

UNIVERSIDAD DE LA REPÚBLICA

FACULTAD DE AGRONOMÍA

**RESPUESTA PRODUCTIVA DE MANDARINA 'AFOURER' A DOSIS
CRECIENTES DE FERTILIZACIÓN NITROGENADA Y POTÁSICA**

por

Mariana OCAMPOS FERNÁNDEZ

**TESIS presentada como uno de
los requisitos para obtener el
título de Ingeniero Agrónomo**

**MONTEVIDEO
URUGUAY
2018**

Tesis aprobada por:

Directora -----

Ing. Agr. Dra. Giuliana Gambetta

Ing. Agr. MSc. Alfredo Gravina

Ing. Agr. Martín Lanfranco

Ing. Agr. Alejandra Borges

Fecha: 6 de julio de 2018.

Autora: -----

Mariana Ocampos Fernández

AGRADECIMIENTOS

A mi familia y amigos, por su apoyo incondicional en todos estos años. Especialmente a mis padres, hermanos y Esteban.

A mis tutores, Giuliana y Alfredo, por guiarme y transmitirme su conocimiento.

Al grupo de Ecofisiología de Citrus. Fabi, Nati, Cele y Gero, con quienes compartimos tanto.

Al personal del establecimiento, por su disposición durante todo el experimento, principalmente a Jorge y a Martín.

A Alejandra Borges, Marcelo Ferrando y el equipo de fertilidad de suelos.

Al personal de biblioteca, por su ayuda para la búsqueda de material bibliográfico y sus correcciones.

TABLA DE CONTENIDO

	Página
PÁGINA DE APROBACIÓN.....	II
AGRADECIMIENTOS.....	III
LISTA DE CUADROS E ILUSTRACIONES.....	VI
1. <u>INTRODUCCIÓN</u>	1
2. <u>REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA</u>	3
2.2. <u>NUTRICIÓN MINERAL</u>	3
2.2.1. <u>Macronutrientes</u>	4
2.2.2. <u>Micronutrientes</u>	10
2.3. <u>CICLO ANUAL EN CÍTRICOS: REGULACIÓN NUTRICIONAL</u>	12
2.3.1. <u>Inducción y diferenciación floral</u>	13
2.3.2. <u>Brotación y floración</u>	14
2.3.3. <u>Cuajado de frutos</u>	15
2.3.4. <u>Crecimiento y maduración de frutos</u>	16
2.3.5. <u>Requerimientos minerales en un ciclo anual</u>	18
2.3.6. <u>Distribución de nutrientes minerales en la planta, absorción y movilización estacional</u>	19
2.4. <u>DESÓRDENES FISIOLÓGICOS EN FRUTOS ASOCIADOS A LA NUTRICIÓN MINERAL</u>	22
2.4.1. <u>Rajado</u>	22
2.4.2. <u>'Creasing'</u>	22
2.5. <u>DIAGNÓSTICO NUTRICIONAL EN CÍTRICOS</u>	24
2.5.1. <u>Suelos aptos para citricultura</u>	24
2.5.2. <u>Análisis foliar</u>	26
2.5.3. <u>Nivel crítico y rango crítico de nutrientes</u>	28
2.5.4. <u>Sistema integrado de diagnóstico y recomendación (DRIS)</u>	29
2.6. <u>RIEGO Y FERTIRRIEGO EN CÍTRICOS</u>	30
2.6.1. <u>Riego</u>	30
2.6.2. <u>Fertirriego</u>	31

3. <u>MATERIALES Y MÉTODOS</u>	33
3.1. TRATAMIENTOS.....	34
3.2. EVALUACIONES.....	35
3.3. ANÁLISIS ESTADÍSTICO.....	37
4. <u>RESULTADOS Y DISCUSIÓN</u>	38
4.1. CUAJADO DE FRUTOS.....	38
4.2. COMPONENTES DEL RENDIMIENTO.....	41
4.2.1. <u>Crecimiento de frutos</u>	41
4.2.2. <u>Cosecha de frutos</u>	43
4.3. CALIDAD DE FRUTOS	44
4.3.1. <u>Relación entre diámetro ecuatorial y grosor de cáscara</u>	44
4.3.2. <u>Calidad interna</u>	45
4.3.3. <u>Color</u>	46
4.3.4. <u>Incidencia y severidad de ‘creasing’</u>	48
5. <u>CONCLUSIONES</u>	51
6. <u>RESUMEN</u>	52
7. <u>SUMMARY</u>	53
8. <u>BIBLIOGRAFÍA</u>	54
9. <u>ANEXOS</u>	72

LISTA DE CUADROS E ILUSTRACIONES

Cuadro No.	Página
1. Extracción de macronutrientes (kg) por tonelada de fruta cítrica cosechada.	19
2. Unidades (Kg.ha ⁻¹) de nutrientes aplicadas en un ciclo productivo (octubre-abril) de mandarina 'Afourer'.	34
3. Distribución porcentual del agregado de nutrientes en el ciclo productivo....	34
4. Intensidad de floración en mandarina 'Afourer' según tratamiento de fertilización.....	38
5. Cuajado final de frutos de mandarina 'Afourer' según tratamiento (%).	39
6. Contenido de macronutrientes en hojas de 7 meses de mandarina 'Afourer' (en porcentaje)	40
7. Concentración de micronutrientes en hojas de 7 meses de mandarina 'Afourer' (mg.kg ⁻¹).	40
8. Diámetro ecuatorial del fruto de mandarina 'Afourer' en la madurez.	42
9. Número de frutos, rendimiento por árbol (Kg.árbol ⁻¹), peso medio de frutos (g) y eficiencia productiva (No. de frutos.m ⁻³ de copa) en mandarina 'Afourer' con diferentes dosis de fertilización.....	43
10. Grosor de cáscara en función de los tratamientos en frutos de mandarina 'Afourer'.	45
11. Parámetros de calidad interna de mandarina 'Afourer' determinados en la cosecha	45
12. Color (croma, Hue CIELab) en frutos de mandarina 'Afourer' en la fase II del crecimiento (6 abril), al inicio del cambio de color (17 mayo) y en la cosecha (19 julio).	47
13. Incidencia de 'creasing' en frutos de mandarina 'Afourer'	48

Figura No.

1. Cuadro del experimento de fertilización.....	33
2. Rama de mandarina 'Afourer'. Evaluación del cuajado de frutos.....	35
3. Cosecha de mandarina 'Afourer'.....	36
4. Porcentaje de frutos cuajados desde floración hasta fin de caída fisiológica en mandarina 'Afourer'. Arriba-derecha: porcentaje de cuajado en las últimas dos fechas.....	39
5. Diámetro ecuatorial de frutos desde inicio de fase II a fin de fase III en mandarina 'Afourer'.....	42
6. Proporción de frutos afectados según nivel de severidad en mandarina 'Afourer'.	48

1. INTRODUCCIÓN

La citricultura es el rubro fruti-hortícola más importante del país. A partir de la década del 60 el desarrollo del sector se orientó a la producción de fruta fresca para exportación, hacia mercados europeos en contra-estación. En 2017, se exportó el 40 % de la producción, mientras que se industrializó el 21 % y se volcó al mercado interno el 38 % (MGAP. DIEA, 2018). Se destaca la apertura reciente del mercado de EE.UU., que presenta nuevas oportunidades para el sector.

Actualmente, el complejo cítrico ocupa 14.465 hectáreas, con una producción anual estimada en 264.000 toneladas para 2017. En cuanto a la superficie, la mayor parte está ocupada por naranjos (48,6 %) seguidos por mandarinos, limoneros y pomelos (37,9 %, 13 % y 0,5 % respectivamente, MGAP. DIEA, 2018).

El 92 % de la producción se encuentra en la zona Norte del país, en explotaciones de mayor superficie, con naranjas y mandarinas como especies predominantes. En el Sur, la principal especie es el limón, siendo menos relevante en superficie pero alcanzando el 47 % de la producción. En segundo lugar se ubican las mandarinas, y dentro de este grupo el cultivar 'Afourer' con una superficie total de 487 hectáreas; el 66 % de las plantas se encuentra en producción y un 69 % bajo riego. El rendimiento promedio es bajo (14,5 t.ha⁻¹) explicado por la existencia de montes jóvenes que aún no han entrado en producción. Este cultivar ha adquirido gran importancia convirtiéndose en uno de los principales para exportación (MGAP. DIEA, 2017).

A nivel de los principales consumidores de cítricos del mundo, existe un fenómeno de cambio en los hábitos de consumo. La valorización de los productos implica actualmente exigencias en calidad interna y en parámetros como la facilidad de pelado, bajo número de semillas, inocuidad, larga vida útil y temporada de comercialización más prolongada. Como parte del mercado internacional de cítricos, Uruguay busca asegurar estos parámetros de calidad, utilizando estrategias que le han permitido insertarse en los mercados más exigentes como la U.E. y EE.UU. Para esto, se ha desarrollado un programa de certificación de plantas cítricas, que permite la producción de plantas certificadas desde el punto de vista genético y sanitario. Adicionalmente, se ha desarrollado la producción de nuevas variedades, y se han incorporado otras como 'Afourer' de alta demanda en el mercado.

Según las estadísticas de producción cítrica del Uruguay, el rendimiento promedio de los últimos diez años es bajo (21 t.ha⁻¹ en naranjas, 19 t.ha⁻¹ en mandarinas y 27 t.ha⁻¹ en limones, MGAP. DIEA, 2008, 2017) en relación al potencial de producción en estas condiciones (45-55 t.ha⁻¹ en naranjas, 30-50 t.ha⁻¹ en mandarinas y 40-50 t.ha⁻¹ en limones). En el caso de las naranjas la brecha se aproxima al 50 % y para mandarinas y limones a 60 %. En este contexto, uno de los factores que probablemente esté limitando al rendimiento es la nutrición mineral.

Para realizar un aporte de nutrientes correcto, es necesario tomar en cuenta el diagnóstico nutricional de las plantas, los requerimientos que estas tienen durante su ciclo anual y el aporte que realiza el suelo. Sin embargo, en la producción nacional los planes de fertilización están basados generalmente en análisis foliares y de suelo, utilizando el rango crítico de nutrientes y el resultado de las cosechas anteriores como criterio para determinar las dosis a agregar.

Como consecuencia, las empresas cítricas utilizan distintos criterios, difiriendo en cantidad, tipo de fertilizante y época de aplicación de los mismos, alcanzando resultados poco consistentes. Adicionalmente, el exceso de fertilizantes (especialmente nitrogenados) es uno de los principales promotores de la contaminación de fuentes de agua, tanto subterránea como superficial.

Debido a que no existen estándares nacionales de referencia para la fertilización de cítricos, en este trabajo se plantea como objetivo determinar la respuesta en rendimiento y calidad de fruta de la mandarina 'Afourer' a dosis crecientes de nitrógeno y potasio.

2. REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA

2.1 CARACTERÍSTICAS DEL CULTIVAR 'AFOURER' (*C. reticulata* Blanco)

Se trata de un híbrido encontrado en 1982 en un monte de mandarina 'Murcott' en la estación experimental Afourer, Marruecos (USPTO 1998, Nadori 2006). Se cree que su origen fue a partir de un cruzamiento de este mandarina con polen de parental desconocido (USPTO, 1998).

También se la conoce con otros nombres: NRA21W, INRA-W, W. 'Murcott', 'Nadorcott' y 'Delite' (Saunt 2000, Nadori 2006).

Se caracteriza por su precocidad productiva, altos rendimientos y frutos de muy buena calidad interna y externa, tamaño mediano (55 mm - 70 mm), coloración atractiva y fácil pelado, alto porcentaje de jugo, fuerte aroma y buen sabor (USPTO 1998, Saunt 2000).

Una de las características más importantes es su autoincompatibilidad y consecuentemente su capacidad de producir frutos sin semillas (USPTO 1998, Saunt 2000, Nadori 2006, Gambetta et al. 2013).

En España ha sido reportada como una mandarina de alta productividad, aunque en condiciones de polinización abierta presenta semillas (Agustí et al., 2005).

En Uruguay su capacidad partenocárpica en condiciones de polinización impedida es variable (Gambetta et al., 2013, 2016); en algunas situaciones disminuye fuertemente su capacidad de cuajado cuando se impide la polinización cruzada mediante el uso de mallas anti-abejas. Esta situación es reversible a través de medidas agronómicas, como la aplicación de ácido giberélico en floración y anillado 30-35 días post-floración (Gravina et al., 2016).

2.2 NUTRICIÓN MINERAL

Los nutrientes minerales se clasifican según su esencialidad para las plantas. Según Bennett, citado por Quiñones et al. (2012) los nutrientes esenciales son aquellos que son necesarios para completar el ciclo de vida del vegetal, no pueden ser sustituidos por otros y deben estar directamente relacionados en el metabolismo, o ser requeridos en algún paso metabólico. A su vez, pueden clasificarse en macronutrientes y micronutrientes, según la

magnitud en que son utilizados por las plantas. Los macronutrientes son nitrógeno, fósforo, potasio, calcio, magnesio y azufre, y los micronutrientes hierro, zinc, manganeso, cobre, boro, molibdeno, cloro y níquel. En esta clasificación se excluyen el carbono, hidrógeno y oxígeno, ya que su absorción es a partir del agua y de la atmósfera, y se consideran ilimitados (Kirkby, 2012). Además de los nutrientes esenciales, otros nutrientes pueden clasificarse como beneficiosos. Es el caso del aluminio, selenio y cobalto que pueden acumularse en las plantas y ser beneficiosos para su crecimiento en determinados niveles (Bertuzzi, 2007).

2.2.1 Macronutrientes

2.2.1.1 Nitrógeno (N)

El N se define como uno de los nutrientes más importantes para los cítricos, dado su efecto en la fotosíntesis y la producción de carbohidratos, y consecuentemente en la calidad y rendimiento de las cosechas (Embleton et al. 1978, Dutra et al. 2003, Mattos et al. 2006, Singh y Khan 2012, Alayón 2014, Srivastava 2015). Forma parte de un gran número de compuestos orgánicos, como aminoácidos, proteínas, ácidos nucleicos, clorofila, ATP, enzimas y hormonas.

Tiene una influencia notable en el crecimiento, floración y productividad. Se ha reportado una respuesta cuadrática de este nutriente en el volumen de copa, rendimiento, número de frutos, contenido de jugo y sólidos solubles (Schumann et al., 2003). Tiene un claro efecto en la calidad de los frutos, pudiendo incrementar el volumen de jugo, sólidos solubles y concentración de ácidos y disminuir el tamaño y peso de frutos (Obreza et al. 2008a, Mann et al. 2011). Según Hernández (1982), el contenido de vitamina C en los frutos se ve disminuido con el agregado de N, mientras que Agustí (2003a) afirma que su contenido se incrementa. Por otra parte, en los árboles deficientes de N el cuajado tiende a ser deficiente y los frutos de tamaño pequeño y cáscara fina (Agustí et al., 2003b).

En suelos arenosos, donde su contenido natural es muy bajo, puede resultar muy limitante (Futch y Alba, 1995). En general, los árboles con menor suministro de N alcanzan mayor exploración radical que aquellos que han sido abastecidos abundantemente (Feigenbaum et al., 1987).

La deficiencia de N en las plantas se caracteriza por la clorosis y reducción del tamaño de las hojas, intensificándose los síntomas en las hojas

de los brotes con frutos. También se presentan tallos finos, rectos y de ramificaciones escasas (Obreza et al. 2008a, Quiñones et al. 2012).

El N se encuentra en el suelo principalmente como constituyente de la materia orgánica, también fijado en la red de silicatos y de forma inorgánica, en forma de iones NO_3^- , NO_2^- , N_2O y NH_4^+ . Las plantas lo absorben de forma inorgánica, siendo el nitrato (NO_3^-) la forma más frecuente. A diferencia de los otros nutrientes, la dinámica en el suelo no está regulada por un equilibrio químico, sino principalmente por procesos biológicos derivados de la actividad microbiana. En general, existe un equilibrio entre mineralización e inmovilización de N en el suelo, es decir el pasaje de formas orgánicas a inorgánicas y viceversa (Márquez et al., 2004).

Se denomina mineralización al pasaje de N orgánico a inorgánico, principalmente en forma de NH_4^+ . Es llevada a cabo por gran variedad de microorganismos no especializados, que incluyen bacterias aerobias y anaerobias, hongos y actinomicetes. La tasa de mineralización varía entre los distintos suelos por las condiciones que se presentan en cada uno, siendo los factores más determinantes la humedad y la temperatura. El NH_4^+ puede ser absorbido por las plantas o ser fijado por minerales arcillosos; en el suelo puede sufrir otros procesos: (a) inmovilización, volviendo a formas orgánicas (b) volatilización a la atmósfera en forma de N_2 , o (c) nitrificación, pasando a nitratos y nitritos. La nitrificación es un proceso bacteriano en el que intervienen los géneros *Nitrosomonas* y *Nitrobacter*. Es afectada principalmente por el oxígeno, la temperatura y el pH. Puede inhibirse con altas concentraciones de NH_4^+ , como consecuencia de fertilizaciones nitrogenadas excesivas. Los mecanismos de pérdida más importantes son la desnitrificación y el lavado, ambos favorecidos por el exceso de agua (Márquez et al., 2004).

2.2.1.2 Fósforo (P)

El P forma parte de nucleótidos, ácidos nucleicos, fosfolípidos y coenzimas. Participa activamente en el metabolismo, principalmente en los procesos energéticos de la planta, en forma de ATP o como diversos productos fosforados. Como consecuencia, tiene múltiples funciones en las plantas participando en innumerables procesos; entre ellos se destacan: la división celular, estimulación del crecimiento, floración, fructificación, absorción activa de nutrientes y la síntesis y transporte de carbohidratos (Kirkby 2012, Zekri y Obreza 2016). Es un nutriente móvil en las plantas, por lo que el suministro a los tejidos en crecimiento depende de las movilizaciones internas y de la capacidad de absorberlo del medio (Bachiega et al., 2012).

En cítricos, el efecto del P sobre el rendimiento y calidad de las cosechas no es tan marcado como el del N o potasio, sin embargo es conocido su efecto en la calidad de los frutos, por la reducción de los ácidos orgánicos (Hernández 1982, Yuda et al. 1982). Se almacena principalmente en las hojas, ramas jóvenes y raíces (Mattos et al., 2003); una fracción importante puede ser removilizada a las flores (Sanz et al., 1987). Un incremento de P en las hojas se relaciona con la reducción del tamaño del fruto, disminución del espesor y rugosidad de la cáscara y reverdecimiento en variedades tardías (Agustí 2003a, Obreza et al. 2008c). En árboles con deficiencias, la floración es más escasa, los brotes jóvenes se rompen fácilmente, se reduce el porcentaje de jugo de los frutos, aumenta el grosor de la cáscara y se separan los gajos del eje central (Agustí 2003a, Alayón et al. 2014).

El P en el suelo se encuentra en la solución o bajo formas orgánicas e inorgánicas en la fase sólida. El orgánico se encuentra en el humus del suelo bajo formas estables, en restos orgánicos en descomposición y en la biomasa microbiana bajo formas más susceptibles a la descomposición, y por lo tanto, más asimilables. El P inorgánico puede encontrarse formando parte de los minerales primarios o secundarios y/o adsorbidos en la superficie de minerales de arcilla, carbonatos u óxidos de Fe y Al. Generalmente, este mineral es limitante para las plantas por tres motivos: su contenido natural es bajo, los compuestos fosfatados tienen poca asimilabilidad para las plantas (por ser de baja o nula solubilidad) y el P soluble agregado al suelo evoluciona rápidamente a formas poco solubles, debido a los procesos de retención en el suelo. La baja solubilidad tiene la ventaja de evitar su lavado. El contenido en los suelos oscila entre 0,01 % y 0,1 % en función del material madre, grado de meteorización y contenido de materia orgánica. En Uruguay en suelos no fertilizados, el contenido de P total varía entre 0,01 % y 0,08 %, presentando cerca del 50 % en forma orgánica y 50 % en forma inorgánica. El P en la solución es muy bajo, siendo sus formas predominantes H_2PO_4^- (suelos ácidos) y en HPO_4^{2-} (suelos alcalinos, Rabuffetti, 2017).

2.2.1.3 Potasio (K)

El K participa en numerosas funciones fisiológicas, tales como la división y crecimiento celular, metabolismo de azúcares y almidón, síntesis de proteínas y neutralización de los ácidos orgánicos (Abbas y Fares, 2008). Cumple una función muy importante en la regulación osmótica y estomática de las células, participando en los procesos que regulan la turgencia (Mattos et al., 2006). Afecta indirectamente la fotosíntesis, dado que participa en la exportación de sus productos, evitando de esta manera la disminución de la

actividad fotosintética. Adicionalmente, en hojas adultas de plantas creciendo en condiciones de déficit potásico, se ha encontrado bajo contenido de almidón y alto de azúcares solubles, ya que la actividad de la enzima alfa-amilasa se induce en condiciones de limitación en el aporte de K (Hernández 1982, Lavon et al. 1995, Ritenour et al. 2002).

El K es el mineral más absorbido por los frutos, lo que se refleja en el alto contenido que se encuentra en el jugo. En árboles con deficiencias, el agregado de K se traduce en mayor rendimiento (Hernández 1982, Ashraf et al. 2010, Ashkevari et al. 2010). En cuanto a la calidad, se ha encontrado que incrementa el tamaño de frutos, grosor de cáscara, acidez y contenido de vitamina C. Por otra parte, el contenido de azúcares disminuye y el porcentaje de jugo decrece o no se modifica (Hernández 1982, Wutscher y Smith 1993, Ritenour et al. 2002, Mattos et al. 2006, Obreza et al. 2008a, Ashraf et al. 2010). Los excesos de este mineral pueden reducir el rendimiento, verificándose en las condiciones de Brasil una excesiva defoliación en los árboles que recibían las mayores dosis y una disminución de los niveles foliares de calcio y magnesio (Mattos et al., 2006).

