

Comentarios

El rendimiento total y comercial del melón se afecta significativamente con la falta de agua durante su ciclo de cultivo, por tal motivo no es recomendable cultivarlo en zonas con escasas hídricas. Las plantas bajo déficit hídrico durante todo su ciclo de crecimiento, generan melones de bajo peso, menor tamaño y con mayor incidencia de problemas de golpes de sol.

El melón no se ve afectado significativamente en su peso, ni en su producción con una alta cantidad de agua aplicada (130%). Debido a esto, los agricultores consideran al melón como un cultivo tolerante a períodos de saturación de agua, por lo que acostumbran aplicar cerca de un 30% extra de lo demandado por el cultivo. El mayor problema asociado a esta cantidad de agua, es la alta incidencia de enfermedades fungosas, que favorecen la presencia de la enfermedad en el suelo, esto provoca un efecto negativo en el corto y mediano plazo, y en otros cultivos sensibles a las enfermedades del suelo.

Evaluaciones de calidad en postcosecha de melones

En el marco del proyecto Fondo de Innovación para la Competitividad Regional FIC-R, financiado por el Gobierno Regional de O'Higgins "Manejo de Cucurbitáceas con potencial exportable" se realizaron en las temporadas 2016/2017 y 2017/2018 evaluaciones de postcosecha de distintos tipos y variedades de melones. Los mejores resultados se obtuvieron con el melón tipo Piel de Sapo.

Algunas características de este tipo de melón son: ciclo de cultivo medio a largo (90-100 días hasta cosecha) fruto ovalado con un peso entre 1,5 y 2 kg, pulpa firme, crocante y tiene tonalidades blancas o amarillentas, con un sabor muy dulce y refrescante, su cáscara es verde, fina y ocasionalmente reticulada (**Figura 6**).



Figura 6. Frutos de melón piel de sapo.

Evaluaciones de Melón Piel de Sapo, var. Bravura con potencial exportable

Se aplicaron tres tratamientos de distintas temperaturas ($5^{\circ}\text{C} \pm 1$, $10^{\circ}\text{C} \pm 1$, $20^{\circ}\text{C} \pm 1$), por un período de 30 días de almacenamiento en cámara de frío. Tres cajas con 4 melones por tratamiento.

Las evaluaciones realizadas fueron:

- a) porcentaje de pérdida de peso,
- b) pudriciones,
- c) daño por frío (pardeamiento externo),
- d) sólidos solubles y firmeza.

Resultados

Porcentaje de pérdida de peso

Uno de los parámetros visuales más indicativo de la calidad comercial y del valor de la fruta en postcosecha es la pérdida de agua observándose frutos deshidratados con claras hendiduras y manchas en la cáscara (**Figura 7**).



Figura 7. Síntomas de deshidratación en melón piel de sapo.

En la **Figura 8**, se presenta el porcentaje de pérdida de peso de frutos de melones piel de sapo bajo distintas temperaturas durante un período de 30 días de almacenamiento.

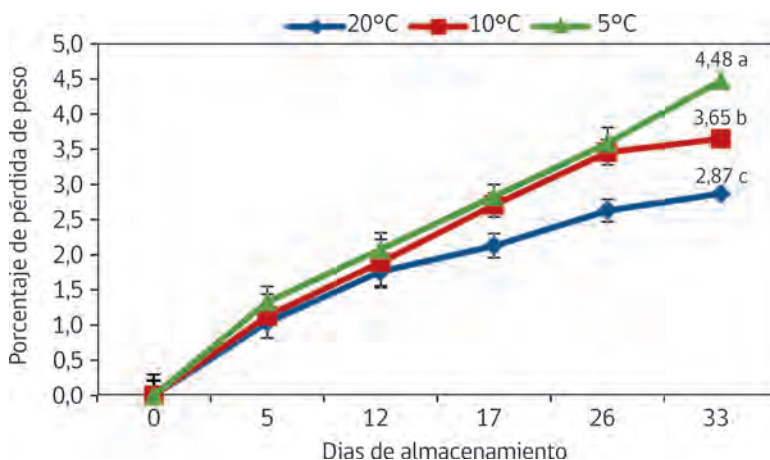


Figura 8. Evolución del porcentaje de pérdida de peso de frutos de melones piel de sapo almacenado por 30 días en tres diferentes temperaturas.

