

Azúcares resistentes a bajas temperaturas en portainjertos de aguacate

Bernardo Bernal-Valenzo¹
Guillermo Calderón-Zavala^{1,5}
Alfredo López-Jiménez¹
Daniel Padilla-Chacon¹

1 Colegio de Postgraduados-Campus Montecillo. Carretera México-Texcoco km 36.5, Montecillo, Texcoco, Estado de México, México. CP. 56230.

Autor para correspondencia: cazagu@colpos.mx.

Resumen

Debido a la demanda de fruta, en México, las huertas de aguacate (*Persea americana* Mill.) variedad 'Hass' de clima subtropical, se establecen erróneamente en zonas frías, afectando su producción; una alternativa es usar portainjertos de la raza mexicana tolerantes al frío, tolerancia relacionada con el incremento de azúcares, en áreas de demanda, que comparte a través del injerto con la variedad 'Hass', por lo que, en 2021 se evaluaron en el Colegio de Posgraduados los segregantes de los 'portainjertos' duke 7, tepetl, aceitoso y colecta 1, analizando contenido de glucosa, fructosa, sacarosa y almidón en brotes vegetativos, a los 1, 7 y 14 días de tratamiento, en la cámara 1 (tratamiento) con luminosidad de $380 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ y temperaturas con luz de $15.61 \text{ }^\circ\text{C}$ y oscuridad de $4.4 \text{ }^\circ\text{C}$ y la cámara 2 (testigo) con luminosidad de $367 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ y temperaturas con luz de $23.2 \text{ }^\circ\text{C}$ y oscuridad de $19.29 \text{ }^\circ\text{C}$, considerando el factor frío y la baja luminosidad, se observó que la clorofila en las hojas, presenta un crecimiento sin deficiencia fotosintética en las plantas de ambas cámaras, el contenido de glucosa de la variedad 'Hass' varía de acuerdo al contenido de glucosa en el portainjerto, el contenido de fructosa, aumenta en los materiales injertados y no injertados, actuando como un osmoprotector, el contenido de sacarosa aumenta en el material aceitoso injertado y el contenido de almidón, no es afectado, resultando, duke 7 y tepetl los materiales con mayor concentración de glucosa y fructosa, en condiciones de frío.

Palabras clave:

fructosa, glucosa, 'Hass', segregante, tolerantes al frío.



Introducción

Las variedades de aguacate cultivadas son resultado de la hibridación entre razas de la especie (Knight, 2002). La variedad 'Hass' es un híbrido de la raza guatemalteca, pero con genes de la raza mexicana y frutos con una gran capacidad de almacenamiento y transporte que favorecen sus características de manejo postcosecha (Crane *et al.*, 2013). La producción de aguacate en México en 2020 fue de 2.39 millones de toneladas (PROFECO, 2021). Esta producción de fruta de aguacate implica un proceso que inicia con la elección del portainjerto, el cual es el encargado de proporcionar a la variedad comercial un soporte radical y mantener sus características genéticas, sin la variabilidad que se obtiene de la variedad propagada por semilla, ya que de él depende el éxito o fracaso de una plantación (Barrientos-Priego *et al.*, 2000).

Los materiales de aguacate de zonas subtropicales como la variedad 'Hass' son más susceptibles a las bajas temperaturas (Crane *et al.*, 2013) por lo que una alternativa en condiciones de frío es el uso de portainjertos de la raza mexicana, como posible solución a los efectos del frío (Lockard y Schneider, 1981). Lacono *et al.* (1998) mencionan, que entre el injerto y el portainjerto forman características en la planta en conjunto, que son el resultado de las características de cada uno.

Afirmando la influencia del portainjerto sobre la variedad, Mickelbart *et al.* (2007) constataron diferencias significativas en la absorción de nutrientes por efecto de distintos portainjertos clonales. Bergh (1992), menciona que la raza mexicana ha contribuido con genes que favorecen la tolerancia al frío, debido a que existe una concentración de azúcares solubles que reducen el punto de congelación de la solución intracelular (Poirier *et al.*, 2010).

Por lo que, el aumento o disminución de la concentración de azúcares en la planta es una respuesta de aclimatación como, el contenido de glucosa en las hojas de los brotes vegetativos considerados tejidos de demanda, que puede cambiar su concentración por factores ambientales, bioquímicos y fisiológicos (Rolland *et al.*, 2002) o el aumento del contenido de fructosa que actúa como osmoprotector ante condiciones ambientales adversas por calor, frío o estrés hídrico (Marschall *et al.*, 2019) y así continuar utilizando la sacarosa como fuente principal de energía para continuar sus procesos bioquímicos (Hopkins y Huner, 2004).

Por lo que, en esta investigación, se seleccionaron segregantes de aguacate de cuatro materiales de la raza mexicana (duke-7, tepetl, aceitoso y colecta 1), injertados y sin injertar con 'Hass' para evaluar la concentración de glucosa, fructosa, sacarosa y almidón bajo un tratamiento de frío de 14 días como posibles azúcares involucrados en la tolerancia a las bajas temperaturas.

Materiales y métodos

Se inició con la siembra de semillas en septiembre de 2020 y posteriormente en febrero de 2021 se realizó el injerto de enchapado lateral con vareta de 'Hass' en el área de invernaderos del centro experimental 'La Cruz' de la Fundación Salvador Sánchez Colin-CICTAMEX, SC, ubicado en Coatepec Harinas, Estado de México, a 18° 55' 10.4" latitud norte 99° 45' 39.7" longitud oeste con una altitud de 2 100 m y se concluyó con el traslado de la planta en mayo de 2021 a las cámaras frigoríficas ubicadas en el Colegio de Postgraduados, Montecillo, Texcoco, Estado de México, a 19° 27' 36.1" longitud norte 98° 54' 22.5" latitud oeste con una altitud de 2 250 m.

Diseño experimental

Con un diseño de bloques completos al azar se utilizó un arreglo de parcelas divididas, en donde las parcelas grandes representan el factor temperatura (factor A). Siendo, la cámara 1 el tratamiento con frío, con una temperatura promedio de 15.61 °C durante las horas luz, con una intensidad lumínica de 380 $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ y una temperatura promedio en la oscuridad de 4.4 °C (datos registrados con un dataloger), mientras que la cámara 2 considerada el testigo conservó, en luz, una temperatura promedio de 23.2 °C, con una intensidad lumínica de 367 $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ y una temperatura promedio en oscuridad de 19.29 °C (datos registrados con un dataloger). En las parcelas chicas (factor B), 20 materiales de aguacate injertados con la variedad 'Hass' y 20

materiales no injertados y el factor C, que incluye 10 plantas de cada material utilizado (aceitoso, colecta 1, tepetl y duke 7), utilizando en total 40 portainjertos en cada cámara. Comparando los resultados entre cámaras y los resultados por material con la prueba LSD en el programa SAS (Statistical Analysis System) versión 9.4.