Generalmente, el K es el segundo nutriente mayormente absorbido por las plantas, aunque en algunos cultivos puede superar al N. El contenido de K en los suelos es comúnmente mayor al del N o el P, dependiendo del material madre y el grado de meteorización del suelo. De esta manera, en suelos moderadamente meteorizados de zonas templadas, el contenido de K es en general mayor al de suelos altamente meteorizados de zonas tropicales. A pesar de que el contenido total es alto, el K disponible para las plantas varía entre 1 % y 2 % del K total y está asociado principalmente a la fracción mineral, encontrándose en general en forma inorgánica. En la solución del suelo, el K se encuentra como ion K^+ hidratado. En zonas templadas húmedas o subhúmedas, la concentración en la solución del suelo varía entre 1 y 10 $mg.kg^{-1}$, siendo muy baja para cubrir los requerimientos de los cultivos. Esta fracción se repone varias veces en el ciclo, principalmente a partir del K intercambiable. La principal fuente de K asimilable del suelo es la meteorización a partir de los minerales, seguido por el aporte de los fertilizantes y la mineralización de la materia orgánica. En Uruguay, los suelos desarrollados sobre formación Libertad y Fray Bentos tienen alto contenido de K, mientras que los desarrollados sobre areniscas presentan bajo contenido (Rabuffetti, 2017).

2.2.1.4 Calcio (Ca)

El Ca cumple un rol importante en el crecimiento y el desarrollo, actuando en la división y elongación celular y en el desarrollo radical. A diferencia de los otros nutrientes, sus funciones son básicamente estructurales. Una de sus funciones más importantes es como estabilizador en la pared celular y en el plasmalema, formando 60 % de la lámina media. En el fruto, se acumula principalmente en la cáscara. También actúa en el metabolismo, mediante la activación de algunas enzimas, funcionando como osmorregulador en la vacuola, entre otras funciones. Es un nutriente poco móvil en la planta, por lo que el aporte floemático a los frutos es reducido (Obreza et al. 2008a, Singh y Khan 2012, Rocuzzo et al. 2012, Zekri y Obreza 2016). La deficiencia de Ca puede provocar reducción del desarrollo y pérdida de vigor. En casos graves puede presentarse amarillamiento de hojas, clorosis del nervio central, desecación de ramas y defoliación (Agustí, 2003a). Según Lavon et al. (1995) en caso de deficiencias de Ca y Mg se produce un marcado incremento en el contenido de almidón foliar.

El Ca^{2+} es el catión mayoritario entre las bases intercambiables de la solución del suelo. El contenido total en los suelos varía considerablemente, según región, dependiendo principalmente del material parental, contenido de arcilla, materia orgánica y condiciones de meteorización. En suelos no calcáreos de zonas templadas su contenido oscila entre 0,7 % y 1,5 %. En suelos calcáreos puede llegar al 25 %, en forma de CaCO_3 . En Uruguay, el Ca intercambiable puede variar desde 1 cmol.kg^{-1} en un Acrisol desarrollado sobre areniscas, hasta 45 cmol.kg^{-1} en un Vertisol desarrollado sobre basalto (Rabuffetti, 2017). En los suelos de la zona Sur de Uruguay, el contenido de Ca generalmente es alto. De todas formas, pueden ocurrir deficiencias cuando los requerimientos de las plantas son mayores a la capacidad de absorción del nutriente del medio (Obreza et al. 2008c, Del Pino 2013).

2.2.1.5 Magnesio (Mg)

El Mg cumple una función estructural en los ribosomas, es el componente central de la molécula de clorofila, participando en el metabolismo de los carbohidratos. Adicionalmente, actúa como coenzima y participa en la regulación del pH celular y su balance iónico (Agustí 2003a, Del Pino 2013, Zekri y Obreza 2016).

Se trata de un nutriente móvil en la planta. Las deficiencias de este mineral se manifiestan como clorosis internerval en las hojas viejas, y en

verano, en las hojas próximas a los frutos, cuando éstos se encuentran en pleno crecimiento. Su carencia provoca además defoliación prematura, reducción del desarrollo radical, disminución en la cosecha, menor resistencia al frío, frutos de menor tamaño, con cáscara más fina y menor contenido de azúcares, acidez total y vitamina C (Moss y Higgins 1974, Agustí 2003a, Del Pino 2003, Zekri y Obreza 2016).

Al igual que el Ca, el Mg se encuentra en la solución de suelo, en los sitios de intercambio catiónico (arcilla y humus) y en los minerales primarios y secundarios. Sin embargo, es retenido con menor fuerza por los coloides del suelo, por lo que es lavado más fácilmente que el Ca, particularmente en suelos arenosos. Su disponibilidad está afectada por la acidez del suelo, el porcentaje de saturación en Mg del complejo de intercambio catiónico, la relación con otros cationes y el tipo de arcilla. Pueden ocurrir deficiencias en suelos ácidos o que han sido encalados con altas dosis de calcita, suelos calcáreos con bajos contenidos de Mg y en suelos con bajo contenido de Mg intercambiable, que reciban altas y frecuentes dosis de fertilizantes potásicos o amoniacales (Rabuffetti, 2017).

2.2.1.6 Azufre (S)

El S es un constituyente esencial de varias proteínas, vitaminas y hormonas. Su absorción y asimilación está muy relacionada a la del N, dado que componen aminoácidos y proteínas. Por este motivo, la síntesis proteica y la producción de clorofila se ven afectados por su deficiencia. También participa en el metabolismo de los carbohidratos. La concentración de S en la materia seca de los cítricos es considerablemente menor a la de otros macronutrientes; en relación al Ca, es 10 veces menor (Obreza et al. 2008a, Quiñones et al. 2012, Zekri y Obreza 2016).

El S en el suelo se encuentra bajo formas orgánicas e inorgánicas, variando su proporción según el tipo de suelo y la profundidad del perfil. En general, más del 90 % se encuentra en la materia orgánica en forma de humus, biomasa microbiana y residuos vegetales. Al igual que para el N, la materia orgánica del suelo es su principal fuente de suministro para las plantas, que al ser mineralizado se absorbe como SO_4^{2-} (Rabuffetti, 2017).

2.2.2 Micronutrientes

2.2.2.1 Hierro (Fe)

El Fe es constituyente de varias moléculas, destacándose los citocromos, que forman parte de los sistemas red-ox de los cloroplastos y mitocondrias. También forma parte de enzimas como la nitrato reductasa, proteínas como la ferredoxina y participa en otros procesos, como la síntesis del etileno (Broadley et al., 2012). La deficiencia de Fe puede causar clorosis internerval, reducir el crecimiento de los brotes y defoliación. Los síntomas se visualizan principalmente en las hojas jóvenes (Obreza et al. 2008c, Broadley et al. 2012, Singh y Khan 2012, Zekri y Obreza 2016).

La principal fuente de Fe del suelo son los óxidos e hidróxidos adsorbidos o precipitados sobre la superficie de los minerales y la materia orgánica. En general su contenido en el suelo no es limitante, aunque su disponibilidad se reduce por la baja solubilidad de los compuestos. Se encuentra en forma férrica (Fe^{3+}) o ferrosa (Fe^{2+}), siendo estas últimas solubles y asimilables para las plantas. La asimilabilidad del Fe puede variar con las características del suelo. En suelos de pH alcalino, la solubilidad disminuye alcanzando la concentración mínima en el rango de 7,2 a 8,0. En este rango ocurre con mayor frecuencia clorosis férrica, en suelos calcáreos con carbonatos libres. También en los suelos alcalinos existe mayor formación de bicarbonatos, que al ser absorbidos pueden inmovilizar al Fe dentro de la planta. Su deficiencia también puede ser inducida por exceso de Cu (Obreza et al., 2008c). Por otra parte, en suelos anegados y fríos, pueden presentarse deficiencias provocadas por el descenso de la actividad radical y microbiana. Por el contrario, en suelos inundados la actividad microbiana convierte el Fe^{3+} a Fe^{2+} , aumentando la concentración en solución. La materia orgánica también mejora el contenido de Fe disponible; la combinación del Fe con los quelatos del suelo mejora su asimilabilidad, dado que reduce la fijación química y la precipitación en formas no solubles. Además, la materia orgánica es fuente de Fe que se vuelve disponible al descomponerse (Rabuffetti, 2017).

2.2.2.2 Manganeso (Mn)

El Mn está involucrado en varios procesos dentro de las plantas como la producción de aminoácidos y proteínas y la activación de enzimas. También participa en otros procesos como la reducción del nitrato y la formación de la clorofila. Las deficiencias de Mn se pueden confundir con las de Zn y Fe, o con

toxicidad por B, principalmente en las hojas jóvenes. Se trata de una clorosis internerval, que mantiene a las nervaduras de color verde oscuro, pudiendo disminuir la cosecha y afectar el color de los frutos (Zekri y Obreza, 2016).

El contenido de Mn en los suelos depende principalmente del material madre. La mayor parte del Mn asimilable se encuentra como Mn intercambiable, asociado a la materia orgánica y en los óxidos de Mn. Varios factores afectan la disponibilidad de Mn en la solución del suelo. La asimilabilidad aumenta cuando el pH disminuye, pudiendo alcanzar valores tóxicos a pH menores a 5. Por el contrario, el aumento de la materia orgánica genera mayor formación de quelatos insolubles, disminuyendo la disponibilidad (Rabuffetti, 2017).

2.2.2.3 Zinc (Zn)

El Zn está involucrado en el metabolismo del carbono y en la absorción de agua por las raíces. Forma parte de enzimas, clorofila y auxinas. Las deficiencias de Zn generan clorosis internervales irregulares, reducen la floración y cuajado, afectando negativamente el rendimiento y calidad de la cosecha. En este sentido se ha reportado disminución del tamaño de los frutos, grosor de la cáscara y contenido de jugo (Singh y Khan 2012, Zekri y Obreza 2016).

Su contenido en el suelo depende principalmente del material madre y su grado de meteorización. La mayor parte se encuentra en los óxidos de Fe y Mn, en forma no asimilable. La fracción asimilable se encuentra retenida en el complejo de intercambio catiónico, adsorbido en la superficie de las arcillas y la materia orgánica. La asimilabilidad disminuye a medida que aumenta el pH, pudiendo ser deficiente cuando este es menor a 6,5. Altos contenidos de P también pueden inducir deficiencias de Zn, cuando el contenido en el suelo es muy bajo (Rabuffetti, 2017).

2.2.2.4 Cobre (Cu)

Su función más relevante es a través de las uniones enzimáticas de las reacciones red-ox. Además, forma parte de proteínas que participan en la fotosíntesis y en la cadena respiratoria. Las deficiencias se caracterizan por goma en el corazón de los frutos, lesiones en la superficie y pequeñas bolsas de goma en el albedo de los frutos jóvenes. Al igual que el Ca, el exceso de Cu en el suelo puede provocar clorosis férrica (Obreza et al., 2008a).

La concentración de Cu en el suelo es muy baja. La principal fuente de Cu asimilable es el Cu^{2+} , adsorbido a la superficie de las arcillas y/o asociado con la materia orgánica. La materia orgánica adsorbe al Cu^{2+} más fuertemente que a los demás micronutrientes catiónicos, formando estructuras muy estables. En general, se da mayor disponibilidad del nutriente en suelos ácidos (Rabuffetti, 2017).

2.2.2.5 Boro (B)

Este micronutriente es necesario para la división celular, translocación de azúcares y metabolismo de carbohidratos y N. Mantiene al Ca de forma disponible para la planta, interviene en la floración y en el crecimiento del tubo polínico. Los síntomas de deficiencias son poco específicos, se asocian a la reducción en la floración y cuajado, bajo contenido de azúcares, producción de goma y caída de frutos. Es un nutriente poco móvil en las plantas, por lo que los primeros síntomas se detectan en los ápices (Smith y Reuther 1949, Obreza et al. 2008a, Singh y Khan 2012, Zekri y Obreza 2016).

La materia orgánica es la principal fuente de B en los suelos, en forma de boratos complejos. A medida que se mineraliza, el B es liberado a la solución principalmente bajo forma de H_2BO_3 . Las formas asimilables son móviles y pueden ser lavadas, por lo que los suelos arenosos son los que tienden a mostrar mayores deficiencias. Por otra parte, a pH mayores a 6,5 – 7 pueden existir deficiencias, al ser adsorbido por óxidos e hidróxidos de Fe y Al (Rabuffetti, 2017).

2.3 CICLO ANUAL EN CÍTRICOS: REGULACIÓN NUTRICIONAL

Los cítricos pertenecen a la familia Rutaceae, y son originarios de las regiones tropicales y subtropicales del Sudeste asiático. Son árboles de hoja perenne, con baja tolerancia a las heladas y cuyo cero biológico se encuentra próximo a los 13°C . En sus condiciones originales genera varios flujos vegetativos y reproductivos por ciclo (Davies y Albrigo, 1994), mientras que en condiciones de clima templado como Uruguay, solamente el flujo de crecimiento de la primavera es reproductivo. La excepción a este comportamiento es el limón, que produce brotes vegetativos y reproductivos todo el año, excepto en invierno (Gravina, 2014).

2.3.1 Inducción y diferenciación floral

En los cítricos, la inducción floral es un proceso afectado por factores exógenos y endógenos. Se ha demostrado el rol de las bajas temperaturas y el estrés hídrico como los factores exógenos que promueven el proceso.

En las zonas tropicales, el estrés hídrico es el principal factor. En condiciones controladas, Southwick y Davenport (1987), Manzi (2011) comprobaron mayor intensidad de floración en plantas bajo estrés hídrico en comparación a plantas regadas, una vez retomado el crecimiento. En cuanto a las bajas temperaturas se encontró un efecto similar, incrementando la intensidad de floración en plantas previamente expuestas a temperaturas bajas (Moss 1976, Lovatt et al. 1988). El descenso de la temperatura promueve la expresión del gen CiFT, promotor del proceso (Nishikawa et al. 2007, Chica y Albrigo 2013). Aunque estos factores exógenos promueven la inducción floral, no son suficientes ya que la presencia de frutos inhibe fuertemente el proceso.

En cuanto a la regulación endógena, se ha estudiado el rol de las hormonas, carbohidratos y N. En lo referido a la regulación hormonal, existe evidencia de que las sustancias tipo giberelinas inhiben la inducción floral, actuando a través de la carga de fruta en las ramas durante el período inductivo. Estas hormonas inhiben la expresión de los genes homólogos CiFT y SOCI tanto en hojas como en yemas (Muñoz-Fambuena et al., 2011). También en plantas con baja carga de fruta, se inhibe la expresión del CiFT con aplicaciones de ácido giberélico (Muñoz-Fambuena et al., 2012).

Actualmente, se sostiene que no existe un rol directo de los carbohidratos en la inducción floral. En los años de alta carga de fruta la acumulación de carbohidratos y la floración es muy baja. Es necesario un nivel mínimo para formar y mantener estructuras, pero no se encuentra una relación causa-efecto de éstos en el proceso (Goldschmidt et al. 1985, García-Luis et al. 1995, Martínez-Fuentes et al. 2010). Monerri et al. (2011) apoyan esta hipótesis al no encontrar diferencias significativas en la acumulación de carbohidratos en muestras de hojas de naranja 'Salustiana' durante el período inductivo en años de alta y baja carga de frutos.

La acumulación de almidón en las raíces se reduce de manera importante en los años de alta producción afectando al sistema radical y en consecuencia, los contenidos foliares de N, P y K. Sin embargo, mantener un nivel adecuado de K foliar mediante aplicaciones foliares no permite disminuir la alternancia productiva (Monselise et al., 1981).

En árboles con bajo contenido de N se ha logrado mejorar la floración con aplicaciones de urea foliar, pero no así en aquellos que se encontraban en

niveles de suficiencia para este mineral (Lovatt et al. 1988, Rabe 1994, El-Otmani et al. 2004). Tampoco se ha encontrado correlación entre aplicaciones de urea foliar durante el período inductivo y la floración siguiente (Ayalon y Monselise, 1960). Por estas evidencias, no es posible indicar una posible regulación entre la nutrición mineral y la inducción floral.

2.3.2 Brotación y floración

En las condiciones de Uruguay, en la primavera ocurre la brotación vegetativa y reproductiva anual de los cítricos, siendo ésta una etapa de altos requerimientos, ya que coinciden dos fosas que compiten por los asimilados (Gravina, 2014). La brotación de primavera se sustenta principalmente en las reservas de carbohidratos y minerales acumulados en las hojas en el ciclo anterior, y también por la fotosíntesis de las hojas adultas (Wallace et al. 1954, Mansell et al. 1986, Feigenbaum et al. 1987, Sanz et al. 1987, Legaz et al. 1995b, Martínez et al. 2002, Martínez-Alcántara et al. 2011).

Considerando la biomasa aérea, el Ca, N, K y Mg son los nutrientes que se encuentran en mayor concentración en todas las estructuras (Rocuzzo et al., 2012). Su deficiencia reduce el crecimiento vegetativo, limita la floración y la fructificación (Embleton et al., 1973). Desde la brotación hasta plena floración el contenido de N, P y K disminuye en las hojas adultas, lo que indica que estos nutrientes se estarían movilizando a los puntos de crecimiento (Legaz et al. 1982, 1995a, Sanz et al. 1987, Feigenbaum et al. 1987). También de acuerdo a estos resultados, Krueger y Arpaia (2010) muestran una disminución en el contenido de N para hojas maduras de naranja 'Valencia' desde el invierno hasta la floración. Luego de este período, N y K recuperan sus valores normales rápidamente y las hojas jóvenes acumulan minerales y carbohidratos desde floración hasta caída fisiológica. También en el mismo período, raíces, tronco y ramas acumulan N, por lo que se asume que estos órganos no transportan nutrientes a los nuevos órganos (Sanz et al., 1987).

En las plantas leñosas, los requerimientos de N de los órganos nuevos en las etapas tempranas del crecimiento, pueden ser aportados por la movilización de N orgánico desde otros órganos como las hojas, ramas y raíces. También podrían ser un complemento a la reserva de las hojas adultas en momentos de baja disponibilidad en la solución del suelo, o cuando las condiciones para la absorción radical no son óptimas. Luego de la floración, la concentración de N en los brotes de primavera desciende, sugiriendo la exportación de N hacia los frutos en desarrollo (Legaz et al. 1982, 1995b, Feigenbaum et al. 1987, Krueger y Arpaia 2010).

No todos los minerales se comportan de la misma manera. Krueger y Arpaia (2010) señalan que la concentración foliar de K y Zn desde el invierno a la floración se mantienen constantes, indicando que en este caso, la fuente para la brotación es la absorción directa a través de las raíces. El crecimiento de las raíces es estacional, desarrollándose con temperaturas que van de 15 °C a 30 °C y alternándose con el crecimiento vegetativo. De esta forma, cuando el crecimiento vegetativo cesa, éste se incrementa y viceversa. En los ciclos de alta carga de fruta la relación entre órganos se vuelve desfavorable para las raíces, que además de tener menor crecimiento disminuyen radicalmente su capacidad de almacenamiento, afectando el inicio de brotación de la primavera siguiente (Monselise et al., 1981).

2.3.3 Cuajado de frutos

El cuajado comprende el período en que los frutitos pueden sufrir abscisión y en el cual se define el número de frutos que alcanzan la madurez. Se extiende desde la floración hasta el fin de caída fisiológica, siendo el período de mayor demanda por agua, nutrientes y carbohidratos de todo el ciclo anual, y donde la capacidad de acumular reservas está regulada por el número de frutos en desarrollo (Agustí et al. 2003b, Gravina 2014). La falta de nutrientes minerales afecta el cuajado inicial, provocando cambios en la composición mineral de los ovarios y los frutitos en desarrollo (Guardiola et al., 1984).

En primavera, el N movilizado desde las reservas tiene como destino el crecimiento vegetativo y reproductivo, existiendo competencia entre las fosas durante la floración y el cuajado. Superadas estas etapas, los frutos pasan a ser la fosa principal (Legaz et al., 1995b). De estudios en calamondin y naranja 'Valencia' con N¹⁵, se concluyó que al igual que para las hojas jóvenes y flores, la fuente de N para los pequeños frutos proviene principalmente de las reservas en hojas viejas, pero también de ramas, tronco y raíces (Legaz et al., 1981, 1982).

El N es uno de los minerales más absorbidos y se asocia con el incremento del rendimiento, por aumentar el número de frutos cosechados. Solamente en casos de deficiencias importantes del mineral, el cuajado puede verse afectado (Gravina y Gambetta, 2017). Su absorción por el sistema radical está fuertemente relacionada con la temperatura del suelo, pero esto no es un problema durante el período de cuajado-abscisión (Gravina, 2014). Además del N, los cítricos también son altamente demandantes de K, siendo el mineral que más extraen los frutos. Sin embargo, la mejora del cuajado se logra solamente con aplicaciones a plantas deficientes (Ashraf et al., 2010).

No solo el contenido de cada nutriente es importante, sino las relaciones que guardan entre ellos. El ratio entre N y K es muy importante para la floración, cuajado y desarrollo del canopy, siendo ideal una relación de absorción 1:1 (Alva et al. 2006b, Obreza et al. 2008a, Mann et al. 2011).

2.3.4 Crecimiento y maduración de frutos

Dado que la nutrición mineral es un factor determinante para el funcionamiento del árbol, las deficiencias en elementos minerales alteran su desarrollo, y por tanto el crecimiento del fruto puede verse modificado. El efecto puede ser variable, actuando sobre el tamaño y la calidad de fruto, y depende principalmente del mineral y el momento en que se produce la falta o desequilibrio (Embleton et al. 1973, Legaz y Primo-Millo 1988).

Para obtener fruta de calidad es necesario corregir las deficiencias, ajustando el estatus nutricional de la planta a los niveles foliares adecuados. Una vez alcanzada la concentración foliar óptima, el agregado de nutrientes no mejora la situación y puede incluso ser negativa, como en el caso del N y el P, cuyo exceso provoca reducción del tamaño y pérdida de la calidad del fruto (Jones et al. 1957, Hernández 1982, Mattos et al. 2006). En el caso del K, se reporta que aún a concentraciones foliares mayores a las indicadas se mejora el tamaño del fruto sin afectar negativamente a su calidad (Guardiola, citado por Agustí et al., 2003b), aunque también se reporta el incremento en el grosor y resistencia de la cáscara (Bar Akiva 1975, Wutscher y Smith 1993) afectando su calidad.