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

La pérdida de peso del fruto muestra una tendencia lineal y creciente a lo largo del período de almacenamiento independiente del tratamiento de temperatura evaluado. Al analizar los tratamientos relacionados con la temperatura de almacenamiento, los resultados indican, que la fruta sometida a 5°C, pierde un 4,48% de peso, mayor que los tratamientos evaluados a 10 y 20°C. La menor pérdida de peso, se obtuvo con el tratamiento de 20°C.

En general, este tipo de melón perdió en promedio, entre un 3 y 4 % de su peso fresco a los 30 días desde la cosecha, no superando ninguno de los tratamientos, el nivel crítico de deshidratación apto para mercados internacionales de 5%.

Porcentaje de pudriciones

La pudrición en almacenamiento es el principal problema detectado en frutos de melones. Este problema afecta seriamente la exportación de la fruta, lo que se favorece además por la manera tradicional del producir melones por parte de los agricultores de la región, ya que la fruta crece y se desarrolla en contacto directo con el suelo (fuente de inóculo).

En la **Figura 9**, se presenta el porcentaje de fruta con presencia de pudrición evaluada a los 30 días de almacenamiento a distintas temperaturas.

Los melones almacenados a 5°C, resultaron con un 67% de la fruta con problemas de pudrición. Al contrario, los melones almacenados a 10°C de temperatura alcanzaron solo un 4% de la fruta con algún nivel de pudrición.

Durante almacenaje e independiente de la temperatura de almacenamiento a las cuales fueron sometidos los frutos de melones, los principales hongos patógenos encontrados fueron *Phytophthora*, *Fusarium* y *Botrytis* (**Figura 10**). Tanto *Phytophthora* como *Fusarium* corresponden a hongos que se encuentran comúnmente en el del suelo y se pueden manifestar en almacenamiento si las condiciones ambientales son favorables, en cambio *Botrytis* aparece durante el almacenamiento después de la cosecha.

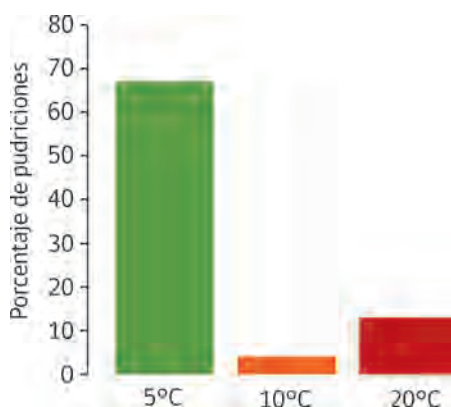


Figura 9. Porcentaje de fruta de melón piel de sapo con presencia de pudriciones después de 30 días de almacenamiento a distintas temperaturas.



Figura 10. Problemas de pudriciones generadas por *Botrytis* en el pedúnculo y por *Fusarium* en el fruto completo.

Porcentaje de pardeamiento

Otra condición importante que puede estar afectada los frutos de melones en almacenamiento y que genera depreciación del producto es la oxidación de la cáscara o pardeamiento externo, que le da un aspecto envejecido y descolorido a la fruta.

En la **Figura 11**, se presenta el porcentaje de fruta con pardeamiento externo después de 30 días de almacenamiento a los diferentes tratamientos de temperaturas.

Según la gráfica, más del 90% la fruta sometida a almacenamiento a 5°C, resultó con daño por frío (pardeamiento externo). El menor porcentaje de pardeamiento, se obtuvo con la temperatura de almacenamiento de 20°C.

