

*Revista Electrónica Nova Scientia*

Fertirrigación con macronutrientes en  
manzano ‘Golden Delicious’: Impacto en  
rendimiento y calidad de fruto  
Fertigation with macronutrients in apple  
'Golden Delicious': Impact on yield and  
quality of fruit

**Juan Manuel Soto Parra<sup>1</sup>, Francisco Javier Piña Ramírez<sup>1</sup>,  
Esteban Sánchez Chávez<sup>2</sup>, Ramona Pérez Leal<sup>1</sup> y Moisés  
Basurto Sotelo<sup>1</sup>**

---

<sup>1</sup>Facultad de Ciencias Agrotecnológicas, Universidad Autónoma de  
Chihuahua.

<sup>2</sup>Centro de Investigación en Alimentación y Desarrollo, A.C. Unidad Delicias.

---

**México**

*Esteban Sánchez Chávez*. E-mail: [esteban@ciad.mx](mailto:esteban@ciad.mx)

## Resumen

**Introducción:** Ante la creciente escasez del agua y alto costo de insumos agrícolas, son indispensables alternativas tecnológicas que aumenten el rendimiento de los cultivos y mejoren la calidad de la fruta. La nutrición vegetal es esencial para incrementar la producción y mejorar la calidad y capacidad de conservación del fruto. El objetivo del estudio fue evaluar el efecto de la fertirrigación con macronutrientes en el rendimiento y la calidad de la manzana al momento de la cosecha y después de un período de almacenamiento en atmósfera controlada.

**Metodología:** El estudio se realizó en la Huerta “La Semilla” de la Facultad de Ciencias Agrotecnológicas de la Universidad Autónoma de Chihuahua, durante el ciclo de producción 2014. Se utilizaron árboles ‘Golden Delicious’ /MM111 plantados en 1990, para generar los tratamientos se utilizó un diseño factorial Taguchi L25 con 5 factores (los minerales evaluados) y 5 niveles (dosis  $\text{kg ha}^{-1}$ ) por cada factor: Nitrógeno (0, 60, 120, 180 y 240), fósforo (0, 24, 48, 72 y 96), potasio (0, 20, 40, 60 y 80), calcio (0, 48, 96, 144, 192) y magnesio (0, 10, 20, 30 y 40) y 5 repeticiones por cada tratamiento. Se midieron atributos de calidad (color, firmeza, sólidos solubles totales- SST, acidez titulable-AT y relación SST/AT) al momento de la cosecha (125 días después de completa floración) y al cabo de un período de almacenamiento de 5 meses en atmósfera controlada más un período adicional de 7 días a temperatura ambiente para simular vida de anaquel. Los resultados se analizaron por el método de superficies de respuesta máxima.

**Resultados:** El calcio, en una proporción cercana a 1:1 con nitrógeno, afectó de manera relevante la calidad de la fruta, observándose un mayor efecto durante el almacenamiento que al momento de la cosecha. El nitrógeno tuvo un efecto directo sobre la firmeza, SST, AT y relación SST/AT en cosecha, y en postcosecha en el color del fruto y la AT. El fósforo tuvo un mayor efecto en la firmeza en postcosecha que al momento de la cosecha, mientras que el potasio afectó el color en la cosecha y la acidez titulable en postcosecha. El efecto del magnesio fue moderado para acidez titulable en cosecha y postcosecha.

**Conclusión:** La dosis recomendada para obtener un alto rendimiento con una buena calidad del fruta en cosecha y capacidad de conservación en postcosecha fue 138N-45P-40K-110Ca-20Mg.

**Palabras Clave:** *Malus x domestica*; fertirrigación; producción; calidad de fruto

*Recepción:* 06-10-2015

*Aceptación:* 18-03-2016



## Abstract

**Introduction:** Water scarcity and high cost of agricultural inputs are problems that can be alleviated by the application of technologies that increase crop yields and improve the fruit quality. Plant nutrition is essential to reach both, high yields and good quality. Also, plant nutrition can improve the response of fruits to different storage technologies. The aim of the study was to evaluate the effect of macronutrient application by fertigation on apple crop yield and the quality of fruits at harvest and after a storage period in controlled atmosphere (CA).

**Methodology:** The study was conducted in the orchard “La Semilla”, a facility that belongs to the Faculty of Agrotechnological Sciences, Autonomous University of Chihuahua, Mexico during the 2014 production cycle. ‘Golden Delicious’ /MM111 trees planted in 1990 were used as experimental units and arranged in a factorial Taguchi L25 design, with five factors (the minerals evaluated) and 5 levels (doses in kg ha<sup>-1</sup>) for each factor: Nitrogen (0, 60, 120, 180 and 240), phosphorus (0, 24, 48, 72 and 96), potassium (0, 20, 40, 60 and 80), calcium (0, 48, 96, 144, 192) and magnesium (0, 10, 20, 30 and 40) and 5 replicates for each treatment. Quality attributes (color, firmness, total soluble solids-TSS, titratable acidity-TA and ratio TSS/AT) were determined at harvest (125 days after full bloom) and after a 5 months storage period in controlled atmosphere plus a 7 day period at room temperature to simulate shelf life. Results were analyzed by the method maximal response surfaces.

