

Universidad de Chile
 Facultad de Ciencias Agronómicas
 Departamento de Producción Agrícola



Estrategias de nutrición cálcica para mejorar la calidad y la condición de la fruta

José Ignacio Covarrubias
 Ing. Agr. Mg. Sc. Dr.
 jcovarru@uchile.cl

1



- Introducción
- Absorción y transporte de Ca en los árboles
- Estrategias para favorecer la acumulación de Ca en los frutos
- Resultados preliminares de aplicaciones de Ca en “Sweet Pekeetah”



2

2



Principales causas del ablandamiento y otros desórdenes



- Elevadas concentraciones de N en la fruta
- Bajas concentraciones de Ca en la fruta
- Elevadas relaciones N/Ca

Factores predisponentes

- Alta susceptibilidad en variedades y portainjertos (ciclo corto, genética).
- pH del suelo (pH < 6,0)
- Fertilizaciones muy concentradas de K⁺, Mg⁺⁺, NH₄⁺
- Huertos muy vigorosos

3

3



Referencia para cerezas...

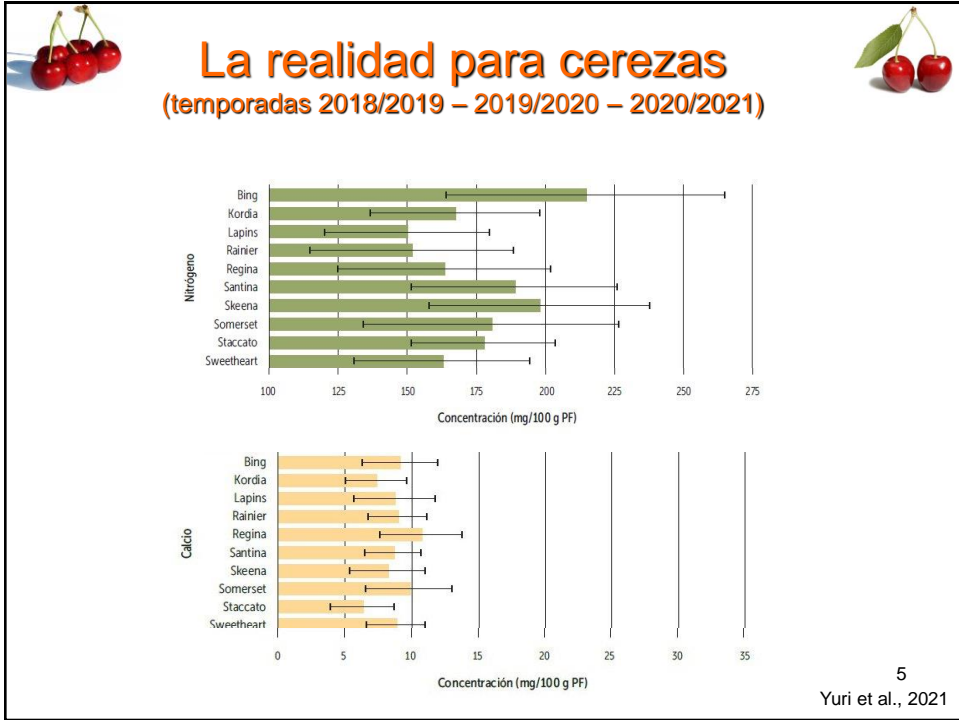


Composición mineral del fruto en mg por 100 g de peso fresco

Variable	Rango habitual (mg)	Ideal (mg)
Materia seca	15 – 24 %	>21
Nitrógeno	160 – 200	<180
Potasio	150 – 220	>200
Calcio	10 – 20	>15
Magnesio	10 – 11	10 – 12
Fósforo	19 – 20	>20
Boro	0,3 – 0,6	>0,5
Zinc	0,03 – 0,06	0,04 – 0,05
Cobre	0,03 – 0,09	0,04 – 0,05

4

4



5

Funciones del Ca

- Preserva la integridad de la membrana citoplasmática y confiere resistencia a la pared celular, al ser componente de pectatos (pectinas) que componen la lámina media, las cuales cementan células vecinas.