Los elementos de mayor incidencia en el crecimiento de los frutos son el K y el Mg. El suplemento de K promueve en general el incremento en el tamaño y la calidad de los frutos (Hernández 1982, Ritenour et al. 2002, Abbas y Fares 2008, Obreza et al. 2008a). Por otra parte, deficiencias de Mg afectan la actividad de la ATPasa, impidiendo la hidrólisis de almidón de las hojas y la partición de asimilados hacia el fruto, necesarios para su crecimiento (Agustí et al., 2003b).

Como se señalaba anteriormente, en la primavera la fuente principal de N para el crecimiento vegetativo y reproductivo son las reservas de las hojas adultas. En cambio, los flujos de brotación de verano y otoño y el crecimiento de los frutos se sustentan principalmente en la absorción de la solución del suelo (Legaz et al., 1995b).

La maduración es la tercera fase de desarrollo del fruto, en la que se logran las características organolépticas necesarias para su consumo. Los

factores que la regulan son tanto endógenos como exógenos, e involucran cambios fisiológicos y bioquímicos. Los frutos cítricos se clasifican como no climatéricos. Su respiración disminuye ligeramente en las últimas etapas del desarrollo, mientras que la producción de etileno se mantiene baja y constante (Goldschmidt et al. 1993, Win et al. 2006). A su vez forman parte del subgrupo que responde a las aplicaciones exógenas de etileno, estimulando el cambio de color y la senescencia del fruto (Goldschmidt et al., 1993).

Se puede distinguir la maduración interna del cambio de color del fruto, dado que no existen conexiones vasculares entre el endocarpo y el exocarpo (Monselise, 1977). La maduración interna se caracteriza por la disminución de los ácidos, aumento de los sólidos solubles (principalmente fructosa, glucosa y sacarosa) y disminución de la vitamina C y los lípidos. Tanto en la cáscara como en la pulpa se degradan clorofilas y se sintetizan carotenoides (Spiegel-Roy y Goldschmidt 1996, Gambetta 2009).

La regulación hormonal de la maduración está controlada principalmente por las hormonas etileno, ABA y giberelinas. El balance entre la concentración de GAs y etileno y la sensibilidad al etileno mediada por el ABA parecen determinar el proceso (Gambetta, 2009).

Durante la maduración de los frutos se acumulan carbohidratos tanto en la pulpa como en la cáscara. En esta última, la glucosa y la fructosa son las que más se incrementan y estarían asociadas al cambio de color, probablemente por necesidad de energía para la síntesis de enzimas que participan en la síntesis de los carotenoides (Gambetta et al., 2012).

Se ha reportado que el momento y la dosis en que se aplica la fertilización nitrogenada afectan la maduración. Según Jones y Embleton (1959), Sala et al. (1992), Quiñones et al. (2004), la aplicación tardía de N provoca retraso en el cambio de color (perjudicando principalmente a las variedades de maduración temprana) y aumenta la proporción de frutos verdes en la cosecha (Koo y Reese, 1977). También influye el tipo de fertilizante utilizado, afectando en mayor medida los fertilizantes a base de nitratos que los amoniacales (Huff 1983, Sala et al. 1992). Se ha demostrado que la concentración de N en el flavedo de los frutos disminuye durante el cambio de color (Gambetta et al., 2005, 2012). Sin embargo, Huff (1983) no encontró diferencias en la concentración de N durante la maduración del fruto.

El ácido giberélico, que retrasa la toma de color de los frutos (Goldschmidt y Eilati, 1970), puede estar vinculado con la entrada de N al mismo, o impidiendo su degradación (Gambetta et al., 2005). Del mismo modo, ha sido demostrado que en frutos anillados por el pedúnculo, que se mantienen verdes, presentan por dos meses mayor contenido de N y de giberelinas activas

que aquellos que no fueron anillados, que logran cambiar de color (Gambetta et al., 2012).

Para otros minerales, no existe una asociación clara con el cambio de color, ya que también existen resultados contradictorios. Para el K fue encontrado un efecto similar al N, retrasando el cambio de color (Koo y Reese, 1977) y aumentando el porcentaje de frutos que reverdizan (Reuther y Smith, 1952). Sin embargo, aplicaciones de KNO_3 en primavera-verano (0,5 %), verano (1 %) y otoño (1,5 %) mejoran el índice de color en 'Clemenules' (Bañuls et al., 2004). En cuanto al P Chapman y Reyner (1951) detectaron una coloración más intensa en deficiencia de este mineral. Por otra parte, Embleton et al. (1971) detectaron un reverdecimiento de los frutos al aumentar el nivel foliar. Sin embargo, otros autores no reportan diferencias en coloración con distintas dosis de P tanto en naranjas como en limones (Koo y Reese, 1976).

2.3.5 Requerimientos minerales en un ciclo anual

En los cultivos leñosos, los requerimientos anuales de N son difíciles de estimar ya que parte del N absorbido en un año es reservado en raíces, tronco y ramas para su uso en los ciclos siguientes (Feigenbaum et al., 1987). Algunos autores han estimado los nutrientes que contienen las estructuras reproductivas que abscisionan en cada ciclo anual. En el caso de Bustan y Goldschmidt (1998) se estimó el costo de la floración para árboles de pomelo (*Citrus paradisi* Macf. cv. 'Marsh seedless') afirmando que un árbol que porte entre 20.000 y 50.000 flores pierde de 2,5 a 6,25 Kg de materia seca por abscisión floral. Aproximadamente el 4 % de la materia seca proveniente de las flores es N, por lo que las pérdidas durante la floración oscilan entre 100 a 250 g por árbol (Bustan y Goldschmidt, 1998). Este resultado podría extrapolarse a otros cítricos que presenten floraciones más abundantes, dado que según Monselise (1986) existe una correlación negativa entre el tamaño de la flor y el número de flores por árbol. Guardiola et al. (1984) realizaron estimaciones para naranjos W. Navel en alta floración (128.000 flores), encontrando que los nutrientes más extraídos por planta serían N (205 g), K (143 g) y Ca (37 g). Para el caso del N, el resultado es similar al obtenido por Bustan y Goldschmidt (1998).

En cuanto a la extracción de nutrientes por tonelada de fruta cosechada, se han realizado estimaciones (principalmente para naranjas) que son utilizadas como referencia para incluir la extracción de nutrientes en el cálculo de la fertilización. Gravina y Gambetta (2017) a partir de las estimaciones realizadas por Smith y Reuther (1953), Labanauskas y Handy (1972) y de los rendimientos para plantas adultas de mandarinas y limones en

Uruguay estimaron rangos de extracción para macronutrientes en estas especies (Cuadro 1).

Cuadro 1. Extracción de macronutrientes (kg) por tonelada de fruta cítrica cosechada.

	N	P	K	Ca	Mg
Mandarina (40 ton.ha ⁻¹)	44-76	6-9	56-100	12-36	6-10
Limón (50 ton.ha ⁻¹)	55-95	8-11	70-125	15-45	8-13

Fuente: adaptado de Gravina y Gambetta (2017).

En general, dentro de las actividades de las plantaciones se encuentra planificada al menos una poda anual. En caso de retirarse los restos, se extraen del sistema los nutrientes que estos contienen. Calabrese y Panno (1992) calcularon la extracción de nutrientes de la poda en mandarina "Willowleaf late". Encontraron que el Ca es el nutriente que se extrae en mayor cantidad, seguido por el N. Los cálculos de Rocuzzo et al. (2012) coinciden con Calabrese y Panno (1992), quienes encuentran que el Ca se absorbe en mayor proporción a otros nutrientes, pero es devuelto en gran medida al suelo (78 % de lo absorbido) a través de las hojas caídas, restos de poda y raíces muertas, siendo disponible para su absorción luego de su descomposición y mineralización.

2.3.6 Distribución de nutrientes minerales en la planta, absorción y movilización estacional

Los nutrientes minerales se movilizan en los órganos de los cítricos durante el ciclo anual, principalmente entre floración y cosecha. Krueger y Arpaia (2010) afirman que en árboles adultos de naranja, la distribución porcentual de N en la copa, tronco y raíces prácticamente no presenta variaciones, con la excepción del período de floración. En éste, se registra un leve incremento en todos los órganos, exceptuando a las hojas maduras, en las que el N disminuye.

Rocuzzo et al. (2012) estimaron la acumulación de nutrientes y su dinámica dentro del ciclo productivo para árboles de naranjo 'Tarocco' en Italia. Según los autores, los órganos leñosos aéreos son los que acumulan la mayor

parte de la biomasa aérea de los árboles. Sin embargo, el contenido de N, P y K total no se corresponde con este porcentaje, siendo entre 30 % y 35 % del total. Por otra parte, las hojas que acumulan entre el 15 % y 21 % de la biomasa, poseen un alto porcentaje de los nutrientes totales de la parte aérea, siendo al menos: 38 % de N, 31 % de P, 44 % de K, 32 % de Ca y 32 % de Mg. Según los autores, los nutrientes mayormente absorbidos son el Ca, N, K, Mg y P respectivamente. La mayor parte del Ca y Mg se destina a las hojas, y del P y K a los frutos. Para el N no detectan diferencias entre los frutos, hojas y órganos leñosos.

La variación en la absorción de N, P y K responde a la temperatura del suelo y a la evapotranspiración. Altas temperaturas del suelo y evapotranspiración incrementan la absorción mejorando el transporte de nutrientes. El efecto de la temperatura podría deberse a distintos factores, como la cinética de la absorción de los nutrientes, el crecimiento de las plantas, el transporte de fotoasimilados a las raíces (por alteración de la fotosíntesis y el intercambio gaseoso), o el crecimiento y actividad de las raíces y la disponibilidad de nutrientes en la solución del suelo (Mann et al., 2011). En plantines de cítricos se ha reportado una alta correlación entre el aumento de la temperatura del suelo entre 15° C a 30° C y la velocidad de absorción de N (Scholberg y Morgan, 2012). Adicionalmente, las temperaturas de otoño e invierno en zonas subtropicales y templadas reducen la absorción de N (Chapman y Parker, 1942) y su transporte (Wallace, 1953). Existen diferencias en la dinámica de absorción de nutrientes en el ciclo anual. Para N, P y Ca, el principal período de absorción se ubica desde el inicio de la primavera hasta el comienzo del otoño, mientras que el K y el Mg se absorben principalmente en verano (Rocuzzo et al., 2012). Mann et al. (2011) detectaron que en invierno se absorbe mayor cantidad de K que de N, hasta que su relación se acerca a 1 al alcanzar la primavera.

El N, sin importar su origen, tiende a acumularse en los órganos de activo crecimiento. En la primavera, la mayor parte del N absorbido se acumula en las hojas jóvenes, en las flores y frutos que inician el desarrollo. Aun así, la mayor parte del N que reciben estos órganos proviene de las reservas (Legaz et al. 1982, Feigenbaum et al. 1987, Lea-Cox et al. 2001, Martínez et al. 2002, Martínez-Alcántara et al. 2011). Durante el cuajado, las hojas nuevas ya desarrolladas se convierten en una fuente importante de N para los frutos en desarrollo. Las hojas maduras, ramas, tallos y raíces aportan N de sus reservas para cubrir las necesidades de los órganos en desarrollo, que se completan con el N proveniente de la fertilización (Legaz et al. 1982, Martínez-Alcántara et al. 2011). De los órganos que exportan nutrientes, las hojas son las que realizan el mayor aporte, en comparación con el tronco, raíces y ramas, alcanzando a exportar hasta un 50 % del total acumulado (Wallace et al., 1954). En

condiciones de baja fertilización nitrogenada, durante momentos críticos como la floración y el cuajado, las reservas se encuentran más exigidas. Sin embargo, no todos los órganos responden a esta falta. Según Martínez-Alcántara et al. (2011) las ramas, tronco y raíces no cambian su partición a los órganos en desarrollo, mientras que las hojas la aumentan en condiciones limitantes. Para los otros nutrientes también se reportan altos porcentajes de movilización desde las hojas a los órganos de crecimiento (59 % de P, 35 % de K y Ca y 40 % de Mg, Wallace et al., 1954).

Las reservas que se utilizan en primavera, se acumulan principalmente durante el verano y el otoño. El porcentaje de N retenido en las raíces aumenta durante el otoño y es máximo en el invierno, aunque su capacidad de absorción se ve afectada por las bajas temperaturas (Legaz et al. 1981, Legaz y Primo-Millo 1988, Martínez et al. 2002).

Para fertilizar es importante conocer los patrones de absorción estacional de las raíces, lo que permite incrementar la eficiencia en el uso de los fertilizantes, haciendo coincidir el aporte con la mayor absorción radical (Mann et al., 2011). En árboles jóvenes que aún no se encuentran en producción, el máximo de la absorción se encuentra en el verano, estación en la que se desarrolla fuertemente el crecimiento vegetativo. En los adultos, la máxima absorción de nutrientes ocurre en primavera, asociada a los altos requerimientos de la floración y fructificación (Agustí 2003a, Rocuzzo et al. 2012).

A excepción de K y Mg, la dinámica de acumulación de nutrientes en frutos y brotes coincide con su crecimiento en la mayor parte de la temporada. Según Rocuzzo et al. (2012) para la producción de cítricos del Sur de Italia, N, P y Ca deberían estar disponibles en el suelo desde abril a noviembre, mientras que el K y Mg no exigen un período tan largo ya que su absorción termina en verano. En su experimento, durante el invierno las concentraciones de nutrientes en el canopy del árbol no variaron o en su defecto decrecieron, indicando que no hay absorción en este período. En el caso del N y el K, éstos se estarían movilizando a órganos perennes.

2.4 DESÓRDENES FISIOLÓGICOS EN FRUTOS ASOCIADOS A LA NUTRICIÓN MINERAL

2.4.1 Rajado

El rajado de frutos es un desorden fisiológico que se manifiesta previo a la cosecha. Se producen fisuras en la piel, que afectan el flavedo, albedo y los haces vasculares. Su causa es la presión ejercida por los segmentos sobre la corteza cuando disminuye la división celular, generalmente previo al cambio de color de los frutos (Agustí et al. 2004a, Mesejo et al. 2016). El rajado estilar es el más frecuente, típico de variedades como 'Nova', 'Ellendale' y 'Murcott'. Existen varios factores vinculados a su incidencia. En general la incidencia del rajado se asocia a un alto número de frutos, cáscaras rígidas y finas. El riego y la nutrición mineral también inciden en el rajado (Agustí et al., 2004a). La incidencia de frutos rajados se incrementa cuando ocurren oscilaciones en el agua disponible para las plantas, provocando detención y reinicio del crecimiento frecuentemente (Fernández et al. 2016, Mesejo et al. 2016). El K reduce la incidencia de este desorden por su efecto en el grosor de cáscara y su resistencia (Bar-Akiva, 1975).

2.4.2 'Creasing'

El 'creasing' es un desorden fisiológico caracterizado por la presencia de depresiones en el flavedo, las cuales se corresponden con adelgazamientos y/o rupturas del albedo subyacente, desmereciendo la calidad externa de los frutos y su vida post-cosecha (Monselise et al. 1976, Gambetta et al. 2002). Además de la nutrición mineral, su causa se ha asociado a diferentes motivos, como el efecto climático y la posición del fruto en el árbol (Jones et al. 1967, Gambetta et al. 2002).

La relación del 'creasing' con la nutrición mineral se ha estudiado analizando el contenido de nutrientes de distintos tejidos afectados y tejidos sanos. Según Telias et al. (2002), la concentración de macronutrientes en hojas no presenta diferencias entre plantas provenientes de tratamientos que redujeron la incidencia del desorden. Al contrario, Embleton et al. (1978) encuentran que la disminución de 'creasing' está asociada a mayores concentraciones foliares de N y K y menores de P. Los análisis de cáscara, también han mostrado diferencias entre autores: Telias et al. (2002) no encuentran diferencias en el contenido de N de la cáscara de frutos sanos y afectados, pero sí mayor concentración en la zona afectada del fruto. Jones et

al. (1957) también encuentran mayor contenido de este mineral en los tejidos afectados. Según Monselise et al. (1976) la zona afectada podría estar asociada a un mayor contenido de N relacionado a la demanda de síntesis de enzimas para degradar el tejido, siendo entonces una consecuencia y no una causa.

En cuanto al P, Jones et al. (1967), Holtzhausen (1981), Telias et al. (2002) asocian el incremento de la concentración del mineral a una mayor incidencia, debido a su efecto en la disminución del grosor de cáscara.

También se encontró que la concentración de K en la cáscara de frutos con 'creasing' es mayor (Jones et al. 1967, Telias et al. 2002) a pesar de que la fertilización potásica se asocia al incremento del grosor de la cáscara de los frutos. Por esta razón, Jones et al. (1967) asocian la incidencia al grosor de cáscara y no al contenido de K en sí.

Las deficiencias de Ca también se postularon como posibles causantes del desorden, dada su función estructural en las células. Así, Jones et al. (1967), Telias et al. (2002) coinciden nuevamente, en que los frutos afectados presentan menor contenido de Ca.

Para su control se han propuesto diversos tratamientos. Treeby et al. (2000) reportan que las aplicaciones tempranas de Ca en naranjas W. Navel reducen el porcentaje de fruta afectada en un 25 % a 30 % aproximadamente. En Uruguay, Gambetta et al. (2002) reportaron en naranja W. Navel que las aplicaciones de ácido giberélico (GA_3) con nitrato de potasio (KNO_3) o fosfato monoamónico ($H_2PO_4NH_4$) ejercen buen control. La aplicación individual de KNO_3 o $H_2PO_4NH_4$ no disminuye la incidencia del desorden. En California, las aplicaciones de urea foliar o agregado de N al suelo no han presentado resultados consistentes, aunque se sugiere que una sola aplicación de N en verano o el fraccionamiento de las aplicaciones resultan en menor 'creasing' que una aplicación en primavera (Jones et al., 1967). Los mismos autores logran un control adecuado con KNO_3 , aun cuando los síntomas ya son evidentes. Bar-Akiva (1975) no obtiene resultados favorables en naranja 'Valencia' con KNO_3 , pero sí con aplicaciones de fosfato de amonio en etapas tempranas del crecimiento del fruto, al igual que Monselise et al. (1976). Sin embargo, Gilfillan et al. (1981) no logran reducir la incidencia del 'creasing' con este tratamiento.

2.5 DIAGNÓSTICO NUTRICIONAL EN CÍTRICOS

2.5.1 Suelos aptos para citricultura

El suelo en que crecen las plantas debe ser considerado al planificar el manejo del agua y los nutrientes, para hacer un uso eficiente de los recursos y evitar la contaminación de las aguas (Obreza et al., 2008b). Con el tipo de suelo cambian sus propiedades físico-químicas. Entre las más importantes se pueden citar la textura, estructura, drenaje, pH y materia orgánica.

Para los frutales las condiciones óptimas de producción se dan en suelos profundos, de texturas medias (francos a franco-arcillosos). Los cítricos son exigentes en oxígeno por lo que es conveniente que los suelos sean bien drenados, y en suelos de texturas finas plantar sobre camellones (Bertuzzi, 2007). En general para frutales se buscan suelos con permeabilidad mayor a 5 cm.h⁻¹ (clase de permeabilidad: moderada, Agustí, 2004b). Los suelos de textura pesada o arcillosa, que generalmente tienen limitaciones de drenaje están asociados con problemas de crecimiento y proliferación de enfermedades radicales (Molina, 2000).

En los cítricos, la zona de mayor densidad y actividad radical se encuentra en los primeros 50 cm - 75 cm de profundidad, variando por factores genéticos, edáficos y por el manejo. Por este motivo, la profundidad del suelo no debería ser menor a 60 cm (Bertuzzi, 2007). Algunos portainjertos, como el limonero rugoso (*Citrus jambhiri*) y el 'Volkamer' (*Citrus volkameriana*), son más tolerantes al anegamiento que otros (Davies y Albrigo, 1994). Bhusal et al. (2002) comparando 24 portainjertos, demostraron que el Trifolia (*Poncirus trifoliata*) presentó mayor resistencia al anegamiento y estrés hídrico.

La materia orgánica mejora las propiedades físicas del suelo. Es esencial para la formación de agregados, conservación de la estructura y retención de agua. Además contribuye con 70 % - 80 % de la CIC, permitiendo retener cationes y evitando su lixiviación. Es un reservorio importante de macronutrientes (N, P y S). Los suelos con contenidos muy elevados pueden dar lugar, por mineralización, a niveles demasiado altos de N que resulten perjudiciales. Este efecto puede restringirse reduciendo el laboreo, ya que este estimula la mineralización de la materia orgánica (Bertuzzi, 2007).

Las propiedades químicas del suelo influyen en la disponibilidad de nutrientes para las plantas. Los cationes (Ca²⁺, Mg²⁺, Na⁺ y K⁺) se asocian al contenido y tipo de arcilla y a la materia orgánica. Los suelos arenosos tienen menor capacidad de retención de nutrientes que los arcillosos, por lo que tienden a ser menos fértiles (Rabuffetti, 2017).

El pH influencia fuertemente la disponibilidad de nutrientes en el suelo. En suelos de pH neutros a ligeramente ácidos predominan las formas de nutrientes más disponibles para las plantas, variando según la especie y portainjerto utilizados (Obreza et al., 2008c). Los cítricos se desarrollan bien en un rango de 5,5 a 7 (suelos ligeramente ácidos a neutros). El rango óptimo se encuentra entre 6 y 7 porque ofrecen la mayor disponibilidad microbiana y de nutrientes. En suelos con pH alto, el carbonato de calcio (CaCO_3) puede inducir una disminución de la disponibilidad de Fe por precipitación como óxidos e hidróxidos, visualizándose como clorosis férrica (Bertuzzi, 2007). En este sentido, el Trifolia (*Poncirus trifoliata*) es un portainjerto sensible a la presencia de calcáreo activo, mientras que otros como el naranjo agrio (*Citrus aurantium* L.) y el limonero rugoso (*Citrus jambhiri*) presentan mayor tolerancia (Newcomb, 1980). A pH altos también se reduce la disponibilidad de otros micronutrientes como el Mn (precipitación como hidróxidos), Zn y Cu (adsorción sobre carbonatos).