**Results:** Calcium, in a proportion 1:1 with nitrogen, was a relevant mineral to improve quality and this effect was more evident after the storage period in CA than at harvest. Nitrogen had a direct effect on firmness, TSS, TA and TSS/TA ratio at harvest and it has also an influence on color and TA in storage. Phosphorus had a greater effect on fruit firmness during storage than at harvest while potassium affected color at harvest and TA during storage. Magnesium had a moderate effect on TA at harvest and during the storage of apples.

**Conclusion:** The recommended dose for high yields, good quality of fruits and a good conservation capacity in CA of apples was 138N-45P-40K-110Ca-20Mg.

**Keywords:** *Malus x domestica*, fertigation, production, fruit quality.

## Introducción

El manzano (*Malus x domestica* Borkh) se cultiva en México en una superficie aproximada de 63 mil ha con una producción para 2013 de 859 mil ton que significaron una derrama económica de 4, 265 millones de pesos. El estado de Chihuahua cuenta con aproximadamente 28 mil ha que produjeron 685 mil ton -año récord sin precedentes- con un valor de 3, 238 millones de pesos; con el 43.3% de la superficie cultivada, la entidad aportó el 76 % del valor de la producción nacional, ubicándose como el principal productor en superficie y derrama económica (SIAP-SAGARPA, 2015).

Actualmente, una de las grandes preocupaciones de los productores de manzana es la relacionada con la nutrición vegetal (Domínguez-Díaz, 2015). Así, para la región manzanera del Estado de Chihuahua, la más tecnificada en el país, las desviaciones nitrogenadas representan el principal problema de nutrición con elementos mayores; el 30 % son sobrefertilizados y el 5 % presentan carencias. Estos datos son relevantes, ya que como se sabe, el N, P y K son los nutrientes más consumidos por las plantas y por lo tanto, con cierta frecuencia se convierte en un factor limitante para el desarrollo y crecimiento óptimo de las mismas. Por lo que, un buen entendimiento de las relaciones entre las respuestas del N, P y K sobre el cultivo del manzano es fundamental en el manejo de estos nutrientes. El crecimiento de los árboles, la floración, amarre, y crecimiento y calidad de los frutos son influenciados por el contenido de N, P y K en los árboles de manzano (Sierra-Moreno et al., 2010).

Ante la creciente escasez de recursos hídricos destinados para la agricultura y el alto costo de los insumos agrícolas, resulta indispensable buscar alternativas tecnológicas que reduzcan los costos de producción y que, al mismo tiempo, consigan altos rendimientos con la mayor calidad posible sin detrimento de los recursos naturales. En este sentido, el fertirriego ha resultado una técnica promisoriosa en agrosistemas hortícola intensivos para abastecer adecuadamente con agua y nutrientes a estos cultivos durante su ciclo de producción mediante el empleo de sistemas de microirrigación (Flores-Balderrama, 2008).

La fertirrigación es la aplicación de fertilizantes disueltos a través de un sistema de riego. Comúnmente se realiza a través de riego por goteo, también se puede realizar por medio de micro-aspersores. Los macronutrientes como el nitrógeno, potasio, fósforo, calcio y magnesio son los nutrientes más comunes aplicados en fertirrigación, pero los micronutrientes tales como el boro, zinc, hierro, manganeso y cobre pueden también ser aplicados a través del sistema de irrigación (Papadopoulos, 1995).

El concepto de aplicar fertilizantes a través del sistema de irrigación fue desarrollado en climas áridos como Israel y California donde el riego es regularmente aplicado. Actualmente, las nuevas plantaciones de alta densidad incorporan la fertirrigación como un importante componente del sistema de producción, por lo que es considerado como un método para promover el desarrollo de los árboles (Phene et al., 1985; Cadahia, 1998).

El sistema de fertirrigación es, hoy por hoy, el método más racional para realizar una fertilización optimizada, respetando el medio ambiente dentro de la denominada Agricultura Sostenible, sin embargo, se requieren trabajos de investigación bajo las condiciones edafoclimáticas que prevalecen en la región manzanera del Estado de Chihuahua.

Para conocer las necesidades de la planta y evitar la contaminación ambiental, el manejo de fertilizantes en huertos de manzano requiere que la demanda de la planta sea entendida y que los métodos de aportación sean eficientes (Tagliavini et al., 1996). La fertilización puede permitir una sincronización de la disponibilidad de nutrientes del suelo con los que la planta demanda, evitando así la deficiencia de nutrientes, incluso en períodos de alta absorción (Malaguti et al., 2006). Optimizar la nutrición mineral para conseguir un alto rendimiento y de buena calidad no requiere a menudo de una aplicación abundante de fertilizantes (Dris, 2002), ya que no hay una correlación lineal entre un aumento en la fertilización y el incremento de la cosecha; la producción y calidad, pueden ser económicas, convenientes y sustentables con el medio ambiente (Fallahi et al., 2001). Existe la posibilidad de obtener una producción de manzana de 80 a 100 ton/ha con una dosis correcta y moderada del fertilizante, suministrada equilibradamente a lo largo de todo el ciclo productivo y complementada con un uso eficiente del agua de riego (Gispert, 2000). El calcio es especialmente importante en frutos de manzano debido a que son almacenados por largos periodos y en estas circunstancias el efecto del mineral no puede ser sustituido por otros factores de almacenamiento (Wojcik, 2002). Los principales desórdenes fisiológicos que se ven afectados por calcio en el árbol son la mancha amarga, el corazón acuoso y la descomposición interna, estos tres problemas aumentan como consecuencia de una baja acumulación de calcio en el fruto (Westwood, 1993). En base a lo anterior, se evaluó el efecto de la fertilización edáfica con macronutrientes sobre la producción y calidad de manzana 'Golden Delicious' en cosecha y postcosecha.