6

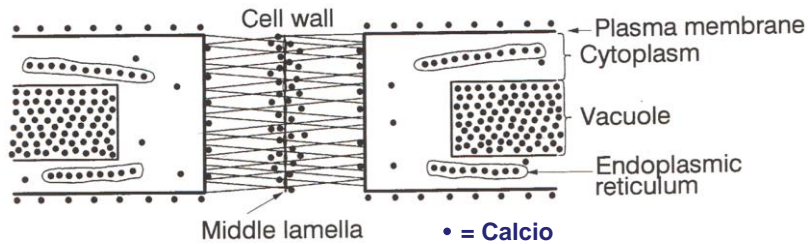
6



Absorción y transporte de Ca



- El Ca es absorbido desde el suelo como Ca^{2+} mediante transporte pasivo.
- Una parte importante del Ca (50% en general y hasta 90% en estructuras de reserva en el manzano) forma parte de los pectatos de la lámina media (fuera de la célula).
- Una vez que el Ca ingresa a la célula, este se acumula principalmente en la vacuola y en organelos (retículo endoplasmático), no en el citoplasma.
- Por lo anterior, la concentración en el citoplasma es muy baja (0,1-0,2 μM de Ca^{2+} libre).



7



Movimiento del Ca a través del Xilema y hacia los frutos



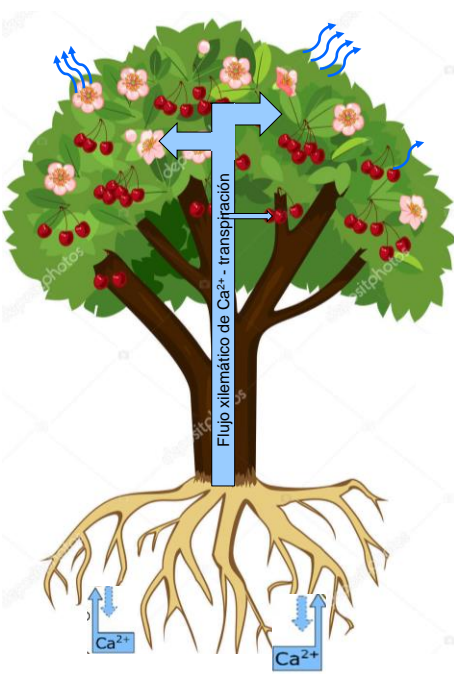
- Una vez que el Ca es “cargado” a los vasos xilemáticos, este se mueve rápidamente a través del xilema por flujo de masas, el cual es fuertemente impulsado por la corriente transpiratoria.
- La llegada de Ca hacia los frutos u otros sumideros (hojas jóvenes, ápices) es, casi en su totalidad, a través del xilema, ya que el movimiento del Ca a través del floema es prácticamente nulo.

	Yema terminal			Hoja joven		
	K	Mg	Ca	K	Mg	Ca
Xilema	3,9	8,0	4,2	20,6	5,2	2,4
Floema	20,4	2,0	0,03	19,3	2,0	0,03

8
Pate et al., 1991

8

Movimiento del Ca hacia los frutos



- Poco después de la brotación existen migraciones de Ca hacia los frutos, porque su transpiración en esa fase es mayor.
- La migración de Ca hacia los frutos ocurre temprano en la temporada (desde la cuaja hasta de frutos de 5 - 8 mm en cerezo, elevada división celular).
- Esta migración podría verse incrementada, si la concentración de Ca del líquido xilemático es elevada (fertilización y "reservas").
- Existe una relación entre la síntesis y transporte de AIA (mayor en ese período) y el transporte de Ca hacia los frutos y ápices en activo crecimiento.
- Sucesivamente, la funcionalidad del xilema decae, y la concentración de Ca disminuye en los frutos debido a un efecto de dilución.