El análisis del suelo es una herramienta que permite conocer las características físicas y químicas de éste. Es muy utilizada para los cultivos anuales, no así para los perennes (Quaggio et al., 1998). Para los cítricos, algunos autores han hecho aproximaciones, aunque por sí solo continúa siendo un método poco exacto para realizar diagnósticos nutricionales. De todas formas, para los cultivos perennes se utiliza en complemento al análisis foliar, siendo muy útil para elaborar planes de fertilización, principalmente si se realiza de forma constante (Obreza et al., 2008c).

Las variables evaluadas tradicionalmente son el contenido de materia orgánica, pH y nutrientes extraíbles. En zonas con riego, también es recomendable evaluar la calidad del agua, relación de adsorción de sodio (R.A.S.), porcentaje de sodio intercambiable y conductividad eléctrica (C.E.) de la solución del suelo (Bertuzzi, 2007). La C.E. del agua de riego permite estimar la concentración total de sales. La relación entre la concentración salina C ($\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$) y C.E. ($\text{dS}\cdot\text{m}^{-1}$) se puede estimar de la siguiente manera: $C = 640 \times \text{C.E.}$ El exceso de salinidad en la zona radical deprime el crecimiento de las plantas, principalmente durante la emergencia y etapas primarias del desarrollo vegetativo, volviéndose más tolerantes durante las etapas posteriores (Carricaburu, 1999). En cítricos, la sensibilidad depende de la especie, cultivar y portainjerto, de la etapa de crecimiento y de las condiciones edafo-climáticas (Maas, 1993). En árboles adultos de naranja Valencia regados con agua con diferente con C.E. (0,5 a 2,5 $\text{dS}\cdot\text{m}^{-1}$) no se encontraron diferencias en rendimiento hasta el cuarto año de estudio (Bingham et al., 1974).

El análisis de suelo no tiene la misma relevancia para todos los nutrientes, sino que es de mayor utilidad para los menos móviles, como P, Mg, Ca y Cu (Obreza et al., 2008b). La utilidad del análisis depende de la

correlación que exista entre el valor de extracción con la cantidad de nutriente que puede extraer la planta.

La recomendación de dosis de P mediante análisis de suelo ha sido cuestionada por la falta de calibración entre los extractantes y el rendimiento (Hanlon et al., 1995). Por otra parte, Quaggio et al. (1998) encontraron que las resinas de P extractables presentaron correlación significativa con el rendimiento relativo, indicando que la resina de intercambio iónico sería un método adecuado para estimar la disponibilidad de P en el suelo para los cítricos en las condiciones de varios suelos de Brasil. Du Plessis (1977), Legaz y Primo-Millo (1988) establecieron clases de disponibilidad de P en el suelo, que permiten predecir la respuesta a los fertilizantes agregados, permitiendo utilizar el análisis de suelo para estos nutrientes.

En cuanto al K, los mismos autores encontraron una correlación positiva entre el contenido de K intercambiable en el suelo y el rendimiento. Por otra parte Reitz y Koo (1959) destacaron la falta de correlación entre el K foliar y el extractable en suelos calcáreos y la lixiviación excesiva de este mineral en los suelos arenosos (Koo, 1962).

Para el caso del Mg y el Ca, si bien el análisis foliar es un buen indicador del estado nutricional de los árboles, el análisis de suelo es un complemento necesario para confirmar el diagnóstico. Se ha reportado que incrementos en el nivel de Mg foliar se correlacionan positivamente con el pH y el Mg del suelo y negativamente con la relación Ca:Mg del suelo (Du Plessis, 1977).

2.5.2 Análisis foliar

El análisis foliar es una de las herramientas más utilizadas para determinar el estado nutricional de las plantas (Labanauskas y Handy 1972, Obreza et al. 1992, Quaggio et al. 1998, Alva et al. 2006a, Hammami 2010). Se basa en la existencia de una relación entre la concentración de nutrientes en la planta y el rendimiento. Este análisis es muy útil para predecir las necesidades de los cultivos perennes, en general, para el ciclo siguiente al del muestreo (Dow y Roberts, 1982).

En general, se admite que el contenido foliar en elementos minerales es un buen indicador de su disponibilidad en el medio. Sin embargo, su disponibilidad no es constante todos los años ni durante todo el ciclo vegetativo, siendo muy importante definir el momento en que se realiza (Agustí, 2003a).

El análisis foliar no tiene la misma efectividad para evaluar todos los nutrientes. Es muy útil para algunos como el N y K que se mueven rápidamente con el agua en el suelo, como también para los micronutrientes Cu, Fe, Mn y Zn (Hernández 1982, Obreza et al. 1992, Mattos et al. 2006).

Sin embargo, tiene limitantes: para el N solo resulta efectivo para niveles deficientes u óptimos, sin reflejarse los excesos (Hernández, 1982) y para el P su interpretación no resulta clara. Alva et al. (2006a) encontraron respuesta en la calidad y el rendimiento para un rango de concentraciones foliares de N y K, pero no así para el P (en un rango de 0,8 a 2,4 g.kg⁻¹). En este último caso, es clave utilizar otras herramientas como el análisis de suelo, como se menciona en el apartado anterior (Hernández 1982, Agustí 2003a).

Según Bould, citado por Menino (2012) el análisis foliar está basado en los siguientes 4 supuestos: 1) la hoja es el principal sitio del metabolismo de la planta, 2) cambios en el suministro de nutrientes se reflejan en la composición de tejidos como hojas y pecíolos, 3) los cambios son más pronunciados en ciertas etapas de desarrollo y 4) la concentración de nutrientes en la hoja en una etapa específica está relacionada con el desempeño del cultivo.

La concentración de los nutrientes en los tejidos foliares no es constante, dependiendo fundamentalmente de la edad y del tipo de brote. En cuanto a la edad de la hoja, dependiendo del nutriente en cuestión es el ajuste que se pueda realizar. Agustí (2003a) reporta que para N serían 5 meses de edad, mientras que para el K el análisis mejora su sensibilidad a medida que aumenta la edad de la hoja. Por estos motivos, el autor considera apropiado el muestreo de hojas de 7 - 8 meses de edad, coincidiendo además con la época de mayor estabilidad (otoño).

Sin embargo, varios autores coinciden en que el muestreo foliar debería realizarse en hojas de 4 - 7 meses de edad, ya que es cuando la concentración de los distintos nutrientes es más estable (Embleton et al. 1973, 1978, Obreza et al. 1992, Davies y Albrigo 1994, Legaz et al. 1995a, Hanlon et al. 1995, Menino 2012). A nivel nacional, Mara et al. (1980b) consideran que para naranja 'Valencia' en el Norte del país, la mayor estabilidad en la concentración de N, P y K se da en hojas de 7 a 9 meses, lo que correspondería a los meses de abril a junio.

Se ha estudiado el análisis con hojas de brotes fructíferos y no fructíferos, existiendo razones para justificarlos a ambos. Por un lado, muestrear brotes fructíferos tiene la facilidad de identificar fácilmente las hojas de edad adecuada. Además, tienen mayor rango de variación en el contenido de N, lo que permite disminuir la importancia de los errores de muestreo (Agustí, 2003a). En Uruguay, Mara et al. (1980a) determinaron que los niveles de N, P y K en hoja no fructífera son entre 15 % - 40 % mayores a los de hoja

fructífera. Sin embargo, la concentración de nutrientes en los brotes no fructíferos parece ser el mejor indicador del estado nutricional del árbol, ya que esas serán las ramas que lleven las flores y frutos al siguiente año (Embleton et al. 1978, Legaz et al. 1995a).

En cuanto a la muestra a realizar, se recomienda en superficies de 2 – 4 hectáreas en 15 - 20 árboles escogidos al azar y representativos del estado general de la plantación. Se debe muestrear dividiendo al canopy en 4 cuadrantes, tomando 8 a 10 hojas por árbol (Menino, 2012).

Existen varios métodos de interpretación de los resultados del análisis foliar. Entre ellos se destacan, el método de nutriente crítico (Macy, 1936), el rango crítico de nutrientes (Dow y Roberts, 1981) y el sistema integrado de diagnóstico y recomendación (Beaufils, 1957).

2.5.3 Nivel crítico y rango crítico de nutrientes

Existe una correlación entre la concentración de nutrientes en un cultivo y su rendimiento, como muestran Dow y Roberts (1982) en su estudio en alfalfa ($r^2 = 0,69$).

La concentración crítica de nutrientes se considera generalmente como el punto de la curva donde el rendimiento pasa de ser deficiente a suficiente. Sin embargo, este punto es muy difícil de determinar para todas las condiciones, por lo que se utilizan rangos de concentración de nutrientes (Dow y Roberts, 1982).

Este concepto fue propuesto por Ulrich (1948), como “*el rango de concentraciones en el cual el crecimiento de las plantas se encuentra restringido en comparación a plantas con un nivel nutricional más alto*”. El rango crítico de nutrientes también se define como un rango de nutrientes, para una etapa del crecimiento, ampliamente por encima y debajo de los límites de suficiencia y deficiencia para el nutriente en cuestión (Embleton et al. 1978, Legaz et al. 1995a, Srivastava et al. 2008). Dentro de este rango el suministro de nutrientes sería adecuado. Cuando el nivel de nutriente en planta se encuentra por debajo de ese rango probablemente ocurre deficiencia del mismo, mientras que si está por encima probablemente ocurre intoxicación.

Davies y Albrigo (1994), Hanlon et al. (1995) plantean que el contenido de nutrientes foliares sería igual para todas las especies, mientras que Legaz et al. (1995a) establecen valores de referencia diferentes en cada caso (Anexo 3).

Una de las mayores dificultades de cuantificar concentración de nutrientes en materia seca, es que un incremento en la materia seca (por azúcares, almidón), tiene un efecto de dilución de los nutrientes, dándose el efecto contrario cuando la materia seca disminuye. Esto puede llevar a una interpretación errónea del análisis foliar cuando se lo compara con los estándares utilizados (Menino, 2012).

2.5.4 Sistema integrado de diagnóstico y recomendación (D.R.I.S.)

El D.R.I.S. (Diagnostic and Recommendation Integrated System) propone otro método para la interpretación de los resultados del análisis foliar. Fue desarrollado por Beaufils (1957), diseñado para proporcionar un diagnóstico basado en las relaciones entre nutrientes. Esta técnica consiste en describir el estatus nutricional de poblaciones de altos rendimientos, e identificar variaciones desde esas condiciones en muestras desconocidas (Menino, 2012).

Los resultados se expresan mediante índices que representan el efecto de cada nutriente en el balance nutricional de la planta. En general los diagnósticos coinciden con los obtenidos a partir de los rangos críticos de nutrientes, con la ventaja de representar balances, identificar el orden por el cual los nutrientes limitan el rendimiento y la habilidad de diagnosticar y corregir deficiencias en cualquier etapa del ciclo de la planta. Esto proporciona una ventaja, ya que las variaciones ocasionadas por la edad de la planta, el momento de muestreo y enfermedades (como la infección por Huanglongbing) no son tan influyentes como en los métodos del valor crítico y rango de suficiencia. Otra ventaja de este método es que sus datos no provienen de datos experimentales, sino de cultivos comerciales.

Los índices D.R.I.S. deben desarrollarse y validarse para cada localidad, especie, cultivar y portainjerto, lo que implica disponer de una importante base de datos de análisis foliares y rendimiento, a partir de poblaciones variables en productividad. Sin embargo, una vez que es obtenido el validado, brinda mayor información a partir del análisis foliar que los rangos de suficiencia o el valor crítico. A nivel mundial, se están realizando esfuerzos para la obtención y utilización de este índice (Menino, 2012).

2.6 RIEGO Y FERTIRRIEGO EN CÍTRICOS

2.6.1 Riego

El contenido de agua en el suelo no es una constante en el año. En los suelos del Sur de Uruguay, generalmente durante los meses fríos, los suelos se encuentran cargados de agua en toda su profundidad. Sin embargo esta situación no se mantiene en los meses cálidos y de mayores requerimientos hídricos para los cultivos, por lo que es necesario la instalación de riego para mantener el estatus hídrico óptimo de éstos (García Petillo, 2010).

Existen distintos métodos de riego. En general se considera que el riego por goteo es más eficiente que otros métodos, como el riego por aspersión o por gravedad (García Petillo, 2010). Sin embargo, según Hanson et al. (1995) para las condiciones de Florida (EE.UU.) la uniformidad de distribución de los sistemas de riego por goteo es similar a la de otros sistemas. En España Quiñones et al. (2005), utilizando riego por goteo recuperaron mayor porcentaje de N marcado (73 %) en las plantas que con riego por inundación (63 %).

En las condiciones de Uruguay, García Petillo (2010) comparó la distribución del agua en el suelo en tratamientos de secano y riego por goteo. Al contrario de lo esperado, por el tipo de suelo de la zona (Brunosol Subéutrico Lúvico, con horizontes sub-superficiales muy arcillosos), el bulbo de mojado por el gotero tuvo un desarrollo importante en profundidad y no hacia la entrefila, que solamente alcanzó 1 m. Por este motivo, al realizar aplicaciones de fertilizantes solubles en la base del árbol, es recomendable no expandirse más de 1 m a cada lado. Para incrementar el área de la banda mojada, se recomienda utilizar dos líneas de goteros por fila. Adicionalmente, en este experimento el riego por goteo incrementó la compactación del suelo con respecto al testigo no regado.

En cítricos, se ha reportado el aumento en el rendimiento, número y tamaño de frutos como respuesta al riego (Agustí 2003a, Ghosh 2006, Montaña et al. 2006). De acuerdo a los resultados de Montaña et al. (2006), el rendimiento obtenido con el aporte del 100 % de la ETc. fue significativamente mayor que el obtenido con el 60 %, sin importar el sistema de riego utilizado. Esta práctica también afecta la calidad de la fruta, en la medida en que los contenidos de S.S.T. y acidez se relacionan inversamente con el volumen de agua agregado. Montaña et al. (2006) también estudiaron los efectos del sistema de riego en la calidad de la fruta, encontrando que el riego por goteo generaba frutos con mayor grosor de cáscara que el riego sub-superficial.

2.6.2 Fertirriego

La fertilización constituye una práctica cultural central para cualquier explotación cítrica, dado que se trata de uno de los principales factores que influyen en el rendimiento y calidad de fruta. Esta práctica tiene como objetivo suplir los nutrientes que faltan en el suelo, incrementando su fertilidad natural y devolviendo a éste la extracción de elementos minerales que las plantas realizan. La fertilización y el contenido de agua de los suelos donde se producen los cítricos varían notablemente y por lo tanto las dosis y sistemas de riego y/o fertilización no pueden compararse o extrapolarse de una zona a otra (Quiñones et al., 2012).

En el pasado, la fertilización de los cítricos se caracterizó por las dosis excesivas y la falta de adecuación del momento de agregado de los fertilizantes. Estas prácticas resultan en baja eficiencia del uso de los fertilizantes, incremento en la lixiviación y escurrimiento de nutrientes a las corrientes de agua, contaminación del suelo, emisiones volátiles, y además, una reducción en la calidad de la fruta (Quiñones et al., 2012). El exceso de fertilizantes especialmente nitrogenados, es uno de los principales promotores de la contaminación de fuentes de agua, tanto subterránea como superficial (Feigenbaum et al. 1987, Serna et al. 1992, Lea-Cox y Syvertsen 2001, Quiñones et al. 2005, Alva et al. 2006a, 2006b, Boman y Battikhi 2007, Sorgonà y Abenavoli 2012).

El fertirriego se presenta como un método más eficiente que las aplicaciones en cobertura. Consiste en la aplicación de fertilizantes sólidos o líquidos a través de sistemas de riego a presión, obteniendo una solución nutritiva de riego. Los fertilizantes sólidos pueden ser simples (por ejemplo: urea, KCl) o compuestos (mezcla de fertilizantes). Los fertilizantes líquidos contienen uno o varios nutrientes, pero debido a la solubilidad, la concentración total es mucho menor (Lupin et al., 1999).

Burt et al., citados por Alva et al. (2008), identificaron como ventajas del fertirriego: a) la reducción de la compactación del suelo (al evitar el uso de maquinaria pesada para fertilizar), b) menor demanda de energía y mano de obra, c) aplicación de nutrientes en cantidades adecuadas en el área del suelo con mayor densidad de raíces y d) satisfacer los requerimientos de nutrientes cuando son demandados. Según Alva et al. (2008) la mayor ventaja del fertirriego es que los nutrientes se encuentran directamente disponibles para las plantas, ya que son aplicados en solución. Adicionalmente, al ajustar la cantidad suministrada a los requerimientos del cultivo, se maximiza la eficiencia de absorción de nutrientes. Otro punto a destacar es la disminución del riesgo de incidencia de enfermedades, debido a que el follaje no se moja. Schumann et

al., citados por Quiñones et al. (2012) observaron una reducción significativa en la incidencia de cancro cítrico y Huanglongbing, al optimizar los niveles de nutrientes diarios. Scholberg et al. (2002) trabajando en plantines de cítricos, demostraron que aplicaciones de soluciones de N más frecuentes aumentaban al doble la eficiencia de absorción, en comparación al suministro de soluciones más concentradas de N en menor frecuencia. En Uruguay, García Petillo (2000) demostró el incremento en la eficiencia de uso de N al aplicarse por fertirriego, en lugar de cobertura. Alva et al. (2006a) también demostraron el aumento de la eficiencia del uso del agua y los nutrientes en las condiciones de Florida, EE.UU. Los mismos autores obtuvieron mejores rendimientos y menor lixiviación de NO_3^- fertilizando vía fertirriego, en comparación a la aplicación de fertilizantes granulares solubles (Alva et al., 2011). En el mismo sentido, Dasberg et al. (1988) en cuatro años de experimento, obtuvieron un rendimiento 20 % mayor utilizando N en fertirriego, que con aplicaciones de fertilizantes granulares solubles en cobertura.

Schumann et al. (2003) comparando diferentes dosis de N en forma de fertilizantes granulares solubles, de liberación controlada y fertirriego, encontraron que la dosis óptima más baja se obtenía utilizando fertirriego, logrando mayor número de frutos, calidad y concentración foliar de N.

El tipo de fertilizante a utilizar depende de las características del suelo (contenido de bases, acidez, salinidad), el mecanismo de fertilización, disponibilidad, costo y compatibilidad entre las fuentes utilizadas. Conocer esta última característica es importante para evitar la formación de precipitados y la obstrucción de líneas. Estos problemas también se asocian a baja calidad del agua (ej. el exceso de carbonatos) y a la proliferación de microorganismos (algas y bacterias) por lo que es necesario limpiar las líneas y los emisores luego de aplicar la solución (Lupin et al. 1999, Alva et al. 2008). Los fertilizantes nitrogenados son altamente solubles y contienen un bajo porcentaje de residuos insolubles. El ácido fosfórico también es adecuado para su aplicación directa, tomando medidas de seguridad apropiadas. El uso de KCl es muy común en muchos cultivos entre los cuales se incluye a los cítricos (Lupin et al., 1999).

Se plantean como hipótesis que el aumento de nitrógeno y potasio en la fertilización:

- Incrementa el porcentaje de frutos cuajados, el tamaño de frutos y el rendimiento por planta
- Incrementa la concentración de estos nutrientes a nivel foliar
- No afecta la calidad interna, el color ni la incidencia de desórdenes fisiológicos.

3. MATERIALES Y MÉTODOS

El experimento se realizó en el establecimiento Hortifrutícola Kiyú, en la localidad de Kiyú, San José. Se seleccionó un cuadro de mandarina 'Afourer' (*Citrus reticulata* Blanco) injertada sobre *Poncirus trifoliata* (L.) Raf., implantada en 2010 con un marco de plantación de 5 m x 3 m, resultando en una densidad de 666 plantas.ha⁻¹. El ensayo se realizó desde setiembre a julio. Se realizó un diseño completamente al azar de 4 tratamientos y 8 repeticiones, con un árbol como unidad experimental. En plena floración se marcaron 32 árboles, presentando alta a muy alta floración, sin problemas sanitarios o nutricionales evidentes. Previo a la floración, todas las plantas se cubrieron con malla antiabejas para evitar la polinización cruzada y se les realizó una aplicación de GA₃ (40 mg.L⁻¹) en plena floración y anillado de tronco 30 días después.



Figura 1. Cuadro del experimento de fertilización

El suelo corresponde a un Brunosol subéutrico, perteneciente a la unidad de suelo Kiyú (MAP. DSF, 1979). Se realizó un perfil del camellón, encontrándose que hasta los 0,9 m de profundidad no existe impedimento para el desarrollo de las raíces (Anexo 2).

La plantación cuenta con un sistema de riego por goteo, al cual se inyecta la solución fertilizante. Se trata de un sistema tipo booster invertido a través de venturi (Fertikit). Este consta de una cinta de riego por fila, con goteros a 1 m entre sí, con un caudal de 1,8 L.h⁻¹. Se calculó el Coeficiente de Uniformidad para riego localizado de Merriam y Keller, que resultó en uniformidad buena (83 %, Anexo 1).

3.1 TRATAMIENTOS

Se definieron cuatro tratamientos con dosis crecientes de N y K. Las unidades de fertilizante aplicadas a cada tratamiento se detallan en el Cuadro 2. El tratamiento testigo corresponde a la cantidad de N y K extraída por los órganos reproductivos abscisionados y cosechados en un ciclo anual de mandarina 'Afourer', en el mismo cuadro del establecimiento¹ consistiendo en 100 U de N y 80 U de K por ha. En los tres tratamientos restantes se incrementó la dosis de N y K en 25 %, 50 % y 75 %. Las formulaciones utilizadas fueron: UAN (30 % N), KCl (60 % K₂O), H₃PO₄ (60 % P₂O₅) y MgSO₄ (9,7 % MgO).

