

UNIVERSIDAD DE CHILE  
FACULTAD DE CIENCIAS AGRONÓMICAS  
ESCUELA DE PREGRADO

Memoria de Título

DIAGNÓSTICO DE PLAN DE FERTILIZACIÓN PARA CULTIVO DE  
MELONES: ESTUDIO DE CASO, COMUNA DE PICHIDEGUA

VALENTINA PAZ PÖSSEL GALLI

Santiago, Chile

2017

UNIVERSIDAD DE CHILE  
FACULTAD DE CIENCIAS AGRONÓMICAS  
ESCUELA DE PREGRADO

Memoria de Título

DIAGNÓSTICO DE PLAN DE FERTILIZACIÓN PARA CULTIVO DE  
MELONES: ESTUDIO DE CASO, COMUNA DE PICHIDEGUA

ASSESSING A FERTILIZATION PLAN FOR CANTALOUPE CROPS: A  
CASE STUDY, COMMUNE OF PICHIDEGUA

VALENTINA PAZ PÖSSEL GALLI

Santiago, Chile

2017

UNIVERSIDAD DE CHILE  
FACULTAD DE CIENCIAS AGRONÓMICAS  
ESCUELA DE PREGRADO

**DIAGNÓSTICO DE UN PLAN DE FERTILIZACIÓN PARA CULTIVO DE MELONES:  
ESTUDIO DE CASO, COMUNA DE PICHIDEGUA**

Memoria para optar al título profesional de:  
Ingeniera Agrónoma

**VALENTINA PAZ PÖSSEL GALLI**

<b>PROFESORES GUÍAS</b>	<b>Calificaciones</b>
Sr. Osvaldo Salazar Guerrero Ingeniero Agrónomo, MS. Ph D.	6,5
Sr. Ricardo Cabeza Pérez Ingeniero Agrónomo, Ph D.	6,5
<b>PROFESORES EVALUADORES</b>	
Sr. Cristian Kremer Fariña Ingeniero Agrónomo, Ph D.	6,5
Sra. Loreto Cánaves Soto Ingeniera Agrónoma, MS.	5,0

**Santiago - Chile**

**2017**

## AGRADECIMIENTOS

Quisiera agradecer a todas las personas que de una u otra forma estuvieron presentes en mi proceso universitario, en especial a mis profesores guías Osvaldo Salazar y Ricardo Cabeza por su apoyo académico y paciencia. También a las personas del laboratorio de Química de suelos, por su apoyo incondicional y enseñanzas.

Agradecer también a mi familia, a mis padres por heredarme el gusto por la Agronomía y los recursos naturales, a la Kena por acompañarme en todas las noches de estudio, y a mis abuelas que me acompañan siempre donde vaya.

A mis amigas y amigos de la Universidad, del Manuel de Salas y de mi condominio de Ñuñoa, por su apoyo incondicional, por darme siempre ánimos, y por mantener la amistad sincera y de tantos años.

A Nora Miranda Rayo, con mucho cariño

## ÍNDICE

	pág
Resumen.....	1
Abstract.....	2
Introducción.....	3
Objetivos.....	5
Materiales y método.....	6
Lugar de estudio.....	6
Materiales.....	6
Muestreo.....	7
Mediciones propiedades químicas del suelo.....	8
Mediciones propiedades físicas del suelo.....	8
Medición de la concentración de nutrientes en el tejido vegetal.....	8
Mediciones del contenido de clorofila.....	9
Análisis de aguas.....	9
Cálculo de dosis de fertilización.....	9
Balance de elementos.....	11
Análisis estadístico.....	12
Resultados y discusión.....	13
Análisis de suelo.....	13
Análisis de tejidos vegetales.....	18
Contenido de clorofila.....	22
Análisis de aguas.....	23
Cálculo de dosis de fertilización.....	24
Recomendación de dosis de fertilización.....	24
Balance de elementos.....	26
Materia seca aportada como rastrojo.....	28
Conclusiones.....	29
Bibliografía.....	30
Apéndices.....	33
Anexos.....	34

## RESUMEN

El objetivo del estudio fue diagnosticar y recomendar un plan de fertilización para el cultivo de melón (*Cucumis melo* L.) en 3 predios en la Región de O'Higgins, Comuna de Pichidegua. Dentro del diagnóstico se realizó una caracterización física y química del suelo y de algunos parámetros químicos del agua de riego. En el melón se midió en las hojas el índice de contenido de clorofila (CCI) con un clorofilómetro, y la concentración de elementos N-P-K-S-Ca-Mg-Na en todos los órganos de la planta. Se encontró que las mediciones de CCI se relacionaron positivamente con la concentración de N en hojas. En base al balance de nutrientes realizado se encontró una sobre fertilización de 15 a 157 kg N ha<sup>-1</sup>, 60 a 76 kg P ha<sup>-1</sup> y 96 a 208 kg K ha<sup>-1</sup>. También se realizó un balance de entradas y salidas del sistema para todos los elementos en estudio, y el resultado de estos fue positivo. Por consiguiente, se propone una dosis de fertilización para el melón en la zona de estudio basado en ecuaciones que consideran el requerimiento interno de las plantas de melón, y las condiciones sitio específicas de la zona de estudio, y se concluye que difiere de la dosis aplicada por la cooperativa agrícola. Al respecto se recomienda la aplicación de la dosis calculada con los datos obtenidos en el presente estudio, y a considerar la posibilidad de incorporar los rastrojos producidos, con el fin de disminuir la aplicación de fertilizantes.

## PALABRAS CLAVE

Balance de macro elementos, índice de contenido de clorofila, producción de materia seca, requerimiento interno.

## ABSTRACT

The objective of this study was to diagnose and recommend a fertilization plan for the cultivation of cantaloupes (*Cucumis melo* L.) in three agricultural lots located in Pichidegua Commune (O'Higgins Region). Within this work, a physical and chemical soil characterization was conducted, and several chemical parameters of the irrigation water were evaluated. For the cantaloupes, chlorophyll content index (CCI) was measured in its leaves using a chlorophyll meter, and the concentration of N-P-K-S-Ca-Mg-Na elements were measured for all organs of the plant. The CCI measurements were found to be positively relation with N concentration in the leaves. Regarding the balance of nutrients were found an over fertilization ranging from 15 to 157 kg N ha<sup>-1</sup>, 60 to 76 kg P ha<sup>-1</sup>, and 96 to 208 kg K ha<sup>-1</sup>. Additionally, input and output balances were conducted for all the elements included in this study, obtaining positive results. A fertilization dose is proposed for the cantaloupe plants of this geographical area, based on equations which consider the internal requirements of these plants and the specific site characteristics of the study zone, prompting the conclusion that this dose differs from the one currently being applied by the local agricultural cooperative. A recommendation is made to apply the dose calculated using the findings of this study, and to consider the possibility of adding stubbles, with the objective of reducing the use of fertilizers.

## KEY WORDS

Balance of macro elements, index of chlorophyll content, dry matter production, internal requirement.

## INTRODUCCIÓN

El melón (*Cucumis melo* L.) es un importante cultivo hortícola que crece en todo el mundo, principalmente en Asia, América y Europa, con una producción total de 27,7 millones de toneladas y alrededor de 1,4 millones de hectáreas plantadas (FAO – stat, 2011). Entre los principales países productores destacan China, seguida de Turquía, Estados Unidos, y por último España e Irán. Según ODEPA (2013), en Chile se plantaron el año 2013 alrededor de 2.954 ha de melón, concentrándose la mayor superficie en la Región de O'Higgins con 1.500 ha, seguida por la Región Metropolitana y del Maule. Cabe destacar que la Región de O'Higgins posee la mayor proporción de productores que apoyan su actividad hortícola con instrumentos crediticios, los cuales son otorgados en mayor parte por INDAP.

Para que el cultivo del melón sea rentable el productor debe obtener el rendimiento máximo según las condiciones edafoclimáticas de la zona. Para lograr este propósito es necesario considerar diferentes factores, como por ejemplo: riego, fertilización, incidencia de plagas y enfermedades, disponibilidad de maquinaria y mano de obra, recursos financieros, entre otros.

Respecto del suelo, éste debe tener idealmente un alto contenido de materia orgánica (> 5%), estar bien estructurado y tener baja resistencia mecánica para facilitar el crecimiento radicular, ser profundo (> 100 cm), ya que las raíces del melón alcanzan profundidades mayores a los 50 cm cuando no hay limitantes para su desarrollo. En relación al cultivo, la planta crece adecuadamente en un rango de pH de 6,1 a 7,2, y es moderadamente tolerante a la presencia de sales, tanto en el suelo como en el agua de riego. Por ejemplo presenta valores máximos tolerables en el suelo y agua de riego de 2,2 dS m<sup>-1</sup> y 1,5 dS m<sup>-1</sup>, respectivamente (CIREN, 1989).

En el cultivo tradicional del melón, el sistema de riego más utilizado es por surco, con una conducción del agua desde acequias hasta la cabecera de los surcos de riego. La eficiencia de riego es baja, debido a que no se controla la cantidad de agua a aplicar, ni la frecuencia ni tiempo de riego. También se observa una variación en los niveles de tecnología para la distribución del agua, puesto que no todos los agricultores tienen los recursos suficientes como para tener acceso a riego tecnificado. Por su parte, el riego por goteo, el cual puede alcanzar eficiencias de hasta un 95%, se adapta de mejor forma al cultivo del melón, puesto que las cucurbitáceas, en general, son muy sensibles al anegamiento, y además permite agregar la fertilización en la cantidad requerida a lo largo del desarrollo del cultivo (Cadahia, 2005).