9

9

Relación entre la transpiración de la fruta y acumulación de calcio en frutales

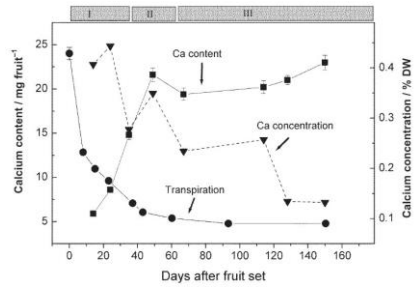
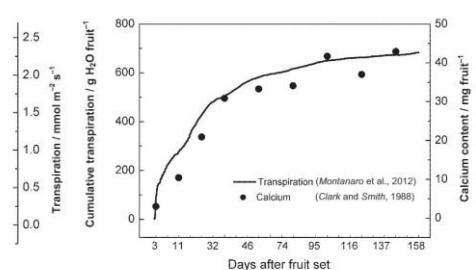
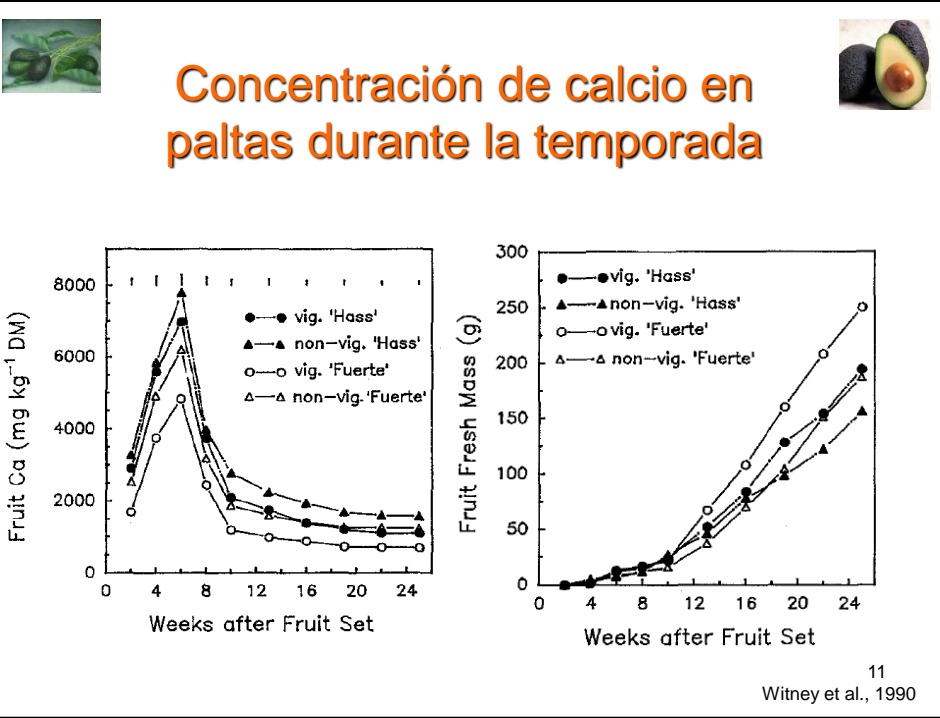



Figure 4: Seasonal pattern of Ca accumulation (mg fruit^{-1} ; ■), Ca concentration (% DW; ▼) and fruit transpiration ($\text{mmol m}^{-2} \text{s}^{-1}$) in berries of kiwifruit. Data are redrawn from Montanaro et al. (2006). Note that the grey strips represent the fruit growth stages (see Fig. 1).

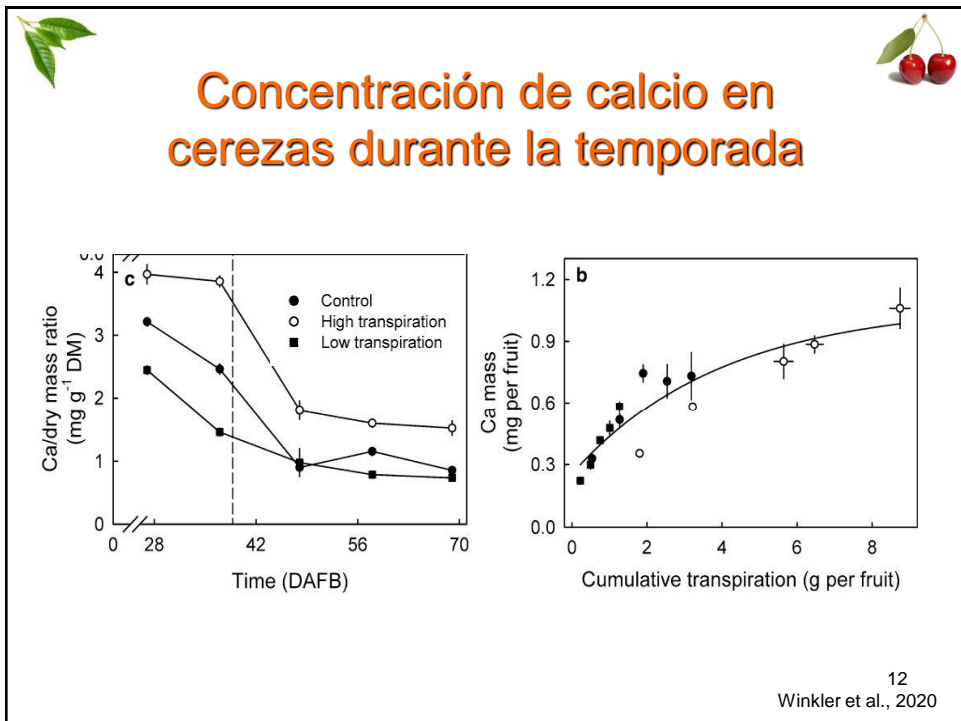
Figure 5: Cumulative fruit transpiration ($\text{g H}_2\text{O fruit}^{-1}$; continuous line; Montanaro et al., 2012) and calcium content (mg fruit^{-1} ; Clark and Smith, 1988) in berries of kiwifruit throughout the growth season.