## Materiales y Métodos

### Manejo del cultivo y diseño experimental

El estudio se desarrolló en la Huerta “La Semilla” de la Facultad de Ciencias Agrotecnológicas de la Universidad Autónoma de Chihuahua en árboles ‘Golden Delicious’ plantados en 1990 sobre patrón MM 111, en camas en hileras de 5 árboles de ancho por 30 de largo (150 árboles por cama, 20 camas en total, aproximadamente 3000 árboles) espaciados a 3X3 m. Se utilizó un experimento factorial Taguchi L25, con cinco repeticiones (árboles), de esta manera, se utilizaron 125 unidades experimentales (árboles) en un área útil de 0.116 ha por tratamiento, los factores y niveles de aplicación en kg ha<sup>-1</sup> fueron: Nitrógeno (N) 0, 60, 120, 180, 240; fósforo (P) 0, 24, 48, 72, 96; potasio (K) 0, 20, 40, 60, 80; calcio (Ca) 0, 48, 96, 144, 192; y magnesio (Mg): 0, 10, 20, 30 y 40. Las fuentes utilizadas para cada uno de los nutrientes fueron: N, Urea (46 % N); P, ácido fosfórico (21.4 % P, densidad 1.61 g/ml); K, tiosulfato de potasio (10.5 % K, densidad 1.46 g/ml); Ca, cloruro de calcio (31.2 % Ca); Mg, sulfato de magnesio (9.4 % Mg). La fertilización se fraccionó en seis aplicaciones en distintas concentraciones para cada nutriente según la fenología de la planta (Cuadros 1 y 2).

Cuadro 1. Fracciones de macronutrientes aplicados.

Aplicación	Macronutrientes				
	N	P	K	Ca	Mg
1	1/8	1/4	1/8	1/8	1/4
2	1/4	1/4	1/8	1/8	1/4
3	1/8	1/8	1/4	1/4	1/8
4	1/4	1/8	1/8	1/4	1/8
5	1/8	1/8	1/4	1/8	1/8
6	1/8	1/8	1/8	1/8	1/8
<b>Suma</b>	1	1	1	1	1

Cuadro 2. Etapas fenológicas y fechas de aplicación de macronutrientes.

Aplicación	Flor - Fruto	Raíz - Brote	Fecha
1	Prebrotación	Desarrollo radical	19 Marzo
2	División celular	Crecimiento brote	05 de mayo
3	Expansión celular	Expansión foliar Maduración	21 de mayo
4	Diferenciación yemas	Brote	4 de Junio
5	Agrandamiento celular	Agostamiento madera	16 de Julio
6	Preparación maduración	Recarga	30 de Julio

La fecha de completa floración fue el 24 de abril de 2011.

Las condiciones de almacenamiento de la manzana fue en un frigorífico comercial de atmósfera controlada donde la temperatura fue 0 °C, humedad relativa del 90% y la composición de la atmósfera fue: 2% de O<sub>2</sub> y 5% de CO<sub>2</sub>.

### Variables evaluadas

La cosecha se realizó el 27 de agosto de 2011, 125 días después de completada la floración (DDCF, ocurrida el 24 de abril). Además del rendimiento, se evaluaron los parámetros de calidad de fruto en cosecha y postcosecha en una muestra de 5 frutos por cada repetición, antes de su análisis los frutos se dejaron 7 días a temperatura ambiente para simular vida de anaquel. Para la determinación del color y la apariencia de la epidermis se tomaron dos medidas por fruto (en lados opuestos de la zona ecuatorial) con base en la escala desarrollada por Hernández et al. (1999): 1) verde; 2) verde rugoso lenticelas ásperas; 3) verde ceroso; 4) transición hacia el color amarillo; 5) amarillo blanquecino (amarfilado) y 6) amarillo con tendencia hacia el anaranjado, para hacer más objetiva la escala se expresó como porcentaje. Se determinó la firmeza de la pulpa del fruto con un penetrómetro Effe-Gi 327 de 0-28 lb in<sup>2</sup> y diámetro de punzón de 11.3 mm, tomando dos lecturas en los mismos sitios donde se midió el color y obteniendo el promedio de los valores transformados a Newtons al multiplicar por el factor 4.448. Para el contenido de sólidos solubles totales se obtuvo el jugo de dos gajos de cada fruto (aquellos en donde se introdujo el penetrómetro) y se midió con un refractómetro Atago de 0-32° Brix, previamente calibrado con agua destilada. Para la determinación de la acidez titulable se titularon 10 ml del jugo a partir del cual se determinaron los sólidos solubles totales, se le adicionaron 5 gotas de indicador de fenoltaleína, titulándose con una

solución 0.1 N de NaOH hasta color rosa; el resultado se expresó en porcentaje de ácido málico utilizando la ecuación:

$$\text{Acidez titulable en \% de ácido málico} = \left[ \frac{V_{\text{NaOH}} (\text{ml}) \times N_{\text{NaOH}} (\text{meq/ml}) \times 0.067 \text{ g/meq}}{V \text{ jugo (ml)}} \right] \times 100.$$

Se obtuvo además el cociente azúcar/acidez al dividir el contenido de sólidos solubles totales entre el contenido de ácido málico.

