

## Efecto de la composición mineral de la cáscara en la tolerancia al daño por frío postcosecha en naranjas

**Matías Manzi<sup>1</sup>, Fabiana Hernández<sup>1,2</sup>, Pedro Pintos<sup>2</sup>, Eleana Luque<sup>2</sup>, Candela Yorrio<sup>2</sup>, Joanna Lado<sup>2</sup>.**

<sup>1</sup>Fertilidad de Suelos, Departamento de Suelos y Aguas, Facultad de Agronomía, Regional Norte, EEFAS, Universidad de la República.

<sup>2</sup>Programa Nacional de Investigación en Producción Citrícola. Instituto Nacional de Investigación Agropecuaria. INIA Salto Grande. Uruguay.

Contacto [mmanzi@fagro.edu.uy](mailto:mmanzi@fagro.edu.uy)

### 1. Introducción

Las frutas cítricas son susceptibles a esas bajas temperaturas, lo que constituye una de las principales limitantes para la exportación a determinados mercados debido al desarrollo de daño por frío (DF) en el flavedo. Dicho desorden fisiológico consiste en la aparición de lesiones deprimidas que se ennegrecen con el paso del tiempo y deterioran la calidad cosmética, con la consecuente pérdida de la calidad comercial (Agustí et al., 2002; Lafuente y Zacarías, 2006). Las frutas cítricas son empacadas en Uruguay y desarrollan estas lesiones durante el transporte. La incidencia de DF está asociada con diversos factores como las condiciones ambientales y de manejo durante el desarrollo del fruto, el momento de cosecha, la propia temperatura y el período de almacenamiento (Agustí et al., 2002; Lafuente y Zacarías, 2006; Lado et al., 2014a).

Diversos trabajos demuestran un efecto de la composición mineral sobre la estructura de la piel de los cítricos (Agustí et al., 2002), así como un papel relevante de los nutrientes en la respuesta ante condiciones adversas como las bajas temperaturas (Zörb et al., 2014). En el caso de la piel de las frutas cítricas, la mayoría de los nutrientes [Nitrógeno (N), Fósforo (P), Calcio (Ca), Potasio (K) y Magnesio (Mg) y Boro (B)] influyen directamente en el desarrollo de diversos desórdenes fisiológicos (Cronje et al., 2011; Magwaza et al., 2013). Sin embargo, son los cationes (Ca, K, Mg) quienes han adquirido una especial relevancia por su efecto en la calidad de la fruta, la estabilidad frente a condiciones adversas (Cakmak, 2005; Farooq et al., 2008; Zörb et al., 2014).

Se ha determinado también que existe una influencia de los minerales sobre ciertas características morfológicas de la cáscara de los cítricos, especialmente el K en el espesor y rugosidad de la piel, o en el desarrollo de color (Erner et al., 2001; Alva et al., 2006). El K tiene un papel clave en numerosos procesos metabólicos primarios, como la asimilación de CO<sub>2</sub>, el metabolismo de los carbohidratos, en la carga y descarga de los mismos al floema, el funcionamiento de diversas enzimas, en el mantenimiento del potencial osmótico y las relaciones hídricas (Alva et al., 2006; Ahmad y Maathuis, 2014; Zörb et al., 2014).

Por lo tanto, algunas de las mencionadas funciones de los nutrientes pueden estar implicadas en el desarrollo de DF en los frutos. Trabajos previos sugieren una relación entre el DF y la composición mineral, por lo tanto, la dinámica del K en el sistema suelo-planta afecta la concentración de K en los frutos, siendo dependiente de otros cationes como el Mg y el Ca. Así, el balance entre ellos resulta clave en la interpretación de los