Uno de los mayores costos asociados a la producción de melón, es la fertilización del cultivo. Sin embargo, la dosis de fertilizantes es estándar, y no se consideran las condiciones de sitio específicas en las que se establece, ni la demanda de nutrientes del cultivo. Así, en la mayoría

de los casos, se desconoce si la aplicación de fertilizantes es aprovechada completamente por el cultivo, o si existen pérdidas de fertilizantes al ambiente. Es por esta razón, que es necesario establecer un balance de nutrientes para determinar la cantidad del elemento que debe ser suministrado vía fertilización. Para lograr un balance y un uso racional de los fertilizantes, es necesario realizar una evaluación de la fertilidad del suelo. También, se debe tomar en cuenta el aporte potencial de nutrientes proveniente de residuos de cosecha del cultivo anterior.

Durante el desarrollo del cultivo, las etapas de máxima absorción, coinciden con las etapas de mayor necesidad de nutrientes, las cuales corresponden a la emisión de guías (22-33 días después de la siembra), y a la de llenado de frutos (46-54 días después de siembra). Hasta los 33 días, el cultivo ha consumido el 50% de N y potasio (K), indicando que hasta ese momento se debería haber aplicado las cantidades equivalentes de estos nutrientes. En relación a la acumulación total de elementos durante la temporada de crecimiento del melón, Rincon *et al* (1998) indica que los nutrientes K, N, Ca, Mg y P son los más importantes. De estos nutrientes, N, Ca y Mg se acumulan en las hojas, mientras que P y K se concentran predominantemente en los frutos. Finalmente, parte del K también se encuentra presente en los tallos.

Al igual que en otros cultivos hortícolas, el nitrógeno (N) es el elemento más demandado en el crecimiento, desarrollo, productividad y longevidad del melón (Huett, 1996). Por otro lado, un exceso de N puede tener un impacto negativo sobre el rendimiento y la calidad del fruto, además de aumentar los costos de los insumos (Cabello *et al.*, 2009). Debido a que éste elemento es muy móvil en el suelo, aplicaciones excesivas pueden causar lixiviación del N en profundidad contaminando aguas subterráneas (Gastal y Lemaire, 2002). Por lo tanto, para hacer un uso racional de los fertilizantes, y en especial del N, es necesario conocer la curva de demanda de nutrientes de los cultivos, ya que ésta varía dependiendo de la especie, la ubicación, el clima, las características del suelo y el manejo del cultivo (Van Eerd y O'Reilly, 2009).

Otros elementos, como el K, juegan un rol fundamental en el desarrollo del fruto del melón. El suministro de K también está asociado al aumento de los rendimientos, tamaño de la fruta, aumento de los sólidos solubles y las concentraciones de ácido ascórbico, color de la fruta y vida post cosecha (Geraldson, 1985). Con respecto al P, este elemento cumple un importante papel en la producción de energía para procesos metabólicos y el crecimiento de raíces. Por su parte, el Ca ayuda a la turgencia celular y a la estabilidad de la pared celular. El Mg, aparte de su función estructural en la molécula de clorofila, cumple funciones importantes como activador enzimático, destacando su rol en la activación de la enzima responsable de la asimilación del CO<sub>2</sub>, Rubisco, esencial para llevar a cabo la fotosíntesis. Finalmente el S, es constituyente de proteínas que se forman en la planta (Gomez, 2005).

Este trabajo tiene como objetivo evaluar las prácticas de fertilización de los productores de melón de la Comuna de Pichidegua y realizar un estudio de caso respecto de la aplicación de fertilizantes.

El objetivo general es diagnosticar y recomendar un plan de fertilización para el cultivo del melón en campos de la Comuna de Pichidegua.

Los objetivos específicos son los siguientes:

- Evaluar a través de un clorofilómetro el contenido de nitrógeno en la hoja como un método no destructivo.
- Evaluar el manejo de la fertilización del melón en campos de la Comuna de Pichidegua.
- Proponer una dosis de fertilización para el melón en la zona de estudio basado en ecuaciones.

## MATERIALES Y MÉTODO

### Lugar de estudio

El estudio se realizó en tres campos de productores asociados a la Cooperativa Campesina Intercomunal Peumo (COOPEUMO), comuna de Pichidegua, Región de O'Higgins. Las muestras recolectadas fueron analizadas en el Laboratorio de Química de Suelos y Aguas, y en el Laboratorio de Física de Suelos de la Facultad de Ciencias Agronómicas de la Universidad de Chile. El estudio consideró el periodo desde el trasplante (Octubre- Noviembre de 2014) hasta la última cosecha (Enero 2015).

El clima de la Comuna de Pichidegua es de tipo Mediterráneo semiárido, con veranos cálidos e inviernos fríos, con una temperatura media anual del aire de 14,6°C, máxima mensual de 26,3°C en el mes de enero, y mínima mensual de 6,1°C en agosto. Las precipitaciones se concentran en los meses de mayo a octubre, y bordean una media anual de 550 mm, con una evapotranspiración potencial de 940 mm año<sup>-1</sup> (Uribe *et al.*, 2012).

Respecto de los suelos de cada campo en estudio, el primer y segundo campo (C1 y C2) presentan texturas franco arcillo arenosas, y el tercer campo (C3) franco arcillo limosas.

### Materiales

El estudio se realizó durante el periodo comprendido entre los meses de Noviembre de 2014 (establecimiento de los plantines) y Enero de 2015 (cosecha) en tres predios de agricultores de COOPEUMO. Los campos fueron identificados como: Campo 1 (C1), Campo 2 (C2), ambos ubicados en la localidad de El Toco, Comuna de Pichidegua, y Campo 3 (C3), ubicado en la localidad de San Luis, Comuna de Pichidegua.

En cada campo, se establecieron plantines de melón de la variedad Sundew, caracterizada por tener una piel cremosa, lisa, sin arrugas, con pulpa color verde claro y cavidad seminal pequeña. Esta variedad, se destaca por su excelente post cosecha debido a su alta resistencia al transporte, puesto que no se mancha ni sufre heridas.

Los plantines de melón se establecieron a una distancia de 2 m entre hileras y de 0,9 m sobre la hilera, con una densidad aproximada de 10.000 plantas ha<sup>-1</sup>. En cada sitio el agricultor realizó las siguientes prácticas culturales: 1 aradura, 3 rastrajes, preparación de surcos, aradura sobre el camellón, trasplante, instalación del mulch, 3 aplicaciones de abono, y 3 aplicaciones de giberelinas durante la temporada.

En relación a la fertilización aplicada por los agricultores, ésta fue de 350 kg de una mezcla fertilizante que aportó N-P-K (14-25-20), 300 kg de nitrato de potasio (13-0-46), 150 kg de nitrato de calcio (15,5-0-0), y 100 kg de urea (46-0-0). Por lo tanto, al realizar un balance de las entradas de los macroelementos más importantes, estas fueron las cantidades aportadas: 157 kg de N ha<sup>-1</sup>, 88 kg de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> ha<sup>-1</sup>, 208 kg de K<sub>2</sub>O ha<sup>-1</sup> y 39 kg de Ca ha<sup>-1</sup>.

Por otra parte, se aplicaron 5 desinfecciones con Curater para controlar insectos y nemátodos, además de una aplicación de Fast que es un insecticida y acaricida, y Zero que también es un insecticida. Cabe destacar que las principales plagas que afectan al cultivo de melón son Trips, mosca de los almácigos, el nematodo *Meloidogyne* spp, y en el caso de los hongos destacan Botrytis y Fusarium. Respecto de aplicaciones de fungicidas se utilizaron 2 productos, Dithane y Poliben, con una aplicación de cada uno a lo largo de la temporada.

Respecto del riego, se aplicaron 10 riegos a lo largo de la temporada. Tanto en el campo 1 como el 2 poseen riego por surco, mientras que el tercero presenta un riego por cinta.

Por ser una planta indeterminada, la cosecha se realizó en varias ocasiones durante la temporada, cosechándose según la madurez del fruto. Para las labores de cosecha se utilizaron 50 jornadas hombre y una jornada de maquinaria.

### **Muestreo**

En cada campo se seleccionaron tres hileras contiguas, donde a una distancia de 5 m se colectaron 5 muestras de suelo (0-15 cm) desde cada hilera para constituir una muestra compuesta. Este muestreo de suelo se realizó en los tres campos los días 2 de Octubre de 2014 y 16 de Enero de 2015, previo al trasplante y al momento de cosecha, respectivamente.

Las muestras de suelo fueron analizadas en el Laboratorio de Química de Suelos y Aguas, y en el Laboratorio de Física de Suelos de la Facultad de Ciencias Agronómicas de la Universidad de Chile.

Para el muestreo de material vegetal, se seleccionaron en cada campo tres hileras y en cada una de ellas se marcaron tres plantas, las cuales fueron usadas para el muestreo y seguimiento a lo largo del desarrollo del cultivo.

### **Medición propiedades químicas del suelo**

Las muestras de suelo fueron analizadas según los métodos propuestos por Sadzawka *et al.* (2006) para: reacción del suelo (pH) a través de un potenciómetro de mesa; conductividad eléctrica (CE) con un conductivímetro; carbono orgánico (CO) por el método de calcinación a 400°C; nitrógeno (N) disponible (N-NO<sub>3</sub>+N-NH<sub>4</sub>) extraído con cloruro de potasio (KCl) 2M y posterior destilación por arrastre de vapor; P disponible por el método de Olsen y S disponible, ambos elementos con determinación colorimétrica utilizando un espectrofotómetro marca Hach modelo DR-5000; cationes solubles (Ca, Mg, Na y K) y la capacidad de intercambio catiónica (CIC) a pH 7 con extracción con acetato de amonio y determinación en un espectro de absorción atómica.