### **Análisis estadístico**

El análisis de los resultados se llevó a cabo aplicando la metodología de superficies de respuesta máxima, en donde se estima una función cuadrática (con un único experimento) y de ella se obtiene la combinación óptima (SAS, 1989; Vargas et al., 1991).

### **Resultados y Discusión**

La manzana del Estado de Chihuahua se ha caracterizado por su calidad, además de su presencia en el mercado por su sabor, consistencia, frescura y forma (Mancera-López et al., 2007). La calidad de un fruto fresco está relacionada con sus características físicas (color, firmeza, tamaño, etc.); su composición química, la cual determina el gusto y sabor característico y también las concentraciones de algunos metabolitos promotores de la salud (Sams, 1994; Wilson et al., 1999; Botia et al., 2002).

En el Cuadro 3 se presenta la superficie de respuesta para el color del fruto en la cosecha, a excepción de magnesio, todos los factores contribuyeron significativamente al ajuste de la regresión con tendencia lineal para N, P, K y Ca, y cuadrática para los dos primeros. El óptimo se considera de 45 a 50%, que se consigue para el primer valor con 91N-38P-49K-88Ca-21Mg, para alcanzar el segundo valor se requiere disminuir 30% N y 15% P, e incrementar K 15%, en tanto que Mg permanece constante. Destaca el comportamiento de Ca, con el cual se lograron los valores óptimos de color cuando su relación con el nitrógeno fue desde 1:1 hasta mayor de 1:1¼. El P mantuvo una relación constante de 2/5 N:K desde 2:1 hasta 1¼: 1. Y la concentración más alta fue para Ca con 84 kg ha<sup>-1</sup>. El óptimo de color de fruto en cosecha de 45 a 50%, corresponde a la coloración de transición verde rugoso lenticelas ásperas-verde ceroso, el cual confiere una apariencia fresca que deberá estar asociada a una buena cantidad de azúcar y un balance azúcar-acidez adecuado para que el fruto resulte de un gusto agradable en poscosecha; este valor se consigue con una fertilización 79-34-52-86-22 y una relación nutricional con referencia al nitrógeno para fósforo, potasio,

calcio y magnesio de 2/5, 2/3,1:1 y 1/3, respectivamente. La proporción N:Ca 1:1 asegurará un suministro constante de este último elemento para obtener una buena firmeza en cosecha, capacidad de almacenamiento y vida de anaquel, a la vez que contribuye a disminuir la incidencia de bitter pit, desorden fisiológico que en los últimos años ha aumentado su intensidad y frecuencia con la pérdida del valor comercial de la fruta.

Cuadro 3. Superficie de respuesta<sup>1</sup> máxima para color de fruto (%) de manzana 'Golden Delicious' en cosecha.

Regresión		Factores (kg ha <sup>-1</sup> )				
		Nitrógeno	Fósforo	Potasio	Calcio	Magnesio
		N	P	K	Ca	Mg
Linear ( L )	0.7214 <sup>2</sup>	0.0547 <sup>2</sup>	0.0036	0.0144	0.0052	0.1540
Cuadrática ( C )	0.9783	L <sup>3</sup> , C	C	L	L	
Productos	0.0073	P <sup>4</sup> , K, Ca	K			
Modelo	0.0539					
R <sup>2</sup>	0.2125		C.V.	7.01	μ	44.04
%	Error E.					
40.8	1.36	120.0 <sup>5</sup>	48.0	40.0	96.0	20.0
41.5	1.23	113.7	45.7	42.4	92.7	20.4
42.4	1.07	106.3	43.3	44.6	90.6	20.6
43.6	0.95	98.6	40.8	46.8	89.0	20.9
45.0	1.01	90.9	38.3	48.9	87.7	21.2
46.7	1.31	83.1	35.8	51.0	86.5	21.4
48.7	1.82	75.4	33.3	53.2	85.3	21.7
51.0	2.45	67.7	30.7	55.3	84.3	21.9
Predicho punto fijo		Valores críticos decodificados				
40.43		151.67	45.65	37.85	93.67	17.58

<sup>1</sup>Análisis de cordillera (Ridge), incluye aquellos valores que se consideran óptimos para esa variable en cosecha de acuerdo a NOM-FF-061-SCFI-2003 y/o experiencia de años anteriores. μ Media general, C.V. Coeficiente de variación, R<sup>2</sup> Coeficiente de determinación. <sup>2</sup>probabilidad de F: Pr ≥ 0.05 No significativo, Significativo 0.05 ≤ Pr ≤ 0.01, altamente significativo Pr ≤ 0.01. <sup>3</sup>Respuesta (Pr > |t|) significativa lineal (L), cuadrática (C); <sup>4</sup>Productos significativos de ese nutriente con el resto. Dentro del rango de respuesta, el recuadro señala los valores más adecuados.