Medición de crecimiento de planta

Al inicio del experimento con ayuda de una regla se midió en centímetros la altura de cada planta, marcando la base del tallo a nivel del sustrato del contenedor para garantizar una correcta segunda medición al final del experimento.

Preparación de muestras

Se cortaron las hojas de los brotes vegetativos de las plantas a los 1, 7 y 14 días considerando que en el día 1 se inicia con la percepción del frío y a los 7 y 14 días un posible inicio de aclimatación; conservándolas en sobres de aluminio a -20 °C, se realizó el registro del peso fresco (entre 0.1 g y 0.13 g), con una balanza analítica electrónica Scientech, SA 120. Las muestras se molieron directamente en tubos eppendorf de 1.5 ml con 500 µl de etanol al 80%, luego se centrifugaron a 10 000 rpm durante 10 min en una centrífuga Dlab D3024 de 24 tubos eppendorf y se extrajo el sobrenadante para colocarlo en inmersión de vapor de agua durante 1 h a 80 °C.

Lectura de glucosa, fructosa y sacarosa

Se preparó una mezcla de reacción (Cuadro 1) y se colocaron 200 µl en cada pozo de una placa de lectura, se agregaron 2.5 µl de muestra y posteriormente se aplicaron 10 µl de cada enzima previamente disueltas de forma independiente en 1.5 ml de mezcla de reacción (Cuadro 2), para finalmente dar lectura a las muestras con ayuda de un multiskan FC Thermo scientific.

Cuadro 1. Mezcla de reacción para 10 ml.

Hepes 0.5 M pH 8	KCl	MgCl	ATP	NAD ⁺	Hexoquinasa	H ₂ O
2 ml	2.5 ml	150 µl	8.5 mg	2.83 mg	10 µ	5.4 ml

Información del Colegio de Postgraduados (2021).

Cuadro 2. Proceso para lectura de azúcares.

	Enzima	Cantidad (µl)	Tiempo de incubación (min)	Temperatura (°C)
Lectura 1	Hexoquinasa	10	Directo	ambiente
Lectura 2	G6PDH	10	40	35
Lectura 3	PGI	10	40n	35
Lectura 4	Invertasa	10	40	35

Información del Colegio de Postgraduados (2021).

Determinación de almidón

Se les agregó a las muestras 1 ml de dimethyl sulfoxide (DMSO) y se homogenizó con un vortex (Analog vortex Mixer) durante 30 s, se colocaron a baño maría durante 30 min a punto de ebullición, nuevamente se homogenizaron y se extrajo el sobrenadante para colocarse en dos tubos eppendorf de 2 ml colocando 100 µl en cada uno y se les agregó 450 µl con y sin enzima a cada tubo.

Las muestras de 100 µl con y sin enzima se prepararon a las 5:00 pm y se dejaron durante la noche a 55 °C, se dejaron enfriar a temperatura ambiente y se centrifugaron a 7 000 revoluciones por minuto durante 5 min, de los tubos eppendorf de 2 ml plenamente identificados se extrajeron 10 µl de muestra y se colocaron en los orificios (pozos) de las placas, para agregar 200 µl de mezcla de reacción y continuar con el siguiente proceso (Cuadro 3).

Cuadro 3. Proceso para lectura de almidón.

	Enzima	Cantidad (µl)	Tiempo de incubación (min)	Temperatura (°C)
Lectura 1	Hexoquinasa	10	Directo	Ambiente
Lectura 2	Deshidrogenasa	10	35	35

En almidón, se realizó la curva patrón, aforada a 20 µl solo para glucosa

Información del Colegio de Postgraduados (2021).

Resultados y discusión

Crecimiento de planta

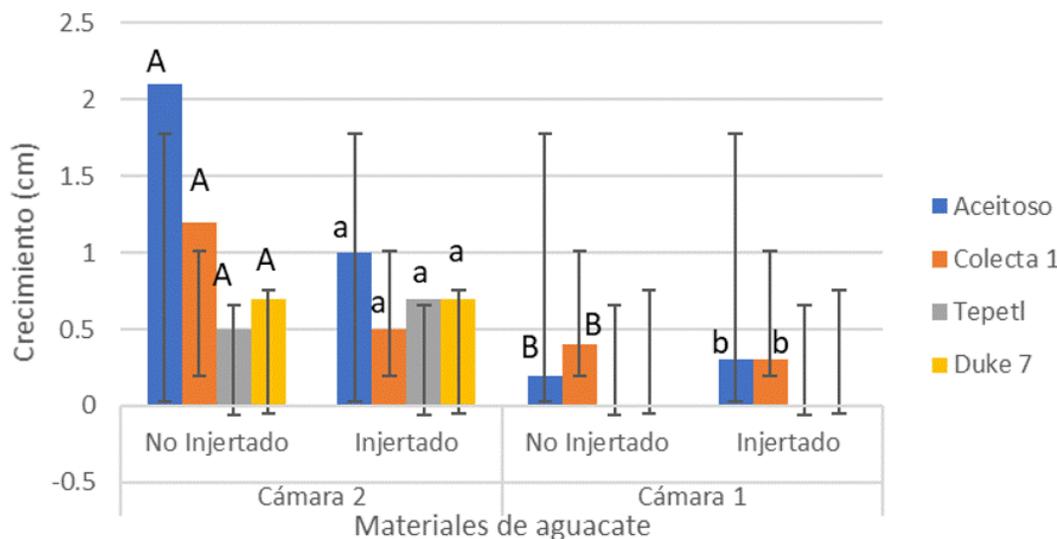
Los resultados de crecimiento de las plantas de la cámara 2 (testigo) con temperaturas con luz de 23.2 °C y oscuridad de 19.29 °C mostraron un aumento de tamaño a los 14 días, en los materiales no injertados e injertados; así como lo mencionó Lahav y Trochoulis (1982) que el desarrollo vegetativo de las plantas de aguacate se lleva a cabo en el intervalo óptimo de temperatura de 20-30 °C, en donde existe una máxima asimilación neta de CO₂ favoreciendo el crecimiento de la planta entera.