10
Montanaro et al., 2015

10



11



12




Estrategias para incrementar flujo de Ca hacia la fruta

- 1) En períodos tempranos en la temporada (preflor, frutos de 5-8 mm), fertilizar “fuertemente” con Ca al suelo y evitar aportes de cationes que compiten con el Ca en los sitios de intercambio como por ej: NH_4^+ , K^+ y Mg^{2+} .
- 2) Incrementar, a través de técnicas de manejo, la tasa de transpiración de frutos (esto es más efectivo que cualquier aplicación de Ca al suelo).



13

13





Fuentes de Ca para aplicaciones al suelo


Fuente	Ventajas	Desventajas
Cloruro de calcio	Buena solubilidad, fácil absorción, poco efecto en el pH, precio (?)	Aporta cloro al sistema
Nitrato de calcio	Buena solubilidad, fácil absorción, poco efecto en el pH, precio (?)	Aporta nitrógeno (remedio + enfermedad)
Óxido de calcio	Calcio solo (sin otro mineral acompañante), fácil absorción	Baja suspensibilidad (algunas formulaciones)
Tiosulfato de calcio	Calcio solo (sin otro mineral acompañante), libera calcio del suelo, altamente soluble	Menor eficiencia en suelos arenosos o con baja CIC

14

14







Efecto de dosis de calcio floable (CaO) en la firmeza de cerezas




- Cerezo variedad Santina injertados sobre MaxMa 14, de cinco años de edad.
- Se aplicó la mitad de la dosis en preflor y la otra mitad en postcujaja

Tratamiento	Cosecha	33 días a 0°C más 2 días a 20°C	
		N	
Sin calcio	2,08 b	2,46 b	2,26 a
Dosis 1 (10 kg ha ⁻¹)	2,22 b	2,28 b	2,09 a
Dosis 2 (20 kg ha ⁻¹)	2,65 a	2,80 a	2,27 a
Dosis 3 (30 kg ha ⁻¹)	2,75 a	2,78 a	2,26 a







Covarrubias y Campos, 2022.

15






Efecto de la fuente de calcio para mejorar calidad y condición en uvas



- Vides Thompson Seedless francas de cinco años de edad.
- Se aplicaron 20 unidades de Ca al suelo, 10 u en preflor y 10 u en postcujaja.

Tratamiento	Firmeza (gf/mm)		
	Cosecha	35 días a 0°C	35 días a °C + 2 días a 10°C
Testigo	281,8 ± 9,2 b	236,9 ± 10,7	219,64 ± 9
Oxido de Ca	317,4 ± 9,2 a	271,6 ± 10,7	248,06 ± 9
Nitrato de Ca	272,6 ± 9,2 b	251,8 ± 10,7	237,38 ± 9
Cloruro de Ca	245,2 ± 9,2 c	236,1 ± 10,7	230,75 ± 9

Covarrubias y Campos, 2022.

16



Efecto de fertilizantes cálcicos para mejorar calidad y condición de cerezas



Tratamiento	Dosis de producto por temporada (kg CaO ha ⁻¹)
Testigo	0
CaO + ác. Carboxílicos 1	2,1
CaO + ác. Carboxílicos 2	2,1
CaO dosis 1	17,5
CaO dosis 2	35

Tratamiento	Concentración de calcio	
	Calcio total (mg 100 g PF ⁻¹)	Calcio ligado (mg 100 g PF ⁻¹)
Testigo	9,4 ± 0,3	2,3 ± 0,2 b
CaO + ác. Carboxílicos 1	10,0 ± 0,3	3,1 ± 0,3 a
CaO + ác. Carboxílicos 2	9,9 ± 0,4	3,3 ± 0,3 a
CaO dosis 1	9,5 ± 0,2	2,7 ± 0,2 ab
CaO dosis 2	9,8 ± 0,3	3,1 ± 0,4 a
<i>Significancia</i>	<i>n.s.</i>	*

Covarrubias, 2022.

