

Cuándo y cómo aplicarlo para un óptimo resultado

Calcio, pilar fundamental en la construcción de firmeza en cerezas



Entre las variedades más propensas al ablandamiento se encuentran Early Burlat, Corazón de Paloma, Lapins, Santina, Bing, Sweet heart, Regina y Kordia.

El calcio es un mineral extraordinariamente importante para la calidad de la cereza, aspecto que se vuelve cada vez más incidente en el éxito del negocio. Entre las principales causas del ablandamiento y otros desórdenes asociados, se encuentra una elevada concentración de nitrógeno (N), así como bajas concentraciones de calcio (Ca) en la fruta. De allí se desprende que la probabilidad de ocurrencia de esos problemas aumenta ante una elevada relación nitrógeno/calcio en la fruta. En consecuencia, las técnicas de manejo debieran apuntar a mantener contro-

lada la concentración de N y a maximizar la concentración de Ca en la fruta.

Hay que considerar, además, la existencia de factores predisponentes al ablandamiento. Uno de ellos se asocia a las variedades. Entre las más propensas se encuentran, por ejemplo, Early Burlat, Corazón de Paloma, Lapins, Santina, Bing, Sweet heart, Regina y Kordia. Como se aprecia, predominan las de ciclo corto, pero también se encuentran cultivares más tardíos.

El pH es otra variable influyente. En suelos con valores bajo 6, subácidos o ácidos, las sales de calcio –que en otras condiciones son

Las cerezas chilenas deben resistir largos tiempos de viaje y almacenamiento, manteniendo sus características de calidad. El calcio es un factor muy influyente en el logro de este objetivo, sin embargo su transporte hacia los frutos suele ser limitado y se define en unos pocos días. Las claves están en evitar el exceso de nitrógeno y en la aplicación de calcio al suelo, en dosis importantes, para que el árbol pueda tomarlo desde floración hasta que el fruto alcance 5 a 8 mm. Las aspersiones en la parte aérea de la planta solo son una ayuda menor.

muy estables– forman otras moléculas más solubles y quedan susceptibles a pérdidas por lavado. Se trata de una situación no muy frecuente en suelos de la zona central, pero sí en el sur.

Igualmente incide una fertilización con alta presencia de cationes competidores con el Ca, como son el potasio (K^+), el magnesio (Mg^{++}) y el amonio (NH_4^+). Esto es muy fácilmente evitable, ya que el momento oportuno de aplicación de dichos elementos no coincide con el del Ca.

Un exceso de desarrollo de las plantas (muchas veces relacionado con la sobreabundancia de N) se suma a los factores mencionados, porque, dado que el Ca se mueve a través de la corriente transpiratoria, el crecimiento vegetativo promoverá el flujo de Ca principalmente hacia hojas y brotes en desmedro de la fruta.

El cuadro 1 muestra la composición mineral de la cereza a la cosecha. En nitrógeno se debiera apuntar a un nivel bajo los 180 miligramos (mg) en 100 gramos (g) de peso fresco, y en calcio el objetivo se situaría sobre los 15 mg/100 g. Logrado lo anterior, gran parte del desafío de la firmeza podría quedar resuelto en lo relativo a los equilibrios nutricionales.

De acuerdo a la información publicada en Redagícola por Yuri *et al.* en 2021, con datos levantados en Chile, en promedio la gran mayoría de las variedades se mantiene en niveles de N apropiados, salvo Bing, Skeena y Santina, que superan el límite de 180 mg/100 g o están muy cerca de hacerlo. La situación resulta muy distinta para el Ca, pues ninguna de las variedades promedia sobre los 10 mg/100 g de peso fresco, lejos del mínimo deseable de 15 mg/100 g.