niveles de la planta y sus posibles efectos en la fisiología (Moss y Higgins, 1974). Los niveles de K y Mg están inversamente correlacionados entre ellos en las diversas especies, incluyendo los cítricos (Mattos Junior et al., 2004; Alva et al., 2006). Desde décadas atrás se conoce que altos niveles de K inducen deficiencias de Mg en los cítricos (McColloch et al., 1957) y viceversa (Gerendás y Führs, 2013). Las relaciones entre el K, Mg y Ca han sido objeto de estudio bajo diferentes condiciones productivas y de calidad así como en el desarrollo de diversos desórdenes fisiológicos en fruto (Moss y Higgins, 1974; Cronje et al., 2011). En naranja 'Valencia' y 'W. Navel' la relación (K+Mg)/Ca en frutos se correlacionó con la acidez del fruto (Moss y Higgins, 1974). Sin embargo, para el caso específico del DF, la información nacional o internacional al respecto es escasa. En mandarina Satsuma cv 'Okitsu' se evidenciaron mayores niveles de K y menores de Ca en fruta asintomática luego de 30 días a 3°C, sugiriendo que una mayor relación Ca/K estaría vinculada a una alta incidencia de DF (Nuñez et al., 2015). De modo similar, en pomelo 'Marsh' se relacionó el contenido de cationes en el flavedo y el desarrollo de DF luego del almacenamiento durante 6 semanas a 4.5°C (Ezz y Awad, 2009). Los autores correlacionaron positivamente altos niveles de Ca y Mg con la incidencia de DF ( $r= 0.86$  y  $0.51$ , respectivamente) mientras que los contenidos de K se correlacionaron inversamente ( $r= -0.8$  en promedio).

En este trabajo, se resume la información generada en naranjas Salustiana y Navel, las cuales fueron sometidas a diferentes dosis de K y Mg con el fin de estudiar el efecto de estos nutrientes sobre el posterior comportamiento postcosecha de los frutos, en relación al desarrollo de DF.

## 2. Materiales y métodos

Para el presente experimento se utilizaron plantas adultas de naranjas (*Citrus sinensis*) cv 'Salustiana' y 'Navel', en un predio comercial de la zona de Quebracho, Paysandú. Con el objetivo de evaluar la influencia de los cationes K, Mg y Ca sobre el DF, se realizó un diseño completamente aleatorizado en campo, donde el K y Mg fueron aplicados en altas (200%), medias (100%) y bajas dosis (50%), de forma individual o combinada. Como referencia, las dosis medias (100%) consistieron en 90 y 70 kg K<sub>2</sub>O/ha en 'Salustiana' y 'Navel', respectivamente y en 12.5 kg MgO/ha en los dos cultivares en el año 2017-18. Los 7 tratamientos resultantes fueron los siguientes: 1) 50%K; 2) 50% Mg; 3) 50% K + 50% Mg; 4) 200 % K; 5) 200 % Mg; 6) 200% K + 200% Mg y 7) CT (100% K + 100% Mg). La fuente de K fue KCl mientras que el Mg como MgSO<sub>4</sub>. Las aplicaciones de dichos nutrientes se realizaron de forma manual y como complemento de la fertirrigación aportada por la quinta, desde brotación hasta fines de enero, con un intervalo aproximado de 10 días. Además, las plantas de los diferentes tratamientos recibieron fijas de N (100 kg N/ha en Navel y 140 kg N/ha en Salustiana) y 15 kg P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>/ha en ambos cultivares.

Los frutos fueron cosechados según tratamiento y repetición (3), siendo almacenados en cámara a  $1 \pm 0.5^{\circ}\text{C}$  y 80-90% HR durante 8 semanas, simulando las condiciones de cuarentena. Posteriormente a ese período, la fruta se mantuvo una semana adicional en vida mostrador. Periódicamente se evaluó la presencia de DF en una escala de 0 (fruta sin daño visible) y 3 (fruta con más del 50% de la superficie dañada). A partir de dichos datos se obtuvo el porcentaje de frutos con daño (% DF) y el índice de DF (IDF), siendo para este último la ponderación del número de frutos en cada categoría de la escala.

Por otro lado, se analizó la concentración de K, Mg y Ca en el flavedo de la fruta. Con dichos datos se analizó la correlación entre los nutrientes en flavedo y el daño en almacenamiento. Además, se evaluaron variables de calidad como firmeza, color, y grosor de cáscara.

En cosecha, además, se evaluaron características de calidad de la fruta, como sólidos solubles, acidez, ratio, color y grosor de cáscara. Para cada variable se realizó un análisis de varianza unifactorial (ANOVA), mientras que la separación de medias entre tratamientos fue analizada mediante el test de Tukey ( $p \leq 0.05$ ). Para el estudio de la asociación entre variables DF y nutrientes, se analizó el coeficiente de correlación de Pearson. Los análisis estadísticos fueron realizados con el software Infostat®.