Por el contrario, en las condiciones de la cámara 1 con temperaturas con luz de 15.61 °C y oscuridad de 4.4 °C, se registró poco y nulo crecimiento en los materiales no injertados e injertados por lo que, el efecto del crecimiento y el desarrollo del aguacatero se reduce significativamente a temperaturas menores a 10 °C (Whiley *et al.*, 1990).

De acuerdo con la comparación de medias con una significancia de $\alpha=0.05$ el crecimiento de los materiales no injertados e injertados de la cámara 2 (testigo) con valores de 1.12 cm con una $\sigma=0.713$ cm y 0.72 cm con una $\sigma=0.206$ cm respectivamente resultaron significativamente mayores a los obtenidos en los materiales no injertados e injertados de la cámara 1 (tratamiento con frío) con valores de 0.3 cm en los materiales no injertados con una $\#=0.191$ cm e injertados con una $\sigma=0.173$ cm (Figura 1).



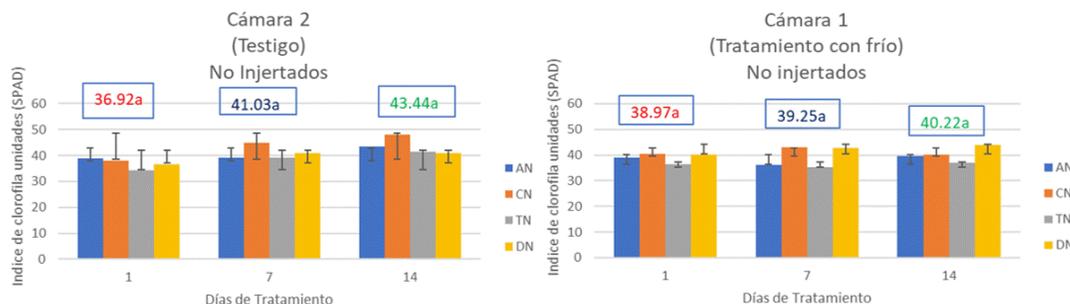
Figura 1. Efecto del tratamiento con frío sobre el crecimiento de planta de aguacate no injertada (A, B) e injertada (a, b) a los 14 días de su establecimiento en las cámaras.



Contenido de clorofila

En relación con los índices de clorofila unidades (SPAD) de los materiales no injertados de la cámara 2 (testigo), muestran un promedio general de lectura de 40.46 unidades con una $\sigma = 3.29$ unidades, en comparación a 39.48 unidades con una $\sigma = 0.65$ unidades de los materiales no injertados de la cámara 1 (tratamiento con frío) que de acuerdo con Coelho *et al.* (2010) el rango de 35.2 y 42.2 unidades SPAD son adecuados para diagnosticar un buen nivel de N en papa (*Solanum tuberosum*). De igual forma Taiz y Zeiger (2004) mencionan que la intensidad del verde de las hojas tiene correlación con el contenido de clorofila y la concentración de nitrógeno por lo que, se puede mencionar que el contenido de clorofila en los materiales, de ambas cámaras no es afectado por la intensidad lumínica ni el tratamiento con frío. De acuerdo con la comparación de medias con una significancia $\sigma = 0.05$ entre los materiales no injertados de ambas cámaras no existe una diferencia significativa (Figura 2).

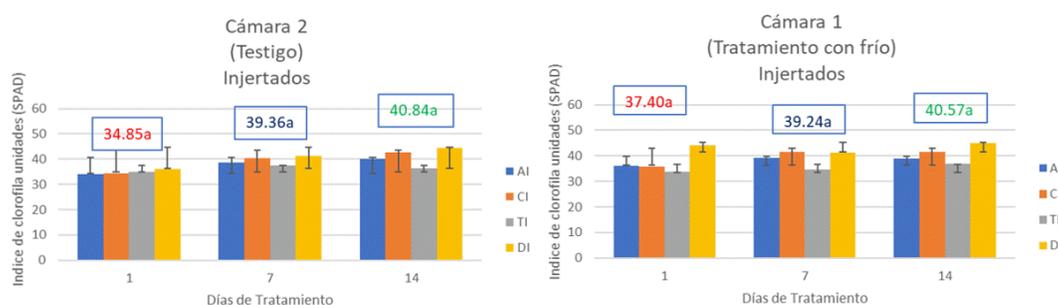
Figura 2. Lectura de unidades SPAD de materiales no injertados aceitoso (AN), colecta 1 (CN); Tepetl (TN); y Duke 7 (DN), comparando mismo número de día de tratamiento entre ambas cámaras.



Los materiales establecidos en la cámara 1 (tratamiento con frío) no presentaron alteraciones en la maduración de las hojas evaluadas, coincidiendo con los resultados de la cámara 2 y con Gianquinto *et al.* (2003) que menciona la correlación positiva de los índices SPAD con la disponibilidad de nitrógeno en las hojas, se puede decir que, el proceso de maduración de las hojas pasa por diferentes etapas morfológicas, desde su emergencia hasta su senescencia, de ser demanda a ser fuentes de nutrientes, así como su respuesta a las variables ambientales (Dickson *et al.*, 2000), indicando que el factor de baja temperatura no afecta el contenido de nitrógeno en la etapa de demanda.

Para los materiales injertados de la cámara 2 (testigo) con un promedio de 38.35 unidades y una $\sigma = 3.11$ unidades, en comparación con los materiales injertados de la cámara 1 (tratamiento con frío) con un promedio de 39.07 unidades y una $\sigma = 1.59$, se puede mencionar que, de acuerdo con la comparación de medias con una significancia de $\alpha = 0.05$ no existen diferencias significativas en el contenido de clorofila entre los materiales injertados de ambas cámaras (Figura 3).

Figura 3. Lectura de unidades SPAD de materiales injertados aceitoso (AI), colecta 1 (CI); tepetl (TI); y duke 7 (DI), comparando las medias (DMS) mismo número de día de tratamiento entre ambas cámaras. El número encima de cada conjunto de barras de los portainjertos es el valor promedio en todos los portainjertos.