EL CALCIO CONFIERE RESISTENCIA A LA PARED CELULAR

El principal rol del calcio es preservar la integridad de la membrana citoplasmática y



POR JOSÉ IGNACIO COVARRUBIAS, INGENIERO AGRÓNOMO, M.G. SC., DR. FACULTAD DE CIENCIAS AGRONÓMICAS, UNIVERSIDAD DE CHILE

conferir resistencia a la pared celular, ya que se trata de un componente principal de los pectatos (pectinas), los cuales forman parte de la lámina media entre células vecinas y cementan la unión de unas con otras. La analogía con un muro sirve para entenderlo: si los ladrillos tienen poco cemento (calcio a nivel de pared celular), la pared será débil; si cuenta con una cantidad adecuada de cemento (no excesiva) será fuerte y resistente.

Este elemento es absorbido desde el suelo como catión Ca^{2+} mediante un transporte pasivo, sin gasto de energía por parte de la raíz. Una característica relevante es que más de la mitad del Ca proveniente de la raíz se queda en la lámina media, o sea fuera de la célula. El saldo que logra ingresar a ésta se compartimenta en la vacuola o en el retículo endoplasmático, y solo en pequeñísima cantidad en el citoplasma. Se trata de un fenómeno fisiológico que, más allá de los términos técnicos, en la práctica se traduce en la imposibilidad de que el Ca aplicado vía foliar viaje hacia el fruto a través de las células vivas del floema.

El Ca proveniente de las raíces es “cargado” hacia los vasos del xilema. En el xilema, el Ca es transportado rápidamente mediante el flujo de masas provocado por la corriente transpiratoria hacia aquellos órganos que transpiran. Dado que las hojas corresponden a los órganos con más transpiración, la mayor parte del Ca va a dirigirse hacia ellas. Si se produce un estrés hídrico en estos momentos, los estomas foliares se cierran, cortan la salida de agua vía transpiración y detienen así el ascenso del calcio, al igual que el de los demás minerales. Por consiguiente, el estrés hídrico se relaciona directamente con el estrés nutricional.

El suministro del calcio a los frutos y a los otros sumideros también se realiza casi en su totalidad a través del xilema,

Cuadro 1. Composición mineral de una cereza en mg por 100 g de peso fresco (valores referenciales).

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

Fuente: Samuel Román, en charla “Efecto de la nutrición de la planta en la calidad del fruto de cerezo” (agosto de 2013).

Cuadro 2. Concentraciones de minerales en el floema y el xilema (μmol) de una yema terminal y de una hoja joven.

	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

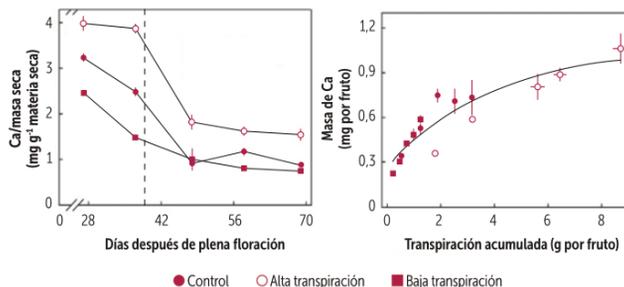
Jeschke y Pate, 1991.

pues, como se señaló, su movimiento a través del floema es prácticamente nulo (cuadro 2).

OPORTUNIDAD: EL TIEMPO PARA ACUMULAR CALCIO EN LOS FRUTOS NO PASA DE 15 DÍAS

Desde la cuaja hasta que los frutos alcanzan un tamaño de unos 5 a 8 mm, existen migraciones de Ca hacia ellos porque su transpiración máxima ocurre en la fase inicial de su desarrollo. La migración puede incrementarse si la concentración de Ca del líquido xilemático es elevada, lo cual se logra a través de la fertilización y de la acumulación

Figura 1. Concentración de calcio en cerezas durante la temporada.



Winkler et al. 2000.