17



Efecto de fertilizantes cálcicos para mejorar calidad y condición de cerezas




Tratamiento	Fuerza máxima (N)		Cohesión	
	Luego de 35 días a 0 °C	Luego de 35 días a 0 °C + 3 días a 22 °C	Luego de 35 días a 0 °C	Luego de 35 días a 0 °C + 3 días a 22 °C
Testigo	21,5 ± 0,7 b	7,9 ± 0,3 b	0,47 ± 0,01	0,68 ± 0,01
CaO + ác. Carboxílicos 1	21,4 ± 0,7 b	8,1 ± 0,3 b	0,50 ± 0,01	0,68 ± 0,02
CaO + ác. Carboxílicos 2	21,8 ± 0,6 b	8,0 ± 0,3 b	0,48 ± 0,02	0,67 ± 0,01
CaO dosis 1	24,1 ± 0,7 a	9,0 ± 0,3 a	0,49 ± 0,03	0,67 ± 0,02
CaO dosis 2	20,8 ± 0,7 b	7,9 ± 0,3 b	0,49 ± 0,01	0,68 ± 0,01
<i>Significancia</i>	*	*	<i>n.s.</i>	<i>n.s.</i>


Tratamiento	Gomosidad (N)		Resiliencia	
	Luego de 35 días a 0 °C	Luego de 35 días a 0 °C + 3 días a 22 °C	Luego de 35 días a 0 °C	Luego de 35 días a 0 °C + 3 días a 22 °C
Testigo	9,9 ± 0,4 b	5,3 ± 0,2 b	0,25 ± 0,01	0,40 ± 0,01
CaO + ác. Carboxílicos 1	10,6 ± 0,4 b	5,4 ± 0,2 b	0,26 ± 0,02	0,40 ± 0,01
CaO + ác. Carboxílicos 2	10,3 ± 0,3 b	5,3 ± 0,3 b	0,26 ± 0,02	0,39 ± 0,01
CaO dosis 1	11,6 ± 0,4 a	5,9 ± 0,2 a	0,26 ± 0,01	0,39 ± 0,01
CaO dosis 2	10,2 ± 0,3 b	5,2 ± 0,3 b	0,26 ± 0,01	0,40 ± 0,01
<i>Significancia</i>	*	*	<i>n.s.</i>	<i>n.s.</i>

Covarrubias, 2022.

18




Efecto de fertilizantes cálcicos para mejorar calidad y condición de cerezas




Pardeamiento del pedicelo
(escala de 1 a 4)

Tratamiento	A cosecha		
	A cosecha	Luego de 35 días a 0 °C	Luego de 35 días a 0 °C + 3 días a 22 °C
Testigo	1,0 ± 0,03	1,8 ± 0,06 a	3,3 ± 0,13
CaO + ác. Carboxílicos 1	1,1 ± 0,04	1,7 ± 0,05 a	3,1 ± 0,13
CaO + ác. Carboxílicos 2	1,1 ± 0,04	1,8 ± 0,06 a	3,3 ± 0,14
CaO dosis 1	1,0 ± 0,03	1,8 ± 0,07 a	2,9 ± 0,12
CaO dosis 2	1,0 ± 0,03	1,6 ± 0,05 b	3,2 ± 0,13
<i>Significancia</i>	<i>n.s.</i>	*	<i>n.s.</i>




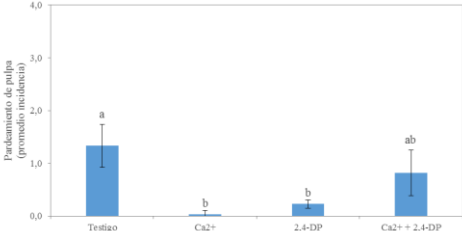
Covarrubias, 2022.

19




Estrategias de nutrición cálcica para mejorar calidad y condición de nectarines

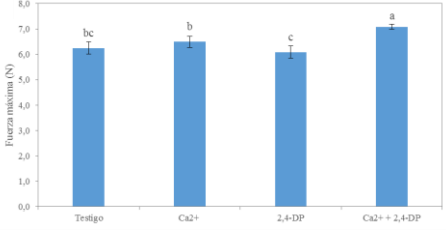




Promedio pardeamiento de pulpa según escala de incidencia (1=ausente, 2=leve, 3=moderado, 4=severo) evaluados a salida de frío (35 días a 0°).