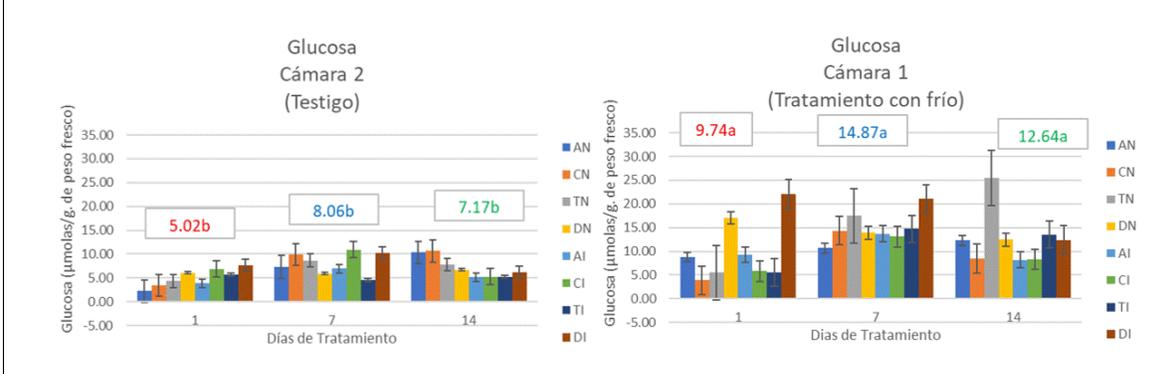
Contenido de azúcares

Glucosa

Los análisis realizados en hojas de brotes jóvenes, que de acuerdo con Liu *et al.* (2002) deben ser hojas menores a 20 días después de la brotación, muestran que la concentración de glucosa en las hojas de los brotes vegetativos aumenta bajo las condiciones de la cámara 1 (tratamiento con frío); debido a que, la glucosa es utilizada en la síntesis de compuestos como los ácidos orgánicos, aminoácidos y lípidos (Geigenberger *et al.*, 2005), componentes básicos para la acumulación de biomasa y desarrollo de las plantas; por lo que, el contenido de glucosa en las hojas de los brotes vegetativos como tejidos de demanda, son afectados por factores ambientales, bioquímicos y fisiológicos que en conjunto determinan la cantidad de fotosintatos que pueden ser descargados en los tejidos demanda (Rolland *et al.*, 2002).

De acuerdo con lo anterior, la concentración de glucosa en condiciones de la cámara 1 (tratamiento con frío) presenta valores promedio de $9.74 \mu\text{molas g}^{-1}$ de peso fresco para el día 1, $14.87 \mu\text{molas g}^{-1}$ de peso fresco en el día 7 y $12.64 \mu\text{molas g}^{-1}$ a los 14 días, en comparación al testigo, con valores promedio de $5.02 \mu\text{molas g}^{-1}$ de peso fresco para el día 1, $8.06 \mu\text{molas g}^{-1}$ de peso fresco en el día 7 y $7.17 \mu\text{molas g}^{-1}$ de peso fresco a los 14 días, se puede mencionar que, de acuerdo a la comparación de medias con una significancia de $\alpha = 0.05$ los 3 valores promedio del tratamiento con frío son significativamente mayores a los del testigo (Figura 4).

Figura 4. Efecto del tratamiento con frío sobre el contenido de glucosa en hojas jóvenes de los materiales aceitoso (AN y AI); colecta 1 (CN y CI); tepetl (TN y TI); y duke 7 (DN y DI) comparando mismo número de día de tratamiento entre ambas cámaras. El número encima de cada conjunto de barras de los portainjertos es el valor promedio en todos los portainjertos. La comparación de medias (DMS) es entre cámaras el mismo día de tratamiento.

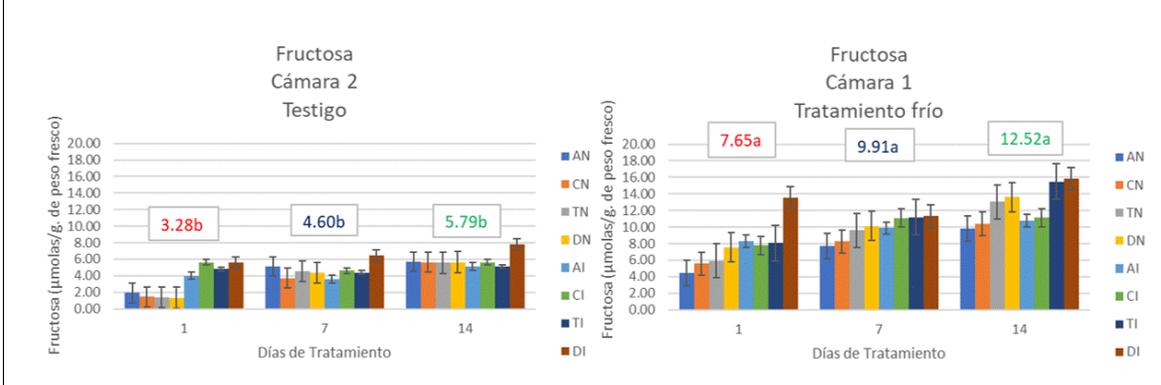


Fructosa

El contenido de fructosa en las hojas de los brotes vegetativos está relacionado con la reserva de carbono de las plantas superiores (Marschall *et al.*, 2019), estas reservas son el contenido de fructosa de los materiales establecidos en la cámara 2 (testigo); sin embargo, bajo condiciones estresantes por frío, estos carbohidratos están asociados con la tolerancia a diferentes tipos de estrés, actuando como osmoprotectores ante condiciones ambientales adversas por calor, frío o estrés hídrico (Marschall *et al.*, 2019).

Con valores promedio de los materiales establecidos en la cámara 1 (tratamiento con frío) de 7.65 $\mu\text{mol g}^{-1}$ de peso fresco para el día 1, 9.91 $\mu\text{mol g}^{-1}$ de peso fresco al día 7 y con 12.52 $\mu\text{mol g}^{-1}$ de peso fresco para los 14 días; comparados con los valores de la cámara 2 (testigo) de 3.28 $\mu\text{mol g}^{-1}$ de peso fresco para el día 1, 4.6 $\mu\text{mol g}^{-1}$ de peso fresco, para el día 7 y 5.79 $\mu\text{mol g}^{-1}$ de peso fresco a los 14 días, se puede mencionar que, al realizar la comparación de medias, con una significancia de $\alpha = 0.05$, las plantas de la cámara 1 (tratamiento con frío) aumentaron su contenido de fructosa en las hojas de los brotes vegetativos desde el día 1 de tratamiento en comparación a los valores promedio de la cámara 2 (testigo) (Figura 5).