### 3. Resultados

#### 3.1 Calidad de fruta

La cosecha de ambas variedades fue realizada en el momento de madurez comercial de ambas variedades. Los datos referidos a su calidad, como °brix y acidez, se detallan en el cuadro 1. Además, se presenta el índice de color (ICC), el cual evidencia que los tratamientos de fertilización no modificaron el color de fruta en ambas variedades.

**Cuadro 1.** Índice de color (ICC), sólidos solubles (°Brix), acidez y ratio (°Brix/acidez) en cosecha de naranjas 'Salustiana' y 'Navel'.

Salustiana	ICC	°Brix	Acidez	Ratio
CT	4.5 ± 0.3 a	11.8	1.2	9.6
200% K	4.5 ± 0.2 a	11.9	1.2	10.2
50% K	4.7 ± 0.2 a	11.8	1.2	10.1
200% Mg	4.8 ± 0.1 a	11.7	1.1	10.7
50% Mg	5.0 ± 0.5 a	11.5	1.1	10.7
200+200	5.3 ± 0.2 a	11.9	1.2	10.2
50+50	5.2 ± 0.2 a	11.8	1.1	11.2

Navel	ICC	°Brix	Acidez	Ratio
CT	4.5 ± 0.2 a	10.3	1.1	9.4
200% K	3.7 ± 0.3 a	11.4	1.2	9.8
50% K	3.8 ± 0.3 a	11.5	1.2	9.9
200% Mg	5.3 ± 0.2 a	12.2	1.0	12.3
50% Mg	4.0 ± 0.2 a	11.8	1.0	12.2
200+200	4.5 ± 0.3 a	11.8	1.1	10.9
50+50	4.2 ± 0.2 a	11.8	1.1	11.2

Los datos corresponden a la media ± EE. Letras diferentes para cada nutriente indican diferencias significativas. Comparación de medias realizada mediante el test de Tukey  $p \leq 0.05$ .

#### Grosor de cáscara.

La aplicación de nutrientes indujo cambios en el grosor de la cáscara en el cultivar 'Navel'. En dicho cultivar, la aplicación de altas dosis de K (200%) incrementó el grosor de cáscara respecto al tratamiento control (100%) en un 18% ( $7.65 \pm 0.18$  y  $6.45 \pm 0.15$  mm,

respectivamente). En 'Salustiana' en cambio, los diferentes tratamientos de fertilización presentaron igual espesor de cáscara comparado el tratamiento CT (Cuadro 2).

**Cuadro 2.** Grosor de cáscara (mm) en cosecha de naranjas 'Salustiana' y 'Navel'.

	Salustiana	Navel
CT	5.4 ± 0.2 a	6.5 ± 0.2 b
200% K	5.7 ± 0.1 a	7.7 ± 0.2 a
50% K	5.4 ± 0.2 a	7.1 ± 0.2 ab
200% Mg	5.6 ± 0.1 a	6.4 ± 0.1 b
50% Mg	5.9 ± 0.1 a	6.7 ± 0.2 ab
200+200	6.2 ± 0.1 a	6.6 ± 0.1 ab
50+50	5.7 ± 0.1 a	6.2 ± 0.1 b

Los datos corresponden a la media ± EE. Letras diferentes para cada nutriente indican diferencias significativas. Comparación de medias realizada mediante el test de Tukey  $p \leq 0.05$ .

### 3.3. Concentración de cationes en flavedo

La aplicación de fertilizantes provocó cambios en la concentración de nutrientes en el flavedo. Estos cambios ocurrieron únicamente en naranja 'Salustiana' para Mg y Ca. No se registraron cambios en el % de K en dicho cultivar, ni en ninguno de los tres nutrientes de la naranja 'Navel'.

**Cuadro 3.** Concentración de nutrientes K, Mg y Ca (expresado como % de MS) en flavedo de frutas de los cultivares 'Salustiana' y 'Navel' en cosecha.

