



COLEGIO DE POSTGRADUADOS

INSTITUCIÓN DE ENSEÑANZA E INVESTIGACIÓN EN CIENCIAS AGRÍCOLAS

**CAMPUS MONTECILLO
POSTGRADO DE RECURSOS GENÉTICOS Y PRODUCTIVIDAD
FRUTICULTURA**

**RESPUESTA DEL MANZANO 'AGUA NUEVA' A DISTINTAS DOSIS DE NPK
BAJO EL SISTEMA DE CULTIVOS INTERCALADOS**

TELÉSFORO SALVADOR MARTÍNEZ

**T E S I S
PRESENTADA COMO REQUISITO PARCIAL
PARA OBTENER EL GRADO DE**

MAESTRO EN CIENCIAS

MONTECILLO, TEXCOCO, EDO. DE MEXICO

2013

La presente tesis titulada: **RESPUESTA DEL MANZANO 'AGUA NUEVA' A DISTINTAS DOSIS DE NPK BAJO EL SISTEMA DE CULTIVOS INTERCALADOS**, realizada por el alumno **Telésforo Salvador Martínez**, bajo la dirección del Consejo Particular indicado, ha sido aprobada por el mismo y aceptada como requisito parcial para obtener el grado de:

MAESTRO EN CIENCIAS

RECURSOS GENÉTICOS Y PRODUCTIVIDAD FRUTICULTURA

CONSEJO PARTICULAR

CONSEJERO:



DR. JOSÉ ISABEL CORTÉS FLORES

ASESOR:



DR. ANTONIO TURRENT FERNÁNDEZ

ASESOR:



DR. ALFREDO LÓPEZ JIMÉNEZ

Montecillo, Texcoco, Edo. de México, Julio de 2013.

RESPUESTA DEL MANZANO 'AGUA NUEVA' A DISTINTAS DOSIS DE NPK BAJO EL SISTEMA DE CULTIVOS INTERCALADOS

Telésforo Salvador Martínez, MC

Colegio de Postgraduados, 2013

RESUMEN

En los sistemas agrícolas, el suministro adecuado de nutrientes a cada especie vegetal que lo componen, es uno de los factores que define su productividad. Con el objetivo de evaluar el efecto del nitrógeno (N), fósforo (P) y potasio (K) en el crecimiento vegetativo, rendimiento y calidad de fruto del manzano 'Agua Nueva'/M106/manzano criollo de Huejotzingo, Puebla, bajo el sistema de cultivos intercalados, se estudiaron cinco niveles de cada uno. El experimento de milpa (maíz y frijol) intercalada con árboles de manzano, inició en el año 2002 en el Campo Experimental Valle de México (CEVAMEX) del INIFAP. El presente trabajo incluyó solamente los años 2010 y 2011. Dosis intermedias de N y P y baja de K (100-40-64 g de N, P₂O₅ y K₂O por árbol por año) promovieron equilibrio entre crecimiento vegetativo, rendimiento y calidad de fruto del manzano. La interacción N x P fue positiva en el amarre de fruto en los dos años, con mayor influencia del N en el año 2011. El P fue positivo para el tamaño, peso fresco y sólidos solubles totales de los frutos, pero incrementó relación N/Ca, disminuyendo la firmeza del fruto. Con el incremento del N sólo o con P, se afectaron negativamente el número de puntos de fructificación y el índice de Thiault; sin embargo, la firmeza del fruto y el porcentaje de amarre de fruto se incrementaron cuando ambos elementos fueron aplicados. No obstante que el suelo no era deficiente en K, el tamaño de fruto y el pH en los años 2010 y 2011, respectivamente fueron incrementados con la aplicación de K.