Figura 5. Efecto del tratamiento con frío sobre el contenido de fructosa en hojas jóvenes de los materiales aceitoso (AN y AI); colecta 1 (CN y CI); tepetl (TN y TI); y duke 7 (DN y DI) comparando mismo número de día de tratamiento entre ambas cámaras. El número encima de cada conjunto de barras de los portainjertos es el valor promedio en todos los portainjertos.

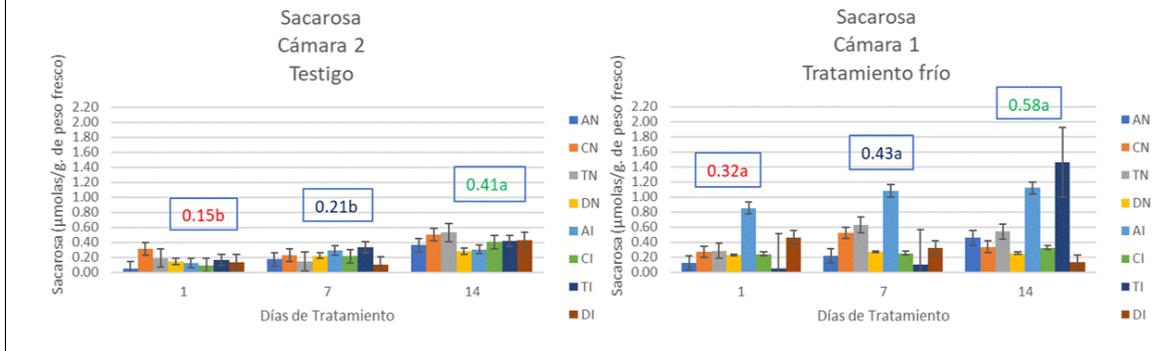


Sacarosa

El transporte de los fotoasimilados hacia los vertederos se efectúa en forma de sacarosa, siendo este uno de los compuestos bioquímicos con mayor movilidad, dependiendo de la especie de planta y del tipo de carga y descarga en el floema (vía simplasto o apoplasto) (Minchin y Lacoite, 2005) por lo que, el efecto de las bajas temperatura puede afectar o no su movilidad en las hojas jóvenes de los brotes vegetativos la sacarosa, es utilizada por la planta como principal fuente de energía bioquímica, al realizar su síntesis en el citosol a partir de glucosa y fructosa fosforiladas (Hopkins y Huner, 2004), por vía simplasto, la sacarosa viaja a través de conductos (plasmodesmos) y por vía apoplasto, la sacarosa puede ser incorporada mediante un transportador específico o puede ser hidrolizada por una invertasa de pared celular (Padilla y Martínez, 2007).

De acuerdo a las características de la sacarosa y los valores promedio de los materiales de la cámara 1 (tratamiento con frío) de 0.32 $\mu\text{molas g}^{-1}$ de peso fresco en el día 1, 0.43 $\mu\text{molas g}^{-1}$ de peso fresco a los 7 días y 0.58 $\mu\text{molas g}^{-1}$ de peso fresco a los 14 días, que al comparar con los valores promedio de la cámara 2 (testigo) de 0.15 para el día 1, 0.21 $\mu\text{molas g}^{-1}$ de peso fresco a los 7 días y 0.41 $\mu\text{molas g}^{-1}$ de peso fresco los 14 días, se puede mencionar que, de acuerdo a la comparación de medias con una significancia de $\alpha=0.05$ los resultados de los días 1 y 7 del tratamiento con frío fueron significativamente superiores a los del testigo y para los resultados del día 14 no existe una diferencia significativa (Figura 6).

Figura 6. Efecto del tratamiento con frío sobre el contenido de sacarosa en hojas jóvenes de los materiales aceitoso (AN y AI); colecta 1 (CN y CI); tepetl (TN y TI); y duke 7 (DN y DI) comparando (DMS) mismo número de día de tratamiento entre ambas cámaras. El número encima de cada conjunto de barras de los portainjertos es el valor promedio en todos los portainjertos.

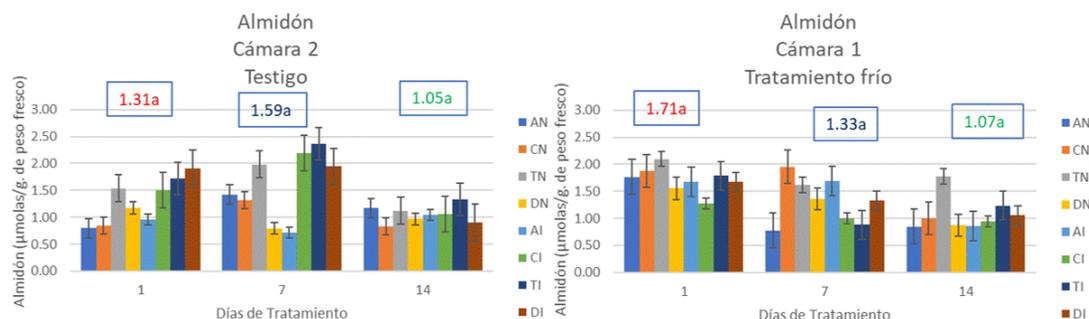


Almidón

El almidón está compuesto por amilopectina (85-70%) y amilosa (15-30%) respectivamente (Mclauchlan *et al.*, 2001), su metabolismo en los vertederos (semillas, raíces, tubérculos, hojas en desarrollo) está asociado con la relación de síntesis almidón/ sacarosa en la fuente, la eficiencia de exportación, transporte de sacarosa y con la prioridad y potencia del vertedero (Minchin y Lacoite, 2005). Las hojas jóvenes de los brotes vegetativos de aguacate (vertederos) mostraron una concentración baja en el contenido de almidón en ambas cámaras.