	Salustiana			Navel		
	K	Mg	Ca	K	Mg	Ca
CT	1.19 ± 0.04 a	0.09 ± 0.00 ab	0.39 ± 0.01 ab	1.38 ± 0.06 a	0.08 ± 0.00 a	0.43 ± 0.02 a
200% K	1.24 ± 0.09 a	0.10 ± 0.01 ab	0.41 ± 0.02 ab	1.23 ± 0.12 a	0.11 ± 0.02 a	0.48 ± 0.06 a
50% K	1.12 ± 0.06 a	0.11 ± 0.01 a	0.44 ± 0.01 a	1.14 ± 0.09 a	0.11 ± 0.00 a	0.44 ± 0.03 a
200% Mg	1.30 ± 0.07 a	0.10 ± 0.01 ab	0.40 ± 0.03 ab	1.17 ± 0.05 a	0.09 ± 0.01 a	0.38 ± 0.02 a
50% Mg	1.14 ± 0.04 a	0.10 ± 0.00 ab	0.45 ± 0.03 a	1.10 ± 0.02 a	0.10 ± 0.01 a	0.40 ± 0.01 a
200%+200%	1.30 ± 0.11 a	0.09 ± 0.00 ab	0.33 ± 0.02 b	1.36 ± 0.08 a	0.08 ± 0.00 a	0.40 ± 0.02 a
50%+50%	1.38 ± 0.06 a	0.08 ± 0.00 b	0.32 ± 0.03 b	1.24 ± 0.12 a	0.10 ± 0.01 a	0.46 ± 0.07 a

Los datos corresponden a la media ± EE. Letras diferentes para cada nutriente indican diferencias significativas. Comparación de medias realizada mediante el test de Tukey  $p \leq 0.05$ .

### 3.4. Daño por frío en almacenamiento

De la evaluación del DF, expresado en este caso como IDF, evidenció un bajo nivel de daño por frío para ambas variedades en el año estudiado (2018). Se observaron diferencias entre los tratamientos únicamente luego de vida mostrador (58+7) en la naranja 'Salustiana', en el cual se pudo verificar mayores niveles de daño en el tratamiento 200% K. En cambio, para la naranja 'Navel', no se verificaron diferencias entre tratamientos a lo largo de todo el almacenamiento, verificándose un nivel muy bajo de daño aún en condiciones de un almacenamiento extenso.

**Cuadro 4.** Índice de daño por frío (escala de 0-3) en el almacenamiento durante 58 días a 0.5°C más 7 días en vida mostrador, para los cultivares Salustiana y Navel según tratamientos.

Salustiana	18	32	42	58	58+7
CT	0.0 ± 0.0 a	0.0 ± 0.0 a	0.1 ± 0.0 a	0.2 ± 0.1 a	0.3 ± 0.1 ab
200% K	0.1 ± 0.0 a	0.1 ± 0.0 a	0.3 ± 0.0 a	0.6 ± 0.1 a	0.7 ± 0.1 a
50% K	0.1 ± 0.0 a	0.0 ± 0.0 a	0.0 ± 0.0 a	0.4 ± 0.1 a	0.5 ± 0.1 ab
200% Mg	0.1 ± 0.0 a	0.1 ± 0.1 a	0.1 ± 0.1 a	0.4 ± 0.0 a	0.5 ± 0.1 ab
50% Mg	0.0 ± 0.0 a	0.1 ± 0.0 a	0.2 ± 0.0 a	0.6 ± 0.1 a	0.6 ± 0.1 ab
200%+200%	0.0 ± 0.0 a	0.0 ± 0.0 a	0.2 ± 0.1 a	0.3 ± 0.2 a	0.4 ± 0.2 ab
50%+50%	0.0 ± 0.0 a	0.0 ± 0.0 a	0.1 ± 0.0 a	0.2 ± 0.0 a	0.2 ± 0.0 b