Cuadro 2. Unidades (Kg.ha⁻¹) de nutrientes aplicadas en un ciclo productivo (octubre-abril) de mandarina 'Afourer'.

Tratamiento	N	P	K	Mg
T1	100	5	80	10
T2	125	5	100	10
T3	150	5	120	10
T4	175	5	140	10

En adición al fertirriego, se agregaron nutrientes mediante aplicaciones foliares a todos los árboles. El 6 de octubre se aplicaron 0,95 U de N, 3,4 U de P, 0,4 U de K y 0,75 U de Zinc. El 23 de noviembre se aplicaron 2,5 U de P y 1,9 U de K. En el cuadro 3 se detalla la distribución porcentual de las unidades de N y K aplicadas en el ciclo.

Cuadro 3. Distribución porcentual del agregado de nutrientes en el ciclo productivo.

Nutriente	Octubre-noviembre	Diciembre	Enero	Febrero	Marzo	Abril
N	40	20	20	20	-	-
P	20	30	30	20	-	-
K	15	20	20	20	15	10
Mg	25	6	19	50	-	-

¹ Gambetta, G. 2017. Com. personal.

El tratamiento testigo y la base de los otros tratamientos se aportaron vía fertirriego, con una frecuencia de 4 días a la semana, durante 4 horas. El aporte diferencial de cada tratamiento se aplicó a la base del árbol, diluido en agua y fraccionado entre una y dos veces por semana. Por inconvenientes con el sistema de riego de la quinta, a partir de enero las dosis de P y Mg también se aplicaron a la base del árbol.

3.2 EVALUACIONES

El 11 de octubre se realizó la evaluación de la floración. Se seleccionaron 4 ramas por árbol, con 96 nudos en promedio. Se contabilizaron las flores y nudos para determinar la intensidad de floración (flores/100 nudos). En las ramas en las cuales se evaluó la floración, se realizó un seguimiento quincenal, contabilizando flores y luego frutos para determinar la evolución del cuajado desde el 28 de octubre hasta el 11 de enero, cuando se alcanzó el número definitivo de frutos.



Figura 2. Rama de mandarina 'Afourer'. Evaluación del cuajado de frutos.

El diámetro ecuatorial de los frutos fue cuantificado mediante mediciones quincenales, utilizando calibre digital (Mitutoyo). Se midieron 30 frutos por árbol, tomando al azar 15 de cada lado. Las mediciones se realizaron desde el 5 de enero hasta el 30 de junio y luego en la cosecha.

El 19 de abril se realizó un muestreo foliar, tomando 4 repeticiones (árbol) por tratamiento. Se seleccionaron 20 - 25 hojas de brotes no fructíferos por árbol, de la brotación de primavera. De cada brote se seleccionaron 2 - 3 hojas entre la tercera y quinta a partir del ápice, de acuerdo a Quiñones et al. (2012). Las hojas se lavaron con tres enjuagues de agua destilada, se secaron en estufa de aire forzado (Memmert UF75) a 60° C durante 48 horas y se

molieron en molinillo eléctrico (Peabody). La determinación del contenido de N se realizó por el método de Kjeldahl (Bremner y Mulvaney, 1982), a partir de 0,5 g de materia seca. Para la determinación de P se utilizó el método colorimétrico del ácido ascórbico (Murphy y Riley, 1962), a partir de una dilución con ácido clorhídrico de las cenizas de 1 g de materia seca. El Mg, Ca, Fe, Zn y Mn se determinaron por absorción atómica y el K por espectrofotometría de llama (Isaac y Kerber, 1971). Los resultados se interpretaron a partir de los rangos críticos propuestos por Legaz et al. (1995a, Anexo 3).

Para el estudio del color de los frutos se realizaron tres mediciones, una en verde (6 de abril), otra en cambio de color (17 de mayo) y la última en la cosecha (19 de julio). El mismo se determinó con colorímetro digital (Color Reader, CR-10, Minolta, Japón), en 8 - 10 frutos por planta realizando 2 mediciones en la zona ecuatorial de cada fruto. Se utilizó el sistema CIELAB L^*a^*b , donde: 'L' mide luminosidad y evoluciona de negro (0) a blanco (100), 'a' evoluciona de verde (-) a rojo (+) en el círculo cromático y 'b', de azul (-) a amarillo (+) y se calculó el croma y el ángulo HUE.

En la cosecha se cuantificó el número de frutos y rendimiento (kg.árbol⁻¹). Se registró la altura del árbol. Se restó la distancia del suelo a la copa y se midió el diámetro en dirección a la fila y a la entrefila, estimando el volumen de copa, asimilando los árboles a un cilindro. Se calculó el n° de frutos.m⁻³ de copa. De cada árbol se muestrearon 30 frutos para medir el diámetro ecuatorial y analizar los atributos de calidad interna y externa.



Figura 3. Cosecha de mandarina 'Afourer'.

Los análisis de calidad interna incluyeron porcentaje de jugo (p/p), acidez titulable (A.T.), sólidos solubles totales (S.S.T.) y ratio (S.S.T./A.T.). Para realizar los análisis se tomaron 5 frutos de la muestra, los cuales se pesaron en una balanza de precisión. Se extrajo su jugo con un exprimidor eléctrico, se filtró para extraer la pulpa y se pesó. Con estos datos se determinó el

porcentaje de jugo y se reservó una muestra por cada repetición para determinar los S.S.T. y la A.T. Los S.S.T. se determinaron utilizando un refractómetro manual (B&C 30103) obteniendo los datos en °Brix. La A.T. se calculó por titulación con hidróxido de sodio (NaOH) al 0,1 N. A cada muestra de color y calidad interna de 10 mL de jugo se le colocaron 2 gotas de fenolftaleína (1 % en etanol 95 %), registrándose el gasto de NaOH que neutraliza la acidez del volumen de jugo utilizado. La fórmula para obtener la A.T. es la siguiente:

$$\text{A.T.} = \text{mL NaOH agregados} * 0,1 \text{ (normalidad de NaOH)} * 0,064 \text{ (g.meq}^{-1} \text{ ácido cítrico)} * 100/10 \text{ (mL jugo)}.$$

En cuanto a la calidad externa, se midió el diámetro ecuatorial del fruto y se analizó la incidencia y severidad de 'creasing'. La severidad se clasificó en tres categorías: baja (menos del 10 % de la cáscara afectada), media (10 – 20 %) y alta (más del 20 %). Adicionalmente, en 4 repeticiones de 15 frutos por tratamiento se midió individualmente su diámetro ecuatorial y grosor de cáscara, para dilucidar el posible efecto del tratamiento sobre una o ambas variables o el efecto indirecto de una sobre la otra.

3.3 ANÁLISIS ESTADÍSTICO

Las variables de distribución normal: intensidad de floración, número de frutos por árbol, rendimiento por árbol, diámetro ecuatorial de fruto, volumen de copa, frutos por m³ de copa, concentración de nutrientes foliares, parámetros de calidad interna (% jugo, S.S.T., A.T. y ratio) y de color, se analizaron a través de un análisis de varianza, usando un modelo lineal general. Las diferencias entre medias se analizaron utilizando Test de Tukey-Kramer, con un nivel de significancia de 0,05 (α).

Para el análisis del porcentaje de frutos cuajados por fecha y la incidencia de 'creasing' se realizó utilizando modelos lineales generalizados mixtos con sub-muestreo, asumiendo distribución binomial y función de enlace logit. Para las diferencias entre medias se utilizó la prueba DGC con un nivel de significancia de 0,05. La severidad de este desorden también se analizó mediante Modelos Lineales Generalizados, asumiendo distribución multinomial. La correlación entre grosor de cáscara y calibre se cuantificó usando el coeficiente de correlación lineal de Pearson y se realizó prueba de significancia usando $\alpha = 0.05$.

Los análisis estadísticos se realizaron con software Infostat versión 2017 interfaz en R versión 4.3.0 (Di Rienzo et al., 2017) y SAS institute (versión 9.2).

4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1 CUAJADO DE FRUTOS

La brotación vegetativa y reproductiva es promovida principalmente por las reservas y la fotosíntesis de las hojas adultas (Wallace et al. 1954, Mansell et al. 1986, Feigenbaum et al. 1987, Sanz et al. 1987, Legaz et al. 1995b, Martínez et al. 2002, Martínez-Alcántara et al. 2011). En este experimento los tratamientos de fertilización se iniciaron luego de la brotación. Se confirmó que la intensidad de floración fue alta y sin diferencias significativas entre tratamientos. El mínimo fue 115 flores/100 nudos, y el máximo 131 flores/100 nudos (Cuadro 4). Este resultado permitió partir de igualdad de condiciones para todos los tratamientos.

Cuadro 4. Intensidad de floración en mandarina 'Afourer' según tratamiento de fertilización.

Tratamiento	Flores/100 nudos
T1	115 ± 5,5 a
T2	126 ± 5,5 a
T3	131 ± 5,5 a
T4	116 ± 5,5 a

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p \leq 0,05$)

En la Figura 4, se presenta la evolución del porcentaje de frutos cuajados desde floración hasta fin de caída fisiológica. Este fue menor al reportado en este mismo cultivar, con similar intensidad de floración, condiciones edafológicas y manejo del cuajado (polinización impedida y GA₃ en plena floración + anillado de tronco 30 días después, Gravina et al., 2016).

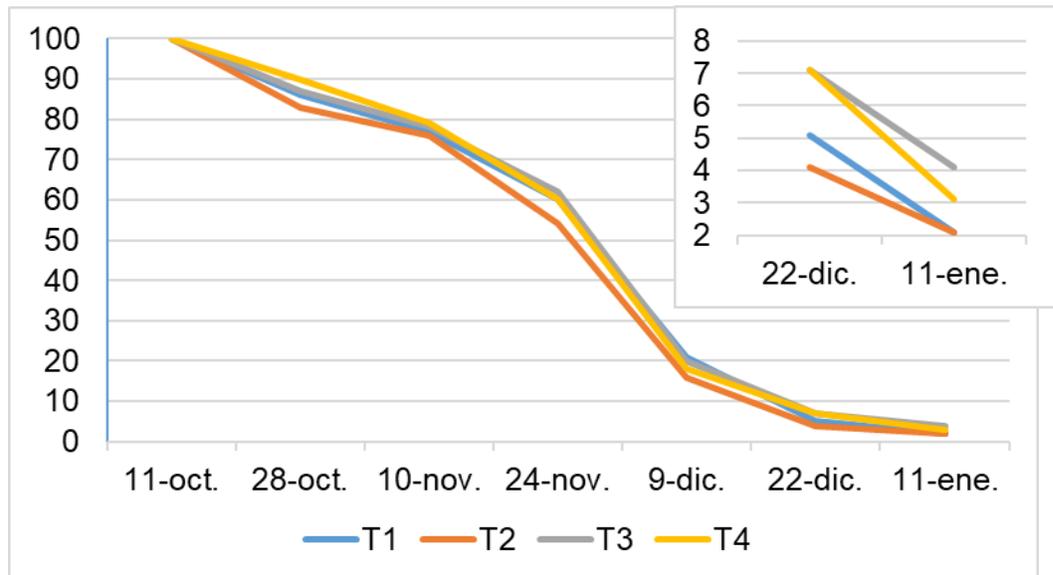


Figura 4. Porcentaje de frutos cuajados desde floración hasta fin de caída fisiológica en mandarina 'Afourer'. Arriba-derecha: porcentaje de cuajado en las últimas dos fechas.

El cuajado no fue afectado por los tratamientos hasta avanzada la caída fisiológica (22 de diciembre), donde se encontró un mayor porcentaje en los dos tratamientos de mayores dosis de N y K (Cuadro 5). La falta de respuesta inicial a los tratamientos puede asociarse a que durante la primera etapa del crecimiento, el aporte principal de nutrientes proviene de las reservas acumuladas en el ciclo anterior (Martínez et al. 2002, Martínez-Alcántara et al. 2011).

Cuadro 5. Cuajado final de frutos de mandarina 'Afourer' según tratamiento (%).

Tratamiento	22-dic.	11-ene.
T1	5 ± 0,15 b	2 ± 0,18 b
T2	4 ± 0,16 b	2 ± 0,19 b
T3	7 ± 0,15 a	4 ± 0,18 a
T4	7 ± 0,15 a ^z	3 ± 0,17 a ^y

Medias con letras iguales en cada columna no son significativamente diferentes (^zp ≤ 0,10, ^yp ≤ 0,05).

En el experimento la respuesta del cuajado final a los tratamientos se asoció al nivel foliar de N (Cuadro 6). A pesar de que el N no resultó "muy bajo" en ningún caso, el nivel fue "bajo" en los árboles de los tratamientos 1 y 2, con menor porcentaje de frutos cuajados. Por el contrario, la concentración se

encontró dentro del rango “normal” con los tratamientos 3 y 4, con mayor porcentaje de cuajado (Legaz et al., 1995a).

Cuadro 6. Contenido de macronutrientes en hojas de 7 meses de mandarina 'Afourer' (en porcentaje)

Tratamiento	N	P	K	Ca	Mg
T1	2,33±0,09 a	0,10±0,01 a	1,03±0,06 a	2,16±0,26 a	0,28±0,02 a
T2	2,35±0,09 a	0,09±0,01 a	1,01±0,06 a	1,64±0,26 a	0,28±0,02 a
T3	2,60±0,09 a	0,10±0,01 a	1,15±0,06 a	1,80±0,26 a	0,29±0,02 a
T4	2,43±0,09 a	0,10±0,01 a	1,04±0,06 a	1,99±0,26 a	0,28±0,02 a

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p \leq 0,05$)

El nivel de K foliar fue alto, de acuerdo al estándar para Clementinas reportado por Legaz et al. (1995a). Sin embargo, serían valores óptimos considerando el estándar propuesto por Embleton et al. (1978) para naranjas. El contenido foliar de Ca fue bajo, variando entre 1,64 % y 2,16 %, cuando el rango óptimo se ubica entre 3 % y 5 %. Los valores de Mg se encontraron dentro del rango óptimo citado (Legaz et al., 1995a).

Cuadro 7. Concentración de micronutrientes en hojas de 7 meses de mandarina 'Afourer' (mg.kg^{-1}).

Tratamiento	Fe	Mn	Zn
T1	49,33 ± 2,29 a	49,00 ± 7,30 a	20,67 ± 3,21a
T2	47,33 ± 2,29 a	41,00 ± 7,30 a	16,67 ± 3,21a
T3	42,33 ± 2,29 a	35,33 ± 7,30 a	15,67 ± 3,21a
T4	51,00 ± 2,29 a	45,67 ± 7,30 a	17,33 ± 3,21a

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p \leq 0,05$)

Considerando que la demanda de N al inicio de cada ciclo se sustenta con las reservas preexistentes, la respuesta a los tratamientos de fertilización puede no reflejarse en el primer año, tal como lo reportado por Dasberg et al. (1983). Sin embargo, dado que en el experimento se partió de una intensidad similar de floración, asumiendo igualdad de reservas preexistentes, el incremento del porcentaje de cuajado final puede adjudicarse a los tratamientos. Adicionalmente, la mayor disponibilidad de K en verano permitiría cubrir la demanda de los frutos durante este período.

La concentración foliar de los nutrientes analizados, sumados a un amarillamiento que presentaron las plantas durante diciembre y enero pueden

deberse a diferentes factores. A partir de la segunda semana de diciembre por problemas operacionales, no se aplicó Mg durante 4 semanas, reponiéndose recién a partir de febrero. Por otro lado, el contenido de Na en el suelo ($2,84 \text{ cmol.kg}^{-1}$ suelo) podría ser alto de acuerdo a la información disponible para este tipo de suelos (MAP. DSF, 1979). Adicionalmente, según Bar-Akiva (1975) el incremento en el nivel de K foliar resulta en una disminución de la concentración foliar de Ca y Mg.

En árboles cítricos, se ha reportado que el principal período de absorción de Ca se ubica desde el inicio de la primavera hasta el comienzo del otoño, mientras que el de K y Mg es mayoritariamente en el verano (Rocuzzo et al., 2012). Considerando la competencia en la absorción entre estos últimos, la menor disponibilidad de Mg durante diciembre y enero, período de mayor absorción de ambos nutrientes, podría haber favorecido la absorción de K, reflejándose en el alto nivel foliar.

La respuesta a la fertilización concuerda con los trabajos presentados en los antecedentes, en que tanto el N (Schumann et al., 2003) como el K (Ashraf et al. 2010, Quiñones et al. 2012) incrementan el porcentaje de cuajado de frutos cítricos. En el mismo sentido, una baja fertilización nitrogenada resultó en una mayor abscisión de estructuras reproductivas en árboles de naranja de ombligo 'Lane Late' (Martínez-Alcántara et al., 2011). También Lovatt (1999) demostró un incremento en el cuajado de frutos de 'Washington' navel mediante aplicaciones foliares de N pre-floración en invierno.

4.2 COMPONENTES DEL RENDIMIENTO

4.2.1 Crecimiento de frutos

El diámetro ecuatorial de los frutos fue la variable utilizada para medir su crecimiento. Los tratamientos no modificaron su evolución ni el tamaño final (Figura 5 y Cuadro 8).

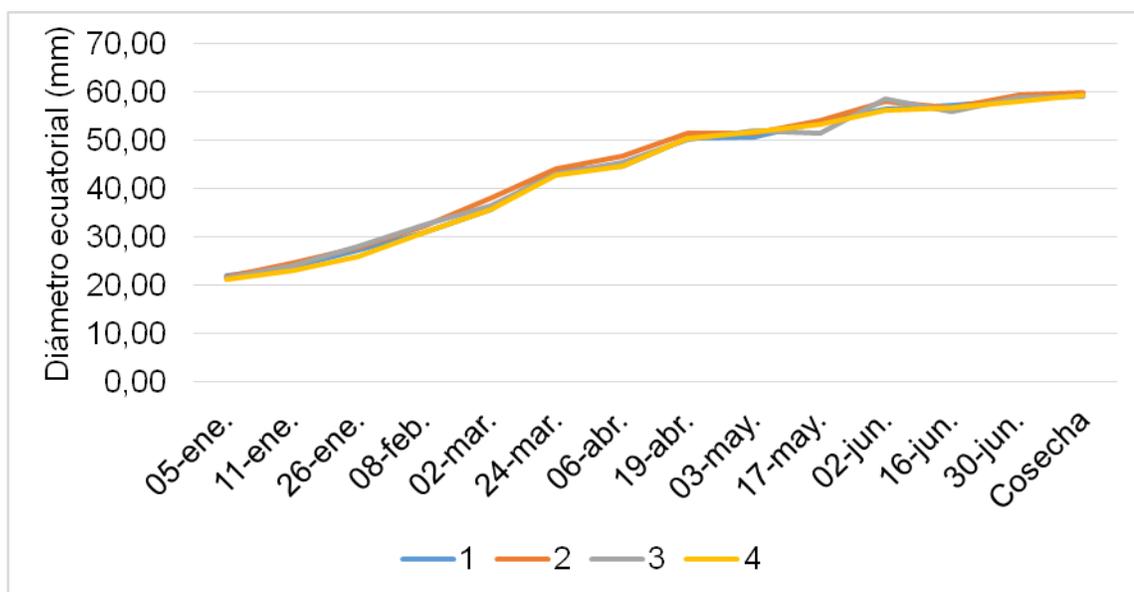


Figura 5. Diámetro ecuatorial de frutos desde inicio de fase II a fin de fase III en mandarina 'Afourer'.

Cuadro 8. Diámetro ecuatorial del fruto de mandarina 'Afourer' en la madurez.

Tratamiento	Diámetro ecuatorial (mm)
T1	59,36 ± 0,68 a
T2	59,25 ± 0,68 a
T3	59,97 ± 0,68 a
T4	59,60 ± 0,68 a

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p \leq 0,05$)

En cítricos, es conocida la correlación negativa entre el tamaño y el número de frutos por árbol (Guardiola 1993, Gravina et al. 2000). En este sentido, Guardiola (1993) reporta que hasta un 50 % del peso de los frutos se explica por el número de frutos por planta. En este experimento no se verificó dicha correlación, lo que sugiere que el potencial productivo de este cuadro no se ha alcanzado.

4.2.2 Cosecha de frutos

Los resultados de los componentes del rendimiento se presentan en el Cuadro 9. No se incluyen los datos del tratamiento 2 por haberse detectado un error en la planilla de campo utilizada.

El número de frutos y el rendimiento en kg por árbol no fueron afectados significativamente por los tratamientos. Sin embargo, se observó una clara tendencia a su incremento en los árboles de los dos tratamientos de mayores dosis, que concuerda con la diferencia significativa encontrada en el porcentaje de cuajado final. El peso medio de frutos no se vio afectado, tal como sucedió con la evolución del diámetro ecuatorial. El número de frutos por m³, como medida de la eficiencia productiva del árbol, tampoco presentó diferencias significativas entre tratamientos, aunque tendió a incrementarse con la mayor dosis de fertilización (Cuadro 9).

Cuadro 9. Número de frutos, rendimiento por árbol (Kg.árbol⁻¹), peso medio de frutos (g) y eficiencia productiva (No. de frutos.m⁻³ de copa) en mandarina 'Afourer' con diferentes dosis de fertilización.

Tratamiento	No. frutos	Rendimiento	P.M.F.	Eficiencia productiva
T1	481 ± 54,49 a	39,4 ± 4,27 a	82 ± 3,41 a	46 ± 6,07 a
T3	600 ± 54,49 a	51,9 ± 3,99 a	87 ± 3,19 a	49 ± 6,07 a
T4	619 ± 58,25 a	53,3 ± 3,99 a	86 ± 3,41 a	57 ± 6,07 a

Medias con letras iguales en cada columna no son significativamente diferentes ($p \leq 0,05$).