Baguma *et al.* (2003) menciona que las hojas son tejidos que acumulan almidón transitorio; por lo que, las muestras de los materiales de aguacate bajo las condiciones de la cámara 1 (tratamiento con frío) registraron valores promedio de 1.71 $\mu\text{molas g}^{-1}$ de peso fresco para el día 1, 1.33 $\mu\text{molas g}^{-1}$ de peso fresco a los 7 días y 1.07 $\mu\text{molas g}^{-1}$ de peso fresco a los 14 días, mientras que, en la cámara 2 (testigo) los valores promedio fueron de 1.31 $\mu\text{molas g}^{-1}$ de peso fresco para el día 1, 1.59 $\mu\text{molas g}^{-1}$ de peso fresco a los 7 días y 1.05 $\mu\text{molas g}^{-1}$ de peso fresco a los 14 días por lo que, de acuerdo a la comparación de medias con una significancia de $\alpha=0.05$ no existen diferencias significativas entre los materiales de la cámara 1 (tratamiento con frío) y el testigo (Figura 7).

Figura 7. Efecto del tratamiento con frío sobre el contenido de almidón en hojas jóvenes de los materiales aceitoso (AN y AI); colecta 1 (CN y CI); tepetl (TN y TI); y duke 7 (DN y DI) comparando mismo número de día de tratamiento entre ambas cámaras. El número encima de cada conjunto de barras de los portainjertos es el valor promedio en todos los portainjertos.



Materiales de aguacate de la raza mexicana evaluados

Aceitoso

El contenido de azúcares en el material aceitoso en condiciones de temperatura y luz de la cámara 1 (Cuadro 4), registró un promedio de contenido de glucosa (PcG), en las plantas no injertadas significativamente mayor los días 1 y 7 y para las plantas injertadas los días 1, 7 y 14, en comparación a la cámara 2 (testigo). Sin embargo, para fructosa (PcF) las plantas no injertadas e injertadas en las tres muestras realizadas a los 1, 7 y 14 días fueron significativamente mayores a los del testigo. Para sacarosa (PcS) los promedios en las plantas no injertadas fueron significativamente mayor el día 1 y para las plantas injertadas los días 1, 7 y 14, para almidón (PcA) en las plantas no injertadas fue significativamente mayor la muestra del día 1 y en las plantas injertadas fue significativamente mayor los días 1 y 7.

Cuadro 4. Valores promedio de contenido de glucosa (PcG), fructosa (PcF), sacarosa (PcS) y almidón (PcA) del material aceitoso no injertado e injertado.

Material	variable	Cámara 2 (testigo)			Cámara 1 (tratamiento)		
		1 día	7 días	14 días	1 día	7 días	14 días
Aceitoso no injertado (AN)	PcG ($\mu\text{mol g}^{-1}$)	2.22b	7.3b	10.31a	8.82a	10.65a	12.29a
	PcF ($\mu\text{mol g}^{-1}$)	1.95b	5.14b	5.69b	4.46a	7.7a	9.83a
	PcS ($\mu\text{mol g}^{-1}$)	0.05b	0.17b	0.36a	0.12a	0.22b	0.46a
	PcA ($\mu\text{mol g}^{-1}$)	0.8b	1.42a	1.17a	1.77a	0.78b	0.85b
Aceitoso injertado (AI)	PcG ($\mu\text{mol g}^{-1}$)	3.86b	6.92b	5.2b	9.28a	13.71a	8.2a
	PcF ($\mu\text{mol g}^{-1}$)	4.02b	3.59b	5.13b	8.28a	9.9a	10.79a
	PcS ($\mu\text{mol g}^{-1}$)	0.12b	0.29b	0.31b	0.85a	1.08a	1.12a

Material	variable	Cámara 2 (testigo)			Cámara 1 (tratamiento)		
		1 día	7 días	14 días	1 día	7 días	14 días
	PcA ($\mu\text{mol} \text{g}^{-1}$)	0.96b	0.71b	1.05a	1.68a	1.69a	0.86b

Medias con la misma letra en la fila y día de muestreo no son significativamente diferente (prueba DMS).

Colecta 1

El contenido de azúcares en el material de colecta 1 (Cuadro 5), bajo las condiciones de temperatura y baja luminosidad de la cámara 1, registró un promedio de contenido de glucosa (PcG) significativamente mayor en el resultado del día 7 en las plantas no injertadas y para las plantas injertadas una diferencia significativa superior solo en la muestra realizada a los 14 días, la fructosa (PcF) es significativamente mayor tanto en las plantas no injertadas como en las plantas injertadas, la sacarosa (PcS) para las plantas no injertados es significativamente mayor solo en la muestra del día 7 y para las plantas injertadas resulto ser significativamente mayor en la muestra del día 1, finalmente el almidón (PcA) se mostró con una diferencia significativa en la muestra del día 1 en las plantas no injertadas y para los materiales injertados es significativamente mayor en la muestra del día 7.

Cuadro 5. Valores promedio de contenido de glucosa (PcG), fructosa (PcF), sacarosa (PcS) y almidón (PcA) del material colecta 1 no injertado e injertado.

Material	Variable	Cámara 2 (testigo)			Cámara 1 (tratamiento)		
		1 día	7 días	14 días	1 día	7 días	14 días
Colecta 1 no injertado (CN)	PcG ($\mu\text{mol} \text{g}^{-1}$)	3.46a	9.96b	10.65a	3.87a	14.34a	8.44a
	PcF ($\mu\text{mol} \text{g}^{-1}$)	1.49b	3.72b	5.65b	5.56a	8.25a	10.39a
	PcS ($\mu\text{mol} \text{g}^{-1}$)	0.31a	0.23b	0.51a	0.27a	0.53a	0.34b
	PcA ($\mu\text{mol} \text{g}^{-1}$)	0.85b	1.32a	0.84a	1.88a	1.95a	1a
Colecta 1 injertado (CI)	PcG ($\mu\text{mol} \text{g}^{-1}$)	6.88a	10.92a	5.25b	5.79a	13.11a	8.3a
	PcF ($\mu\text{mol} \text{g}^{-1}$)	5.64b	4.61b	5.65b	7.79a	11.09a	11.14a
	PcS ($\mu\text{mol} \text{g}^{-1}$)	0.1b	0.21a	0.4a	0.24a	0.25a	0.33a
	PcA ($\mu\text{mol} \text{g}^{-1}$)	1.51a	2.19a	1.06a	1.27a	1b	0.94a

Medias con la misma letra en la fila y día de muestreo no son significativamente diferente (prueba DMS).