En Chihuahua la mayor parte de la cosecha de manzana generalmente se almacena como una medida regulatoria de los mercados, a lo que hay que añadir que durante los últimos años la manzana de Estados Unidos ha abarrotado el mercado nacional en períodos cada vez más cercanos a la época de cosecha, situación que causó crisis en 2013 (año de producción récord con 34 millones de cajas) cuando E.U.A. introdujo alrededor de 11 millones de cajas de manzana, lo que además de la competencia por el mercado, significó la disminución de espacios de almacenamiento refrigerado. Esta situación será cada vez más frecuente, la forma de enfrentarla será incrementando los rendimientos (mayor a 50 toneladas por hectárea) con costos de producción cada vez menores, pero lo más importante será mejorar sustancialmente la calidad de la manzana en cosecha, mejorar su capacidad de almacenamiento y conseguir una vida de anaquel razonable (Domínguez-Díaz, 2015).

La respuesta de color en postcosecha (Cuadro 4) a los nutrientes aplicados fue mayor que en cosecha según lo indica el coeficiente de determinación ( $R^2$ ), el cual ascendió de 21% en la cosecha a 82% en postcosecha, con una contribución significativa al ajuste lineal de N, Ca y Mg e interacción de N, P y K con Ca y Mg. El color óptimo para postcosecha se considera de 56 a 66% (verde ceroso avanzado) el cual denota frescura y corresponde a una madurez atractiva para el comprador (no muy verde –inmadurez- ni muy amarillo –sobremadurez). El nivel de partida del valor de color (57%) estuvo asociado con 130N-48P-31K-114Ca-20Mg, nuevamente se conserva la relación N-Ca 1:1, N-P de 1/3 hasta 1/2, potasio de ¼ aumentó hasta 1/2 mientras que la relación con magnesio fluctuó desde 1/7 hasta 1/5. La mayor concentración de N y Ca (con relación 1:1) probablemente denote mayores necesidades de ambos elementos para mantener el color óptimo en postcosecha.

Cuadro 4. Superficie de respuesta<sup>1</sup> máxima para color de fruto (%) de manzana 'Golden Delicious' en postcosecha.

Regresión		Factores kg ha <sup>-1</sup>				
		Nitrógeno	Fósforo	Potasio	Calcio	Magnesio
		N	P	K	Ca	Mg
Linear ( L )	<.0001 <sup>2</sup>	<.0001 <sup>2</sup>	0.0016	0.0042	0.0063	0.0012
Cuadrática ( C )	<.0001	L, C <sup>3</sup> ,			L	L
Productos	0.0010	K <sup>4</sup> , Ca	Mg	Ca, Mg		
Modelo	<.0001					
R <sup>2</sup>	0.8228	0.7426	C.V.	9.52	μ	67.40
%	Error E.					
56.5	3.47	130.2	47.6	31.4	114.1	19.5
57.9	3.10	135.9	48.0	35.4	105.2	19.8
29.2	2.99	129.8	48.3	38.2	99.4	19.9
60.0	2.84	120.0	48.0	40.0	96.0	20.0
63.3	2.59	109.9	47.3	41.7	93.1	20.2
66.0	2.27	99.8	46.3	43.3	90.5	20.4
69.1	1.98	89.7	45.2	44.9	88.1	20.6
72.8	1.91	79.7	44.0	46.6	85.8	20.9
76.9	2.29	69.7	42.7	48.2	83.7	21.2
Predicho punto fijo		Valores críticos decodificados				
55.71		182.21	37.41	31.55	116.06	28.69

<sup>1</sup>Análisis de cordillera (Ridge), incluye aquellos valores que se consideran óptimos para esa variable en cosecha de acuerdo a NOM-FF-061-SCFI-2003 y/o experiencia de años anteriores. μ Media general, C.V. Coeficiente de variación, R<sup>2</sup> Coeficiente de determinación. <sup>2</sup>probabilidad de F: Pr ≥ 0.05 No significativo, Significativo 0.05 ≤ Pr ≤ 0.01, altamente significativo Pr ≤ 0.01. <sup>3</sup>Respuesta (Pr > |t|) significativa lineal (L), cuadrática (C); <sup>4</sup>Productos significativos de ese nutriente con el resto. Dentro del rango de respuesta, el recuadro señala los valores más adecuados.

La calidad del fruto involucra distintos parámetros que en su conjunto le confieren el toque distintivo y le convierten en atractivo, paladeable, crujiente, de sabor característico y sobre todo fesco, y con una capacidad de almacenamiento y vida de anaquel suficientes para una comercialización adecuada, conservando sus propiedades intrínsecas a través del tiempo.

Bajo esta óptica sería difícil definir cuál de las propiedades resulta ser más relevante y sobre la que se deberá poner mayor énfasis, sin embargo, a la luz de la competencia que representa la manzana de importación, queda claro que deberemos tener un fruto que mantenga su frescura, capacidad de manejo sin daños colaterales como marcas, fricciones y magulladuras, crujiente y jugosa, pero sobre todo que conserve su característica distintiva que presenta un freno a la manzana de importación: buen balance azúcar-acidez y aroma típico. En el presente estudio, las variables críticas fueron firmeza, acidez titulable y relación azúcar-acidez, las que están asociadas con las preferencias del comprador dependen en gran medida de las condiciones ambientales y del manejo del cultivo.