### **Medición de propiedades físicas del suelo**

En el Laboratorio de Física de Suelos de la Facultad de Ciencias Agronómicas, Universidad de Chile, se determinaron algunas propiedades físicas utilizando las metodologías propuestas por Sandoval *et al.* (2012) como: distribución del tamaño de partículas del suelo usando una muestra compuesta de suelo por campo; y densidad aparente (Da) del suelo, la cual fue determinada con el método del cilindro, en 3 muestras por cada sitio de estudio.

### **Medición de la concentración de nutrientes en el tejido vegetal**

Al final de la temporada del cultivo (16 de enero de 2015) se cosecharon las plantas completas, separándolas por órgano (tallos, hojas, raíces) y estructura (frutos). Para cada planta se determinó la materia seca (MS) total producida. Las muestras colectadas fueron llevadas al Laboratorio de Química de Suelos y Aguas de la Universidad de Chile, donde fueron secadas en una estufa de aire forzado a 70-75°C, hasta obtener una masa constante. Una vez secadas las muestras, fueron trituradas en un molinillo, y posteriormente tamizadas a 0,5 mm para su posterior digestión y determinación de N, P, K, Ca, Mg, Na y S total de acuerdo a las metodologías propuestas por Sadzawka *et al.* (2007). En el caso de las muestras de frutos, fueron previamente liofilizados, proceso que se realizó para facilitar la digestión y determinación de los elementos anteriormente mencionados. Además se estimaron los componentes del rendimiento, como el contenido de MS producida, y el requerimiento interno (RI) para cada macronutriente en estudio.

### **Mediciones del contenido de clorofila**

Durante el desarrollo del cultivo se midió en las hojas el Índice de Contenido de Clorofila (CCI) con un clorofilómetro portátil modelo CCM-200. Se midió el CCI en hojas de plantas previamente marcadas en cada campo (una hoja por planta, tres plantas por hilera, en tres hileras de cada campo respectivamente), hojas nuevas en el estado fenológico de floración. Paralelamente se midió el contenido de N en dichas hojas para la calibración del contenido relativo de clorofila. La determinación de la concentración de N total en el tejido vegetal se realizó según la metodología propuesta por Sadzawka et al. (2007).

### **Análisis de aguas**

Durante el periodo de estudio se realizaron análisis de aguas obtenidas de la cabecera del canal de regadío que suministraba agua a cada campo, con el fin de determinar algunas propiedades según las metodologías propuestas por Sadzawka (2006) como: pH, CE, N disponible ( $N-NO_3-N-NH_4$ ) y P disponible. Se colectaron tres muestras en botellas de vidrio de 0,25 L, para constituir una muestra compuesta. Las muestras de agua fueron mantenidas refrigeradas en un cooler y transportadas al Laboratorio de Química de Suelos y Aguas de la Facultad de Ciencias Agronómicas de la Universidad de Chile para su posterior análisis, el cual se efectuó en un tiempo no superior a las 48 h desde la toma de la muestra, con la finalidad de evitar alteraciones.

### **Cálculo de dosis de fertilización**

Para realizar el cálculo de la dosis óptima de fertilizantes se estableció un balance para cada nutriente, para este propósito se utilizó el análisis inicial del suelo previo al trasplante, el análisis final de suelo al momento de cosecha, la fertilización realizada a lo largo de la temporada, y la concentración de elementos en el tejido vegetal al momento de la cosecha. Así, se procedió a calcular la dosis de fertilización para N, P, K, y un balance de entradas y salidas del sistema a lo largo del desarrollo del cultivo para los elementos (S, Ca, Mg y Na).

Las ecuaciones que se utilizaron para el cálculo de la dosis de fertilización para N-P-K provienen del método propuesto por Rodríguez (1993), quien indica que la dosis de fertilización del nutriente es el resultado de la demanda del cultivo, el suministro del nutriente que entrega el suelo y la eficiencia de la fertilización (ver Cuadro 1).

**Cuadro 1.** Parámetros del cultivo de melón utilizados en el procedimiento para el cálculo de la demanda y la eficiencia de absorción de nutrientes (Suárez, 1990).

Cultivo	Parámetro <sup>1</sup>			
	IC	RIN	RIP	RIK
Melón	75	1,8	0,4	2,4

<sup>1</sup>IC= índice de cosecha; RIN = requerimiento interno de N; RIP = requerimiento interno de P; RIK = requerimiento interno de K.

### Dosis N-P-K

Para el cálculo de las dosis de N-P-K, se emplearon ecuaciones que buscan obtener la demanda de nutriente por parte del cultivo de melón, y el suministro que otorga el suelo previo al trasplante. Estas ecuaciones se detallan a continuación:

$$\text{Demanda nutriente } \left(\frac{\text{kg}}{\text{ha}}\right) = \frac{\text{RE} \cdot (1-H) \cdot \text{RI}}{\text{IC}}$$

(Ec. 1)

donde:

RE = rendimiento esperado (kg ha<sup>-1</sup>)

H= humedad de cosecha (kg kg<sup>-1</sup>).

RI = requerimiento interno del nutriente (%)

IC = índice de cosecha

Luego de conocer la demanda por parte del cultivo, se determina el suministro de nutrientes del suelo previo al trasplante, con el fin de ajustar la dosis que se va a aplicar, para evitar una posible sobre fertilización del cultivo.

Para el cálculo de suministro de N-P-K, se utilizó la siguiente ecuación:

$$\text{Suministro (kg ha}^{-1}\text{)} = [x] \cdot \text{Da} \cdot \text{Z} \cdot \text{s} \quad (\text{Ec. 2})$$

donde:

x= concentración del nutriente en el suelo (mg kg<sup>-1</sup>)

Da= densidad aparente (Mg m<sup>3</sup>)

Z= profundidad del suelo (m)

S= superficie (ha)

Finalmente para el cálculo de la dosis de fertilización para N-P-K, se utilizó la ecuación 3, que considera demanda y suministro, además de una eficiencia de fertilización que depende fundamentalmente del tipo de suelo en que se encuentra el cultivo.

$$\text{Dosis de nutriente} = \frac{\text{Demanda nutriente} - \text{Suministro nutriente}}{\text{Eficiencia de aplicación}} \quad (\text{Ec. 3})$$

### **Balance de elementos**

Por otra parte, se realizó también un balance de entradas y salidas para N-P-K, considerando como entradas el valor de análisis de suelo previo al transplante y la fertilización aplicada, y como salidas la exportación de N-P-K en los frutos. Esto se cuantificó mediante la siguiente ecuación:

$$\Delta (N - P - K) = \text{Entradas} - \text{Salidas} \quad (\text{Ec. 4})$$

### **Azufre**

Para el caso del S, se estableció un balance de entradas y salidas del sistema, considerando como entradas el aporte realizado por el suelo previo al transplante, y como salidas el S exportado en el fruto. Es importante destacar que la lixiviación de S también es una salida importante de S del sistema, pero ésta no fue cuantificada en este estudio de caso, por tanto es una variable que no se consideró en el cálculo.

$$\Delta S = E_{\text{azufre}} - S_{\text{azufre}} \quad (\text{Ec. 5})$$

Donde:

E= entradas de S,

S= salidas de S.

### **Cationes**

Al igual que en el caso del S, para Ca y Mg se estableció un balance de entradas y salidas del sistema. También se estableció este balance para el Na, pese a que no se fertiliza con este elemento. La ecuación utilizada se detalla a continuación:

$$\Delta (Ca - Mg - Na) = E_{\text{cationes}} - S_{\text{cationes}} \quad (\text{Ec. 6})$$

Donde:

E= entradas de cationes, y

S= salidas de cationes.

### **Análisis estadístico**

El análisis estadístico se basó principalmente en estadística descriptiva, determinando parámetros como media y desviación estándar. Esto se realizó con el objetivo de analizar los datos correspondientes al manejo de cada sitio y al uso de los nutrientes que se le da en cada uno de ellos, y también a la calidad de aguas de los mismos. Finalmente, el contenido de clorofila de las hojas fue analizado mediante estimación del contenido promedio en plantas seleccionadas de cada sitio y se relacionó con el contenido de N obtenido en ellas.

## RESULTADOS Y DISCUSIÓN

### Análisis de suelo

En el Cuadro 2 se muestran los resultados obtenidos luego de realizar análisis químicos a las muestras de suelo colectadas inicialmente en la primera fecha correspondiente al 2 de octubre de 2014 (previo al transplante) y el día 16 de enero de 2015 (cosecha).

**Cuadro 2.** Propiedades químicas del suelo (0-15 cm) determinadas previas al transplante y a la cosecha de los melones (promedio  $\pm$  desviación estándar).

Fecha de muestreo	Campo	Propiedades		
		pH	CE	MOS
		-	--- dS m <sup>-1</sup> ---	--- % ---
2/10/2014	C1	6,8 $\pm$ 0,31	0,09 $\pm$ 0,01	3,31 $\pm$ 0,12
	C2	6,8 $\pm$ 0,07	0,15 $\pm$ 0,03	2,02 $\pm$ 0,21
	C3	6,2 $\pm$ 0,08	0,08 $\pm$ 0,02	2,84 $\pm$ 0,10
16/01/2015	C1	6,4 $\pm$ 0,17	0,15 $\pm$ 0,02	3,67 $\pm$ 0,33
	C2	6,3 $\pm$ 0,05	0,18 $\pm$ 0,06	2,60 $\pm$ 0,24
	C3	6,3 $\pm$ 0,12	0,14 $\pm$ 0,02	3,02 $\pm$ 0,19

CE=conductividad eléctrica; MOS=materia orgánica del suelo.