Tepetl

El contenido de azúcares en el material de tepetl, bajo las condiciones de temperatura y baja luminosidad de la cámara 1, registró un promedio de contenido de glucosa (PcG) significativamente mayor en los resultados del día 7 y 14 en las plantas no injertadas en comparación al testigo, para las plantas injertadas con 'Hass' solo mostraron diferencia significativa en las muestras realizadas los días 7 y 14, la fructosa (PcF) fue significativamente mayor en los tres muestreos realizados tanto en las plantas no injertadas como en las injertadas, la sacarosa (PcS) fue significativamente mayor para las plantas no injertadas en la muestra del día 7 y para las injertadas es significativamente

superior en la muestra del día 14, finalmente, el contenido de almidón (PcA) no mostró diferencia significativa en comparación al testigo tanto en plantas no injertadas como en las injertadas (Cuadro 6).

Cuadro 6. Valores promedio de contenido de glucosa (PcG), fructosa (PcF), sacarosa (PcS) y almidón (PcA) del material Tepetl no injertado e injertado.

Material	Variable	Cámara 2 (testigo)			Cámara 1 (tratamiento)		
		1 día	7 días	14 días	1 día	7 días	14 días
Tepetl no injertado (TN)	PcG ($\mu\text{mol g}^{-1}$)	4.32a	8.67b	7.82b	5.49a	17.48a	25.47a
	PcF ($\mu\text{mol g}^{-1}$)	1.38b	4.54b	5.57b	5.9a	9.62a	13.04a
	PcS ($\mu\text{mol g}^{-1}$)	0.19a	0.15b	0.53a	0.29a	0.63a	0.54a
	PcA ($\mu\text{mol g}^{-1}$)	1.54a	1.98a	1.12a	2.1a	1.62a	1.77a
Tepetl injertado (TI)	PcG ($\mu\text{mol g}^{-1}$)	5.74a	4.51b	5.23b	5.58a	14.71a	13.53a
	PcF ($\mu\text{mol g}^{-1}$)	4.8b	4.4b	5.15b	8.08a	11.2a	15.48a
	PcS ($\mu\text{mol g}^{-1}$)	0.17a	0.33a	0.42b	0.05b	0.1b	1.46a
	PcA ($\mu\text{mol g}^{-1}$)	1.72a	2.36a	1.33a	1.78a	0.88b	1.24a

Medias con la misma letra en la fila y día de muestreo no son significativamente diferente (prueba DMS).

Duke 7

El contenido de azúcares en este material, bajo las condiciones de temperatura y baja luminosidad de la cámara 1, registró un promedio de contenido de glucosa (PcG) significativamente mayores en las muestras de los días 1, 7 y 14 en las plantas no injertadas y las injertadas, en comparación al testigo, para el caso del contenido de fructosa (PcF) es significativamente mayor en los muestreos realizados el día 1, 7 y 14 de las plantas no injertadas y en las injertadas. En relación con el contenido de sacarosa (PcS), para las plantas no injertados es significativamente mayor solo en la muestra del día 1 y para las plantas injertadas es significativamente mayor solo en las muestras del día 1 y 7, finalmente, el promedio del contenido de almidón (PcA) en las plantas no injertadas solo mostró diferencia significativa en la muestra del día 7 y en los materiales injertados no se registraron diferencias significativas en las tres muestras (Cuadro 7).

Cuadro 7. Valores promedio de contenido de glucosa (PcG), de fructosa (PcF), de sacarosa (PcS) y de almidón (PcA) del material duke 7 no injertado e injertado.

Material	Variable	Cámara 2 (testigo)			Cámara 1 (tratamiento)		
		1 día	7 días	14 días	1 día	7 días	14 días
Duke 7 no injertado (DN)	PcG ($\mu\text{mol g}^{-1}$)	6.02b	5.93b	6.7b	17.03a	13.93a	12.48a
	PcF ($\mu\text{mol g}^{-1}$)	1.33b	4.36b	5.66b	7.52a	10.15a	13.63a
	PcS ($\mu\text{mol g}^{-1}$)	0.14b	0.22a	0.29a	0.23a	0.27a	0.25a

Material	Variable	Cámara 2 (testigo)			Cámara 1 (tratamiento)		
		1 día	7 días	14 días	1 día	7 días	14 días
Duke 7 injetado (DI)	PcA ($\mu\text{mol g}^{-1}$)	1.18a	0.79b	0.97a	1.55a	1.37a	0.88a
	PcG ($\mu\text{mol g}^{-1}$)	7.67b	10.3b	6.24b	22.02a	21.03a	12.41a
	PcF ($\mu\text{mol g}^{-1}$)	5.59b	6.46b	7.81b	13.59a	11.36a	15.88a
	PcS ($\mu\text{mol g}^{-1}$)	0.14b	0.1b	0.43a	0.46a	0.32a	0.13b
	PCA ($\mu\text{mol g}^{-1}$)	1.91a	1.94a	0.9a	1.67a	1.33a	1.05a

Medias con la misma letra en la fila y día de muestreo no son significativamente diferente (prueba DMS).

Conclusiones

El estrés por bajas temperaturas afecta el contenido de azúcares, aumentando la concentración de glucosa y fructosa significativamente en los brotes vegetativos de los materiales de aguacate de la raza mexicana (aceitoso, colecta 1, tepetl y duke 7) injertados y no injertados con la variedad 'Hass', asociándose a la tolerancia al frío como un osmoprotector natural.

Considerando que los materiales con mayor concentración de glucosa y fructosa bajo condiciones de frío fueron Duke 7 y Tepetl, se recomiendan para su establecimiento como portainjertos de la variedad 'Hass' en zonas con temperaturas que oscilen entre 15.61 °C promedio en el día y 4.40 °C promedio en la noche.

Los materiales que presentaron crecimiento bajo condiciones de frío fue aceitoso y colecta 1 injertados y sin injertar; sin embargo, el crecimiento de las plantas sin aumento en la concentración de azúcares (glucosa y fructosa) en los brotes vegetativos los hace más susceptibles a daños por frío.