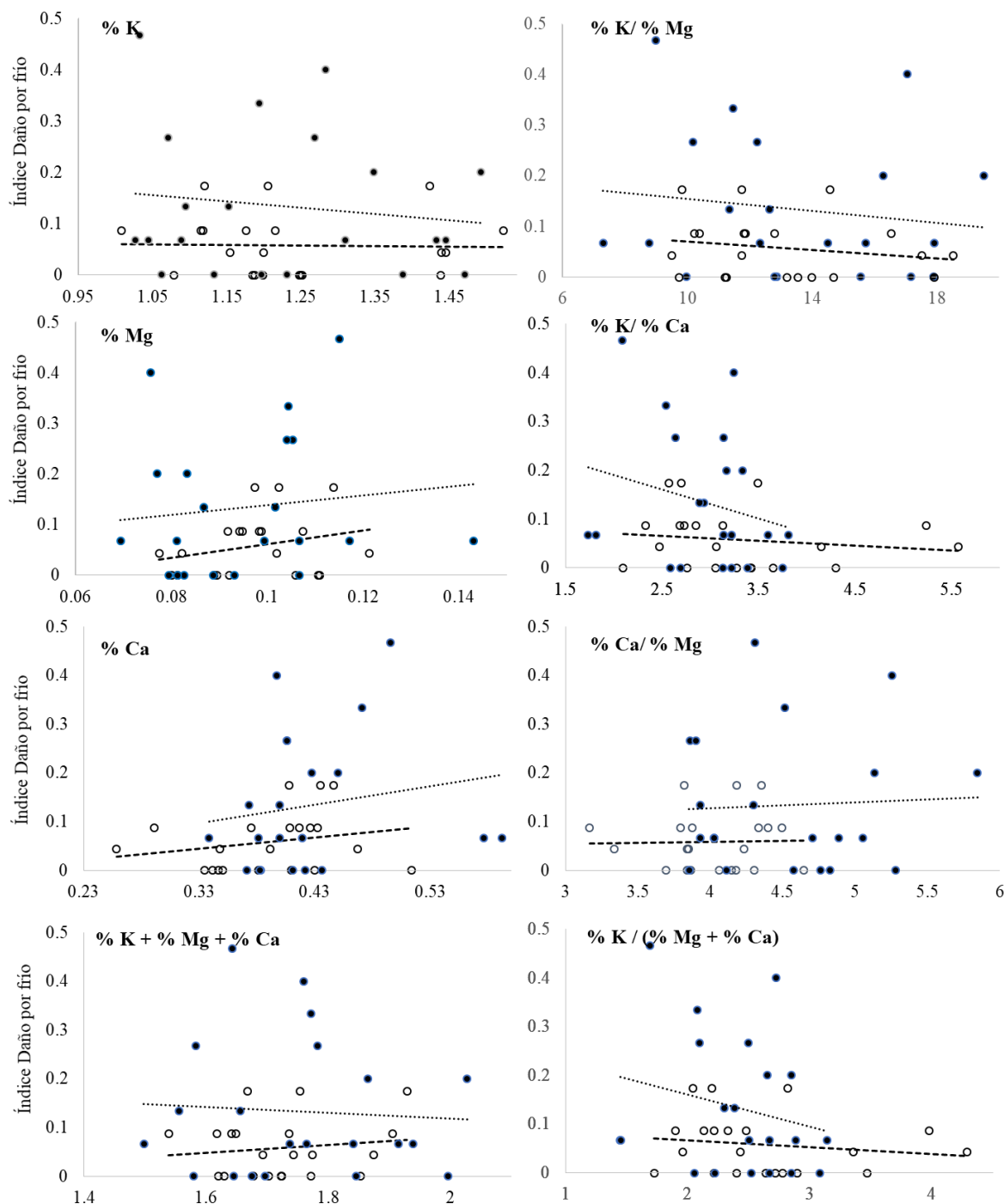
Navel	18	32	42	58	58+7
CT	0.0 ± 0.0 a	0.3 ± 0.1 a	0.3 ± 0.1 a	0.5 ± 0.2 a	0.6 ± 0.1 a
200% K	0.1 ± 0.1 a	0.2 ± 0.1 a	0.3 ± 0.1 a	0.4 ± 0.1 a	0.4 ± 0.1 a
50% K	0.0 ± 0.0 a	0.2 ± 0.1 a	0.4 ± 0.2 a	0.5 ± 0.1 a	0.5 ± 0.1 a
200% Mg	0.0 ± 0.0 a	0.2 ± 0.1 a	0.2 ± 0.1 a	0.3 ± 0.1 a	0.4 ± 0.1 a
50% Mg	0.0 ± 0.0 a	0.1 ± 0.1 a	0.3 ± 0.1 a	0.4 ± 0.2 a	0.5 ± 0.2 a
200%+200%	0.0 ± 0.0 a	0.0 ± 0.0 a	0.1 ± 0.0 a	0.1 ± 0.0 a	0.2 ± 0.0 a
50%+50%	0.0 ± 0.0 a	0.1 ± 0.0 a	0.1 ± 0.0 a	0.2 ± 0.0 a	0.2 ± 0.1 a