El rendimiento se compone por el número de frutos y su peso, sin embargo el primero sería el más determinante (Gravina et al., 2000). La fase I de crecimiento de frutos comprende el período en que estos pueden sufrir abscisión y en la cual se define el número de frutos que alcanzan la madurez (Agustí, 2003a). En este sentido, la fertilización con N se asocia a la mejora del rendimiento a través del incremento del número de frutos, mientras que el K lo logra fundamentalmente a través del aumento del tamaño (Schumann et al. 2003, Ashraf et al. 2010, Martínez-Alcántara et al. 2011). También se ha reportado una respuesta significativa al agregado de K en el aumento de número de frutos y su peso (Bar-Akiva, 1975) y una respuesta cuadrática del rendimiento (Ashkevari et al., 2010).

En este experimento, la tendencia observada en los árboles fertilizados con mayores dosis de N y K a presentar un mayor número de frutos, no se tradujo en un menor tamaño. Esto podría deberse a una mayor disponibilidad

de K para los frutos, estimulando directamente su crecimiento y/o a un efecto indirecto del N, debido a una mayor disponibilidad de carbohidratos, a través de su capacidad de incrementar la concentración de clorofila en hojas de cítricos (Dutra et al., 2003).

El P foliar resultó bajo con mínima variación entre los tratamientos (Cuadro 6). Su interpretación no es clara, existen reportes de concentraciones óptimas de P para citrus (Koo et al., 1984) aunque también de falta de relación entre el contenido foliar de P y el rendimiento y calidad de los frutos (Alva et al., 2006a). Por este motivo, es clave complementar con el análisis de suelo (Hernández 1982, Agustí 2003a). En la parcela del ensayo, el P Bray No. 1 no parece limitante para los suelos del país (12 mg.kg^{-1} y 16 mg.kg^{-1} en la zona del gotero y la fila respectivamente).

4.3 CALIDAD DE FRUTOS

4.3.1 Relación entre diámetro ecuatorial y grosor de cáscara

Existen reportes del efecto del N y K sobre el diámetro ecuatorial de los frutos (Koo y Reese 1977, Ashkevari et al. 2010, Ashraf et al. 2010) y sobre el grosor de cáscara (Dasberg et al., 1983). En general, el agregado de N tiende a disminuir el tamaño de frutos en forma indirecta, a través del incremento del número de frutos. Por el contrario, la fertilización potásica lo aumenta, fundamentalmente a través del incremento del grosor de cáscara (Ashkevari et al. 2010, Ashraf et al. 2010).

En el experimento, el grosor de cáscara se correlacionó positiva y linealmente con el diámetro ecuatorial de los frutos ($r = 0,59$). En el tratamiento de menor dosis de fertilización el grosor de cáscara se explica principalmente por el tamaño de fruto ($r = 0,76$) mientras que en el de mayor fertilización esta asociación disminuye ($r = 0,40$).

Este comportamiento entre las variables podría explicarse porque en los árboles que recibieron el tratamiento 4, los frutos obtuvieron una dosis mayor de K que incrementó el grosor de cáscara, dependiendo en menor medida del calibre. Analizando de forma aislada el efecto de los tratamientos sobre el grosor de cáscara, los frutos del tratamiento 4 presentaron un leve ($0,35 \text{ mm}$) aunque estadísticamente significativo incremento en relación al tratamiento 1 (Cuadro 10).

Cuadro 10. Grosor de cáscara en función de los tratamientos en frutos de mandarina 'Afourer'.

Tratamiento	Grosor de cáscara
T1	2,65± 0,08 a
T2	2,74± 0,08 ab
T3	2,81± 0,08 ab
T4	3,00± 0,08 b

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p \leq 0,05$)

El resultado concuerda con reportes anteriores, en los que dosis altas de N y K resultan en frutos de mayor tamaño (Obreza et al. 2008a, Mann et al. 2011) que tienen mayor grosor de cáscara (Spiegel-Roy y Goldschmidt, 1996). El efecto sobre el grosor de cáscara estaría mediado principalmente por el K. Sin embargo, como fue discutido anteriormente, el análisis foliar no refleja diferencias en la concentración de K entre los tratamientos. Esto podría explicarse por la tendencia a un mayor número de frutos en los tratamientos de alta fertilización, realizando una mayor extracción de K. Así, la dosis más alta permitió mantener un mayor número de frutos sin disminuir el tamaño ni el contenido de jugo y aumentando mínimamente su grosor de cáscara.

4.3.2 Calidad interna

Los parámetros de calidad interna obtenidos se presentan en el Cuadro 11. Los tratamientos de fertilización no generaron diferencias significativas en las variables evaluadas.

Cuadro 11. Parámetros de calidad interna de mandarina 'Afourer' determinados en la cosecha

Tratamiento	S.S.T. (°Brix)	A.T. (%)	Ratio (S.S.T./A.T.)	Jugo (%)
T1	13,0±0,26 a	1,41±0,06 a	9,40±0,34 a	49,0±2,18 a
T2	13,3±0,26 a	1,47±0,06 a	9,10±0,34 a	46,0±2,18 a
T3	13,1±0,26 a	1,40±0,06 a	9,30±0,34 a	48,2±2,18 a
T4	13,1±0,26 a	1,40±0,06 a	9,30±0,34 a	48,2±2,18 a

Medias con letras iguales en cada columna no son significativamente diferentes ($p \leq 0,05$).

El porcentaje de jugo fue alto, alcanzando un poco menos del 50 % del peso de la fruta. Los S.S.T. y el ratio, que osciló entre 9 y 10, fueron valores adecuados para este cultivar. Sin embargo la acidez estuvo levemente superior a los valores registrados en otras cosechas de la zona en este mismo cultivar, presentando un promedio de 1,3 (Gravina et al., 2016). Los resultados coinciden con otros reportes para cítricos en los que los tratamientos de fertilización no modifican la calidad interna de los frutos (Jones et al. 1970, Dasberg et al. 1983).

Según Moss y Higgins (1974), Ashkevari et al. (2010) el incremento de la fertilización potásica provoca un aumento en la acidez del jugo. En este caso, si se considera que la concentración foliar de K (Cuadro 6) se encuentra en el nivel alto del estándar utilizado (Legaz et al., 1995a), podría ser uno de los motivos que expliquen la alta acidez registrada.

4.3.3 Color

De acuerdo a la medición de color realizada durante la fase II del crecimiento del fruto y al inicio del cambio de color (cuando la variable 'a' pasó a ser positiva, Anexo 4), los tratamientos de fertilización no afectaron la coloración (Cuadro 12). En la medición realizada en cosecha, a pesar de no encontrarse visualmente cambios en el color de los frutos, se determinó estadísticamente un menor ángulo Hue en los frutos de los dos tratamientos de mayor dosis de fertilización, lo que indicaría una coloración levemente más anaranjada. La diferencia encontrada en el ángulo Hue, se atribuyó a un leve pero estadísticamente menor valor de la variable 'b' (Anexo 4) reflejando menor coloración amarilla en estos frutos.

Cuadro 12. Color (croma, Hue CIELab) en frutos de mandarina 'Afourer' en la fase II del crecimiento (6 abril), al inicio del cambio de color (17 mayo) y en la cosecha (19 julio).

Tratamiento	6 de abril		17 de mayo		19 de julio	
	Croma	Hue	Croma	Hue	Croma	Hue
T1	49±1,29a	114±1,29a	57±0,98 a	91±1,94 a	65±0,61 a	42±0,62 b
T2	51±1,17 a	117±1,12 a	56±0,98 a	90±1,94 a	65±0,61 a	44±0,62 b
T3	51±1,21 a	116±1,17 a	55±1,03 a	92±2,07 a	64±0,61 a	41±0,62 a
T4	52±1,20 a	118±1,16 a	58±0,98 a	87±1,94a	65±0,61 a	41±0,62 a

Medias con letras iguales en cada columna no son significativamente diferentes ($p \leq 0,05$).

Se ha reportado un efecto negativo del N en el cambio de color, relacionado a aplicaciones tardías de fertilización nitrogenada (Jones y Embleton 1959, Sala et al. 1992, Quiñones et al. 2004) o a aplicaciones continuas de nitratos durante la transición de fase II a fase III (Huff 1983, Alós et al. 2006). Sin embargo, en este experimento no era esperable un retraso en la toma de color, dado que la fertilización nitrogenada terminó en marzo, mientras que el inicio de cambio de color comenzó en la segunda quincena de mayo y la coloración final se determinó en la segunda quincena de julio.

Por otra parte, la mayor disponibilidad de N temprano en la estación, puede haber tenido un efecto indirecto promoviendo la coloración, mediante el incremento de la producción de carbohidratos. Es conocido el incremento del contenido de clorofilas con el agregado de la fertilización nitrogenada (Dutra et al., 2003) y su consecuente efecto en la fotosíntesis. Una mayor disponibilidad de azúcares solubles se relaciona directamente con la degradación de clorofilas y síntesis de carotenoides en los frutos cítricos (Huff 1983, Sala et al. 1992, Gambetta et al. 2005, 2012). Adicionalmente, el contenido de K puede haber favorecido la exportación de los fotoasimilados al fruto (Lavon et al., 1995), aunque no se haya reportado una asociación clara entre el agregado de K y la coloración de los cítricos (Koo y Reese 1977, Bañuls et al. 2004).

4.3.4 Incidencia y severidad de 'creasing'

En cosecha se registró una alta incidencia de 'creasing' en todos los árboles del experimento, sin diferencias significativas entre tratamientos. (Cuadro 13).

Cuadro 13. Incidencia de 'creasing' en frutos de mandarina 'Afourer'

Tratamiento	Porcentaje de fruta con 'creasing'
T1	59±0,04 a
T2	56±0,04 a
T3	60±0,04 a
T4	66±0,04 a

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p \leq 0,05$)

La mayoría de los frutos presentó niveles bajos y medios de severidad. En correspondencia con la incidencia, se observa una ligera tendencia a aumentar la proporción de frutos con mayor severidad en los árboles del tratamiento 4 (Figura 6).

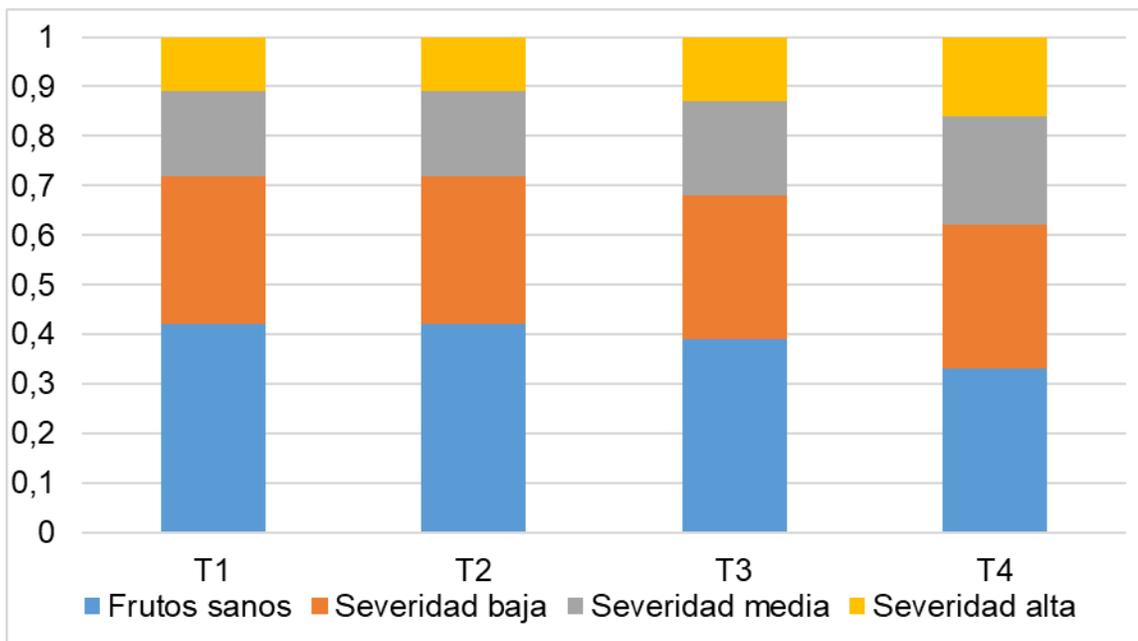


Figura 6. Proporción de frutos afectados según nivel de severidad en mandarina 'Afourer'.

En las condiciones de Uruguay 'Afourer' no se caracteriza por ser susceptible a este desorden, siendo las naranjas de ombligo las más afectadas

(Gambetta et al., 2002). Como en la mayoría de los desórdenes fisiológicos, no existe un único factor promotor, estando asociado al material genético, las condiciones ambientales y el manejo (Holtzhausen 1982, Gilfillan et al. 1982).

La nutrición mineral es uno de los factores implicados. La información del efecto de la fertilización sobre la incidencia del desorden es inconsistente (Bar-Akiva 1975, Jones et al. 1976, Monselise et al. 1976, Gilfillan et al. 1982, Gambetta et al. 2002). Los estudios de concentración de minerales en la piel de frutos afectados demuestran que existe una menor concentración de Ca y mayor de N, P y K que en los frutos sanos (Jones et al. 1967, Telias et al. 2002). Estos resultados coinciden con la disminución de la incidencia con aplicaciones foliares de Ca (Treeby et al., 2000). Aunque en el experimento no se determinó el contenido de nutrientes en la cáscara de los frutos, el bajo contenido de Ca y alto de K podrían explicar la alta incidencia encontrada (Cuadro 6). Adicionalmente, la concentración de N puede asociarse con la tendencia en incidencia de 'creasing'. El Ca juega un rol importante en la regulación de la permeabilidad de la membrana y el fortalecimiento de la pared celular. Este mineral se absorbe principalmente al inicio de la primavera (Rocuzzo et al., 2012) y dada su baja movilidad dentro de la planta, la fase I es el período de mayor aporte al fruto. La manifestación del 'creasing' en el flavedo responde a rupturas en el albedo, como consecuencia de la separación de sus células. La división celular de este tejido cesa nueve semanas después de plena floración (Holtzhausen, 1982), por lo que es importante la disponibilidad de Ca en esta etapa para reducir la susceptibilidad del mismo al desorden.

En el experimento, la incidencia y severidad de 'creasing' tendieron a ser levemente más altas en los árboles con mayor dosis de fertilización, pudiendo relacionarse al incremento que provocó este tratamiento en el porcentaje de frutos cuajados. La incidencia de 'creasing' se ha asociado positivamente con el aumento en el número de frutos y su consecuente disminución del tamaño (Holtzhausen, 1982) asociado al grosor de cáscara (Embleton et al., 1967). Sin embargo, la diferencia en el grosor de cáscara como respuesta a la fertilización (mayor en los frutos del tratamiento 4), no permite relacionarla con la incidencia de frutos con 'creasing'.

Considerando todos los factores estudiados, los dos tratamientos de fertilización que aportaron mayor cantidad de N y K, incrementaron el porcentaje de cuajado y el número de frutos en la cosecha, sin afectar su tamaño final. Estos resultados reflejan que los tratamientos que reponen hasta un 25 % más de la extracción realizada por órganos reproductivos en el ciclo anterior, limitan el potencial productivo de esta variedad en las condiciones del experimento. La calidad interna y externa de los frutos no fue afectada por el incremento en la fertilización nitrogenada y potásica. La alta incidencia de 'creasing' en todos los tratamientos, además del efecto año, puede asociarse a

los contenidos de K y Ca foliares. El incremento del N aplicado se reflejó en el resultado del análisis foliar, alcanzando un nivel óptimo en los dos tratamientos de mayor fertilización.

5. CONCLUSIONES

1) El agregado de N y K en un 50 % y 75 % superior a la extracción realizada por los órganos reproductivos en el ciclo anterior (flores y frutitos abscisionados y frutos cosechados), incrementó significativamente el porcentaje de frutos cuajados, respecto a proporcionarles el valor de la extracción o un 25 % más.

2) El número de frutos cosechados y el rendimiento por planta no se diferenciaron significativamente entre tratamientos, aunque tendieron a incrementarse con las dos mayores dosis de fertilización. El tamaño promedio de los frutos no se modificó con los tratamientos.

3) El incremento en la fertilización nitrogenada se reflejó en un aumento de la concentración foliar de este nutriente, mientras que no pudo verificarse el mismo efecto con el incremento en la fertilización potásica. La concentración foliar de N de los tratamientos de mayor cuajado se ubicó en el rango óptimo mientras que los de los tratamientos 1 y 2 presentaron concentraciones bajas.

4) Los tratamientos no afectaron el contenido de azúcares, la acidez y el porcentaje de jugo de los frutos, que se ubicaron en todos los casos en valores adecuados. Los tratamientos de mayores dosis de N y K incrementaron levemente el grosor de cáscara y su coloración final.

5) Independientemente de los tratamientos, el porcentaje de frutos con 'creasing' fue muy alto y se asoció a la baja concentración foliar de Ca y alta de K.

6. RESUMEN

La citricultura uruguaya está orientada a la exportación de fruta para consumo en fresco, fundamentalmente a los mercados de Europa y EE.UU. La mandarina 'Afourer' (*Citrus reticulata* Bl.), de alta demanda a nivel internacional, fue el primer cultivar cítrico patentado que se plantó en Uruguay. La calidad de los frutos es un factor decisivo para la exportación, lo que implica adecuar las tecnologías de manejo de las plantaciones, incluyendo el ajuste de la fertilización a los requerimientos de nutrición mineral. Los criterios para la fertilización en la citricultura de Uruguay son variables, contando con escasa información experimental para la adecuación de los programas de fertilización. En este marco, el objetivo del trabajo fue determinar la respuesta en rendimiento y calidad de fruta de la mandarina 'Afourer' a dosis crecientes de nitrógeno y potasio, basados en la estimación de los requerimientos nutricionales anuales. El experimento se realizó en la localidad de Kiyú, en árboles injertados sobre Trifolia (*P. trifoliata* L.raf.) en un marco de 5 m x 3 m con fertirriego. Se definieron 4 tratamientos de fertilización que consistieron en: (T1) Una aplicación mínima de N y K, correspondiente a la extracción realizada por los órganos reproductivos abscisionados y cosechados en el ciclo anterior (100 U de N y 80 U de K); (T2) T1 + 25 %; (T3) T1 + 50 % y (T4) T1 + 75 %. Todos los tratamientos incluyeron 5 U de P y 10 U de Mg. La fertilización comenzó a fines de octubre y finalizó en abril. Los tratamientos T3 y T4 incrementaron el cuajado de frutos, lo que se reflejó en una tendencia al aumento del rendimiento a través del número de frutos. Su tamaño no varió entre tratamientos, sugiriendo que T1 y T2 limitan el potencial productivo de la mandarina 'Afourer'. Con los tratamientos de fertilización T3 y T4 se verificó una mayor concentración de N foliar, lo que puede asociarse al mayor porcentaje de cuajado de frutos. La concentración de K se ubicó en niveles altos en todos los tratamientos. No hubo diferencias significativas en los parámetros de calidad interna, mientras que la mayor dosis de fertilización incrementó levemente el grosor y el color de la cáscara. Se cuantificó una alta incidencia de 'creasing' independientemente de los tratamientos, afectando entre el 56 % y 66 % de los frutos cosechados, lo que puede asociarse al bajo contenido foliar de Ca y alto de K.

Palabras clave: 'Afourer'; Fertilización; Nutrición mineral; Cuajado; Rendimiento.

7. SUMMARY

The main goal of Uruguayan citriculture is fresh fruit production for export to Europe and USA. 'Afourer' mandarin (*Citrus reticulata* Bl.) is an international high demanded cultivar, which was the first patented one implanted in Uruguay. Fruit quality is a major element for exportation. Consequently, it is necessary to improve orchard technologies, including to adjust fertilization doses to tree mineral nutrition requirements. In Uruguay, fertilization criteria are variable, and limited experimental information to help planning fertilization programs is available. In this context, the objective of the experiment was to determine yield and quality response of 'Afourer' mandarin to increasing doses of nitrogen and potassium, based on nutritional annual mineral requirements. The experiment was set in Kiyú in trees grafted in Trifolia rootstock (*P. trifoliata* L. Raf.) at 5 m x 3 m spacing, with fertigation. Four fertilization treatments were defined: (T1) a minimum dose of N and K, corresponding to the extraction made from reproductive organs abscised and harvested in the previous cycle (100 U of N and 80 U of K); (T2) T1 + 25 %; (T3) T1 + 50 % and (T4) T1 + 75 %. All treatments included 5 U of P and 10 U of Mg. Fertilization was initiated in the last days of October and ended in April. Treatments T3 and T4 increased fruit set, trending to increase yield, through the number of fruits harvested. There was no difference in fruit size between treatments, suggesting that T1 and T2 restrict 'Afourer' mandarin productive potential. A major foliar N concentration with T3 and T4 fertilization treatments was verified, what can be associated to the highest fruit set percentage. High levels of foliar K concentration in every treatment was found. No significant differences in internal quality parameters were detected, while peel thickness and color slightly increased with the major fertilization dose. High 'creasing' incidence was verified regardless treatment, affecting between 56 % and 66 % of the harvested fruit. This result can be associated to the low Ca and high K foliar concentration.

Keywords: 'Afourer'; Fertilization; Mineral nutrition; Fruit set; Yield.

8. BIBLIOGRAFÍA

1. Abbas, F.; Fares, A. 2008. Best management practices in citrus production. *Tree and Forestry Science and Biotechnology*. 3: 1-11.
2. Agustí, M. 2003a. *Citricultura*. 2a. ed. Madrid, Mundi-Prensa. 422 p.
3. _____; Martínez-Fuentes, A.; Mesejo, C.; Juan, M.; Almela, V. 2003b. Cuajado y desarrollo de los frutos cítricos. Valencia, Generalitat Valenciana, Conselleria D'Agricultura, Peixca I Alimentació. 80 p. (Sèrie Divulgació Tècnica no. 55).
4. _____; Almela, V.; Juan, M. 2004a. Alteraciones fisiológicas de los frutos cítricos. Madrid, MAPA. 126 p.
5. _____. 2004b. *Fruticultura*. 2a. ed. Madrid, Mundi-Prensa. 493 p.
6. _____; Martínez-Fuentes, A.; Reig, C.; Mesejo, C. 2005. Comportamiento agronómico del tangor 'Afourer'. *Levante Agrícola*. 375: 124-128.
7. Alayón, P.; Rodríguez, V.; Píccoli, A.; Chabbal, M.; Giménez, L.; Martínez, G. 2014. Fertilización foliar con macronutrientes a plantas de naranja Valencia Late (*Citrus siniensis* (L. Osbeck) y tangor Murcot (*Citrus reticulata* Blanco x *Citrus siniensis* (L. Osbeck). *Revista de la Facultad de Ciencias Agrarias. UNCuyo*. 46(1): 87-96.
8. Alós, E.; Cercós, M.; Rodrigo, M.; Zacarías, L.; Talón, M. 2006. Regulation of color break in citrus fruits. Changes in pigment profiling and gene expression induced by gibberellins and nitrate, two ripening retardants. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*. 54(13): 4888-4895.
9. Alva, A.; Paramasivam, S.; Graham, W.; Wheaton, T. 2003. Best nitrogen and irrigation management practices for citrus production in sandy soils. *Water, Air and Soil Pollution*. 143: 139-154.