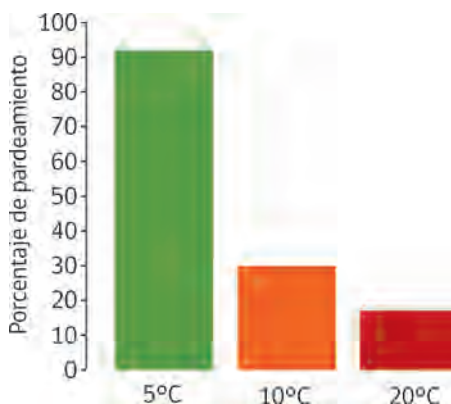


Figura 11. Porcentaje de fruta con pardeamiento externo evaluada en melón durante 30 días de almacenamiento a diferentes temperaturas.

Sólidos solubles y firmeza

En la **Tabla 7**, se presentan la concentración de sólidos solubles y firmeza de los frutos de melones después de 30 días de almacenamiento a distintas temperaturas.

No hubo diferencias significativas en la concentración de sólidos solubles, entre las temperaturas almacenamiento de 10° y 20°C, con 12.48 y 11.36 °Brix resultando ambas, significativamente superiores a la fruta almacenada a 5°C, donde los azúcares disminuyeron en la fruta alcanzando valores de 8.93 °Brix. Respecto a la firmeza de la pulpa, no se generaron diferencias entre los tratamientos aplicados. Estos valores de firmeza están dentro del rango comercial de buena crocancia.

Tabla 7. Concentración de sólidos solubles (SS) y la firmeza de la fruta después de 30 días de almacenamiento.

Temperatura	S.S °Brix	Firmeza (Lb)
5°C	8,93 a	2,69 a
10°C	11,36 b	3,34 a
20°C	12,48 b	3,29 a

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

Comentarios

Este tipo de melón, tiene las condiciones para soportar un almacenamiento de 30 días sin afectar fuertemente su peso fresco. Se recomienda tener la fruta a una temperatura de almacenamiento de 10°C, temperaturas más bajas, generan un elevado porcentaje de pardeamiento y pudriciones de la fruta. El manejo de las pudriciones en melón debería iniciarse con labores de pre cosecha, seguido de manejo de post cosecha como; a) cosechar la fruta sin pedúnculo, b) no mojar la fruta, c) limpiar restos de suelo de la piel con un cepillo, d) en caso de aplicar algún fungicida (Imadazil, Shoolar), aplicar en la herida que deja el corte del pedúnculo.

Bibliografía

- Acharya, S., *et al.* 2013. Effect of water regime on growth and yield of lettuce (*Lactuca sativa* L.). International Quarterly journal of life Science. 8. (1): 201-206.
- Adams, P; Graves, C; Winsor, GW. 1978. Tomato yields in relation to the nitrogen, potassium and magnesium status of the plants and of the peat substrate. Plant and Soil 49: 137-148.
- Al-Mefleh, N; Samarah, N; Zaitoun, S; Al-Majeed Al-Ghzawi, A. 2012. Effect of irrigation levels on fruit characteristics, total fruit yield and water use efficiency of melon under drip irrigation system. J. Food, Agric. & Env: 10, 540-545 <https://doi.org/10.1234/4.2012.3050>
- Allen, R.G.; Pereira, L.S.; Raes, D.; Smith, M. 1998. Crop evapotranspiration-Guide lines for computing crop water requirements-FAO. Irrigation and drainage paper 56. FAO, Rome. 300.
- Antúnez, A.; Felmer, S.; Vidal, M.; Morales, R.; Aguilar, A. y Yarad, S. 2015. Mejoramiento del Riego Superficial del Maíz en la Región de O'Higgins. Capítulo 4:63-80. En: Antúnez, A.; Vidal, M.; Felmer, S y González, M. (Eds.). 2015. "Riego por Pulsos en Maíz Grano". Rengo, Chile. Instituto de Investigaciones Agropecuarias. Boletín INIA N° 312, 114 p.
- Ayers, RS.; Westcot, DW. (1985) Water quality for agriculture. irrigation and drainage paper No.29,FAO,Rome.http://203.200.22.249:8080/jspui/bitstream/123456789/11981/1/Water_quality_for_agriculture.pdf
- Besford, RT. 1980. A rapid tissue test for diagnosing phosphorus deficiency in the tomato plant. Annals of Botany 45: 225-227.