Datos corresponden a la media ± EE. Letras diferentes dentro del mismo día de almacenamiento indican diferencias significativas. Comparación de medias realizada mediante el test de Tukey  $p \leq 0.05$ .

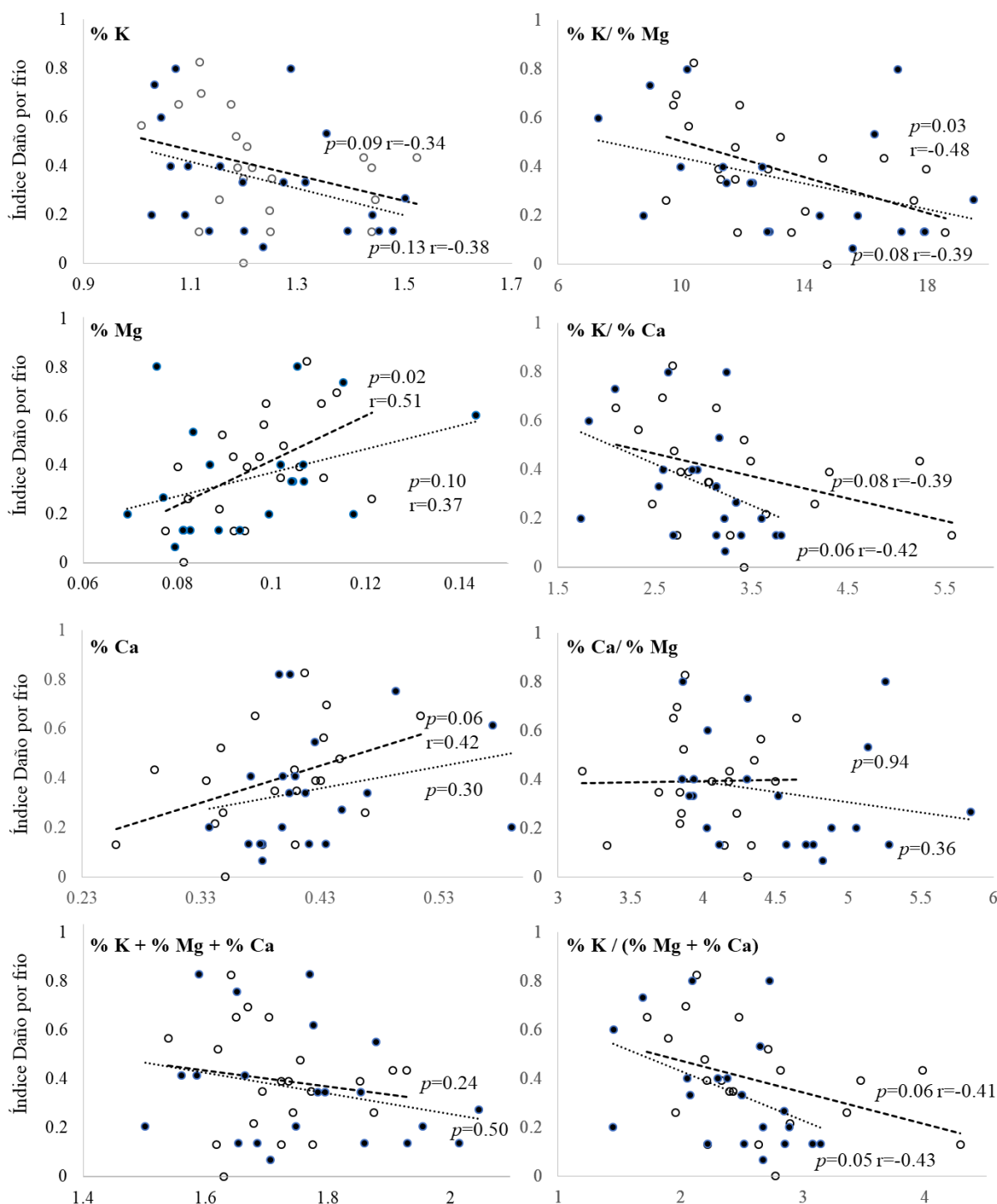
A pesar de los datos anteriores, que señalan un muy bajo nivel de DF en almacenamiento, y escasas diferencias entre tratamientos tanto para el DF como para los niveles de nutrientes en flavedo, cuando se aparean los datos para el estudio de la correlación entre dichas variables, se verifican resultados interesantes. A modo de simplificación, se presentan las correlaciones entre los cationes, y algunas relaciones entre los mismos, respecto al IDF después de 28 días (Figura 1) y 58 días (Figura 2) de almacenamiento. En dichos gráficos se presenta el ajuste de un modelo lineal (ecuación y  $R^2$ ) y así como la probabilidad de la correlación ( $p$ ) y el coeficiente de correlación, el cual se considera en los casos que  $p$  es significativo ( $p < 0,05$ ).