Un resumen de todas las variables en cosecha (incluye rendimiento) y postcosecha se presenta en el Cuadro 5. Para mantener un porcentaje de color adecuado en postcosecha, se necesita un suplemento adicional con respecto a cosecha para N de 80 a 115 kg ha<sup>-1</sup>, P de 35 a 47 kg ha<sup>-1</sup>, Ca de 86 a 102 kg ha<sup>-1</sup>, en tanto que K de 45 a 37 kg ha<sup>-1</sup> y Mg de 22 a 230 kg ha<sup>-1</sup>, por lo que las necesidades son mayor en postcosecha. La aplicación de estos nutrientes deberá enfocarse a asegurar un abasto preferentemente desde mediados hacia finales de la estación de desarrollo del fruto, mientras que si las necesidades son menores en postcosecha, entonces la aplicación del nutriente deberá preferentemente hacerse desde inicios hasta mediados del desarrollo del fruto, estas acciones deberán compaginarse con la promoción de la diferenciación y formación de flores en el año previo y con el mantenimiento de la cosecha potencial en el año actual.

Cuadro 5. Niveles de macronutrientes para la respuesta máxima en rendimiento y calidad de la manzana 'Golden Delicious' en cosecha y postcosecha.

	Calidad de fruto			Intervalo macronutriente kg ha <sup>-1</sup>				
	Atributo / R <sup>2</sup>	Rango	Media	N	P	K	Ca	Mg
Rendimiento t ha <sup>-1</sup>	Cosecha	55.9	64.0	120.0	48.0	40.0	96.0	20.0
	0.5016	72.2		174.0	17.5	17.5	95.0	15.6
		↑↑		↑↑↑	↓↓↓↓	↓↓↓	→	↓
Color %	Cosecha	45.0	40.0	90.9	38.3	48.9	87.7	21.2
	0.2125	51.0		67.7	30.7	55.3	84.3	21.9
		↑		↓↓	↓	↑	←	→
	Postcosecha	56.5	67.4	130.2	47.6	31.4	114.1	19.5
0.8228	66.0	99.8		46.3	43.3	90.5	20.4	
	↑		↓↓	←	↑↑	↓	→	
Firmeza N	Cosecha	72.9	83.6	86.6	49.1	24.2	129.8	18.9
	0.2004	82.7		120.0	48.0	40.0	96.0	20.0
		↑		↑↑	←	↑↑↑↑	↓↓	→
	Postcosecha	57.8	53.3	83.4	55.8	27.4	112.2	19.0
0.2993	61.8	50.2		59.6	13.2	131.3	17.1	
	→		↓↓	→	↓↓↓	↑	←	
Sólidos Solubles ° Brix	Cosecha	12.0	11.7	95.9	51.7	33.4	108.0	19.4
	0.3464	13.0		51.7	53.1	22.0	125.3	18.1
		→		↓↓↓	→	↓↓	↑	←
	Postcosecha	12.1	11.7	66.6	48.2	43.5	79.6	22.4
0.4757	13.0	24.2		47.5	43.6	62.4	24.1	
	→		↓↓↓↓	←	→	↓	→	
Acidez titulable %	Cosecha	0.6534	0.63	95.5	50.4	31.8	98.4	21.2
	0.2164	0.7441		38.4	49.8	13.1	116.0	24.1
		↑		↓↓↓↓	←	↓↓↓	↑	↑
	Postcosecha	0.6233	0.57	120.0	48.0	40.0	96.0	20.0
0.4613	0.6849	114.8		48.7	61.6	114.5	23.4	
	↑		←	→	↑↑↑	↑	↑	
Relación SST/AT	Cosecha	18.6		124.7	47.7	41.7	103.6	20.4
	0.1399	19.5		166.5	43.0	46.9	132.2	27.9
		→		↑↑	↓	↑	↑↑	↑↑
	Postcosecha	21.5	18.7	89.3	48.4	30.8	114.8	18.8
0.5036	25.3	61.9		49.9	25.3	128.3	18.5	
	↑		↓↓	→	↓	↑	→	
Medias	Cosecha			93.4	46.2	38.0	108.1	21.3
	Postcosecha			84.0	50.0	36.0	104.4	20.3
		<b>Media General</b>		<b>138.0</b>	<b>45.0</b>	<b>40.0</b>	<b>110.</b>	<b>20.0</b>

Cada flecha, considera 15% de incremento (↑) o decremento (↓), respectivamente; triángulo en negrillas significa 100% de incremento (▲) o decremento (▼); flechas horizontales significan decremento (←) o incremento (→) tenues por lo que se pueden considerar sin cambio. La media pondera el efecto del

macronutriente según la importancia de cada atributo dentro del proceso de calidad: firmeza y acidez titulable su valor es 1 (de mayor importancia); para color es 10% (el valor mayor por 0.90 y el valor menor por 1.10), para SST y relación SST/AT es 5% para cada uno. Los valores en negrillas fueron los que se utilizaron para obtener los valores preponderantes. <sup>1</sup>Preponderante fisiológico se obtiene a partir de las medias de los valores señalados en negrillas.