Los resultados indican que mientras la reacción del suelo (pH) disminuyó entre 0,4-0,5 unidades en los campos 1 y 2 al finalizar la temporada, en el campo 3 ésta no se alteró mayormente. Lo anterior se asoció a que el Campo 3 tiene un suelo de una textura más fina (91% de arcilla más limo), mientras que los Campos 1 y 2 tienen una textura más gruesa (arcilla más limo entre 39 y 43%) (Cuadro 3). Los suelos arcillosos y ricos en MO, con gran capacidad de intercambio, tienen un fuerte poder amortiguador, y por lo tanto la variación del pH es más bajo. En cambio suelos arenosos con poca capacidad de intercambio, tiene un débil poder tampón o amortiguador, y cuando son ácidos requieren de poco Ca<sup>+2</sup> para neutralizar la acidez, lo cual implica también que pueden disminuir el pH rápidamente por pérdidas de bases de intercambio (Suarez, 1991). A pesar de estas variaciones de pH en los sitios estudiados, todos presentan, tanto en la fecha previa al transplante como a cosecha, rangos de pH óptimos para el cultivo de melón (pH: 6,2-7,1) según los rangos reportados por CIREN (1989) para este cultivo.

En relación a la CE en ningún campo se alcanzaron valores que exceden los valores tolerables ( $CE > 2,2 \text{ dS m}^{-1}$ ) para afectar la productividad del cultivo (CIREN, 1989). Sin embargo, su valor aumentó entre un 20 y un 75% a lo largo de la temporada, asociado a la adición de fertilizantes y otros agroquímicos que incrementan el contenido de sales en el suelo.

La MOS tuvo un comportamiento similar para los tres campos, puesto que el contenido promedio aumentó en todos. En el primer campo aumentó en un 10%, en el segundo campo un 22%, y en el tercer campo en un 6%. Existen prácticas que contribuyen a la mantención o al incremento de los niveles de MOS, por ejemplo mediante actividades como incorporación de rastrojos de algún cultivo, establecimiento de rotación de cultivo que consideren leguminosas, abonos verdes, cubiertas vegetales, fabricación y aplicación de compost, entre otros (INIA, 2010).

Acerca de las propiedades físicas del suelo (ver Cuadro 3), los tres campos tienen texturas francas, variando las clases texturales de franco arcillo arenosa a franco arcillo limosa. Esta diferencia en la granulometría del suelo puede incidir en la capacidad de retención de agua y conductividad hidráulica, lo cual puede a su vez afectar en el riego, en la capacidad de intercambio catiónica (CIC) y la capacidad de retención de macro y micro elementos.

**Cuadro 3.** Propiedades físicas del suelo en los campos medidos al inicio del estudio.

Campo	Textura			Clase textural <sup>1</sup>	Densidad Aparente
	A	L	a		
	--%--			-	---Mg m <sup>3</sup> ---
C1	22,6	20,5	56,9	FAa	1,28 ± 0,16
C2	20,8	18,0	61,3	FAa	1,12 ± 0,10
C3	32,8	57,7	9,5	FAL	1,15 ± 0,26

<sup>1</sup>FAa= Franco arcillo arenosa; FAL= Franco arcillo limosa

La densidad aparente (Da) promedio en los campos 2 y 3 presentó valores similares (Cuadro 3) (Da 1,1-1,2 Mg m<sup>-3</sup>), mientras que en el campo 1 tiene un valor promedio más alto (Da 1,3 Mg m<sup>-3</sup>), lo que se podría ser explicado por una mayor compactación del suelo producto del reiterado paso de maquinaria agrícola, o uso del suelo para otras actividades como la ganadería. Existen referencias que indican que suelos arcillosos bien estructurados presentan valores de Da entre 1,05 - 1,10 Mg m<sup>-3</sup>, mientras que en suelos con problemas de compactación la Da se puede incrementar a valores de 1,90-1,95 Mg m<sup>-3</sup> (Forsythe *et al.*, 1969).

En el Cuadro 4, se muestran los resultados de concentraciones de N, P, K y S disponible para cada campo en la fecha previo al trasplante y al momento de la cosecha del cultivo de melón.

**Cuadro 4.** Concentraciones promedio de nitrógeno (N), fósforo (P), potasio (K) y azufre (S) disponible en el suelo durante el periodo de estudio (promedio  $\pm$  desviación estándar, n=3).

Fecha de muestreo	Campo	N	P	K	S
----- mg kg <sup>-1</sup> -----					
2/10/2014	C1	15,0 $\pm$ 4,5	13,1 $\pm$ 0,4	225,9 $\pm$ 8,3	75,9 $\pm$ 34,5
	C2	33,0 $\pm$ 4,6	16,6 $\pm$ 3,3	94,7 $\pm$ 14,9	74,2 $\pm$ 50,7
	C3	31,3 $\pm$ 13,3	10,9 $\pm$ 1,7	158,2 $\pm$ 16,0	66,7 $\pm$ 25,0
16/01/2015	C1	25,0 $\pm$ 11,0	23,3 $\pm$ 7,4	72,9 $\pm$ 18,9	81,7 $\pm$ 7,9
	C2	32,4 $\pm$ 11,0	39,7 $\pm$ 11,8	93,2 $\pm$ 32,7	72,4 $\pm$ 36,1
	C3	46,2 $\pm$ 16,6	7,8 $\pm$ 1,56	139,9 $\pm$ 14,8	68,0 $\pm$ 74,2

En relación al N, este es absorbido por las raíces bajo las formas de NO<sub>3</sub><sup>-</sup> y NH<sub>4</sub><sup>+</sup> desde la solución del suelo. En este sentido, el NO<sub>3</sub><sup>-</sup> se encuentra disuelto en la solución del suelo, mientras que gran parte del ión NH<sub>4</sub><sup>+</sup> está adsorbido sobre las superficies de las arcillas (Longeri *et al.*, 2001). Cabe destacar que los niveles de N disponible corresponden a la sumatoria entre las concentraciones de éstas dos formas inorgánicas. De acuerdo a los resultados obtenidos (Cuadro 4), se encontró un aumento en las concentraciones de N disponibles en los campos 1 y 3, aumentando en un 67% y 48% a la cosecha respecto a los valores iniciales, respectivamente, mientras que en el campo 2 no se registró variación. En el campo 1 en la primera fecha el contenido de N disponible está en la categoría baja (entre 11 y 20 mg kg<sup>-1</sup>), y el resto de las concentraciones se clasifican dentro de rangos medios (entre 21 y 40 mg kg<sup>-1</sup>). En el caso del campo 3, a cosecha presentó niveles altos (sobre 41 mg kg<sup>-1</sup>) (Nájera *et al.*, 2015). El aumento en las concentraciones de N disponible se relacionó con un aumento en la tasa de mineralización o por una sobrefertilización de este elemento a lo largo de la temporada.

Respecto del P disponible, en los campos 1 y 2 se manifestó un alza en su concentración en el suelo al momento de cosecha respecto a los valores iniciales, siendo mayor en el caso del campo 2 (de un 43%), lo que se explicó por el aporte de la fertilización realizada a lo largo de la temporada. Los rangos de P disponible encontrados responden a concentraciones medias (entre 8 y 18 mg kg<sup>-1</sup>) (Nájera *et al.*, 2015). En el caso del campo 3 su contenido promedio disminuyó en un 28%, lo cual se podría explicar por la retención de este elemento por parte de las arcillas y la MOS, y a su vez una disminución de su solubilidad producto de la sorción sobre constituyentes inorgánicos del suelo.

El K que utilizan las plantas para satisfacer sus requerimientos nutricionales, es el que se encuentra en la solución como ión libre. El K de la solución está en equilibrio con el K intercambiable, el cual se encuentra principalmente retenido electrostáticamente en las arcillas, neutralizando las cargas negativas resultantes de las sustituciones isomórficas en su estructura mineralógica. El tipo y la cantidad de arcilla determinan el contenido de K en posiciones de intercambio y la energía con que es retenido (Rodríguez, 1993). Las razones por las cuales el contenido promedio de K disponible disminuye a cosecha son, principalmente, que el cultivo extrae grandes cantidades de este elemento, con el fin de translocar sólidos solubles al fruto, y lo que no se absorbe, queda retenido por las arcillas. En el caso del K disponible, previo al transplante los valores son mayores en los tres campos, respecto de la cosecha. En el caso del campo 1 esta disminución es más drástica (de un 68%). Los valores de K disponible en el suelo medidos a cosecha según Rodríguez (1993), se consideran como medios, dado que van en un rango cercano a 73 ppm en el campo 1, hasta aproximadamente 140 ppm para el campo 3.

Finalmente respecto del S disponible, para los 3 campos en estudio, el nivel de S no experimentó cambios significativos a cosecha, dado que se mantuvo constante. Esto quiere decir que la tasa de extracción por parte del cultivo no es significativa en relación a lo que hay en el suelo, puesto que no se fertilizó con este elemento a lo largo de la temporada. En este caso es importante considerar como una entrada de S en el balance los aportes constantes de S en el agua de riego proveniente de cuerpos de agua superficiales (ríos) con niveles altos de sulfatos (CENMA, 2010).