- Betancourt, P; Pierre, F. 2013. Extracción de macronutrientes por el cultivo de tomate (*Solanum lycopersicum* mill. var. alba) en casas de cultivo en Quíbor, estado Lara. *Bioagro* 25: 181-188.
- Beweley, WF; White, HL. 1926. Some nutritional disorders of the tomato. *Annals of Applied Biology* 13: 323-338.
- Bisht, SS. 2002. Biochemical changes under iron deficiency and recovery in tomato. *Indian Journal of Plant Physiology* 7: 183-186.
- BNAE. 2013. Balance del nitrógeno en la agricultura Española del año 2011. Ministerio de Agricultura, Alimentación y Medio Ambiente, 10-23 pp.
- Bozkurt, S. and Sayilkan, M. 2011. Lettuce yield responses to different drip irrigation levels under open field condition. *J. of Cell and Plant Sci*: 2(2). 12-18.
- Cabello, M; Castellanos, M; Romojaro, F; Martínez-Madrid, C; Ribas, F. 2008. Yield and quality of melon grown under different irrigation and nitrogen rates. *Agric. WaterManage*: 9. 6, 866-874 <https://doi.org/10.1016/j.agwat.2008.11.006>
- Cantliffe, D.J; Hochmuth G.J; Karchi, I; Secker, I; Ben-Yehoshua, S. 1998. Nitrogen fertility requeriment for iceberg lettuce grow on sandland with plastic mulch and drip irrigation. *Proc. Fla. State. Hort. Soc.* 110: 306-309.
- Carpena, O; Zornoza, P; Mataix, J. 1982. Incidence of P, Mn and B deficiencies on the levels of the whole and individual flavonoid groups in tomato leaves. *Journal of Plant Nutrition* 5: 1197-1208.
- Chun-Zhi, Z; Zhi-Long, B; Bao-Zhong, Y. 2008. Determination of optimum irrigation wateramountfor drip-irrigated muskmelon (*Cucumis melo* L) in plastic greenhouse. *Agric. Water Manage*: 96, 595-602 <https://doi.org/10.1016/j.agwat.2008.09.019>
- Cifuentes, L.A. and Meza, F.J. 2008, Cambio climático: consecuencias y desafíos para Chile. Centro interdisciplinario de cambio global (CICG-UC). 22. Pontificia Universidad Católica de Chile. Temas de la Agenda Pública. Vicerrectoría de Comunicaciones y Asuntos Públicos https://cambioglobal.uc.cl/images/publicacionesextension/1_2008_Cambio_Climatico_Consecuencias_De-safios.pdf.

- Clarke, EJ. 1944. Studies on tomato nutrition I. The effect of varying concentrations of potassium on the growth and yields of tomato plants. *Journal Department Agriculture of Republic Ireland* 41: 53-81.
- Coelho, A.; Gomes, E.; Sousa, A.; Gloria, M. 2005. Effect of irrigation level on yield and bioactive amine content of American lettuce. *J. Sci. Food Agric.* 85: 1026-1032. <https://doi.org/10.1002/jsfa.2064>
- Cuevas, F; Soriano, M; Moreno, J; Lozano, D; Pradas, I; Cardeñosa, V; González, V. 2017. Efecto del riego deficitario controlado en la calidad comercial y organoléptica del melón. *Actas de Horticultura. N°60. XIII Congreso Nacional De Ciencias Hortícolas*, 278-281.
- Davies, JN; Winsor, GW. 1967. Effect of nitrogen, phosphorus, potassium, magnesium and liming on the composition of tomato fruit. *Journal of the Science of Food and Agriculture* 18: 459-466.
- Godoy, H; Castellanos, J; Alcántara, G; Sandoval, M; Muñoz, J. 2009. Efecto del injerto y nutrición de tomate sobre rendimiento, materia seca y extracción de nutrientes. *Tierra Latinoamericana* 27:1-9.
- Gupta, UC. 1983. Boron deficiency and toxicity symptoms for several crops as related to tissue boron levels. *Journal of Plant Nutrition* 6: 387-395.
- Hamson, AR. 1952. Factors which condition firmness in tomatoes. *Food Research* 17: 370-379.
- Hanger, B.C. 1979. The movement of calcium in plants. *Communications in Soil Science and Plant Analysis* 10: 171-193.
- Hardessen, ML. 2012. Diagnóstico sobre la fertilidad y algunos parámetros físico químicos de suelos agrícolas de la provincia de Quillota. Tesis para optar al grado de Licenciado en Agronomía. Universidad del Mar Escuela De Ciencias Agropecuarias. 53p.
- Hernández, M; Chailloux, M; Moreno, V; Mojena, M; Salgado, J. 2009. Relaciones nitrógeno-potasio en fertirriego para el cultivo protegido del tomate (*Solanum lycopersicum* L.) y su efecto en la acumulación de biomasa y extracción de nutrientes. *Cultivos Tropicales* 30: 71-78.