▲ Un alta relación nitrógeno/calcio es enemiga de la conservación de la firmeza de la fruta en poscosecha.

de buenas reservas. Se trata de un periodo de gran división celular de la cereza, lo que requiere de la formación de paredes celulares. Como las paredes celulares necesitan Ca, resulta natural, entonces, que ese sea el momento de mayor acumulación de Ca en la fruta.

Hay una relación entre la síntesis y transporte de auxinas (ácido indolacético, AIA), mayor en esta fase, y el transporte de Ca hacia los frutos y puntos de desarrollo orgánico en activo crecimiento. Las auxinas promueven la división celular temprano en la temporada y

se ha planteado que las auxinas podrían ser una señal fisiológica para llevar Ca a los frutos.

Después de que las cerezas alcanzan los 5-8 mm, la funcionalidad del xilema cae sustancialmente y la concentración de Ca comienza a disminuir en los frutos debido a un efecto de dilución. Como se ve, el tiempo disponible para acumular calcio en ellos es corto, no más de 10 a 15 días (dependiendo de la zona de cultivo).

La figura 1 (página 41) representa un estudio de Winkler *et al.* (2020) donde comparó tres tratamientos: control, en condiciones climáticas normales; alta transpiración, bajo microclima modificado con un aumento del déficit de presión de vapor mediante el uso de gel de sílice; y baja transpiración, inhibida mediante la cobertura de la fruta con bolsas que generaban una humedad relativa mayor. En el lado izquierdo de la imagen se ve claramente que la concentración de calcio siempre parte alta, reflejando su acumulación inicial, y luego va disminuyendo. También se aprecia

que los frutos que transpiran más logran más calcio. El gráfico de la derecha muestra la relación entre la mayor transpiración acumulada y el aumento de los mg de Ca/fruto.

A partir de lo señalado, la estrategia para aumentar el flujo de calcio hacia la fruta debe enfocarse desde preflor hasta que el fruto alcanza de 5 a 8 mm de tamaño, fertilizando fuertemente con Ca al suelo. La saturación con este mineral permite que ocupe los sitios de intercambio del suelo y desplace a otros cationes que le compiten, como los ya mencionados amonio, potasio, magnesio, más algunas fracciones de sodio. Desde luego la aplicación de NH_4 , K y Mg es desaconsejable en esta etapa.

¿Por qué desde prefloración? Porque la tasa de transpiración de los pequeños órganos que están formándose es muy alta en proporción a su superficie y volumen, lo cual se ve refrendado por el consumo de agua, que se ha medido con sondas de capacitancia.

La dosis de calcio depende del tipo de suelo, de la textura, de la estructura, de la capacidad de intercambio catiónico, de la granulometría, etc. Ensayos en suelos francos han indicado que en cerezo se necesita del orden de 20 unidades/ha o más para poder dotar al líquido xilemático de una cantidad de Ca suficiente para acumular la mayor cantidad posible en el fruto en un lapso tan corto.

Otro mecanismo, más efectivo que cualquier aplicación de Ca al suelo, consiste en incrementar la tasa de transpiración de los frutos mediante técnicas de manejo, algo probablemente más fácil de decir que de ejecutar. En zonas como Curicó hacia la cordillera, condiciones de primaveras frías, humedad relativa alta, cielos cubiertos hasta mediodía o más, se asocian a una mayor incidencia de fruta blanda.

PROS Y CONTRAS DE LAS FUENTES DE CALCIO PARA APLICAR AL SUELO

A continuación se analizan distintas fuentes de calcio para aplicar al suelo.

El cloruro de calcio es muy soluble, de fácil absorción, presenta poco efecto sobre el pH del suelo y resulta comparativamente más barato. Sin embargo, su contenido de cloro constituye una desventaja y en general no se aplica como fuente cálcica.