Respecto de los cationes solubles (Cuadro 5), éstos fueron extraídos en un extracto acuoso. En el caso del Na, disminuyó levemente en el campo 1 (en un 8%) y aumentó su concentración promedio considerablemente en los campos 2 y 3, respectivamente. En relación a los niveles de Na en el suelo, Rodríguez (1993) señala que se encuentran en niveles muy altos, es decir sobre  $11,5 \text{ mg kg}^{-1}$ .

**Cuadro 5.** Concentraciones promedio de cationes solubles sodio (Na), potasio (K), magnesio (Mg) y calcio (Ca) en el suelo durante el periodo de estudio (promedio  $\pm$  desviación estándar, n=3).

Fecha de muestreo	Campo	Na	K	Mg	Ca
		-----mg kg <sup>-1</sup> -----			
2/10/2014	C1	27,2 $\pm$ 11,5	10,9 $\pm$ 0,9	6,4 $\pm$ 2,2	19,8 $\pm$ 1,7
	C2	22,8 $\pm$ 6,4	21,9 $\pm$ 12,3	6,9 $\pm$ 2,9	56,2 $\pm$ 18,6
	C3	19,9 $\pm$ 2,9	14,6 $\pm$ 3,9	5,2 $\pm$ 1,3	19,3 $\pm$ 4,1
16/01/2015	C1	25,0 $\pm$ 7,2	13,5 $\pm$ 7,5	7,5 $\pm$ 1,2	59,7 $\pm$ 5,1
	C2	40,9 $\pm$ 16,0	19,1 $\pm$ 5,9	10,9 $\pm$ 6,1	72,2 $\pm$ 17,7
	C3	30,1 $\pm$ 6,1	17,9 $\pm$ 10,9	7,0 $\pm$ 0,2	29,3 $\pm$ 13,2

Por su parte, el K soluble experimentó una ligera alza en los campos 1 (de un 19%) y 3 (de un 18 %), y una disminución en el campo 2 de un 15% a cosecha. Los niveles de K soluble en el suelo según Rodríguez (1993), se consideran como medios a altos, ya que varían entre 10 y 25 mg kg<sup>-1</sup>.

En el caso del Mg soluble, su contenido promedio aumentó en todos los campos a la cosecha, vale decir que a lo largo del ciclo de desarrollo del cultivo se fue haciendo más soluble. Esto puede deberse a la interacción que tiene con los demás cationes de la solución suelo y al equilibrio que existe entre sus concentraciones, el cual puede modificarse a lo largo de la temporada. Según Rodríguez (1993), los valores de Mg presentes en ambas fechas son clasificados como medios, dado que se encuentran entre 6 y 12 mg kg<sup>-1</sup>.

Finalmente el Ca soluble tuvo un alza importante en los 3 campos, destacando el campo 1 por sobre los demás, el cual aumentó en un 67%, llegando a una concentración de 30 mg kg<sup>-1</sup> en la cosecha. Esto podría estar relacionado con la aplicación de fertilizantes con Ca, y también a la dinámica de este elemento en el suelo. Según Rodríguez (1993), los niveles de Ca soluble presentes en los 3 campos son clasificados como muy bajos ya que las concentraciones son menores que 400 mg kg<sup>-1</sup>.

En el Cuadro 6, se presentan los datos obtenidos del promedio de la capacidad de intercambio catiónico (CIC) y su respectiva desviación estándar, para los 3 campos, previo al trasplante y a la cosecha respectivamente. De estos datos es posible indicar que los valores promedio se mantuvieron relativamente constantes en los tres campos. Según INIA (2006), los niveles de la CIC en los 3 campos serían clasificados como de fertilidad media a alta, dado que están en un rango entre 10 y 30 cmol c<sub>+</sub> kg<sup>-1</sup>, lo cual es un buen indicador de la fertilidad potencial

de los suelos de los 3 campos. Esta propiedad no varía con gran magnitud en un corto período de tiempo, dado que depende del contenido de arcilla que tenga el suelo.

**Cuadro 6.** Mediciones de la capacidad de intercambio catiónico (CIC) para cada campo, obtenidas en dos fechas diferentes (promedio  $\pm$  desviación estándar, n=3).

Fecha de muestreo	Campo	CIC
		-----cmol <sub>(+)</sub> kg <sup>-1</sup> -----
2/10/2014	C1	21,9 $\pm$ 5,5
	C2	28,58 $\pm$ 3,8
	C3	29,3 $\pm$ 2,5
16/01/2015	C1	22,8 $\pm$ 1,9
	C2	28,6 $\pm$ 0,6
	C3	27,6 $\pm$ 0,9

### Análisis de tejidos vegetales

Una vez realizada la cosecha, se procedió a secar las plantas y obtener muestras de tejido vegetal de cada órgano (raíz, tallo, hoja) y de las estructuras cosechadas (fruto), con el fin de establecer un balance nutricional. En cada uno se midió la concentración de nutrientes: N, P, K, S, Ca y Mg, así como también para Na. Para realizar este balance, se consideraron las concentraciones de nutrientes del suelo y aquellos suministrados vía fertilización. Además, como un parámetro indirecto, se determinó el contenido de clorofila de las plantas en estado de cuarta hoja (floración).

Como muestra el Cuadro 7, la concentración de N es generalmente mayor en raíces que en el resto de las partes del vegetal y este se encuentra en menor concentración en tallos y frutos (Cuadro 7), tendencia que se observó en todos los campos en estudio.

**Cuadro 7.** Concentración de nitrógeno (N) en distintos sectores del melón (promedio  $\pm$  desviación estándar).

Sector	Campo		
	C1	C2	C3
	-----g N 100 g <sup>-1</sup> -----		
Raíz	2,9 $\pm$ 1,3	1,8 $\pm$ 0,4	1,6 $\pm$ 1,2
Tallo	2,0 $\pm$ 0,6	0,7 $\pm$ 0,4	1,5 $\pm$ 1,3
Hoja	2,5 $\pm$ 1,1	1,4 $\pm$ 0,5	1,7 $\pm$ 1,1
Fruto	1,3 $\pm$ 0,1	0,6 $\pm$ 0,3	1,5 $\pm$ 0,2

En relación al P (ver Cuadro 8), aunque este elemento se encuentra en una concentración similar en todas las partes de la planta, muestra concentraciones mayores en frutos.

**Cuadro 8.** Concentración de fósforo (P) en distintos sectores del melón (promedio  $\pm$  desviación estándar).

Sector	Campo		
	C1	C2	C3
	-----g P 100 g <sup>-1</sup> -----		
Raíz	0,42 $\pm$ 0,02	0,32 $\pm$ 0,11	0,36 $\pm$ 0,110
Tallo	0,42 $\pm$ 0,03	0,31 $\pm$ 0,05	0,29 $\pm$ 0,003
Hoja	0,36 $\pm$ 0,15	0,31 $\pm$ 0,12	0,24 $\pm$ 0,020
Fruto	0,40 $\pm$ 0,06	0,44 $\pm$ 0,15	0,41 $\pm$ 0,010

El Cuadro 9 muestra la concentración de K en los distintos órganos de la planta. En este caso particular, el K se encuentra especialmente concentrado en los frutos, situación que está relacionada con el transporte y acumulación de sólidos solubles. En este sentido, el K también está asociado a un aumento de tamaño de la fruta, a las concentraciones de ácido ascórbico y al color de la fruta (Jifón y Lester, 2009).

**Cuadro 9.** Concentración de potasio (K) en distintos sectores del melón (promedio  $\pm$  desviación estándar).

Sector	Campo		
	C1	C2	C3
	-----g K 100 g <sup>-1</sup> -----		
Raíz	0,6 $\pm$ 0,3	0,7 $\pm$ 0,40	0,4 $\pm$ 0,60
Tallo	0,9 $\pm$ 0,1	1,4 $\pm$ 0,60	1,4 $\pm$ 0,01
Hoja	0,7 $\pm$ 0,1	0,8 $\pm$ 0,01	0,9 $\pm$ 0,10
Fruto	3,8 $\pm$ 0,8	3,0 $\pm$ 0,20	3,1 $\pm$ 0,04

En relación a la concentración de S en los sectores de la planta (Cuadro 10), existió una mayor acumulación de éste en las hojas, seguido por tallos, raíces y finalmente en los frutos. Respecto de la acumulación de S en melón, no existen autores que detallen al respecto. El S es un componente de los aminoácidos cisteína y metionina, y por lo tanto de proteínas. Ambos aminoácidos son precursores de otros compuestos que contienen S, como coenzimas y productos secundarios de las plantas (Navarro, 2013).

**Cuadro 10.** Concentración de azufre (S) en diferentes sectores del melón (promedio  $\pm$  desviación estándar).

Órgano	Campo		
	C1	C2	C3
	-----g S 100 g <sup>-1</sup> -----		
Raíz	0,5 $\pm$ 0,10	0,4 $\pm$ 0,03	0,3 $\pm$ 0,01
Tallo	0,4 $\pm$ 0,03	0,5 $\pm$ 0,04	0,3 $\pm$ 0,10
Hoja	0,7 $\pm$ 0,10	0,5 $\pm$ 0,30	0,5 $\pm$ 0,30
Fruto	0,2 $\pm$ 0,10	0,3 $\pm$ 0,10	0,2 $\pm$ 0,10

El Cuadro 11 muestra la concentración de Ca en los distintos sectores de la planta al momento de cosecha. En general, el Ca está más concentrado en tallos y hojas, los cuales son órganos que transpiran activamente. La concentración de Ca disminuye en los frutos en relación a los otros sectores de la planta. Los resultados son consistentes en todos los sitios estudiados y corroboran lo verificado por otros autores para el cultivo del melón (Rincón et al., 1998), quienes determinaron mayores concentraciones de Ca en hojas en comparación a los otros sectores de la planta durante todo el ciclo de cultivo.