El estudio de la correlación entre los niveles de cationes (y sus relaciones) con el IDF luego de 28 días de almacenamiento (Figura 1), indica la no existencia de correlación entre dichas variables en este momento de valuación. Es importante tener en cuenta que este resultado se encuentra condicionado por el muy bajo nivel de DF registrado en esa fecha de almacenamiento (Cuadro 4). Sin embargo, al aumentar el IDF hacia fines del almacenamiento (día 58), se verifican correlaciones entre diversas variables y el DF (Figura 2). En este sentido, se encuentran correlaciones significativas para relaciones como el K/Mg K/Ca y K/(Mg+Ca). En estos casos, el coeficiente de correlación  $r$  oscila en torno a  $r = -0.40$ . Estos datos sugieren entonces, que podría existir una implicación de la relación entre los nutrientes respecto al desarrollo de DF, la cual debe ser confirmada en futuros años de trabajo con IDF variables. En todos los casos, se verifica que el catión K aparece en el numerador en dichas relaciones, mientras que el Mg y el Ca lo hacen como

denominador. Además, sugiere una estrecha relación entre los nutrientes, evidenciado por el hecho que cada catión individualmente, en la mayoría de los casos, no logró alcanzar correlaciones significativas. Además, se verifica un patrón común en la concentración de nutrientes (y sus relaciones) con el IDF en ambos cultivares, lo que demuestra, por lo menos, un mecanismo similar de desarrollo de DF al menos en estos dos cultivares de media estación. Los resultados son similares cuando se estudia la incidencia de DF (datos no presentados), debido a la muy alta asociación existente entre el IDF y el %DF.



**Figura 1.** Correlación entre nutrientes y relación entre nutrientes respecto al índice de DF luego de 28 días de almacenamiento a 1°C en los cultivares Navel (negro) y Salustiana (blanco). Ninguna de las correlaciones estudiadas fue significativa ( $p \leq 0.05$ ).



**Figura 2.** Correlación entre nutrientes y relación entre nutrientes respecto al índice de DF luego de 58 días de almacenamiento a 1°C en los cultivares Navel (negro) y Salustiana (blanco).  $p$  denota la significancia de la correlación de Pearson entre ambas variables.  $r$  representa el valor del coeficiente de correlación de Pearson.

**Cuadro 5.** Coeficiente de correlación ( $r$ ) entre el grosor de cáscara y el DF (expresado como índice de DF e incidencia %DF) luego de 28 y 58 días de almacenamiento en ‘Salustiana’ y ‘Navel’

	Salustiana	Navel
IDF 28 días	0.17	0.91
% DF 28 días	0.31	0.86
IDF 58 días	0.78	0.36
% DF 58 días	0.43	0.33

Por otro lado, del análisis de correlación entre el grosor de cáscara y DF, se evidencia que no existe relación entre dichas variables. Esto, por tanto, descarta que el desarrollo de DF en postcosecha, esté vinculado al grosor de cáscara de la fruta en ambos cultivares.