Palabras clave: Fertilización, manzano, crecimiento vegetativo, rendimiento y calidad de fruto, cultivos intercalados

RESPONSE OF APPLE 'AGUA NUEVA' WITH DIFERENT DOSES OF NPK UNDER CROP SYSTEM INTERCROPING

Telésforo Salvador Martinez, MC

Colegio de Postgraduados, 2013

ABSTRACT

In farming systems, supplying the right amounts of nutrients is a key factor to obtain the potential productivity of species components. In order to evaluate the effect of nitrogen (N), phosphorous (P), and potassium (K) on vegetative growth, yield and fruit quality of apple 'Agua Nueva'/MM106/local apple "Huejotzingo" Puebla, under intercropping system, five rates of each one were evaluated. The experiment "Milpa (maize and beans) intercropped whit apples trees, was initiated in 2002, at the Campo Experimental Valle de México (CEVAMEX) of INIFAP. This work included only years 2010 and 2011. Intermediate rates of N and P, and lower of K (100-40-64 g of N, P₂O₅ and K₂O per tree per year), enhanced the balance between vegetative growth fruit yield and fruit quality of apple tree. Interaction N x P was positive on fruit set in both years, whit a greater effect of N in year 2011. Phosphorus had a positive effect on size, fresh weight and total soluble solids of fruit, but N/Ca ratio was increased, diminishing fruit firmness. Increased N rate either alone or combined whit P had a negative effect on fruiting wood and Thiault index; however, fruit firmness and fruit set were increased when both elements were applied. Nevertheless soil was not K deficient, fruit size and fruit pH in years 2010 and 2011, respectively were increased with K application.

Keywords: Fertilization, apple, vegetative growth, yield and fruit quality, crop intercropping.

DEDICATORIAS

A mis padres, por el cariño que siempre me han brindado. A mi padre por el carácter y la serenidad que ha tenido para guiarme por la vía de la rectitud, a mi madre por su cariño, bondad y afecto.

A mis hermanos, Roberto, Florentina, Rosalía, Antonio, Francisco y Manuel, por el apoyo que siempre me han dado.

A mis cuñados y sobrinos, por todo lo que hemos aprendido juntos.

A todas a aquellas personas con quienes he compartido y aprendido en los andares de mi vida.

AGRADECIMIENTOS

Manifiesto sincero agradecimiento al Colegio de Posgraduados, al Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología y al Instituto Nacional de Investigaciones Forestales Agrícolas y Pecuarias por el apoyo brindado para realizar mis estudios de Maestría; de la misma forma, agradezco a todos los profesores que supieron compartirme sus conocimientos y contribuyeron en mi formación académica.

A mi profesor consejero y director de esta tesis, el Dr. José Isabel Cortes Flores, gracias por todo el apoyo brindado, con dirección acertada y compromiso en todas las fases de esta investigación, hizo posible la realización de esta tesis.

Al Dr. Antonio Turrent Fernández, pilar indiscutible para la realización de esta tesis. Le agradezco infinitamente todas sus atenciones, gracias por su apoyo y colaboración en la dirección de esta investigación.

A. Dr. Alfredo López Jiménez, asesor, gracias a sus revisiones y sugerencias acertadas, hicieron posible culminar satisfactoriamente este trabajo.

A la maestra Juliana Padilla, Don Arturo, los responsables del CEVAMEX, el campo de fruticultura, el personal de los distintos laboratorios, a todos quienes brindaron las facilidades necesarias para el trabajo de campo y para la realización de las diferentes pruebas, gracias a todos.

A mis compañeros de los distintos cursos que he tomado, por la amistad que han me brindaron y por ser partícipes de mi formación personal y académica.

A las secretarías Araceli, Roció, y a todas las secretarías que se vieron involucradas, gracias por su apoyo en todos los trámites y en el seguimiento del presente trabajo.