**Cuadro 11.** Concentración de calcio (Ca) en distintos sectores del melón (promedio  $\pm$  desviación estándar).

Sector	Campo		
	C1	C2	C3
	-----g Ca 100 g <sup>-1</sup> -----		
Raíz	0,2 $\pm$ 0,9	0,2 $\pm$ 1,50	0,2 $\pm$ 0,3
Tallo	0,3 $\pm$ 1,5	0,4 $\pm$ 1,30	0,4 $\pm$ 1,2
Hoja	0,3 $\pm$ 0,6	0,3 $\pm$ 1,20	0,5 $\pm$ 0,4
Fruto	0,2 $\pm$ 0,2	0,2 $\pm$ 0,02	0,2 $\pm$ 0,3

En relación al Mg (Cuadro 12), la concentración de este elemento fue mayor en las hojas, seguido de tallo, raíz, y finalmente por el fruto. La concentración más alta de este elemento en las hojas y tallos se debe a su función estructural en la clorofila. Por otra parte, el Mg también actúa como cofactor de varios procesos enzimáticos y como estabilizador estructural de nucleótidos. De esta forma, su deficiencia afecta el crecimiento, la productividad y la calidad de los frutos (Merhaut, 2007).

**Cuadro 12.** Concentración de magnesio (Mg) en distintos sectores de melón (promedio  $\pm$  desviación estándar).

Sector	Campo		
	C1	C2	C3
	-----g Mg 100 g <sup>-1</sup> -----		
Raíz	0,26 $\pm$ 0,05	0,28 $\pm$ 0,16	0,26 $\pm$ 0,13
Tallo	0,27 $\pm$ 0,04	0,37 $\pm$ 0,15	0,37 $\pm$ 0,14
Hoja	0,31 $\pm$ 0,04	0,29 $\pm$ 0,08	0,61 $\pm$ 0,18
Fruto	0,05 $\pm$ 0,04	0,07 $\pm$ 0,01	0,15 $\pm$ 0,09

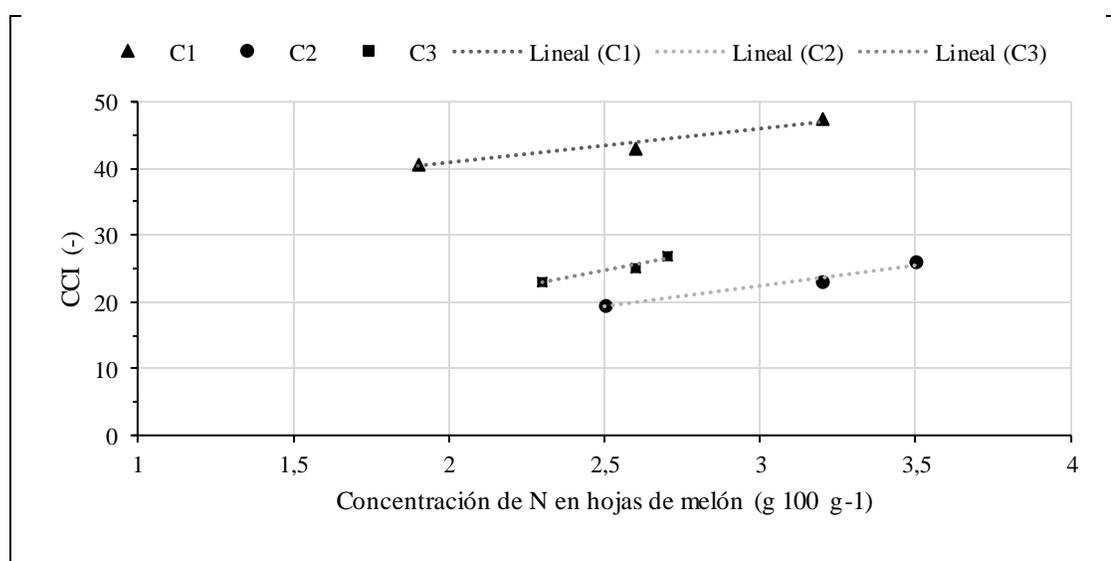
Respecto al Na (cuadro 13), los mayores contenidos se encontraron en la raíz y el tallo, sin embargo no existen autores que detallen al respecto. Debido a que el Na no es un elemento esencial, la planta no lo absorbe en grandes cantidades. Sin embargo, aún es posible encontrarlo en las hojas y frutos, aunque en concentraciones bajas. Para la mayoría de las plantas, incluyendo las de importancia agrícola, la presencia de sales disminuye la absorción de agua y de los nutrientes esenciales. Además, el Na una vez dentro de la planta puede llegar a ser tóxico e interrumpir varios procesos metabólicos, incluyendo la función de enzimas que participan en la fotosíntesis (Bronwyn et al., 2007). Cabe destacar que sólo en el caso de las plantas de tipo halófitas el Na no interfiere con los procesos metabólicos, sin embargo, este no es el caso del melón.

**Cuadro 13.** Concentración de sodio (Na) en distintos sectores de melón (promedio  $\pm$  desviación estándar).

Sector	Campo		
	C1	C2	C3
	-----g Na 100 g <sup>-1</sup> -----		
Raíz	0,34 $\pm$ 0,05	0,30 $\pm$ 0,02	0,29 $\pm$ 0,00
Tallo	0,28 $\pm$ 0,04	0,29 $\pm$ 0,00	0,29 $\pm$ 0,00
Hoja	0,02 $\pm$ 0,04	0,03 $\pm$ 0,02	0,10 $\pm$ 0,16
Fruto	0,01 $\pm$ 0,04	0,01 $\pm$ 0,01	0,02 $\pm$ 0,09

### Contenido de clorofila

En la Figura 1 se muestra la concentración de clorofila (CCI) promedio, medida en la cuarta hoja de cada planta de melón en cada sitio en estudio. Esta medición, en la cual se tomó el promedio de 3 hojas por hilera en cada campo, se realizó con el fin de relacionar la CCI con la concentración de N presente en el tejido vegetal. Los resultados muestran que a mayor CCI, hay una mayor concentración de N en las hojas de melón. Esta situación se da para todos los campos en estudio. Cabe destacar que el campo 1 tiene mayores concentraciones de N, lo que se debe a que las hojas de melón se encontraban más desarrolladas, lo que se explica por una diferencia en la fecha de trasplante entre los campos en estudio (que fue más temprana para el campo 1 respecto de los campos 2 y 3 respectivamente).



**Figura 1.** Concentración de clorofila (CCI) en relación a la concentración de nitrógeno (N) en las hojas de melón.

## Análisis de aguas

El Cuadro 14 muestra los resultados obtenidos en la caracterización realizada a las aguas de regadío de cada campo, que incluyeron mediciones de pH, CE y partículas sólidas totales disueltas (PPT). Las mediciones se realizaron en la cabecera del canal.

**Cuadro 14.** Caracterización de las aguas de riego en los sitios bajo estudio.

Campo	Parámetros <sup>1</sup>		
	pH	CE	PPT
	-	- dS m <sup>-1</sup> -	- mg L <sup>-1</sup> -
C1	7,8	0,47	0,25
C2	8,0	0,51	0,26
C3	8,8	0,53	0,28

<sup>1</sup>CE= Conductividad eléctrica; PPT= Partículas sólidas totales disueltas.

En el caso del pH, los valores se encuentran en rangos considerados neutros a ligeramente alcalinos en los campos 1 y 2 respectivamente (FAO, 1988). En el caso del campo 3, el valor puede ser considerado alcalino.

En relación a la CE se destaca que corresponde a un indicador de presencia de sales disueltas, dado que es directamente proporcional a ellas, debido a que las sales son capaces de conducir la electricidad en una solución. Según las normas propuestas por Riverside para evaluar la calidad de las aguas de riego (Richards, 1954), los 3 campos poseen aguas de riego consideradas de salinidad media y de buena calidad, siendo éstas aptas para el riego. Por otro lado, las partículas PPT, representan la suma de las sales totales disueltas más los sólidos en suspensión.

El Cuadro 15 muestra las concentraciones promedio de nitratos (N-NO<sub>3</sub>), amonio (N-NH<sub>4</sub>) y P inorgánico reactivo (P<sub>ir</sub>) de las aguas de riego en los tres campos en estudio.

**Cuadro 15.** Concentraciones de N-nitratos (N-NO<sub>3</sub>), N-amonio (N-NH<sub>4</sub>) y fósforo inorgánico reactivo (PO<sub>4</sub><sup>-3</sup>) en las aguas de riego de los campos en estudio (promedio ± desviación estándar).

Campo	Parámetro <sup>a</sup>		
	N-NO <sub>3</sub>	N-NH <sub>4</sub>	PO <sub>4</sub> <sup>-3</sup>
	----- mg L <sup>-1</sup> -----		
C1	2,55 ± 0,21	ND	0,2 ± 0,06
C2	3,75 ± 0,21	0,15 ± 0,21	0,3 ± 0,10
C3	2,70 ± 0,60	ND	0,2 ± 0,01

<sup>a</sup>ND: No detectado.

Las concentraciones de N-NO<sub>3</sub> y de P inorgánico reactivo no superan el límite de 10 mg L<sup>-1</sup>, el cual podría ser considerado como potencial riesgo para la salud humana si las aguas fueran consumidas. En relación al N-NH<sub>4</sub>, las concentraciones son bajas, incluso en 2 sitios las concentraciones estaban por bajo lo límites de detección.