- Hewitt, EJ. 1944. Experiments in mineral nutrition. II. The visual symptoms of mineral deficiencies in crop plants grown in sand cultures. Long Ashton Agricultural and Horticultural Research Station, Long Ashton, Bristol, 50-60 p.
- Hirzel, J; Salazar, F. 2016. Guía de manejo y buenas prácticas de aplicación de enmiendas orgánicas en agricultura. Boletín INIA N°325. 56 p. Instituto de Investigaciones Agropecuarias, Chillán, Chile.
- Kalra, GS. 1956. Responses of the tomato plant to calcium deficiency. Botanical Gazette 118: 18-37.
- Karam, F; Mounzer, O; Sarkis, F; Lahoud, R. 2002. Yield and Nitrogen recovery of lettuce under different irrigations regimes. J. Appl. Hort. 4: 70:76.
- Kaya, C; Higgs, D. 2001. Inter-relationships between zinc nutrition, growth parameters, and nutrient physiology in a hydroponically grown tomato cultivar. Journal of Plant Nutrition 24: 1491-1503.
- Kirnak, H.; Taş, I.; Gokalp, Z.; Karaman S. 2016. Effects of different irrigation levels on yield of lettuce grown in an unheated greenhouse. Current Trends in Natural Sciences: 5(9).145-151.
- Krarp, C; I, Moreira. 1998. Hortalizas de estación fría. Biología y diversidad cultural. Pontificia Universidad Católica de Chile, Vicerrectoría Académica, Facultad de Agronomía e Ingeniería Forestal, Santiago, Chile. 163p. Internet, http://www.puc.cl/sw_educ/hort0498.
- Kösesakal, T; Ünal, M. 2009. Role of zinc deficiency in photosynthetic pigments and peroxidase activity of tomato seedlings. European Journal of Biology 68: 113-120.
- Lee, J. 2003. Advances in vegetable grafting. Chronica Horticulturae 43: 13-19.
- Marotto, J.V. 1995. Horticultura Herbácea Especial. Ediciones Mundi-Prensa Castelló 37, Madrid, 611 p. 4ta Edición.
- Maroto, J.V. 2002. Horticultura herbácea especial. 5º Edición. Madrid Barcelona, Ediciones Mundi Prensa, 702 p.