CONTENIDO

CAPITULO I. INTRODUCCIÓN	1
CAPITULO II. REVISION DE LITERATURA	4
2.1 Cultivos intercalados	4
2.2 Necesidades y suficiencia nutricional	5
2.3 Respuesta del manzano a la fertilización con N, P y K	7
2.3.1 Crecimiento vegetativo y rendimiento.....	8
2.3.2 Calidad de fruto.....	9
2.4 Efecto del estado nutricional del árbol en el crecimiento vegetativo, rendimiento y calidad de fruto	12
2.5 Otros factores que afectan el crecimiento vegetativo, rendimiento y calidad de fruto	13
CAPITULO III MATERIALES Y MÉTODOS	15
3.1 Sitio experimental	15
3.2 Materiales	17
3.2.1 Material genético.....	17
3.3.2 Fertilizantes.....	18
3.3 Manejo del cultivo	18
3.4 Diseño experimental	19
3.5 Conducción del experimento	19
3.6 Evaluación de la respuesta	21
3.6.1 Crecimiento vegetativo.....	22
3.6.2. Estado nutricional.....	22
3.6.3 Rendimiento de fruto y sus componentes.....	23
3.6.4. Calidad de fruto.....	25
3.7 Análisis estadístico	27
CAPITULO IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN	31
4.1 Amarre, rendimiento, peso fresco y sólidos solubles totales del fruto	31
4.2 Crecimiento vegetativo	39

4.3 Estado nutricional	41
4.2 Rendimiento de fruto y sus componentes	50
4.3 Calidad del fruto	56
4.3.1 Relación ancho/largo, peso fresco y tamaño del fruto.....	56
4.3.2. Firmeza, sólidos solubles, acidez titulable, índice de Thiault y pH.....	58
4.3.3. Composición nutricional del fruto.....	64
CAPITULO V. CONCLUSIONES	70
CAPITULO VI. LITERATURA CITADA	72
CAPITULO VII. ANEXO	79

LISTA DE CUADROS

Cuadro 1. Lista de tratamientos para estudiar el efecto de las dosis de nitrógeno, fósforo y potasio en el crecimiento vegetativo, rendimiento y calidad de fruto del manzano 'Agua Nueva'/MM106/Manzano criollo Huejotzingo'.....	20
Cuadro 2. Análisis de varianza para el amarre de fruto, rendimiento, peso fresco del fruto (PFF) y sólidos solubles totales (SST), en dos años de producción.....	32
Cuadro 3. Efecto del año en el amarre de fruto, rendimiento, peso fresco del fruto (PFF) y sólidos solubles totales (SST).....	32
Cuadro 4. Efecto del tratamiento de fertilización en el amarre de fruto durante dos años de producción.....	34
Cuadro 5. Efecto de la interacción Años x Tratamientos sobre los SST en dos años de producción.....	35
Cuadro 6. Ecuaciones de regresión que describen el efecto de N, P y K en el amarre de fruto, rendimiento, peso fresco del fruto (PFF) y sólidos solubles totales (SST) de dos años de producción.....	36
Cuadro 7. Análisis de varianza del área de la sección transversal del tronco (ASTT), altura del árbol y ancho del dosel del árbol.....	40
Cuadro 8. Análisis de varianza de la concentración de N' , P' , K' , Ca' y Mg' en la hoja.....	42
Cuadro 9. Efecto del tratamiento en la concentración de fósforo en la hoja (P') de árboles de manzano 'Agua Nueva'.....	44
Cuadro 10. Ecuaciones de regresión que describen el efecto de N, P y K en la concentración de P' , K' y Ca' en la hoja.....	45

Cuadro 11. Análisis de varianza del rendimiento y sus componentes.....	51
Cuadro 12. Efecto de tratamientos en el número de puntos de fructificación (NPF) de árboles de manzano 'Agua Nueva'.....	53
Cuadro 13. Ecuaciones de regresión que describen el efecto de la dosis de N, P y K en el rendimiento y la eficiencia del rendimiento (ER).	54
Cuadro 14. Análisis de varianza de la relación ancho/largo, peso fresco y tamaño de fruto.....	56
Cuadro 15. Ecuaciones de regresión que describen el efecto de N, P y K en el peso fresco (PFF) y tamaño de fruto.....	57
Cuadro 16. Análisis de varianza de la firmeza de la pulpa, sólidos solubles totales (SST), acidez titulable, índice de Thiault y pH del jugo.....	59
Cuadro 17. Ecuaciones de regresión que describen el efecto de N, P y K en la firmeza de la pulpa, sólidos solubles totales (SST), acidez titulable, índice de Thiault y pH del jugo del fruto.....	50
Cuadro 18. Análisis de varianza de la composición nutricional de los frutos.....	65
Cuadro 19. Ecuaciones de regresión que describen el efecto de N, P y K en la composición nutricional de los frutos.....	67

LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Arreglo y disposición de los genotipos utilizados en la formación del árbol.....	17
Figura 2. Arreglo topológico del maíz, frijol y manzano en el sistema MIAF.....	18
Figura 3. Efecto de las dosis de N y P sobre el amarre de fruto: durante dos años de producción (A), y en el año 2010 (B).....	37
.Figura 4. Efecto de la dosis de K sobre el peso fresco del fruto cosechado en el año 2010.....	38
Figura 5. Área de la sección transversal del tronco en función de la interacción N x P.....	40
Figura 6. Estado nutricional del árbol manzano 'Agua Nueva' de acuerdo al análisis foliar: (A) efecto del N sobre la concentración de P', (B) efecto del K y P sobre la concentración de K' y (C) efecto del P y K sobre la concentración de Ca'.....	47
Figura 7. Cartas de balance nutricional para los tratamientos con niveles altos de N: (A) 136-16-64, (B) 136-16-136 y (C) 160-40-100 que manifiestan cierto grado de desbalance nutrimental.....	48
Figura 8. Cartas de balance nutricional para los tratamientos con niveles altos de K: (A) 64-64-136, (B) 136-64-136 y (C) 100-80-100, que manifiestan cierto grado de desbalance nutrimental, y muestran el efecto de la carga de cosecha sobre la composición nutricional del fruto.....	49
Figura 9. Efecto del K en el rendimiento de fruto (A), y en la eficiencia del rendimiento (ER) (B).....	53
Figura 10. Efecto del P en la calidad de fruto: (A) peso fresco y (B) tamaño	

(diámetro) del fruto.....	58
Figura 11. Efecto de las dosis de N, P y K en la calidad del fruto: firmeza de la pulpa (A) y sólidos solubles totales (SST) (B).....	61
Figura 12. Efecto de las dosis de N y K en la calidad del fruto: acidez titulable (ácido málico) (A), en el índice de Thiault (B) y en el pH del jugo (C).....	63
Figura 13. Efecto de las dosis de N, P y K en la composición nutricional del fruto: A, nitrógeno (N'); B, fósforo (P') y C, potasio (K').....	68
Figura 14. Efecto de las dosis de P en la composición nutricional del fruto: A, Calcio (Ca') y B, relación N'/Ca'	69

CAPITULO I. INTRODUCCIÓN

En las pequeñas unidades de producción de la Republica Mexicana, con frecuencia interactúan cultivos anuales con árboles frutales y/o forestales, éstos últimos tienen un arreglo topológico espacial al azar, trayendo consigo competencia interespecífica por luz, agua y nutrientes principalmente (Cassanova *et al.*, 2007). Además, en estas unidades de producción se practica la agricultura tradicional y de subsistencia basada en la producción de alimentos de gran valor social como el maíz y frijol, por lo que validar el desarrollo de nuevos sistemas de producción en donde se les integre, propicia su continuidad como recurso básico de la dieta de la población (Monge y Agüero, 2006). Por lo anterior, surge como alternativa la tecnología de milpa intercalada con árboles frutales (MIAF), que maximiza la producción, la productividad de la tierra e incrementa de manera significativa el ingreso neto de la familia (Cortés *et al.*, 2005). Esta tecnología considera claves, la formación y poda del árbol frutal (Torres *et al.*, 2008), así como la aplicación de fertilizantes (Cassanova *et al.*, 2007); además, la tecnología puede atenuar el efecto negativo de los fenómenos biológicos y meteorológicos.