### **Cálculo de dosis de fertilización**

Las concentraciones de nutrientes obtenidas en los ensayos representan el requerimiento interno de la planta. Con estas concentraciones se procedió a calcular la demanda de N, P y K en los sitios bajo estudio. Los rendimientos esperados utilizados para el cálculo de la demanda fueron los obtenidos en la temporada anterior en la zona (Anexo II). Además, con la información de los análisis de suelo, se procedió, por medio de la ecuación del cálculo de dosis (Ec. 3) a determinar la cantidad de N, P y K a ser fertilizada. Lo anterior se realizó con el fin de obtener una dosis óptima y compararla con la que realiza el agricultor, teniendo como base, que la dosis aplicada por el agricultor se encuentra sobre estimada y, por lo tanto, las concentraciones de los elementos en la planta se encuentran en valores óptimos para el adecuado crecimiento del cultivo.

El rendimiento esperado del cultivo (RE) (ver Anexo I), se calculó considerando el rendimiento obtenido en la temporada anterior, el cual fue de 24.000 plantas por hectárea, multiplicado por el peso promedio de un melón Sundew, variedad utilizada por los agricultores de este estudio de caso, que es de aproximadamente 2,69 kg (INTA 2010).

Para el cálculo de dosis de N, P y K se consideraron parámetros como demanda, suministro y eficiencia, los cuales se calcularon para cada campo, con los datos del cuadro 1 y del Anexo I. Para calcular el suministro de N, P y K se consideraron los parámetros como análisis de suelo previo al transplante, la densidad aparente de cada campo y una profundidad de muestreo de 0,2 m.

### **Recomendación dosis de fertilización**

Luego de calcular las dosis de fertilización para N, P y K, tanto con datos procedentes de bibliografía, así como también con los requerimientos internos para fruto obtenidos mediante análisis de tejidos vegetales, se procedió a recomendar una dosis ajustada a las condiciones sitio específicas de cada campo en estudio (dosis III) (ver Cuadro 16).

**Cuadro 16.** Dosis recomendadas para fertilización de melones en los campos en estudio (C1, C2 y C3), comuna de Pichidegua.

Elemento	Campo/dosis		
	C1	C2	C3
Dosis recomendada I <sup>1</sup> -----kg ha <sup>-1</sup> -----			
N	157	157	157
P	88	88	88
K	208	208	208
Dosis recomendada II <sup>2</sup> -----kg ha <sup>-1</sup> -----			
N	235	180	183
P	12	5	25
K	0	37	0
Dosis recomendada III <sup>3</sup> -----kg ha <sup>-1</sup> -----			
N	142	0	122
P	12	12	27
K	0	112	0
Diferencias -----kg ha <sup>-1</sup> -----			
N	C1	C2	C3
Dosis II – Dosis I	78	23	26
Dosis III – Dosis I	-15	-157	-35
Dosis III – Dosis II	-93	-180	-61
P	C1	C2	C3
Dosis II – Dosis I	-76	-83	-63
Dosis III – Dosis I	-76	-76	-61
Dosis III – Dosis II	0	7	2
K	C1	C2	C3
Dosis II – Dosis I	-208	-171	-208
Dosis III – Dosis I	-208	-96	-208
Dosis III – Dosis II	0	75	0

<sup>1</sup>Dosis recomendada cooperativa COOPEUMO.

<sup>2</sup>Dosis recomendada basada en datos bibliográficos.

<sup>3</sup>Dosis recomendada basada en requerimiento interno de frutos obtenido en este estudio de caso y el rendimiento del año anterior en el mismo campo.

Respecto de la dosis I, la cual es la recomendada por la cooperativa COOPEUMO (Cuadro 16), cabe destacar que sólo se aplica N, P, K y Ca, y no se contempla la aplicación de S ni de Mg. En la dosis II se utilizaron datos de requerimiento interno de fruto de melón tomados de Suárez (1990) y la dosis III se calculó teniendo en cuenta los requerimientos internos de los

frutos obtenidos mediante análisis de los tejidos vegetales de las plantas cosechadas desde los campos en estudio.

En relación a la dosis de N, la cooperativa agrícola realiza una recomendación genérica para los tres campos, la cual corresponde a  $157 \text{ kg de N ha}^{-1}$ . Si se consideran datos bibliográficos de RI para el cálculo de la dosis nitrogenada y los análisis de suelos, la recomendación de fertilización, en primer lugar es variable para cada campo, y para todos los campos aumenta. Si se comparan estas dos recomendaciones, la de COOPEUMO y la obtenida por datos bibliográficos, con la obtenida con los datos de este estudio de caso, estas últimas son más bajas y en el caso del campo 2 (C2) es negativa, lo cual implica una sobre fertilización de  $157 \text{ kg de N ha}^{-1}$ .

En el caso de la dosis de P, COOPEUMO recomienda una dosis estándar a los tres agricultores, de  $88 \text{ kg P ha}^{-1}$ , mientras que los cálculos con datos bibliográficos o con los RI obtenidos en el ensayo son similares y más bajos que la recomendación de la cooperativa agrícola, lo que también estaría evidenciando una sobre fertilización para todos los campos respectivamente.

El caso de la fertilización potásica es muy similar a la fertilización con P. Existe una dosis de fertilizante potásico homogénea para los tres agricultores si se considera la recomendación de la cooperativa. Si se toman en cuenta datos bibliográficos para el RI, estas dosis disminuyen y al considerar los aportes del suelo, incluso no es necesario aplicar fertilizantes potásicos, situación que se da para dos de los sitios en estudio (C1 y C2). La recomendación de fertilización potásica, considerando los datos de este estudio, es coincidente con lo calculado con datos bibliográficos. En este caso, sin embargo, para los campos 1 y 3 no hay dosis a aplicar, mientras que la dosis en el campo 2 es de  $112 \text{ kg ha}^{-1}$  (ver Cuadro 16).

### **Balance de elementos**

Además de recomendar una dosis de fertilización para N-P-K, se estableció un balance de los elementos, con el fin de cuantificar las pérdidas en el sistema y ver si los manejos de dosis son adecuados. En el caso de las entradas, se establecieron como la cantidad de nutrientes presentes en el suelo antes del trasplante, más el aporte de nutrientes por concepto de fertilización aplicada. Por otra parte, respecto de las salidas de nutrientes, están representadas por la exportación de nutrientes presentes en los frutos.

En el cuadro 17 se presenta un resumen de los rangos de balance entre entradas y salidas del sistema suelo, para cada uno de los elementos en estudio, y el apéndice 1 muestra que para todos los elementos en estudio el balance fue positivo, a excepción del Mg en el campo 3.

**Cuadro 17.** Balance de los elementos en estudio expresados en rangos.

Elemento	Entradas	Salidas	Balance
	-----kg ha <sup>-1</sup> -----		
N	229-196	137-55	176-77
P	125-113	40-37	85-75
K	784-420	348-247	439-173
S	195-84	27-18	177-66
Ca	165-84	19-18	147-66
Mg	16-12	14-5	12-(-)2
Na	70-46	2-1	68-5

En el caso del balance de N, para este estudio en particular, se consideran esencialmente como entradas al sistema: la mineralización de la MOS, la aplicación de N en forma de fertilizantes y el aporte de N desde las aguas de riego. Como salidas se considera la exportación de N en los frutos, sin embargo, también se debería tener en cuenta la lixiviación y la pérdida de formas gaseosas, las cuales no fueron estudiadas en el presente ensayo. En base a los resultados obtenidos, la diferencia entre entradas y salidas fue mayor en el campo 2. Esto quiere decir que hubo una mayor presencia de N residual que no fue absorbido por la planta, lo que se pudo deber a que el melón en el C2 fue trasplantado más tarde, y por lo tanto la cantidad de N absorbido por el cultivo fue menor que en los campos 1 y 3.

Para P se consideran como entradas el P disponible (análisis de suelo) y la fertilización con fosfatos, mientras que las salidas fueron representadas por el P exportado en los frutos. Los resultados que arroja el balance fueron relativamente similares para los 3 campos en estudio.

El balance para el K fue similar que para P. En el caso del campo 1, la cantidad que quedó en el suelo fue mayor, debido a que las entradas fueron mayores que en los otros sitios, y además, la concentración de K disponible en el suelo también era mayor.

Por otra parte, el balance para el S también fue positivo. Se debe tener en cuenta, que las entradas de S pueden ser múltiples, ya que este elemento se encuentra presente en fungicidas y también en las aguas de riego, que en el caso de la zona central de Chile sus aportes pueden ser importantes (CENMA, 2010). También se debe considerar para el caso del S, la mineralización de la MOS que puede incrementar el S disponible del suelo durante la temporada de cultivo.

En el caso de las bases intercambiables Ca, Mg y Na el balance fue positivo, y los valores residuales de estos nutrientes no variaron demasiado en relación a las concentraciones iniciales consideradas como entradas. Lo anterior se debe a la baja absorción de estos nutrientes por los frutos, especialmente para Ca y Na. Además, el Mg que se encuentra principalmente en las hojas del cultivo, es reincorporado al suelo y por lo tanto se mantiene un balance entre entradas y salidas. Sólo en el caso del campo 3 el balance para Mg fue negativo, lo cual implica que debe existir reposición al sistema suelo de este elemento mediante algún material fertilizante que contenga Mg (por ej. dolomita).