- Marschner, P. 2012. Marschner`s mineral nutrition of higher plants. Marschner P. (ed.). Third edition. Academic Press. London, UK. Waltham and San Diego, USA. 645 p.
- McLaughlin, SB; Tansley, WR. 1999. Calcium physiology and terrestrial ecosystem processes. *New Phytologist*. 142: 373-417.
- Naji, A; Nezar, S; Shahera, Z; Abd Al-Majeed, A. 2012. Effect of irrigation levels on fruit characteristics, total fruit yield and water use efficiency of melon under drip irrigation system. *J. Food, Agric. & Enviro*: 10(2), 540-545 <https://doi.org/10.1234/4.2012.3050>
- Nissen, J.M.; Garay, M.; Aguilera, A.; Valenzuela, A. 2000. Calidad de aguas subterráneas en la décima región de Chile. *Agro Sur (Chile)* 28: 25-39.
- Oda, M. 2007. Vegetable seedling grafting in Japan. *Acta Horticulturae* 759: 180.
- Odepa. 2019. Información Nacional 2019, Región Metropolitana. Oficina de Estudios y Políticas Agrarias. <https://www.odepa.gob.cl/wp-content/uploads/2019/05/Metropolitana.pdf>
- Refaie, K; Hassanein, M; Abdelraouf, R. 2012. Response of Some Cantaloupe Hybrids to water Stres. *J. New York Science, Water Stress*: 5(8), 88-95 http://www.sciencepub.net/newyork/ny0508/012_8843bny0508_88_95.pdf
- Ribas, F; Cabello, M; Moreno, M; Moreno, A; López-Bellido, L. 2003. Influencia del riego y de la aplicación de potasio en la producción del melón (*Cucumis melo* L.). II: Calidad. *Spanish J. Agric. Research*: 1, 79-90
- Ribas, F; Cabello, M; Moreno, M; Moreno, A; Lopez, L. 2001. Respuesta fisiológica de un cultivo de melón (*Cucumis melo* L.) a distintas dosis de riego. *Investigación Agraria, Producción y Protección Vegetal*: 15. 196-212
- Rivero, RM; Ruiz, J. M; Romero, L. 2003. Role of grafting in horticultural plants under stress conditions. *Journal of Food Agriculture and Enviroment* 1: 70-74.
- Sanchez, C. 2000. Response of lettuce to water and nitrogen on sand and the potential for leaching of nitrate-N. *HortScience*: 35 (1). 73-77.

- Sánchez-Rodríguez, E; Romero, L; Ruiz, JM. 2013. Role of grafting in resistance to water stress in tomato plants: ammonia production and assimilation. *Journal of Plant Growth Regulation* 32: 831-842.
- Sammis, T; Kratky, B.; and Wu, I. 1988. Effects of limited irrigation on lettuce and Chinese cabbage yields. *Irrig Sci*: 187-198 <https://doi.org/10.1007/BF00275431>.
- Seaton, HL; Gray, GF. 1936. Histological study of tissues from greenhouse tomatoes affected by blotchy ripening. *Journal of Agricultural Research* 52: 217-224.
- Saavedra, G. 2017. Manual de producción de lechuga. Boletín INIA N° 374. Santiago, Chile. Instituto de Investigaciones Agropecuarias, 153 p.
- Sepúlveda, F; Rojas, C; Carrasco, J; Morales, A. 2012. Metodología en la toma de muestra de suelo y su importancia. Informativo INIA N° 58, febrero.
- Shafshak, SA; Winsor, GW. 1964. A new instrument for measuring the compressibility of tomatoes, and its application to the study of factors affecting fruit firmness. *Journal of Horticultural Science* 39: 284-297.
- Sharmaa, S; Leskovara, D; Crosbyb, K; Volderb, A; Ibrahim, A. 2014. Root growth, yield, and fruit quality responses of reticulates andinodorus melons (*Cucumis melo* L.) to deficit subsurface drip irrigation. *Agric.Water Manage*: 136, 75-85 <https://doi.org/10.1016/j.agwat.2014.01.008>
- Sensoy, S; Ertek, A; Gedik, I; Kucukyumuk, C. 2007. Irrigation frequency and amount affect yield and quality of field grown melon (*Cucumis melo* L.). *Agric. Water Manage*: 88, 269-274 <https://doi.org/10.1016/j.agwat.2006.10.015>
- Sorensen, J.N; Johansen, A.S; Poulsen, N. 1994. Influence of growth conditions on the value of crisphead lettuce: 1. Marketable and nutritional quality as affected by nitrogen supply cultivar and plant age. *Plant-Foods-for-Human-Nutrition* 46: 1-11.
- Stanford, G. 1973. Rationale for optimum nitrogen fertilization for corn production. *Journal of Environmental Annual* 2: 159-166.
- Taylor, MD; Locascio, SJ. 2004. Blossom-End Rot: A Calcium Deficiency. *Journal of Plant Nutrition* 27: 123-139.