10. _____.; _____.; Obreza, T.; Schumann, A. 2006a. Nitrogen best management practice for citrus trees I. Fruit yield, quality and leaf nutritional status. *Scientia Horticulturae*. 107(3): 233-244.
11. _____.; _____.; Fares, A.; Obreza, T. A.; Schumann, A. W. 2006b. Nitrogen best management practice for citrus trees II. Nitrogen fate, transport, and components of N budget. *Scientia Horticulturae*. 109 (3): 223-233.
12. _____.; Mattos, D.; Quaggio, J. 2008. Advances in nitrogen fertigation of citrus. *Journal of Crop Improvement*. 22(1): 121-146.
13. Arnon, D.; Stout, P. 1939. The essentiality of certain elements in minute quantity for plants with special reference to copper. *Plant Physiology*. 14: 371–375.
14. Ashkevari, A.; Hossein, S.; Miransari, M. 2010. Potassium fertilization and fruit production of page citrus on a punsirus rootstock: quantitative and qualitative traits. *Journal of Plant Nutrition*. 33(10): 1564-1578.
15. Ashraf, M.; Gul, A.; Ashraf, M.; Hussain, F.; Ebert, G. 2010. Improvement in yield and quality of Kinnow (*Citrus deliciosa* x *Citrus nobilis*) by potassium fertilization. *Journal of Plant Nutrition*. 33(11): 1625-1637.
16. Bachiega, F.; Mattos, D.; Boaretto, R.; Quaggio, J.; Takashi, M.; Syvertsen, J. 2012. Contribution of phosphorus (³²P) absorption and remobilization for citrus growth. *Plant and Soil*. 355(1-2): 353-362.
17. Bañuls, J.; Quiñones, A.; Primo-Millo, E.; Legaz, F. 2004. Complementary effect of foliar spray of KNO₃ on mineral status, yield and fruit quality in citrus orchard. In: International Citrus Congress (10th., 2004, Agadir, Morocco). Proceedings. Agadir, Morocco, International Society of Citriculture. v.2, pp. 686-687.
18. Bar-Akiva, A. 1975. Effects of potassium nutrition on fruit splitting in Valencia Oranges. *Journal of Horticultural Science*. 50(1): 85-89.
19. Bertuzzi, S. 2007. Nutrición mineral y fertilización de frutales cítricos. In: Sozzi, G. ed. Árboles frutales: ecofisiología, cultivo y

aprovechamiento. Buenos Aires, Universidad de Buenos Aires. Facultad de Agronomía. pp. 365-394.

20. Bhusal, R.; Mizutani, F.; Rutto, K. 2002. Selection of rootstocks for flooding and draught tolerance in citrus species. *Pakistan Journal of Biological Sciences*. 5(5): 509-512.
21. Bingham, E.; Mahler, R.; Parra, J. Stolzy, L. 1974. Long-term effects of irrigation-salinity management on a Valencia orange orchard. *Soil Science*. 117(6): 369-377.
22. Boman, B.; Zekri, M.; Stover, E. 2005. Managing salinity in citrus. *HortTechnology*. 15(1): 108-113.
23. _____; Battikhi, A. 2007. Growth, Evapotranspiration and Nitrogen Leaching from Young Lysimeter-Grown Orange Trees. *Journal of Irrigation and Drainage Engineering*. 133(4): 350-358.
24. Bremmer, J.; Mulvaney, C. 1982. Nitrogen-total. *In*: Page, A.; Miller, R.; Keeny, D. eds. *Methods of soil analysis*. Madison, WI, Soil Science Society of America. pt. 2, pp. 1119-1123.
25. Broadley, M.; Brown, P.; Cakmak, I.; Rengel, Z.; Fangjie, Z. 2012. Functions of nutrients: micronutrients. *In*: Marschner, P. ed. *Marschner's Mineral Nutrition of Higher Plants*. 3rd. ed. s.l., Academic Press. pp. 191-248.
26. Bustan, A.; Goldschmidt, E. E. 1998. Estimating the cost of flowering in a grapefruit tree. *Plant, Cell and Environment*. 21(2): 217-224.
27. Calabrese, F.; Panno, M. 1992. Pruning and Mineral Losses from Mandarin Orchards in Sicily. *In*: *International Citrus Congress (7th., 1992, Acireale, Italy)*. Proceedings. Catania, Italy, International Society of Citriculture. pp. 690-692.
28. Carricaburu, J. 1999. Identificación de los problemas más frecuentes en aguas de riego uruguayas. Montevideo, MGAP. s.p.
29. Chapman, H.; Parker, E. 1942. Weekly absorption of nitrate by young bearing orange trees growing out of doors in solution cultures. *Plant Physiology*. 17(8): 366-376.

30. _____.; Rayner, D. 1951. Effect of various maintained levels of phosphate on the growth, yield, composition, and quality of Washington Navel oranges. *Hilgardia*. 20(17): 325-358.
31. Chica, E.; Albrigo, L. 2013. Changes in CsFT transcript abundance at the onset of low-temperature floral induction in sweet orange. *Journal of the American Society for Horticultural Science*. 138(3): 184-189.
32. Dasberg, S.; Bielorai, H.; Erner, J. 1983. Nitrogen fertigation of Shamouti oranges. *Plant and Soil*. 75(1): 41-49.
33. _____.; Bar-Akiva, A.; Spazisky, S.; Cohen, A. 1988. Fertigation versus broadcasting in an orange grove. *Fertilizer Research*. 15(2):147-154.
34. Davies, F.; Albrigo, G. 1994. *Citrus*. Wallingford, UK, CAB International. 254 p.
35. Daw, A.; Roberts, S. 1982. Proposal: critical nutrient ranges for crop diagnosis. *Agronomy Journal*. 74(2): 401-403.
36. Del Pino, A. 2013. *Nutrición catiónica*. Montevideo, Facultad de Agronomía. 30 p.
37. Du Plessis, S. 1977. Soil analysis as a necessary complement to leaf analysis for fertiliser advisory purposes. *In: International Citrus Congress (2nd, 1977, Florida, US). Proceedings*. Lake Alfred, Florida, International Society of Citriculture. pp. 15-19.
38. El-Otmani, M.; Zharataibi, F.; Lmoufid, B.; Ait-Oubahou, A.; Lovatt, C. 2004. Improved use of foliar urea on Clementine mandarin to manipulate cropping in a sustainable production system. *Acta Horticulturae*. no. 632: 167-175.
39. Embleton, T.; Jones, W.; Labanaukas, C. 1971. Leaf analysis and phosphorous fertiliation of oranges. *California Citrograph*. 56: 101-104.
40. _____.; _____.; _____.; Reuther, W. 1973. Leaf analysis as a diagnostic tool and guide to fertilization. *In: Reuther, W. ed. The citrus industry*. Berkeley, University of California. pp. 183-210.

41. _____.; _____.; Platt, R. 1978. Leaf analysis as a guide to citrus fertilization. In: Reisenauer, H. ed. Soil and plant-tissue testing in California. Berkeley, University of California. pp. 4-9 (Bulletin no. 1879).
42. Espino, M.; da Cunha Barrios, M. 2005. Estudio del comportamiento fenológico-reproductivo de limón tipo 'Lisbon'. In: Congreso Argentino de Citricultura (1º., 2005, Concordia, Argentina). Trabajos presentados. Montevideo, Facultad de Agronomía. s.p.
43. Feigenbaum, S.; Bielorai, H.; Erner, Y.; Dasberg, S. 1987. The fate of 15 N labeled nitrogen applied to mature citrus trees. *Plant and Soil*. 97(2): 179-187.
44. Fernández, G. Incidencia del rajado de la mandarina 'Nova' (*Citrus reticulata* Blanco x [*Citrus paradisi* Macf. x *Citrus tangerina* Hort. ex. Tan.]), en función del régimen hídrico del suelo para las condiciones del norte y del sur del Uruguay. Tesis Ing. Agr. Montevideo, Uruguay. Universidad de la República. Facultad de Agronomía. 52 p.
45. Futch, S.; Alva, A. 1995. Effects of nitrogen rates on grapefruit production in southwest Florida. In: FSHS Annual Meeting (107th., 1994, Florida). Proceedings. Lake Alfred, Florida State Horticultural Society. pp. 32-34.
46. Gambetta, G.; Telias, A.; Arbiza, H.; Espino, M.; Franco, J.; Rivas, F.; Gravina, A. 2002. 'Creasing' en naranja 'Washington' Navel en Uruguay. Incidencia, severidad y control. *Agrociencia (Uruguay)*. 6(2): 17-24.
47. _____.; Gravina, A.; D'Oliveira Flores, V.; Borges, A. 2005. Maduración externa de naranjas 'Navelina' y 'Navelate': su relación con el contenido de carbohidratos solubles y nitrógeno. In: Simposio Nacional Investigación y Desarrollo Tecnológico de Citrus (2º., 2005, Montevideo, Uruguay). Trabajos presentados. Montevideo, Facultad de Agronomía. s.p.
48. _____.; Borges, A.; Espino, M.; da Cunha Barros, M.; Rivas, F.; Arbiza, H.; Gravina, A. 2008. Mejora de la productividad de la mandarina 'Nova': aspectos fisiológicos y medidas de manejo. *Agrociencia (Uruguay)*. 12(2): 1-9.

49. _____. 2009. Control endógeno y exógeno de la maduración externa de los frutos cítricos. Tesis doctoral. Ing. Agr. Valencia, España. Universidad Politécnica de Valencia. 149 p.
50. _____.; Martínez-Fuentes, A.; Bentancur, O.; Mesejo, C.; Reich, C.; Gravina, A.; Agustí, M. 2012. Hormonal and nutritional changes in the flavedo regulating rind color development in sweet orange (*Citrus sinensis* L.Osb.). *Journal of Plant Growth Regulation*. 31(3): 273-282.
51. _____.; Gravina, A.; Fasiolo, C.; Fornero, C.; Galiger, S.; Inzaurrealde, C.; Rey, F. 2013. Self-incompability, parthenocarpy and reduction of seed presence in 'Afourer' mandarin. *Scientia Horticulturae*. 164: 183-188.
52. García Petillo, M. 2000. Comparación del fertirriego con la fertilización convencional nitrogenada en naranja 'Valencia'. *Agrociencia (Uruguay)*. 4(1): 23-30.
53. _____. 2010. Análisis crítico del método de riego por goteo en las condiciones del Uruguay. *Agrociencia (Uruguay)*. 14(1): 36-43.
54. García-Luis, A.; Kanduser, M.; Guardiola, J. L. 1995. The influence of fruiting on the bud sprouting and flower induction responses to chilling in Citrus. *Journal of Horticultural Science*. 70(5): 817-825.
55. Ghosh, S. 2006. Integrated management practices for sweet orange (*Citrus sinensis* Osbeck) production under rainfed laterite soil of west Bengal, India. *In*: International Citrus Congress (10th., 2004, Agadir, Morocco). Proceedings. Agadir, Morocco, International Society of Citriculture. pp. 551-557.
56. Gilfillan, I.; Stevenson, J.; Wahl, J. 1982. Control of creasing in navels with gibberellic acid. *In*: International Citrus Congress (4th., 1981, Tokio, Japan). Proceedings. Shizuoka, Japón, International Society of Citriculture. pp. 224-226.
57. Goldschmidt, E.; Eilati, S. 1970. Gibberellin-treated 'Shamouti' oranges: effects on coloration and translocation within peel of fruits attached to or detached from the tree. *Botanical Gazette*. 131(2): 116-122.

58. _____.; Aschkenazi, N.; Herzano, Y.; Schaffer, A.; Monselise, S. 1985. A role for carbohydrate levels in the control of flowering in Citrus. *Scientia Horticulturae*. 26(2): 159-166.
59. _____.; Huberman, M.; Goren, R. 1993. Probing the role of endogenous ethylene in the degreening of citrus fruit with ethylene antagonists. *Plant Growth Regulation*. 12(3): 325-329.
60. Gravina, A.; Arbiza, H.; Ferenczi, A.; Orlando, L.; Severino, V.; Gambetta, G.; Almela, V.; Agustí, M. 2000. Estudio del comportamiento alternante de la naranja 'Salustiana' [*Citrus siniensis* (L.) Osb.] en diferentes condiciones productivas. *Agrociencia (Uruguay)*. 4(1): 17-22.
61. _____.; Gambetta, G.; daCunha Barros, M.; Borges, A.; Arbiza, H. 2010. Ajuste de un paquete tecnológico para la optimización productiva de naranja 'Valencia'. *In: Simposio Nacional Investigación y Desarrollo Tecnológico de Citrus (3º., 2010, Salto, Uruguay)*. Trabajos presentados. Montevideo, Facultad de Agronomía. s.p.
62. _____. 2014a. Fisiología de Citrus. Montevideo, Uruguay, Facultad de Agronomía. 145 p.
63. _____.; Gambetta, G.; Rey, F. Fasiolo, C.; Guimaraes, N. 2014b. Producción de mandarina 'Afourer' bajo malla anti abejas. II. Técnicas de mejora del cuajado y rendimiento en el sur de Uruguay. *In: Simposio Nacional Investigación y Desarrollo Tecnológico de Citrus (4º., 2010, Salto, Uruguay)*. Trabajos presentados. Montevideo, Facultad de Agronomía. s.p.
64. _____.; _____.; _____.; Guimaraes, N. 2016. Mejora de la productividad en mandarina 'Afourer' en aislamiento de polinización cruzada. *Agrociencia (Uruguay)*. 20(2): 22-28
65. _____.; _____. 2017. Conceptos de nutrición mineral en citrus. Montevideo, Facultad de Agronomía. 20 p.
66. Guardiola, J.; García-Marí, F.; Agustí, M. 1984. Competition and fruit set in the Washington navel orange. *Physiologia Plantarum*. 62(3): 297-302.

67. _____. 1993. Fruit set and growth. In: Seminário Internacional de Citros (2^o., 1992, Bebedouro, São Paulo, Brasil). Proceedings. Jaboticabal, FUNEP. pp. 1-30.
68. Hammami, A.; Rezgui, S.; Hellali, R. 2010. Leaf nitrogen and potassium concentrations for optimum fruit production, quality and biomass tree growth in Clementine mandarin under Mediterranean climate. *Journal of Horticulture and Forestry*. 2(7): 161-170.
69. Hanlon, E.; Obreza, T.; Alva, A. 1995. Tissue and soil analysis. In: Tucker, D.; Alva, A.; Jackson, L.; Wheaton, T. eds. Nutrition of Florida Citrus Trees. Gainesville, University of Florida. IFAS. pp.13-16.
70. Hanson, B.; Bowers, W.; Davidoff, B.; Kasapligil, D.; Carvajal, A.; Bendixen, W. 1995. Field performance of microirrigation systems. In: International Microirrigation Congress (5th., 1995, Orlando, Florida). Proceedings. St. Joseph, Michigan, ASABE. pp. 769-764.
71. Hernández, J. 1982. Effect of nitrogen, phosphorus and potassium on yield fruit quality and nutritional status of 'Valencia Late' orange. In: International Citrus Congress (4th., 1981, Tokio, Japan). Proceedings. Shizuoka, Japón, International Society of Citriculture. pp. 564-566.
72. Holtzhausen, L. 1982. Creasing: formulating a hypothesis. In: International Citrus Congress (4th., 1981, Tokyo, Japan). Proceedings. Shizuoka, Japan, International Society of Citriculture. pp. 1982-1983.
73. Huff, A. 1983. Nutritional control of regreening and degreening in Citrus peel segments. *Plant Physiology*. 73(2): 243-249.
74. Isaac, R.; Kerber, J. 1971. Atomic Absorption and Flame Photometry: Techniques and Uses in Soil, Plant and Water Analysis. In: Walsh, L. ed. Instrumental Methods for Analysis of Soil and Plant Tissues. Madison, WI, Soil Science Society of America. pp. 17-37.
75. Jones, W.; Embleton, T.; Steinacker, M. 1957. Nitrogen fertilizers as related to orange quality and yield. *California Citrograph*. 43(1): 3-12.

76. _____.; _____.; Garber, M.; Cree, C. 1967. Creasing of Orange Fruit. *Hilgardia*. 38(6): 231-244.
77. _____.; _____.; Boswell, S. 1970. Nitrogen rate effects on lemon production, quality and leaf nitrogen. *Journal of Horticultural Science*. 95(1): 46-49.
78. Kirkby, E. 2012. Introduction, Definition and Classification of Nutrients. In: Marschner, P. ed. *Marschner's Mineral Nutrition of Higher Plants*. s.l., Academic Press. pp. 3-5.
79. Koo, R. 1962. The use of leaf, fruit, and soil analysis in estimating potassium status of orange trees. In: FSHS Annual Meeting (75th, 1962, Florida). Proceedings. Lake Alfred, Florida State Horticultural Society. pp. 67-72.
80. _____.; Reese, R. 1976. Influence of fertility and irrigation treatments on fruit quality of Temple orange. In: FSHS Annual Meeting (89th., 1976, Florida). Proceedings. Lake Alfred, Florida State Horticultural Society. pp. 49-51.
81. _____.; _____. 1977. Influence of nitrogen, potassium and irrigation on citrus fruit quality. In: International Citrus Congress (2nd., 1977, Florida). Proceedings. Lake Alfred, Florida, International Society of Citriculture. pp. 34-38.
82. _____.; Anderson, C.; Stewart, I.; Tucker, D.; Calvert, D.; Wutscher, H. 1984. Recommended fertilizers and nutritional sprays for citrus. IFAS. Bulletin D536. 30 p.
83. Krueger, R.; Arpaia, M. 2010. Seasonal Uptake of Nutrients by Mature Field-grown 'Valencia' (*Citrus sinensis* O.) Trees in California. In: International Citrus Congress (11th., 2008, Wuhan, China). Proceedings. Wuhan, China, International Society of Citriculture. pp. 588-594.
84. Labanauskas, C.; Handy, F. 1972. Nutrient removal by Valencia orange fruit from citrus orchards in California. *California Agriculture*. 26(12): 3-4.
85. Lavon, R.; Goldschmidt, E.; Salomon R.; Frank, A. 1995. Effect of Potassium, Magnesium, and Calcium Deficiencies on

Carbohydrate Pools and Metabolism in Citrus Leaves. *Journal of the American Society for Horticultural Science*. 120(1): 54-58.

86. Lea-Cox, J.; Syvertsen, J. 2001. Springtime ¹⁵Nitrogen Uptake, Partitioning, and Leaching Losses from Young Bearing Citrus Trees of Differing Nitrogen Status. *Journal of the American Society for Horticultural Science*. 126(2): 242-251.
87. Legaz, F.; Primo-Millo, E.; Primo-Yufera, C.; Gil, C.; Rubio, J. 1982. Nitrogen fertilization in citrus. *Plant and Soil*. 66(3): 339-351.
88. _____.; _____. 1988. Normas para la fertilización de los agrios. Instituto Valenciano de Investigaciones Agrarias. Generalitat Valenciana, Conselleria D´Agricultura, Peixca I Alimentació. Serie Fullets Divulgació no. 5-88.
89. _____.; Serna, M.; Ferrer, P.; Cebolla, V.; Primo-Millo, E. 1995a. Análisis de hojas, suelos y aguas para el diagnóstico nutricional de plantaciones de cítricos. Procedimiento de toma de muestras. Generalitat Valenciana, Conselleria D´Agricultura, Peixca I Alimentació. Serie Fullets Divulgació. s.p.
90. _____.; _____.; Primo-Millo, E. 1995b. Mobilization of the reserve N in citrus. *Plant and Soil*. 173(2): 205-210.
91. Lovatt, C.; Zheng, Y.; Hake, K. 1988. A new look at the Kraus-Kraybill hypothesis and flowering in citrus. In: International Citrus Congress (6th., 1988, Tel Aviv, Israel). Proceedings. Rehovot, Israel, International Society of Citriculture. pp. 475-483.
92. _____. 1999. Timing Citrus and Avocado Foliar Nutrient Applications to Increase Fruit Set and Size. *HortTechnology*. 9(4): 607-612.
93. Lupin, M.; Magen, H.; Gambash, Z. 1999. Preparación de soluciones fertilizantes sobre la base de fertilizantes sólidos en condiciones de campo. *Revista Internacional de Agua y Riego*. 19(3): s.p.
94. Maas, E. 1993. Salinity and citriculture. *Tree Physiology*. 12(2): 195-216.
95. Mann, K.; Waldo, L.; Hostler, K.; Mann, R.; Schumann, A. 2011. Estimating relative nutrient uptake by mature citrus trees in field conditions. In: FSHS Annual Meeting (123th., 2010, Florida).

Proceedings. Lake Alfred, Florida, Florida State Horticultural Society. pp. 67-73.