El nitrato de calcio sí resulta muy utilizado. De buena solubilidad, ofrece una fácil absorción, con poco efecto sobre el pH y tiene un precio menor que los óxidos. Pero aporta nitrógeno; se puede decir que entrega el remedio junto con la enfermedad. Al aplicarlo en un periodo temprano en la temporada se lo hace coincidir con el viaje de las reservas nitrogenadas desde las raíces hacia la parte aérea en el líquido xilemático. Ese N se va a acumular en la cereza y va a llegar hasta el fin de la cosecha, contribuyendo a una indeseable alta relación N/Ca.

Los óxidos de calcio permiten aplicar este

Cuadro 3. Efecto de diferentes dosis de calcio floable (CaO) sobre la firmeza en cerezo (Newton).

Tratamiento	Cosecha	33 días a 0°C	33 días a 0°C + 2 días a 20°C
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. El producto comercial utilizado como calcio floable fue Calciomax 35 Flo.

Cuadro 4. Efecto de fertilizantes cálcicos para mejorar calidad y condición de cerezas (Lapins sobre CABG). Los tratamientos se aplicaron en dos dosis iguales (50% en flor y 50% con bayas de 3 mm).

Tratamiento	Dosis producto kg CaO ha ⁻¹	Concentración (mg 100 g PF ⁻¹)		Fuerza máxima (N)		Cohesión		Gomosidad (N)		Resiliencia		Pardeamiento pedicelo (escala 1 a 4)		
		Ca total	Ca ligado	35 d 0°C	35 0° +3 22°	35 d 0°C	35 0° +3 22°	35 d 0°C	35 0° +3 22°	35 d 0°C	35 0° +3 22°	A cosecha	35 d 0°C	35 0° +3 22°
Testigo	0	9,4 ± 0,3	2,3 ± 0,2 b	21,5 ± 0,7 b	7,9 ± 0,3 b	0,47 ± 0,01	0,68 ± 0,01	9,9 ± 0,4 b	5,3 ± 0,2 b	0,25 ± 0,01	0,40 ± 0,01	1,0 ± 0,03	1,8 ± 0,06 a	3,3 ± 0,13
CaO + ác. carboxílicos 1	2,1	10,0 ± 0,3	3,1 ± 0,3 a	21,4 ± 0,7 b	8,1 ± 0,3 b	0,50 ± 0,01	0,68 ± 0,02	10,6 ± 0,4 b	5,4 ± 0,2 b	0,26 ± 0,02	0,40 ± 0,01	1,1 ± 0,04	1,7 ± 0,05 a	3,1 ± 0,13
CaO + ác. carboxílicos 2	2,1	9,9 ± 0,4	3,3 ± 0,3 a	21,8 ± 0,6 b	8,0 ± 0,3 b	0,48 ± 0,02	0,67 ± 0,01	10,3 ± 0,3 b	5,3 ± 0,3 b	0,26 ± 0,02	0,39 ± 0,01	1,1 ± 0,04	1,8 ± 0,06 a	3,3 ± 0,14
CaO dosis 1	17,5	9,5 ± 0,2	2,7 ± 0,2 ab	24,1 ± 0,7 a	9,0 ± 0,3 a	0,49 ± 0,03	0,67 ± 0,02	11,6 ± 0,4 a	5,9 ± 0,2 a	0,26 ± 0,01	0,39 ± 0,01	1,0 ± 0,03	1,8 ± 0,07 a	2,9 ± 0,12
CaO dosis 2	35	9,8 ± 0,3	3,1 ± 0,4 a	20,8 ± 0,7 b	7,9 ± 0,3 b	0,49 ± 0,01	0,68 ± 0,01	10,2 ± 0,3 b	5,2 ± 0,3 b	0,26 ± 0,01	0,40 ± 0,01	1,0 ± 0,03	1,6 ± 0,05 b	3,2 ± 0,13
Significancia		n.s.	*	*	*	n.s.	n.s.	*	*	n.s.	n.s.	n.s.	*	n.s.

PF: peso fresco. 35 d 0°C: luego de 35 días a 0°C. 35 0° +3 22°: luego de 35 días a 0°C más 3 días a 22°C. N: Newton

Covarrubias, 2022.