- Se aplicaron 20 unidades de Ca al suelo
- 10 u en preflor y 10 u en postcujaja

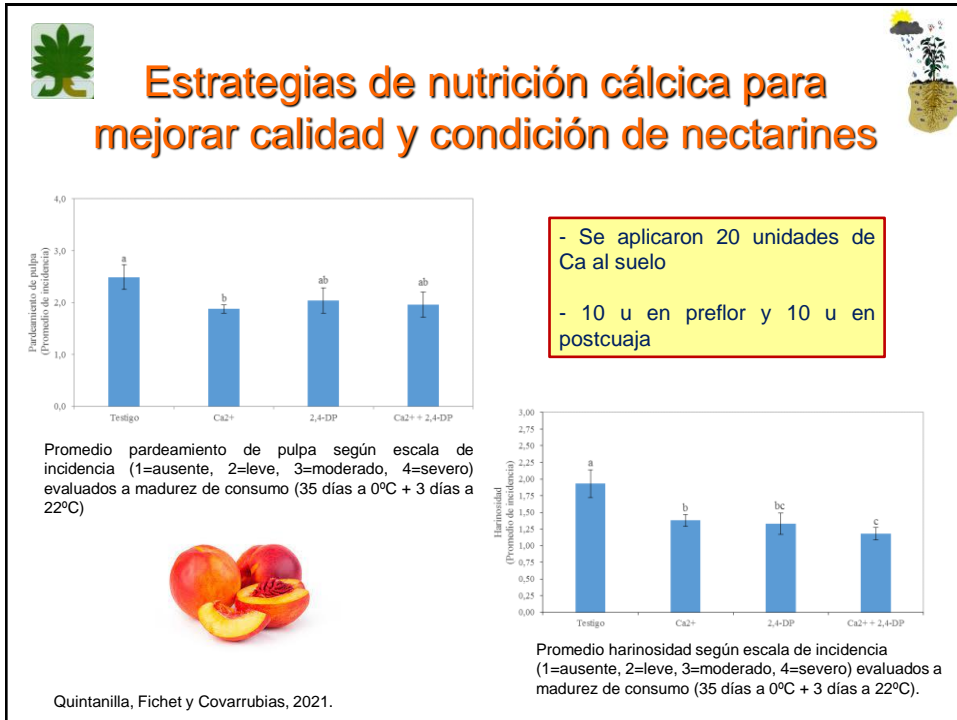




Fuerza máxima (N) de compresión de fruta evaluada a madurez de consumo (35 días a 0°C + 3 días a 22°C).

Quintanilla, Fichet y Covarrubias, 2021.

20



21

Aplicaciones foliares de calcio en especies frutales

- Evidencias científicas señalan que la mayor entrada del Ca aplicado a la fruta se logra temprano en la temporada. En esta etapa, la absorción ocurre probablemente mediante tricomas y estomas.
- Sucesivamente, la velocidad de penetración de Ca disminuye drásticamente, mostrando una importante variabilidad dependiente de la presencia o ausencia de lenticelas.
- La superficie de la piel también interfiere en la eficiencia de absorción.
- La penetración no solo depende de la permeabilidad de la cutícula, sino también de la cantidad y concentración de la solución aplicada.

22

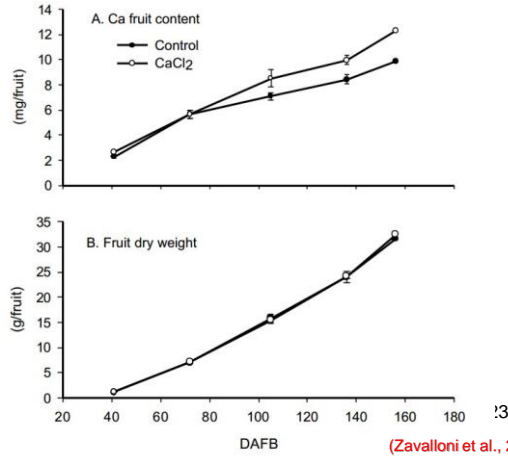
22

Eficacia de las aplicaciones foliares de Ca

- Evidencias científicas reportan absorciones de Ca aplicado a los frutos < 1 µg cm².
- Otras experiencias señalan que tales tratamientos reducen la incidencia de desórdenes fisiológicos, pero no los remueven completamente.

10 - 11 aplicaciones de CaCl₂ en la temporada, incrementaron el contenido de Ca en 2,4 mg/fruto en 'Golden Delicious'

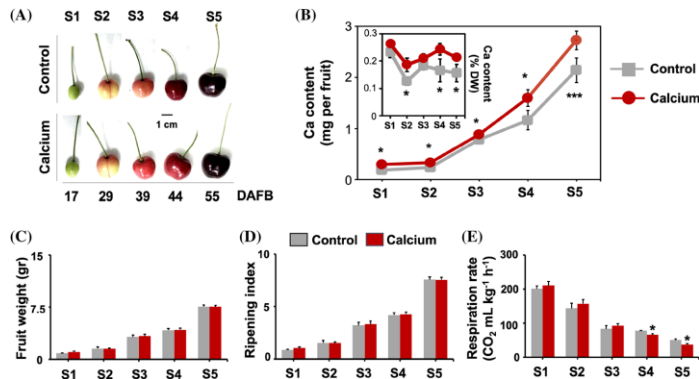
Sin embargo, no incrementaron el contenido en la pulpa y la piel de los cv 'Fuji' y 'Braeburn'.