### **Materia seca aportada como rastrojo**

El cuadro 18 muestra la cantidad de nutrientes contenida en tallos y hojas (comúnmente conocida como rastrojo), y que puede ser reciclado al suelo si es incorporada. Si se considera una incorporación total, las devoluciones de nutrientes pueden ser considerables. Por ejemplo, se pueden reciclar entre 150 a 200 kg K ha<sup>-1</sup>. Mientras que el reciclaje de P, Ca y Mg es de menor magnitud, y pueden representar alrededor de 60 kg ha<sup>-1</sup> en promedio de alguno de estos elementos. También es importante mencionar que la calidad del rastrojo, es decir el contenido de N, es alta. En todos los campos, la cantidad de N contenido en los rastrojos va de 200 a 400 kg de N por ha. Los datos revelan que la práctica de incorporación de los rastrojos puede incidir positivamente en la reincorporación de nutrientes al suelo y contribuir a disminuir las entradas de nutrientes mediante el uso de fertilizantes.

**Cuadro 18.** Cantidad de nutrientes presente en la materia seca producida en tallos y hojas en en los campos en estudio.

Elemento	Campo		
	C1	C2	C3
	-----kg ha <sup>-1</sup> -----		
N	412	192	293
P	71	57	48
K	146	201	210
S	101	91	73
Ca	55	64	83
Mg	53	60	90

## CONCLUSIONES

Respecto de las mediciones del contenido promedio de clorofila realizadas con el clorofilómetro, se encontró una relación positiva entre este contenido, y el porcentaje de N presente en las hojas para todos los campos en estudio.

En el diagnóstico del plan de fertilización, se identificó que las dosis de fertilización recomendadas por COOPEUMO eran superiores a las dosis recomendadas para N-P-K con bibliografía consultada, y con los resultados obtenidos en este estudio de caso para los 3 campos en estudio de la comuna de Pichidegua, lo que evidencia una sobre fertilización con estos 3 elementos.

En el caso de las dosis recomendadas, existen diferencias entre las dosis recomendadas por bibliografía y la calculada con los resultados de RI de tejidos vegetales obtenidos en el presente estudio. Al respecto, se recomienda considerar esta última para realizar el cálculo en la temporada siguiente, en conjunto con un análisis de suelo previo al transplante.

Finalmente se recomienda considerar la cantidad de rastrojo producido como un potencial aporte de nutrientes para el suelo, logrando disminuir el gasto asociado a fertilizantes si es incorporado correctamente.

## BIBLIOGRAFÍA

- Bronwyn, J., Vera-Estrella, R., Balderas, y E., Pantoja, O. 2007. Mecanismos de tolerancia a la salinidad en plantas. 10p.
- Cabello MJ, Castellanos MT, Romojaro F, Martínez-Madrid and C, Ribas F. 2009. Yield and quality of melón grown under different irrigation and nitrogen rates (96): 866-874.
- Cadahia, C. 2005. Fertirrigación: Cultivos hortícolas, frutales y ornamentales. Mundi-prensa. Madrid, España. 681p.
- CENMA. 2010. Análisis de la composición físico química de los sedimentos fluviales y su relación con la disponibilidad de metales en agua. Cuenca del río Cachapoal. 138p.
- CIREN (Centro de Información de Recursos Naturales). 1989. Requerimientos de clima y suelo Chacras y hortalizas. Publicación n° 85. 63p.
- FAO.1988. Soil map of the world. Revised legend. World resources report n° 60. FAO Roma, Italia.
- FAO-stat. 2011. [En línea] Food and Agriculture Organization of the United Nations. <http://faostat.fao.org/site/567/DesktopDefault.aspx?PageID=567> Consultado el 24 de Octubre de 2014.
- Forsythe, W y R, Díaz-Romeu. 1969. La densidad aparente del suelo y la interpretación de análisis de laboratorio para el campo. Turrialba 19(1): 128-131.
- Gastal, F y G, Lemaire. 2002. Nitrogen uptake and distribution in crops: an agronomical and ecophysiological perspective. *Journal of Experimental Botany*. (53): 789-799.
- Geraldson, C.M. 1985. Potassium nutrition of vegetable crops. In Munson, R.D. (ed) Potassium in Agriculture. ASA-CSSA-SSSA, Madison, WI. pp 915- 927.
- Gomez, M. 2005. Guía técnica para el manejo nutricional de los cultivos: Diagnóstico, interpretación y recomendaciones de planes de fertilización. Bogotá, Colombia. 21p.
- Huett, D. 1996. Prospect for manipulating the vegetative reproductive balance in horticultural crops through N nutrition: A review. *Australian Journal of Agricultural Research*. (47): 47-66.
- Instituto de Investigaciones Agropecuarias (INIA), La Platina. 2006. Identificación de zonas agroecológicas, variedades tecnológicas apropiadas para optimizar la producción de licopeno para el proceso industrial de la pasta de Tomates en la VI y VII regiones. 220p.

Instituto de Investigaciones Agropecuarias (INIA). 2010. Beneficios de la materia orgánica en los suelos. Informativo n° 23. 4p.

Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria (INTA). 2010. Evaluación de cultivares de melón. San Juan, Argentina. 13p.

Jifon, J and G. Lester. 2009. Foliar potassium fertilization improves fruit quality of field-grown muskmelon on calcareous soils in south Texas. Society of Chemical Industry. *Journal of the Science of Food and Agriculture*. 8p.

Longeri, L y I, Vidal, M, Fernández. 2001. Fijación de Amonio en seis suelos de la VIII Región de Chile. *Revista Agricultura Técnica*. Vol 61, n° 2. Santiago. 180-191p.

Merhaut, D. 2007. Handbook of plant nutrition. Boca Raton: CRC Press. (146-172) p.

Nájera, F.; T, Yasna; C. Bayinsky; R. Cabeza and O. Salazar. 2015. Evaluation on soil fertility and fertilisation practices for irrigated maize (*Zea mays* L.) under Mediterranean conditions in central Chile. Departamento de Ingeniería y suelos, Facultad de Ciencias Agronómicas, Universidad de Chile. *Journal of Soil and Plant Nutrition*. 15 (1), 84-97p.

Navarro, G. 2013. Química agrícola química del suelo y de los nutrientes esenciales para las plantas. Ediciones mundiprensa. 3° Ed. 480p.

ODEPA. 2013. Superficie cultivada con hortalizas 2013. [En línea] <http://www.odepa.cl/superficie-cultivada-con-hortalizas-3> Consultado el 20 de julio de 2014.

Richards, L. 1954. Diagnosis and improvement of saline and alkali soils. USDA Agricultural Handbook 60. 160p.

Rincon, L. et al. 1998. Crecimiento y absorción de nutrientes del melón bajo invernadero. Investigación Agraria: Producción y Protección Vegetal, Madrid, España. v. 13, n. 1-2, p. 111-120.

Rodríguez, J. 1993. La fertilización de los cultivos: Un método racional. Colección en Agricultura. Pontificia Universidad Católica de Chile. 291p.

Sadzawka, A. 2006. Métodos de análisis de aguas para riego. Santiago, Chile: Instituto de Investigaciones Agropecuarias. 332p. (Serie actas INIA N° 37).

Sadzawka, A.; M. Carrasco; R. Demanet; H. Flores; R. Grez; M. Mora. y A. Neaman. 2007. Métodos de análisis de tejidos vegetales. 2ª Ed. Santiago, Chile: Instituto de Investigaciones Agropecuarias. 139p.

Sadzawka, A.; M. Carrasco; R. Grez; M. Mora; H. Flores y A. Neaman. 2006. Métodos de análisis recomendados para los suelos de Chile. Santiago, Chile: Instituto de Investigaciones Agropecuarias. 164p. (Serie actas INIA N° 34).

Sandoval, M.; J. Dörner; O. Seguel; J. Cuevas y D. Rivera. 2012. Métodos de análisis físicos de suelos. Universidad de Concepción. Publicaciones Departamento de Suelos y Recursos Naturales. Chillán. Chile. Número 5. 80p.

Uribe, J.M.; R. Cabrera; A. de la Fuente y M. Paneque. 2012. Atlas Bioclimático de Chile. Laboratorio de Bioenergía y Biotecnología Ambiental. Santiago, Chile. 229p.

Van Eerd LL and K, O'Reilly. 2009. Yield, nitrogen dynamics, and fertilizer use efficiency in machine-harvested cucumber. *Horticultural Science*. (44): 1712-1718.

## APÉNDICES

**Apéndice 1.** Balance de entradas y salidas del sistema suelo para N-P-K-S-Ca-Mg.

	C1			C2			C3		
	E <sup>1</sup>	S <sup>2</sup>	Balance	E	S	Balance	E	S	Balance
	-----kg ha <sup>-1</sup> -----								
N	196	119	77	231	55	176	229	137	92
P	121	37	85	125	40	84	113	38	75
K	787	348	439	420	247	173	572	284	288
S	195	18	177	166	27	139	84	18	66
Ca	90	46	45	165	55	120	84	18	66
Mg	16	5	12	15	6	9	12	14	-2
Na	70	2	68	51	1	5	46	1	45

<sup>1</sup> E = Entradas del sistema; <sup>2</sup> S = Salidas del sistema.

## ANEXOS

**Anexo I.** Datos cultivo de melón para cálculo de dosis de fertilización de N-P-K.

RE	H	RIN	RIP	RIK	IC
-kg ha <sup>-1</sup> -	-	-----%	-----	-----	-kg kg <sup>-1</sup> -
64650	0,88	1,9	0,4	2,4	0,77