• CaO + ác. carboxílicos 1: producto comercial Calcio Sprint. • CaO + ác. carboxílicos 2: producto comercial Calcio Smart. • CaO sin ác. Carboxílicos: Calciomax 35 Flo.

elemento sin otros minerales acompañantes y tienen una fácil absorción. No obstante, algunas formulaciones, no todas, presentan la desventaja de una baja suspensibilidad en los estanques de la caseta de riego, dificultando su inyección a la matriz.

El carbonato de calcio no contiene minerales acompañantes indeseables, solo Ca, pero no se trata propiamente

de un fertilizante sino de una enmienda alcalinizante que se usa más bien para corregir pH en suelos ácidos. De poca solubilidad, logra escaso efecto en profundidad, resulta inconveniente en suelos alcalinos.

EVALUACIONES CONFIRMAN IMPACTOS SIGNIFICATIVOS SOBRE LA FIRMEZA

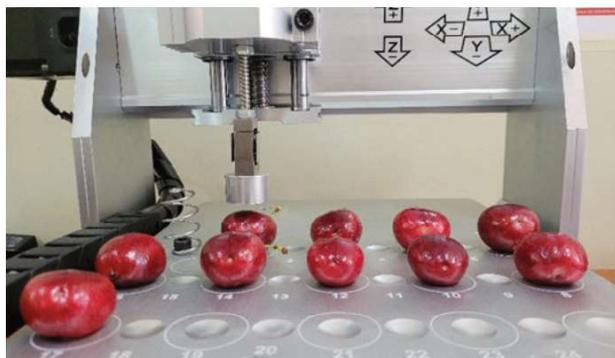
En un ensayo efectuado en la última

temporada se evaluaron distintas dosis de calcio floable, correspondiente a óxido de calcio (35% CaO) no complejoado con ácidos carboxílicos, aplicadas en un huerto comercial de la variedad Santina injertada sobre Maxma 14, de 5 años de edad. La mitad de la dosis se utilizó en preflor y la otra mitad en poscuaaja.

La firmeza, medida con Texture Analyzer, un equipo extraordinariamente pre-

ciso, presentó un resultado significativamente mayor a la cosecha y a salida de frío (luego de 30 días a 0°C) con las dosis mayores, de 20 y 30 kg/ha de óxido de calcio en total. A partir de estos datos la recomendación, en las condiciones en que se efectuó el estudio, sería usar una dosis de 20 kg/ha, ya que no se detectaron diferencias con el uso de 30 kg/ha.

Otro estudio efectuado en uva de



Medición de firmeza con equipo Firm Pro.

Thompson seedless (Covarrubias y Campos, 2022) comparó el uso de óxido de calcio, nitrato de calcio y cloruro de calcio en dosis de 20 kg/ha (10 kg preflor y 10 kg poscujaja), versus un testigo. Los resultados mostraron un aumento significativo de la firmeza de frutos medida con el equipo Firm Pro a la cosecha en la aplicación de óxido de calcio, en tanto que no hubo diferencia entre el nitrato de calcio y el testigo, y el cloruro de calcio mostró una menor firmeza que el testigo.

Ensayos donde se evaluaron óxidos de calcio con y sin ácidos carboxílicos evidenciaron un aumento de la con-

centración de calcio ligado en miligramos por 100 gramos de peso fresco evaluado en fruta a la cosecha (cuadro 4, página 43). La fuerza máxima, medida con Texture Analyzer, mostró un incremento significativo de la firmeza de la fruta con el tratamiento de óxido de calcio sin ácidos carboxílicos en dosis de 17,5 kg de CaO/ha, tanto a la salida del frío como luego de 3 días en condiciones de anaquel. El mismo tratamiento tuvo mayor gomosidad, otro atributo importante en la poscosecha. En cuanto al pardeamiento del pedicelo, la dosis de 35 kg/ha del producto sin ácidos carboxílicos obtuvo resulta-



Momentos de aplicación de fertilizantes cálcicos en el ensayo efectuado con Lapins sobre CAB6.

dos favorables con significación estadística.