96. Mansell, R.; Fiskell, J.; Calvert, D.; Rogers, J. 1986. Distributions of labelled nitrogen in the profile of a fertilized sandy soil. *Soil Science*. 141(2): 120-126.
97. Manzi, M. 2011. Respuesta metabólica y reproductiva de dos variedades de cítricos bajo estrés hídrico. Tesis de Maestría Ing. Agr. Montevideo, Uruguay. Universidad de la República. Facultad de Agronomía. 107 p.
98. MAP. DSF (Ministerio de Agricultura y Pesca. Dirección de Suelos y Fertilizantes, UY). 1979. Carta de reconocimiento de suelos del Uruguay: descripción de las unidades de suelos. Montevideo. t.3, 452 p.
99. Mara, H.; Goñi, C.; Doti, R.; Secondi, A. 1980a. Análisis foliar. Muestreo de hoja fructífera vs. hoja no fructífera. MAP. DSF. Boletín Técnico. no. 6: 57-62.
100. _____.; _____.; _____.; _____. 1980b. Determinación de la variación estacional de los niveles de macronutrientes N, P y K en montes de naranja Valencia sobre pie Trifolia en hoja fructífera y hoja no fructífera. MAP. DSF. Boletín Técnico no. 6: 11-17.
101. Martínez, J.; Bañuls, J.; Quiñones, A.; Martín, B.; Primo-Millo, E.; Legaz, F. 2002. Fate and transformations of ¹⁵N labeled nitrogen applied in spring to Citrus trees. *Journal of Horticultural Science and Biotechnology*. 77(3): 361-367.
102. Martínez-Alcántara, B.; Quiñones, A.; Primo-Millo, E.; Legaz, F. 2011. Nitrogen remobilization response to current supply in young citrus trees. *Plant and Soil*. 342(1-2): 433-443.
103. Martínez-Fuentes, A.; Mesejo, C.; Reig, C.; Agustí, M. 2010. Timing of the inhibitory effect of fruit on return bloom of 'Valencia' sweet orange (*Citrus sinensis* (L.) Osbeck). *Journal of the Science of Food and Agriculture*. 90(11): 1936-1943.

104. Márquez, A.; Galleti, M.; Monza, J. 2004. El metabolismo del nitrógeno en las plantas. Córdoba, Almuzara. 176 p.
105. Mattos, D.; Quaggio, J. A.; Cantarella, H.; Alva, A. K. 2003. Nutrient content of biomass components of 'Hamlin' sweet orange trees. *Scientia Agricola*. 60(1): 155-160.
106. _____.; _____.; _____. 2006. Efecto de la fertilización con nitrógeno y potasio en el rendimiento y calidad de los cítricos. *Informaciones Agronómicas*. 61: 11-13.
107. Menino, R. 2012. Leaf analysis in citrus: interpretation tools. In: Srivastava, A. ed. *Advances in citrus nutrition*. Dordrecht, Springer. pp. 59-79.
108. Mesejo, C.; Reig, C.; Martínez-Fuentes, A.; Gambetta, G.; Gravina, A.; Agustí, M. 2016. Tree water status influences fruit splitting in Citrus. *Scientia Horticulturae*. 209: 96-104.
109. MGAP. DIEA (Ministerio de Ganadería, Agricultura y Pesca. Dirección de Investigaciones Estadísticas Agropecuarias, UY). 2008. Encuesta cítrica "primavera 2008". Montevideo. s.p.
110. _____. _____. 2017. Encuesta cítrica "primavera 2016". Montevideo. s.p.
111. _____. _____. 2018. Encuesta cítrica "primavera 2017". Montevideo. s.p.
112. Molina, E. 2000. Nutrición y fertilización de la naranja. *Informaciones Agronómicas*. 40: 5-11.
113. Monerri, C.; Fortunato-Almeida, A.; Molina, R.; Nebauer, S.; García-Luis, A.; Guardiola, J. 2011. Relation of carbohydrate reserves with the forthcoming crop, flower formation and photosynthetic rate, in the alternate bearing 'Salustiana' sweet orange (*Citrus sinensis* L.). *Scientia Horticulturae*. 129(1): 71-78.
114. Monselise, S.; Weiser, M.; Shafir, N.; Goren, R.; Goldschmidt, E. 1976. Creasing of orange peel-physiology and control. *Journal of Horticultural Science*. 51(3): 341-351.

115. _____. 1977. Citrus fruit development: endogenous systems and external regulation. *In*: International Citrus Congress (2nd., 1977, Florida, US). Proceedings. Lake Alfred, Florida, International Society of Citriculture. pp. 664-668.
116. _____.; Goldschmidt, E.; Golomb, A. 1982. Alternate bearing in Citrus and ways of control. *In*: International Citrus Congress (4th., 1981, Tokyo, Japan). Proceedings. Shizuoka, Japan, International Society of Citriculture. pp. 239-242.
117. _____. 1986. Citrus. (en línea). *In*: Monselise, S. ed. Handbook of Fruit Set and Development. Boca Ratón, Florida, CRC. pp. 87-108. Consultado 13 oct. 2017. Disponible en <https://books.google.com.uy/books?isbn=1351089943>
118. Montaña, C.; Quiñones, A.; Gornat, B.; González, M.; Martínez-Alcántara, B.; Primo-Millo, E.; Legaz, F. 2006. Effects of Irrigation and Nitrogen Management on Soil Moisture, Stem Water Potential, Fruit Yield and Quality in a Citrus Orchard. *In*: International Citrus Congress (10th., 2004, Agadir, Marruecos). Proceedings. Agadir, Marruecos, International Society of Citriculture. pp. 558-565.
119. Moss, G.; Higgins, M. 1974. Magnesium influences on the fruit quality of sweet orange (*Citrus sinensis* L. Osbeck). *Plant and Soil*. 41(1): 103-112.
120. _____. 1976. Temperature effects on flower initiation in sweet orange (*Citrus sinensis*). *Australian Journal of Agricultural Research*. 27(3): 399-407.
121. Muñoz-Fambuena, N.; Mesejo, C.; González-Mas, M.; Primo-Millo, E.; Agustí, M.; Iglesias, D. 2011. Fruit regulates seasonal expression of flowering genes in alternate bearing 'Moncada' mandarin. *Annals of Botany*. 108 (3): 511-519.
122. _____.; _____.; _____.; Iglesias, D.; Primo-Millo, E.; Agustí, M. 2012. Gibberellic acid reduces flowering intensity in sweet orange [*Citrus sinensis* (L.) Osbeck] by repressing CiFT gene expression. *Journal of Plant Growth Regulation*. 31(4): 529-536.
123. Murphy, J.; Riley, J. 1962. A Modified Single Solution Method for the Determination of Phosphate in Natural Waters. *Analytica Chimica Acta*. 27: 31-36.

124. Nadori, E. 2006. Nadorcott mandarin, a promising new variety. In: International Citrus Congress (10th., 2004, Agadir, Marruecos). Proceedings. Agadir, Marruecos, International Society of Citriculture. pp. 356-359.
125. Newcomb, D. 1978. Selection of rootstocks for salinity and disease resistance. In: International Citrus Congress (3rd., 1978, Sydney, Australia). Proceedings. Griffith, Australia, International Society of Citriculture. pp. 117-120.
126. Nishikawa, F.; Endo, T.; Shimada, T.; Fujii, H.; Shimizu, T.; Omura, M.; Ikoma, Y. 2007. Increased CiFT abundance in the stem correlates with floral induction by low temperature in Satsuma mandarin (*Citrus unshiu* Marc.). *Journal of Experimental Botany*. 58(14): 3915-3927.
127. Obreza, T.; Alva, A.; Hanlon, E.; Rouse, R. 1992. Citrus grove leaf tissue and soil testing: sampling, analysis and interpretation. (en línea). Gainesville, University of Florida. IFAS. 5 p. (SL 115). Consultado 12 oct. 2017. Disponible en <http://ufdc.ufl.edu/IR00004632/00001>
128. _____; Zekri, M.; Futch, S. 2008a. General soil fertility and citrus tree nutrition. In: Obreza, T.; Morgan, K. eds. Nutrition of Florida citrus trees. Gainesville, Florida Cooperative Extension Service. pp. 16-23.
129. _____; Collins, M. E. 2008b. Production areas, soils, and land preparation. In: Obreza, T.; Morgan, K. eds. Nutrition of Florida citrus trees. Gainesville, University of Florida. IFAS. pp. 9-15.
130. _____; Zekri, M.; Hanlon, E. 2008c. Soil and Leaf Tissue Testing. In: Obreza, T.; Morgan, K. eds. Nutrition of Florida citrus trees. Gainesville, University of Florida. IFAS. pp. 24-32.
131. Quaggio, J.; Cantarella, H.; van Raij, B. 1998. Phosphorus and potassium soil test nitrogen leaf analysis as a base for citrus fertilization. *Nutrient Cycling in Agroecosystems*. 52(1): 67-74.
132. Quiñones, A.; Bañuls, J.; Primo-Millo, E.; Legaz, F. 2005. Recovery of the ¹⁵N-labelled fertiliser in citrus trees in relation with timing of application and irrigation system. *Plant and Soil*. 268(1): 367-376.

133. _____.; Gonzalez, M.; Montaña, C.; Primo-Millo, E.; Legaz, F. 2006. Fate and uptake of ¹⁵N applied with different seasonal distributions in citrus trees. *In*: International Citrus Congress (10th ., 2004, Agadir, Morocco). Proceedings. Agadir, Morocco, International Society of Citriculture. pp. 587-592.
134. _____.; Martinez-Alcántara, B.; Primo-Millo, E.; Legaz, F. 2012. Fertigation: concept and Application in Citrus. *In*: Srivastava, A. ed. Advances in citrus nutrition. Dordrecht, Springer. pp: 281-301.
135. Rabe, E. 1994. Yield benefits associated with pre-blossom low-biuret urea sprays on Citrus spp. *Journal of Horticultural Science*. 69(3): 495-500.
136. Rabuffetti, A. 2017. La fertilidad del suelo y su manejo. Buenos Aires, Hemisferio Sur. v.2, 502 p.
137. Reitz, H.; Koo, R. 1959. Effect of nitrogen and potassium fertilization on yield and fruit quality of 'Valencia' orange on calcareous soil. *In*: FSHS Annual Meeting (72nd., 1962, Florida). Proceedings. Lake Alfred, Florida, Florida State Horticultural Society. pp. 12-16.
138. Reuther, W.; Smith, P. 1952. Relation of nitrogen, potassium and magnesium fertilization to some fruit quality of Valencia orange. *Proceedings of the American Society for Horticultural Science*. 59: 1-12.
139. Ritenour, M.; Wardowski, W.; Tucker, D. 2002. Effects of water and nutrients on the postharvest quality and shelf life of citrus. (en línea). Gainesville, University of Florida. IFAS. 4 p. (HS942). Consultado 12 oct. 2017. Disponible en <https://pdfs.semanticscholar.org/003c/1c2423cf7236aeac6aa8ad5cf7a49a6dcedb.pdf>
140. Rocuzzo, G.; Zanotelli, D.; Allegra, M.; Giuffrida, A.; Torrisi, B.; Leonardi, A.; Quiñones, A.; Intrigliolo, F.; Tagliavini, M. 2012. Assessing nutrient uptake by field-grown orange trees. *European Journal of Agronomy*. 41: 73-80.
141. Sala, J.; Cuñat, P.; Collado, M.; Moncholi, V. 1992. Effect on nitrogenous fertilization (quantity and nitrogen form) in precocity of colour change of 'Navelina' oranges. *In*: International Citrus

Congress (7th., 1992, Acireale, Italy) Proceedings. Catania, Italy, International Society of Citriculture. pp. 598-602.

142. Sanz, A.; Monerri, J.; González-Ferrer, J.; Guardiola, J. 1987. Changes in carbohydrates and mineral elements in Citrus leaves during flowering and fruit set. *Physiologia Plantarum*. 69(1): 93-98.
143. Saunt, J. 2000. *Citrus varieties of the world: an illustrated guide*. 2nd. ed. Norwich, Sinclair. 156 p.
144. Scholberg, J.; Parsons, L.; Wheaton, T.; McNeal, B.; Morgan, K. 2002. Soil temperature, nitrogen concentration, and residence time affect nitrogen uptake efficiency in citrus. *Journal of Environmental Quality*. 31(3): 759-768.
145. _____.; Morgan, K. 2012. Nutrient use efficiency in citrus. In: Srivastava, A. ed. *Advances in citrus nutrition*. Dordrecht, Springer. pp. 205-230.
146. Schumann, A.; Fares, A.; Alva, A.; Paramasivam, S. 2003. Response of 'Hamlin' Orange to fertilizer source, annual rate and irrigated area. In: FSHS Annual Meeting (116th., 2003, Florida). Proceedings. Lake Alfred, Florida, Florida State Horticultural Society. pp. 256-260.
147. Serna, M.; Borrás, R.; Legaz, F.; Primo-Millo, E. 1992. The influence of nitrogen concentration and ammonium/nitrate ratio on N-uptake, mineral composition and yield of citrus. *Plant and Soil*. 147: 13-23.
148. Singh, Z.; Khan, A. 2012. Surfactant and Nutrient Uptake in Citrus. In: Srivastava, A. ed. *Advances in citrus nutrition*. Dordrecht, Springer. pp. 157-167.
149. Smith, P.; Reuther, W. 1953. Mineral content of oranges in relation to fruit age and some fertilization practices. *Soil Science*. 75: 219-244.
150. Sorgonà, A.; Abenavoli, M. Nitrogen in Citrus: signal, nutrient and use efficiency. In: Srivastava, A. ed. *Advances in citrus nutrition*. Dordrecht, Springer. pp: 231-244.

151. Southwick, S.; Davenport, T. 1987. Modification of the water stress induced floral response in 'Tahiti' lime. *Journal of the American Society for Horticultural Science*. 112(2): 231-236.
152. Spiegel-Roy, P.; Goldschmidt, E. E. 1996. *Biology of Citrus*. New York, Cambridge University. 230 p.
153. Srivastava, A.; Singh, S.; Albrigo, L. 2008. Diagnosis and remediation of nutrient constraints in Citrus. *Horticultural Reviews*. 34: 277-364.
154. _____. 2015. Nutritional disorders of Citrus and their management. *In: Awasthi, L. ed. Recent Advances in the Diagnosis and Management of Plant Diseases*. New Delhi, Springer. pp. 285-294.
155. Telias, A.; Gambetta, G.; Arbiza, H.; Franco, J.; Gravina, A. 2002. 'Creasing' en naranja 'Washington' navel y su relación con la nutrición mineral. *In: Reunión Latinoamericana de Fisiología Vegetal (11^{a.}, 2002, Punta del Este, Uruguay)*. Trabajos presentados. Córdoba, Ediciones del Copista. 1 disco compacto.
156. Treeby, M.; Milne, D.; Storey, R.; Bevington, K.; Loveys, B.; Hutton, R. 2000. Creasing in Australia: causes and control. *In: International Citrus Congress (9^{th.}, 2000, Florida)*. Proceedings. Florida, US, International Society of Citriculture. pp. 1099-1103.
157. Uruguay XXI. 2015. Producción y comercio exterior citrícola del Uruguay (en línea). Montevideo. 14 p. Consultado 15 jul. 2017. Disponible en <http://www.uruguayxxi.gub.uy/informacion/wp-68content/uploads/sites/9/2015/09/Sector-C%C3%ADtricos-Setiembre-2015-Uruguay-XXI.pdf>
158. USPTO (United States Patent Trademark Office, US). 1998. Mandarin tangerine called Nadorcott. (en línea). Washington, D. C. s.p. Consultado jun. 2017. Disponible en <http://www.google.com.uy/patents/USPP10480>
159. Wallace, A. 1953. Nitrogen absorption and translocation by citrus cuttings at different root temperatures. *Journal of the American Society for Horticultural Science*. 61: 89-94.
160. _____.; Zidan, Z.; Mueller, R.; North, C. 1954. Translocation of nitrogen in citrus trees. *Proceedings of the American Society for Horticultural Science*. 64: 87-105.

161. White, P. 2012. Ion Uptake Mechanisms of Individual Cells and Roots: Short-distance Transport. In: Marschner, P. ed. Marschner's Mineral Nutrition of Higher Plants. 3rd. ed. s.l., Academic Press. pp. 7-48.
162. Win, T.; Srilaong, V.; Kyu, K.; Poomputsa, K.; Kanlaynarat, S. 2006. Biochemical and physiological changes during chlorophyll degradation in lime (*Citrus aurantifolia* Swingle cv. 'Paan'). Journal of Horticultural Science and Biotechnology. 81(3):471-477.
163. Wutscher, H.; Smith, P. 1993. Citrus. In: Bennett, W. ed. Nutrient deficiencies and toxicities in crop plants. St. Paul, MN, APS. pp. 165-170.
164. Yuda, E.; Kurooka, H.; Nakagawa, S. 1982. Search for efficient phosphorus fertilization. In: International Citrus Congress (4th., 1981, Tokyo, Japan). Proceedings. Shizuoka, Japan, International Society of Citriculture. pp. 537-539.
165. Zekri, M.; Obreza, T. 2016. Citrus tree nutrient series. (en línea). Gainesville, University of Florida. IFAS. s.p. (SL 380). Consultado 12 oct. 2017. Disponible en http://edis.ifas.ufl.edu/topic_series_citrus_tree_nutrients

9. ANEXOS

1. Cálculo del coeficiente de uniformidad para riego localizado de Merriam y Keller.

El coeficiente se calcula como la razón entre el caudal promedio del 25 % de las plantas que recibieron menos caudal y el caudal promedio recibido por todas las plantas. Para realizarlo, se colectó durante un minuto el agua proveniente de cada gotero y se midió su volumen. A cada árbol le correspondían 2 goteros, por lo que se promedió su valor para obtener un dato por árbol.

Cuadro 13. Interpretación del coeficiente de uniformidad

Uniformidad alcanzada	Clasificación
90 % o mayor	Excelente
80 % - 90 %	Buena
70 % - 80 %	Regular
Menor al 70 %	Inaceptable

$$CU = q_{25} / q_a$$

$$CU = 24,94 / 30,08 * 100 = 83 \%. \text{ Uniformidad buena.}$$

2. Caracterización del suelo

En el 2017 se realizó un perfil y un análisis de suelo en el cuadro del experimento, en el cual se determinaron las variables presentadas en el cuadro presentado a continuación. El P está expresado en ppm y los cationes en meq/100g de suelo.

Análisis de suelo de la quinta

	pH	ppm	cmol.kg ⁻¹ suelo				
	H ₂ O	P	Ca	Mg	K	Na	Al
Fila	5,17	16	5,4	2,12	0,34	0,96	-
Gotero	6,82	12	6,6	3,72	0,34	2,84	-

A continuación se describen las características principales del suelo del experimento. Los datos se extraen de MAP. DSF (1979). El mismo está ubicado en la unidad Kiyú y su material generador son sedimentos limo arcillosos. Cuando se realizó el muestreo, el suelo tenía uso agrícola y el horizonte A no presentaba carbonatos de calcio (CaCO₃) ni óxidos de hierro (Fe₂O₃) en toda su extensión (0,25 m de profundidad). El análisis granulométrico describe un 24 % de arena, 51 % de limo y 25 % de arcilla. El pH determinado en agua es 5,8, y el porcentaje de materia orgánica es 4,58 %. Se considera solamente el horizonte A porque la plantación está sobre camellones, lo que supone una extensión de este horizonte en la fila.

Caracterización del horizonte A del suelo del experimento según la Carta de reconocimiento de suelos del Uruguay

Horizonte	Ca (meq.100 g ⁻¹)	Mg (meq.100 g ⁻¹)	K (meq.100 g ⁻¹)	Na (meq.100 g ⁻¹)	CIC pH7	pH (agua)	MO %
A	8,8	3,1	0,3	0,4	14,5	5,8	4,58

El contenido de cationes se encuentra dentro del rango de contenidos absolutos para los suelos del Uruguay. En comparación con la descripción del tipo de suelo, el contenido de bases de la solución es más bajo en el caso del Ca, Mg y K, lo cual es esperable. El Na se encuentra en valores más altos y principalmente en el gotero, lo cual también es esperable por el efecto del fertirriego.

3. Estándares para la interpretación de análisis foliar de cítricos.

		Muy bajo	Bajo	Normal	Alto	Muy alto
Clementinas	N	<2,30	2,20-2,40	2,41-2,70	2,71-2,90	>2,90
	P	<0,10	0,10-0,12	0,13-0,16	0,17-0,20	>0,20
	K	0,50	0,50-0,70	0,71-1,00	1,01-1,30	>1,30
Cítricos	Ca	<1,6	1,6-2,9	3,0-5,0	5,1-6,5	>6,5
	Mg	<0,15	0,15-0,24	0,25-0,45	0,46-0,90	>0,90
	S	<0,14	0,14-0,19	0,20-0,30	0,31-0,50	>0,51
	Fe	<35	35-60	61-100	101-200	>200
	Zn	<14	14-25	26-70	71-300	>300
	Mn	<12	12-25	25-60	61-250	>250
	B	<21	21-30	31-100	101-260	>260
	Cu	<3	3-5	6-14	15-25	>25
	Mo	<0,06	0,06-0,09	0,10-3,0	3,1-100	>100

Fuente: adaptado de Legaz et al. (1995a).

4. Tabla de color CIELAB.

	6/4/17	17/5/17	19/6/17
Tratamientos	L		
T1	48,82±1,29 a	55,31±0,94 a	54,25±0,46 a
T2	50,08±1,18 a	56,23±0,94 a	54,39±0,46 a
T3	50,36±1,21 a	57,30±1,00 a	52,85±0,46 a
T4	51,36±1,20 a	57,67±0,94 a	53,11±0,46 a
	A		
T1	-7,60±0,58 a	0,72±0,92 a	36,43±0,61 a
T2	-7,39±0,51 a	0,14±0,92 a	35,38±0,61 a
T3	-7,29±0,53 a	-1,15±0,97 a	36,73±0,61 a
T4	-6,73±0,53 a	1,01±0,92 a	36,99±0,61 a
	B		
T1	14,76±0,85 a	26,58±0,98 a	34,12±0,40 b
T2	14,21±0,77 a	24,89±0,98 a	34,29±0,40 b
T3	15,11±0,79 a	25,36±1,03 a	31,89±0,40 a
T4	14,14±0,79 a	25,73±0,98 a	32,62±0,40 a

Medias con letras iguales en cada columna no son significativamente diferentes ($p \leq 0,05$).