23

Eficacia de las aplicaciones foliares de calcio en el cerezo



En un estudio, aplicaciones foliares de CaCl₂ al 0,5%, a los 15, 27 y 37 DDPF, aumentaron el contenido de Ca en los frutos en relación al control... (Michailidis et al., 2020)



24

Michailidis et al., 2020

24

Efecto de la aplicación de calcio y 2,4-DP sobre la calidad de la fruta en ciruelos variedad 'Sweet Pekeetah'

Hipótesis



Las aplicaciones tempranas de calcio al suelo y de 2,4-DP a frutos cuajados de ciruelos incrementan la acumulación de calcio en el fruto y mejoran la calidad de la fruta a cosecha y en poscosecha.

Objetivo general

Determinar el efecto de aplicaciones de calcio al suelo en conjunto con la pulverización de 2,4-DP en la calidad en ciruelos 'Sweet Pekeetah' a cosecha y en poscosecha.

25

25


Metodología

- Estudio fue realizado durante la temporada 2023-2024.
- Fundo Compañía Agrícola El Álamo de Naicura Dos Ltda., comuna de Rengo.
- 80 árboles de ciruelo variedad Sweet Pekeetah, injertados sobre patrón Nemaguard. El huerto fue plantado durante el año 2019 bajo un sistema de conducción en V, con un marco de plantación 4,0 x 2,5 m.


Tratamiento	Dosis de aplicación		Momento de aplicación	
	CaO	2,4-DP		
Sin producto	0	0	-	-
Ca	17,5 g árbol ⁻¹	0	90% flor post cuaja	13 sep 2023 6 oct 2023
2,4-DP	0	40 mg L ⁻¹	100% caída chaqueta	12 oct 2023
Ca + 2,4-DP	17,5 g árbol ⁻¹	40 mg L ⁻¹	Ca en 90% flor Ca post cuaja 2,4-DP en 100% caída chaqueta	13 sep 2023 06 oct 2023 12 oct 2023

Producto cálcico: Calciomax 35 flo, Agrospec; Producto auxínico: Stone-Gross®.

26



Diámetro de frutos y evaluaciones productivas a la cosecha




Tratamiento	Diámetro ecuatorial de frutos en el árbol durante la temporada (mm)		
	11-ene-24	26-ene-24	08-feb-24
Control	57,6 ab	63,1 a	65,5 a
Calcio	57,8 ab	62,6 a	65,2 a
2,4-DP	56,6 b	61,1 b	63,4 b
Calcio + 2,4-DP	58,3 a	62,9 a	65,9 a
<i>Significancia</i>	*	*	*


Tratamiento	Evaluaciones productivas a cosecha		
	Producción por árbol (kg)	Frutos por árbol (N°)	Peso por fruto (g)
Control	33,6	275	122,7 ab
Calcio	33,7	256	130,3 a
2,4-DP	29,3	273	102,8 b
Calcio + 2,4-DP	31,9	253	126,2 a
<i>Significancia</i>	<i>n.s.</i>	<i>n.s.</i>	*