### Conclusiones

Luego de un primer año de evaluaciones, se evidencia que podría existir una relación entre el DF en postcosecha de naranjas ‘Salustiana’ y ‘Navel’ y la composición de cationes K, Mg y Ca en el flavedo de las frutas. Los datos sugieren que mayores relaciones K sobre Mg y/o Ca, se asocian con menores DF. Por otro lado, se establece que el grosor de cáscara no está relacionado con el desarrollo de DF en dichos cultivares. Estos resultados deben ser considerados de forma preliminar, atendiendo a la diversidad de factores que afectan el desarrollo del DF. Se continúa con estos trabajos de forma de obtener datos de varios años en condiciones ambientales contrastantes.

### Bibliografía

- Agustí M, Martínez-Fuentes A, Mesejo C. (2002). Citrus fruit quality. Physiological basis and techniques of improvement. *Agrociencia* 6, 1–17.
- Alva A, Dirceu Mattos J, Paramasivam S, Patil B, Dou H, Sajwan K. (2006). Potassium management for optimizing Citrus production and quality. *International Journal of Fruit Science* 6, 93–116.
- Cakmak I. (2005). The role of potassium in alleviating detrimental effects of abiotic stresses in plants. *Journal of Plant Nutrition and Soil Science* 168, 521–530.
- Cronje PJR, Barry GH, Huysamer M. (2011). Fruiting position during development of ‘Nules Clementine’ mandarin affects the concentration of K, Mg and Ca in the flavedo. *Scientia Horticulturae* 130, 829–837.
- Erner Y, Astzi B, Tagaru E, Hamou M. (2001). Potassium affects Citrus tree performance. The Volcani Center. Institute of Horticulture. *Department of Fruit Trees*, 405–414.
- Ezz TM, Awad RM. (2009). Relationship between mineral composition of the flavedo tissue of ‘Marsh’ grapefruit and chilling injury during low temperature storage. *Agriculture* 5, 892–898.
- Farooq M, Aziz T, Cheema ZA, Hussain M, Khaliq A. (2008). Activation of antioxidant system by KCl improves the chilling tolerance in hybrid maize. *Journal of Agronomy and Crop Science* 194, 438–448.
- Gerendás J, Fühns H. (2013). The significance of magnesium for crop quality. *Plant and Soil* 368, 101–128.
- Lado J, Rodrigo MJ, Cronje P, Zacarías L. (2014). Involvement of lycopene in the induction of tolerance to chilling injury in grapefruit. *Postharvest Biology and Technology* 100, 176–186.
- Lafuente MT, Zacarías L. (2006). Postharvest physiological disorders in citrus fruit. *Stewart Postharvest Review* 2, 1–9.
- Magwaza LS, Opara UL, Cronje PJR, Landahl S, Terry LA, Nicola BM. (2013). Nonchilling physiological rind disorders in citrus fruit. *Horticultural Reviews* 41, 131–176.



- 
- Mattos Junior D, Quaggio JA, Cantarella H, de Carvalho SA. (2004). Superfícies de resposta do tangor 'Murcott' à fertilização com N, P e K. *Revista Brasileira de Fruticultura* 26, 164–167.
- McColloch RC, Bingham FT, Aldrich DG. (1957). Relation of soil potassium and magnesium to magnesium nutrition of Citrus. *Soil Science Society of America Journal* 21, 85.
- Moss GI, Higgins ML. (1974). Magnesium influences on the fruit quality of sweet orange. *Plant and Soil* 112, 103–112.
- Nuñez F, Campo RM, Pascale D, Díaz LE, Solari J, Larrechart L, Mara H. (2015). Effect of storage temperature on rind pitting and fruit rot in Satsuma 'Okitsu'. *Acta Horticulturae* 1065, 1541–1548.
- Zörb C, Senbayram M, Peiter E. (2014). Potassium in agriculture - Status and perspectives. *Journal of Plant Physiology* 171, 656–669.