Las variables que necesitan mayor aporte de N en postcosecha (mediados a finales de desarrollo del fruto) son color y acidez titulable, en tanto aquellas que requieren un suplemento al inicio y mediados de desarrollo del fruto son firmeza, sólidos solubles y la relación azúcar-acidez, ésta última fue la que registró las mayores necesidades de N con 145 kg ha<sup>-1</sup> y la que registró el menor requerimiento fue sólidos solubles con 67 kg ha<sup>-1</sup>, ambas en cosecha, los correspondientes valores para postcosecha fueron 118 kg ha<sup>-1</sup> N para acidez titulable y color y 46 kg ha<sup>-1</sup> N para sólidos solubles.

Por lo tanto, la influencia preponderante del N se concentra en la acidez titulable y la relación azúcar-acidez (130 kg ha<sup>-1</sup> N en postcosecha y cosecha, respectivamente) y la de menor influencia fue sólidos solubles totales (56 kg ha<sup>-1</sup> N, en ambas etapas). En el caso de fósforo, su mayor necesidad se registró para la firmeza en postcosecha con 58 kg ha<sup>-1</sup> de P y las menores necesidades para color de fruto en cosecha con 35 kg ha<sup>-1</sup> de P. Destacan mayores necesidades en postcosecha para color y firmeza, mientras que las demás variables permanecen más o menos constantes en ambas etapas. Para potasio, la mayor concentración de aplicación se registró con 52 kg ha<sup>-1</sup> K para color en cosecha y acidez titulable en postcosecha, y la menor necesidad fue para firmeza de la pulpa tanto en cosecha como en postcosecha. Con respecto a Calcio, su influencia definitivamente fue de mayor alcance y diversidad, se requiere para mayor firmeza en cosecha y postcosecha con alrededor de 120 kg ha<sup>-1</sup> Ca, también para acidez titulable y relación azúcar-acidez 110 kg ha<sup>-1</sup>; asimismo, esta última cantidad para alcanzar valores adecuados de azúcar en cosecha y conservar color en postcosecha, por lo que su distribución es prácticamente a lo largo de toda la estación de desarrollo del fruto.

Con el propósito de conseguir ambas cualidades, un buen rendimiento y una buena calidad a través del manejo nutricional, para un rendimiento promedio de 64 t ha<sup>-1</sup> se requieren 146N-32P-28K-95Ca-20Mg ha<sup>-1</sup>, destaca nuevamente la alta proporción de Ca:N que llega a ser de 2/3, lo que de por sí habla de la relevancia que tiene este nutrimento en el rendimiento y calidad, dada su importancia sobre la prevención de desórdenes fisiológicos como bitter pit (mancha amarga), de su importancia en la recuperación de la fertilidad del suelo, y en la prevención de enfermedades (Vander y Beer, 1999).

El hecho de que las necesidades de nitrógeno se incrementen conforme el rendimiento aumenta, indica la necesidad de este nutriente a lo largo de la estación, lo que converge en una mayor relación azúcar-acidez en cosecha y acidez titulable en postcosecha, también indica que las necesidades para una mejor calidad en cosecha y postcosecha son mayores en un 30% con respecto a aquellas de rendimiento; y de la misma manera que en el caso de nitrógeno, se requiere alrededor de un incremento de ese porcentaje para obtener un mayor rendimiento de fruta de calidad. Ese mismo porcentaje se requeriría para mayor calidad después de rendimiento en el caso de fósforo y potasio y alrededor de 15% para mejorar calidad después de rendimiento en el caso de magnesio, esos porcentajes adicionales deberán preferentemente ser distribuidos desde inicios a mediados o bien de mediados hacia finales de la estación de desarrollo según se requiera mayor efecto en cosecha o postcosecha, respectivamente. Finalmente, la dosis general de fertilización con macronutrientes para esta variedad fue 138-45-40-110-20 kg ha<sup>-1</sup>, las respectivas proporciones con respecto a N fueron 1/3, 1/4, 4/5, 1/8 para P, K, Ca y Mg respectivamente.

### **Conclusiones**

La dosis para alto rendimiento con buena calidad del fruto en cosecha y capacidad de conservación en postcosecha fue 138N-45P-40K-110Ca-20Mg. Se registró un mejoramiento en la calidad de la respuesta de cosecha a postcosecha observado tanto por el coeficiente de determinación como en la intensidad de la respuesta. El aporte de aquellos nutrientes cuyo efecto fue mayor en cosecha, deberá hacerse mayormente desde inicios a mediados de la estación de desarrollo del fruto, mientras que el de aquellos nutrientes con mayor efecto en postcosecha, deberá hacerse mayormente desde mediados a finales de la estación, y si su efecto es en ambas etapas, su aportación deberá ser a lo largo de la estación de desarrollo del fruto. Nitrógeno sobresalió para firmeza, sólidos solubles y relación azúcar acidez en cosecha y en postcosecha para color de fruto y acidez titulable; fósforo tuvo un mayor efecto para firmeza en postcosecha, mientras que potasio afectó color en cosecha y acidez titulable en postcosecha; el efecto de magnesio fue moderado para acidez titulable en cosecha y postcosecha.