27

27



Variables cualitativas de la fruta a cosecha y a salida de frío

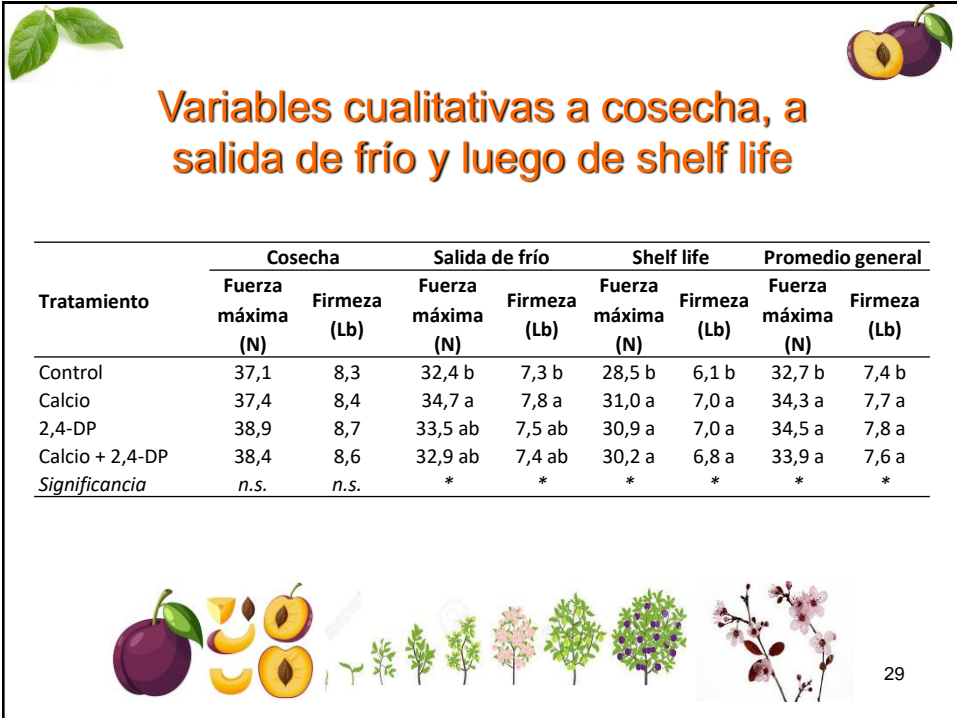


Tratamiento	Variables cualitativas de la fruta a cosecha				
	°Brix	Acidez	Relación SS%/AC	Peso (g)	Diámetro Ecuatorial (mm)
Control	15,5	1,08 ab	15,8	156,6	64,7
Calcio	15,6	1,08 ab	17,3	157,9	64,6
2,4-DP	15,4	1,02 b	17,1	154,3	63,9
Calcio + 2,4-DP	15,1	1,21 a	15,4	154,1	64,8
<i>Significancia</i>	<i>n.s.</i>	*	<i>n.s.</i>	<i>n.s.</i>	<i>n.s.</i>

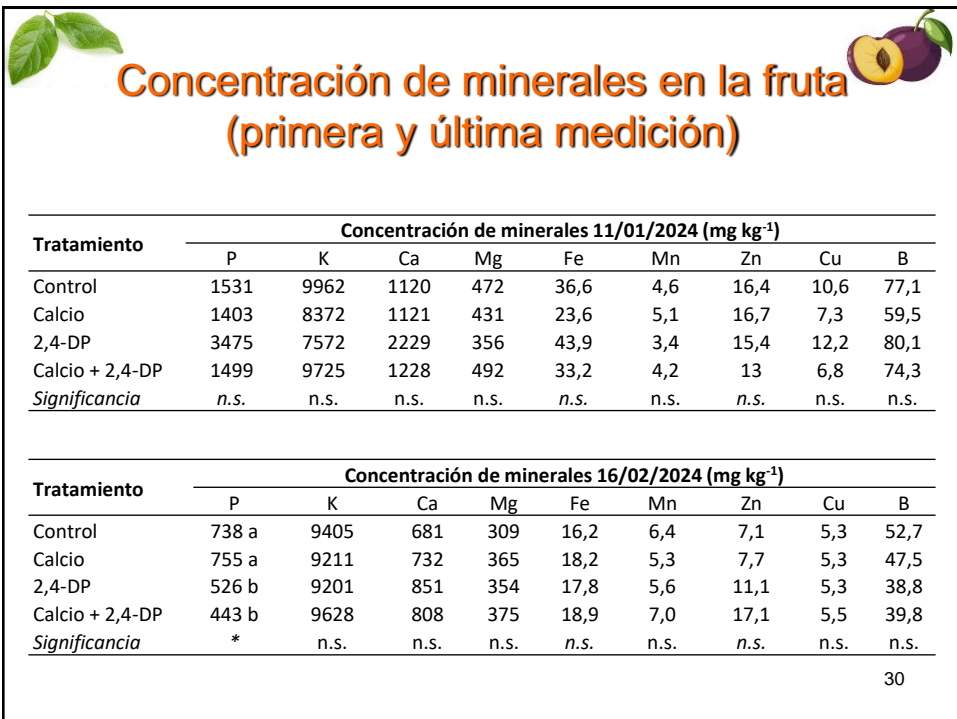
Tratamiento	Variables cualitativas de la fruta a salida de frío				
	°Brix	Acidez	Relación SS%/AC	Peso (g)	Diámetro Ecuatorial (mm)
Control	15,7 b	1,49	11,1	150,1	64,0 a
Calcio	16,4 a	1,63	10,5	190,6	63,9 a
2,4-DP	16,0 ab	1,53	11,1	145,5	62,3 b
Calcio + 2,4-DP	15,9 b	1,61	10,3	150,7	62,4 b
<i>Significancia</i>	**	<i>n.s.</i>	<i>n.s.</i>	<i>n.s.</i>	*

28

28



29



30



Universidad de Chile
Facultad de Ciencias Agronómicas
Departamento de Producción Agrícola



**Estrategias de nutrición
cálcica para mejorar la
calidad y la condición de
la fruta**

José Ignacio Covarrubias
Ing. Agr. Mg. Sc. Dr.
jcovarru@uchile.cl

31