De acuerdo a los antecedentes recogidos, los óxidos de calcio con o sin ácidos carboxílicos son efectivos. Los ácidos carboxílicos se añaden para soltar el calcio que se encuentra en el suelo, pero existen suelos (arenosos, por ejemplo) con bajo contenido de este nutriente y por lo tanto no necesariamente se logra el efecto mencionado. La mejor manera de garantizar la saturación con Ca corresponde a la aplicación de al menos 20 unidades/ha de óxidos de calcio sin ácidos carboxílicos, de 35% de concentración, en los momentos ya indicados.

En nectarín variedad Andes Nec 3, que presenta tendencia al ablandamiento, se ha experimentado la aplicación de 20 unidades de calcio (10 en preflor y 10 en poscujaja) asociadas a la auxina sintética 2,4-DP. La suma de ambas herramientas aumentó la firmeza a la salida de frío y disminuyó la harinosidad luego del frío más 3 días a 22°C (Quintanilla, Fichet y Covarrubias, 2021). Se trata de un estudio en curso, a partir del cual todavía no se puede hacer recomendaciones, pero todo indica la existencia de un efecto sinérgico cuyas implicaciones en estas y otras variables deben continuar explorándose.

APLICACIONES FOLIARES

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

Algunas experiencias mencionan que tales tratamientos a la parte aérea de la planta reducen la incidencia de desórdenes fisiológicos, pero no los remueven completamente.

En manzano Zavalloni *et al.* probaron que 10 a 11 aplicaciones de cloruro de calcio (CaCl₂) en la temporada incrementaron el contenido de Ca en 2,4 mg/fruto de la variedad Golden Delicious, sin embargo no aumentaron su contenido en pulpa ni en piel de los cultivares Fuji y Braeburn. En cerezo, Michailidis *et al.* (2020) hallaron que aplicaciones foliares de CaCl₂ aumentaron el contenido de Ca en relación al control.

El nivel de absorción por esta vía que las investigaciones han reportado es inferior a 1 microgramo (la millonésima parte de 1 gramo) por cm². Las mediciones efectuadas en la Universidad de Chile han verificado que el desplazamiento del Ca desde la superficie hacia el centro del fruto es mínimo, de manera que aun cuando efectivamente haya aumentos de absorción, su impacto resulta leve. En opinión de este autor, las aplicaciones foliares de calcio solo tienen valor complementario para una estrategia cuya base se encuentra en las aplicaciones al suelo. **Ra**

GLOSARIO

Los siguientes términos se explican en términos divulgativos:

Catión: ion (átomo o molécula cargada eléctricamente) de carga eléctrica positiva.

Estomas: células mediante las cuales la mayoría de las plantas terrestres transpiran e intercambian oxígeno y dióxido de carbono con el ambiente. Se sitúan en hojas y tallos.

Floema: tejido encargado de transportar nutrientes obtenidos mediante la fotosíntesis desde las hojas a otras estructuras de la planta.

Floable: los productos floables son suspensiones estables y homogéneas de polvo de un ingrediente activo en un medio acuoso. Sinónimo: suspensión concentrada.

Lenticelas: estructuras de la epidermis vegetal que aseguran el intercambio gaseoso entre los tejidos internos y el exterior. Se sitúan en áreas inertes de la corteza de tallos y raíces.

Tricomas: finos crecimientos o apéndices de plantas y otros tipos de vegetales. Pueden tener la forma de pelos, pelos glandulares, escamas o papilas.

Xilema: tejido vegetal lignificado que conduce agua, sales minerales y otros nutrientes absorbidos desde la raíz hasta las hojas y otros órganos de las plantas. La sustancia transportada corresponde a la savia bruta.