- Tarqui, M. *et al.* 2017. Index of water stress of lettuce crop (*Lactuca sativa*), through infrared thermometry to different irrigation sheets. *Revista de investigación e innovación agropecuaria y de recursos naturales*.4,(1), 7-18.
- Tjalling, H. 2006. Guía de manejo nutrición vegetal de especialidad tomate. SQM SA. 84 p.
- Tsui, C. 1948. The role of zinc in auxin synthesis in the tomato plan. *American Journal of Botany* 35: 172-179
- Uchida, R. 2000. Plant Nutrient Management in Hawaii's Soils, Approaches for Tropical and Subtropical Agriculture J. A. Silva and R. Uchida, eds. College of Tropical Agriculture and Human Resources, University of Hawaii at Manoa.
- Ulrychova, M; Sosnova, V. 1970. Effect of phosphorus deficiency on anthocyanin content in tomato plants. *Biologia Plantarum* 12: 231-235.
- Van Bruggen, A.; Brown, P.; Shennan, C. and Greathead, A. 1990. The effects of cover crops and fertilization with ammonium nitrate on corky root of lettuce. *Plant Dis.* 74:584-589 <https://doi.org/10.1094/PD-74-0584>.
- Villasana, J. 2010. Efecto del injerto en la producción de tomate (*Lycopersicon esculentum* Mill.) bajo condiciones de invernadero en Nuevo León. Maestro en ciencias en producción agrícola. Universidad autónoma de Nuevo León. 68 p.
- Wallace, T. 1951. The diagnosis of mineral deficiencies in plants by visual symptoms. A colour atlas and guide. H. M. Stationary Office, London, 2nd ed. 107 p.
- Ward, G; Miller, MJ. 1969. Magnesium deficiency in greenhouse tomatoes. *Canadian Journal of Plant Science* 49: 53-59.
- White, HL. 1938. Further observations of the incidence of blotchy ripening of tomato. *Annals of Applied Biology* 25: 544-557.
- Winsor, GW. 1966. Some factors affecting composition flavour and firmness of tomatoes. *Scientific Horticulture* 18: 27.
- Winsor, GW; Long, MIE. 1967. The effects of nitrogen, phosphorus, potassium magnesium and lime in factorial combination on ripening disorders of glass-house tomatoes. *Journal of Horticultural Science* 42: 391-402.

- Winsor, GW; Long, MIE. 1968. The effects of nitrogen, phosphorus, potassium, magnesium and lime in factorial combination on the size and shape of glass-house tomatoes. *Journal of Horticultural Science* 43: 323-334.
- Winsor, GW; Davies, JN; Long, MIE. 1961. Liquid feeding of glasshouse tomatoes. The effects of potassium concentration on fruit quality and yield. *Journal of Horticultural Science* 36: 254-267.
- Winsor, GW; Massey, DM. 1958. The composition of tomato fruit. I. The expressed sap of normal and 'blotchy' tomatoes. *Journal of the Science of Food and Agriculture* 9: 493-498.
- Yaghi, T; Arslana, A; y Naoumb, F. 2013. Cucumber (*Cucumis sativus* L.) water use efficiency (WUE) under plastic mulch and drip irrigation. *Agric. WaterManage*: 128. 149-157 <https://doi.org/10.1016/j.agwat.2013.06.002>
- Yazgan, S.; Ayas S.; Demirtas C.; Buyukcangaz, H.; Candogan, B. 2008. Deficit irrigation effects on lettuce (*Lactuca sativa* var. Olenka) yield in unheated greenhouse condition. *J. Food Agr. & Environ.* 6(2): 357-361. <https://doi.org/10.1234/4.2008.1241>
- Xu, G; Zhang, F; Shah, SG; Ye, Y; Mao, H. 2011. Use of leaf color images to identify nitrogen and potassium deficient tomatoes. *Pattern Recognition Letters* 32: 1584-1590.



Boletín INIA / N° 406
www.inia.cl