### **Referencias**

Botia M, Alcaraz-López C, Alcaraz CF, Riquelme F. 2002. Effect of the foliar application of sprays containing calcium, amino acid and titanium on capsicum (*Capsicum annuum* L. cv

Olmo) fruit quality. Memorias del IX Simposio Ibérico sobre nutrición mineral de las plantas. Pp: 203-205.

Cadahia LC. 1998. Fertirrigación: Cultivos hortícolas y ornamentales. Editorial Mundi-Prensa. Madrid. 1998. 475 p.

Domínguez-Díaz ME. 2015. Producción de manzano bajo un sistema sustentable de fertilidad del suelo. Tesis de Maestría en Ciencias de la Productividad Frutícola. Facultad de Ciencias Agrotecnológicas. Universidad Autónoma de Chihuahua. 72 p.

Dris R. 2002. Crop Management and sustainable production. In: Plant Nutrition Growth and Diagnosis, Editors Dris R., Abdekaziz F.H., Jain S.M. p73-76.

Fallahi E. W., Colt W. M., Fallahi B. 2001. Optimum ranges of leaf nitrogen for yield, fruit quality, and photosynthesis in 'BC-2 Fuji' apple. Journal of the American Pomological Society. University Park. 55(2):68-76.

Flores Plascencia JB. 2007. Respuesta de la fertirrigación fosfatada sobre el estado nutricional del manzano 'Golden Delicious'. Tesis de Maestría en Ciencias de la Productividad Frutícola. Facultad de Ciencias Agrotecnológicas. Universidad Autónoma de Chihuahua. 60 p.

Gispert F. J. R. 2000. La fertirrigación en el cultivo del manzano. Revista Fruticultura Profesional. p83, 81-93.

Hernández R. A.P., J.M. Soto, J.X. Uvalle, R.M. Yáñez, E. Sánchez, L. Romero. 1999. Contenido nutricional foliar y calidad de frutos en manzano 'Golden Delicious' como resultado de las aplicaciones de calcio durante el desarrollo del fruto. Editorial Plácido Cuadros S.L. Granada, España. 182 p.

Mancera-López MM, Soto Parra JM, Sánchez E, Yáñez Muñoz RM, Montes Domínguez F, Balandrán Quintana RR. 2007. Caracterización mineral de manzana Red Delicious y Golden Delicious de dos países productores. Tecnociencia Chihuahua 1(2): 6-17.

Malaguti D., Rombola A. D., Quartieri M., Lucchi A., Inderst C., Marangoni B., and Tagliavini M. 2006. Effects of the Rate of Nutrients by Fertigation and Broadcast Application in 'Gala' and 'Fuji' Apple. *Acta Horticulturae* 721:165-172.

Papadopoulos I. 1995. Fertigation-chemigation in protected agriculture. *Cahiers Options Mediterraneennes*. Vol 31: pp. 275-291.

Phene CJ, Beale DW. 1985. High-frequency irrigation for water nutrient management in humid region. *Soil Society of America Journal*. 40: 430-436.

Sams CE. 1994. Management of postharvest disease resistance in horticultural crops. *Hort Science* 29 (7): 746-749.

SAS. 1989. SAS/STAT User's guide. Version 6; SAS Institute. Cary, NC, USA: 1028-1056.

SIAP-SAGARPA. 2015. Cierre de la producción agrícola por cultivo 2013. SAGARPA. <http://www.siap.gob.mx/agricultura-produccion-anual/> Fecha de consulta: Enero 29, 2016.

Sierra Moreno J, Soto Parra JM, Sánchez E, Yáñez Muñoz RM, Montes Domínguez F, García Bañuelos ML, Basurto Sotelo M, Pérez Leal R. 2010. Aplicación de macronutrientes mediante fertirrigación en manzano 'Golden Delicious': Producción y acabado de fruto. Editorial Plácido Cuadros. Granada, España. 89 p.

Tagliavini M., Scudellazi D., Marangoni B., Toselli M. 1996. Nitrogen fertilization management in orchards to reconcile productivity and environmental aspects. *Fert. Res.* 43:93-102.

Vander Z., Beer. 1999. Fire Blight-its Nature, Prevention, and Control. USDA.

Vargas H. M., Zarate D. L. G. P., Burguete H., F. 1991. Factoriales fraccionados y superficie de respuesta, uso de paquetes estadísticos para microcomputadoras. *Monografías y Manuales de Estadística y Cómputo*. Vol.10 No. 1. p: 79-88.

Westwood M. N. 1993. Fruticultura de zonas templadas. Versión española de Luis Rallo Romero, Fernando Pérez Camacho, Juan M. Caballero Reig, Ricardo Fernández Escobar, Diego Barranco Navero. Ediciones Mundi-Prensa. Madrid, España.

Wilson LG, Boyette MD, Estes EA. 1999. Postharvest handling and cooling of fresh fruits, vegetables and flowers for a small farms. Hort Info. Leaf. No. 800-3. Postharvest Handling of Horticultural Crops. North Carolina Cooperative Extension Service. pp: 55-86.

Wojcik P. 2002. Yield and 'Jonagold' apple fruit quality as influenced by spring sprays with comercialrosatop material containing calcium and boron. Journal of Plant Nutrition. 25(5):999-1010.