Bibliografía

- 1 Baguma, Y. K.; Sun, Ch.; Ahlandsberg, S.; Mutisya, J.; Palmqvist, S.; Rubaihayo, P. R.; Magambo, M. J.; Egwang, T. G.; Larsson, H. and Jansson, C. 2003. Expression patterns of the gene encoding starch branching enzyme II in the storage roots of cassava (*Manihot esculenta crantz*). *Plant Sci.* 164(5):833-839.
- 2 Barrientos-Priego, A. F.; Muñoz-Pérez, R. B.; Borys, M. W. y Martínez-Damián, M. T. 2000. Cultivares y portainjertos del aguacate. *In: el aguacate y su manejo integrado.* 35-54 pp.
- 3 Bergh, B. O. 1992. The origin nature and genetic, improvement of avocado. *California Avocado Society Yearbook.* 76(1):61-75.
- 4 Crane, J. H.; Douhan, G. W.; Faber, B. A.; Arpia, M. L.; Bender, G. S.; Balerdi, C. F. and Barrientos, A. F. 2013. El aguacate. *Botánica. Cultivares y portainjertos. Producción y usos.* Ed. Universitarias de Valparaiso. Chile. 243-271 pp.
- 5 Coelho, F. S.; Fontes, P. C. R.; Puiatti, M.; Neves, J. C. L. y Silva, M. C. C. 2010. Dose de nitrogenio associada a produtividade de batata e índices do estado de nitrogenio na folha. *Revista Brasileira de Ciencia do Solo.* 34(4):1175-1183.
- 6 Dickson, R. E.; Tomlinson, P. T. and Isebrands, J. G. 2000. Allocation of current photosynthate and changes in tissue dry weight within northern red oak seedlings: individual leaf and flush carbon contribution during episodic growth. *Canadian Journal of Forest Research.* 30(8):1296-1307.

- 7 Geigenberger, P.; Kolbe, A. and Tiessen, A. 2005. Redox regulation of carbon storage and partitioning in response to light and sugars. *Journal of Experimental Botany*. 56(416):1469-1479.
- 8 Gianquinto, G.; Sambo, P. and Bona, S. 2003. The use of SPAD-502 chlorophyll meter for dynamically optimizing the nitrogen supply in potato crop. A methodological Approach. *Acta Horticulturae*. 32(607):197-204.
- 9 Hopkins, W. G. and Huner, N. 2004. Introduction to plant physiology. New York: John Wiley. 173-194 pp.
- 10 Knight, R. J. 2002. History, distribution and uses. *In*: Whiley, A. W.; Schaffer, B. and Wolstenholme, B. N. Ed. The avocado: botany, production and uses, 1st end. CAB International, Wallingford, UK. 1-14 pp.
- 11 Lahav, E. and Trochoulis, T. 1982. The effect of temperature on growth and dry matter production of avocado plants. *Australian Journal of Agricultural Research*. 33(3):549-558.
- 12 Lacono, F.; Buccella, A. and Peterlunger, E. 1998. Water stress and rootstock influence on leaf gas exchange of grafted and ungrafted grapevines. *Scientia Horticulturae*. 75(1):27-39.
- 13 Liu, X.; Mickelbart, M. V.; Robinson, P. W.; Hofshi, R. and Arpaia, M. L. 2002. Photosynthetic characteristics of avocado leaves. *Acta Horticulturae* . 575:865-874.
- 14 Lockard, R. G. and Schneider, G. W. 1981. Stock and scion relationships and the dwarfing mechanism in apple. *Horticultural reviews*. 3(7):315-375.
- 15 Marschall, M.; Süt#, S. and Sz#ke, S. 2019 Comparative ecophysiological study of the seasonally dependent non-structural carbohydrate pool of the fractal accumulating *Helianthus tuberosus*, *Cichorium intybus* and *Dactylis glomerata*. *Acta biol. Plant. Agriensis*. 7(1):81-115.
- 16 Mclauchlan, A.; Ogbonnaya, F. Ch.; Hollingsworth, B.; Mcneil M. D; Gale, K.; Henry, R. J.; Holton, T.; Morell, M.; Rampling, L.; Sharp, P.; Shariflou, M. R.; Jones, M. E. and Appels, R. 2001. Development of robust PCR-based DNA markers for each homoeo-allele of granule-bound starch synthase and their application in wheat breeding programs. *Aust. J. Agric. Res.* 52(11-12):1409-1416.
- 17 Mickelbart, M. V.; Mesleer, S. and Arpaia, M. L. 2007. Slinityinduced changes in ion concentration of Hass avocado trees on three rootstocks. *Journal of Plant Nutrition*. 30(1):105-122.
- 18 Minchin, P. E. and Lacoite, A. 2005. New understanding on phloem physiology and possible consequences for modelling long distance carbon transport. *New Phytol* 166(3):771-779.
- 19 Padilla, Ch. D. y Martínez, B. E. 2007. Factores involucrados en la distribución de azúcares en las plantas vasculares: comunicación entre los tejidos fuente y demanda. Departamento de bioquímica. Conjunto E. Facultad de Química. Universidad Nacional Autónoma de México (UNAM). 26(3):99-105.
- 20 Poirier, M.; Lacoite, A. and Améglio, T. 2010. A semi physiological model of cold hardening and dehardening in walnut stem. *Tree Physiol*. 30(12):1555-1569.
- 21 PROFECO. 2021. Producción de Aguacate. <https://www.gob.mx/profeco/documentos/para-aguacates-los-demexico?state=published#:~:text=En%202020%2C%20la%20p>.
- 22 Rolland, F.; Moore, B. and Sheen, J. 2002. Sugar sensing and signaling in plants. *Plant Cell*. S185-S205.
- 23 Taiz, L. and Zeiger, E. 2004. Fisiología vegetal. 3^{ra} Ed. Porto Alegre: Artmed. 709-719 pp.
- 24 Whiley, A. W. 1990. CO₂ assimilation of developing shoots of cv 'Hass' avocado (*Persea americana* Mill.) a preliminary report. South African avocado growers' association yearbook 13(1):28-30.

Azúcares resistentes a bajas temperaturas en portainjertos de aguacate

Journal Information
Journal ID (publisher-id): remexca
Title: Revista mexicana de ciencias agrícolas
Abbreviated Title: Rev. Mex. Cienc. Agríc
ISSN (print): 2007-0934
Publisher: Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias

Article/Issue Information
Date received: 01 November 2023
Date accepted: 01 February 2024
Publication date: 21 March 2024
Publication date: March 2024
Volume: 15
Issue: 2
Electronic Location Identifier: e3221
DOI: 10.29312/remexca.v15i2.3221

Categories

Subject: Artículo

Palabras clave:

Palabras clave:

fructosa
glucosa
'Hass'
segregante
tolerantes al frío

Counts

Figures: 7
Tables: 7
Equations: 0
References: 24
Pages: 0