Dado que las investigaciones de cultivos anuales intercalados con árboles frutales son escasos, es importante estudiar el comportamiento del sistema donde el cultivo perenne es el manzano, cuyo fruto tiene demanda todo el año en el mercado de fruta fresca. Si bien este frutal es conocido por muchos agricultores, no se tiene suficiente conocimiento del manejo, en particular de la fertilización bajo el sistema de cultivos intercalados, por lo que resulta necesario la búsqueda de dosis de NPK que puedan incrementar no solo su productividad, sino también la calidad del fruto y por consiguiente la rentabilidad del sistema. Para ello conviene estudiar el problema aplicando la técnica estadística de factores, pues permite analizar el comportamiento del árbol frutal a distintas dosis de uno o mas elementos, considerando que estos tienen sinergias o antagonismos entre sí.

Con la aplicación de fertilizantes al suelo para aumentar la producción de cosechas, el nitrógeno se tiene un papel trascendente a nivel de fotosíntesis, que se refleja en

el crecimiento vegetativo y rendimiento de los cultivos; sin embargo, este en la practica es el elemento deficiente más común. La ingesta por el árbol incrementa el crecimiento vegetativo; sin embargo, dosis altas provocan un excesivo crecimiento de las hojas, vástagos, ramas troncos y raíces a expensas de la calidad de los frutos, disminuyendo su firmeza, coloración (Neilsen *et al.*, 2009) y concentración de sólidos solubles (Fallahi *et al.*, 1997).

El fósforo además de estar relacionado con la firmeza del fruto (Neilsen *et al.*, 2007), incrementa la estabilidad de la membrana celular y el contenido de antioxidantes, evita el manchado del fruto (Neilsen *et al.*, 2008) y propicia mayor absorción de Ca, que es parte esencial de la estructura celular y tiene influencia en la integridad de la membrana celular (Fallahi *et al.*, 1997). Se ha encontrado correlación positiva de la firmeza de la pulpa con el contenido de Ca en el fruto (Benavides *et al.*, 2004).

Por otra parte, el potasio tiene efecto en el peso fresco del fruto, la concentración de sólidos solubles totales (Fallahi y Simons, 1996) y el tamaño de fruto (Nava y Roque, 2009).

Con base a lo anterior, esta investigación tuvo como objetivo estudiar el efecto de las dosis de N, P y K en el crecimiento vegetativo, rendimiento y calidad de fruto del manzano 'Agua Nueva' bajo el sistema MIAF.

Hipótesis

- Las dosis de gran visión de N, P y K (90-90-90 g árbol⁻¹ por año) usadas en algunas especies frutales adultas como el duraznero en el sistema MIAF, limitan el crecimiento vegetativo, rendimiento y calidad de fruto del manzano bajo este sistema en una región en particular.
- Las dosis aproximadas de N, P y K (100-40-100 g árbol⁻¹ por año) pueden conducir a deficiencias, toxicidades y/o desbalances nutricionales, que afectan sobre todo, el rendimiento y/o la calidad del fruto.
- Las dosis que conducen a mayor crecimiento vegetativo y rendimiento de fruto difieren de las requeridas para obtener fruto de calidad óptima.

Supuesto

El presente trabajo fue realizado bajo el supuesto de que el injerto intermedio es totalmente compatible con el portainjerto y la variedad, y por lo tanto, el crecimiento, rendimiento y calidad de fruto de la variedad reflejan la respuesta de las dosis de N, P y K.

CAPITULO II. REVISIÓN DE LITERATURA

2.1 Cultivos Intercalados

Considerado como una variante de los cultivos múltiples dentro de los sistemas agroecológicos, el sistema de cultivos intercalados asigna el espacio correspondiente a cada especie (frutales o forestales y especies anuales) para minimizar la competencia interespecífica. Este sistema busca entre otros objetivos, una compensación en los rendimientos, reducción de costos de establecimiento de cultivos que requieren períodos largos para entrar en la fase productiva (Acosta *et al.*, 2008) y atenuar el efecto de los fenómenos biológicos y meteorológicos. De esta manera, si una especie llegara a fallar, quedan las otras especies, por lo que el productor puede ver disminuido su ingreso, pero no quedarse sin una fuente de alimentación básica.

Se ha encontrado que el intercalado de cultivos anuales (maíz, frijol y chile) con árboles forestales (cedro rosado) es benéfico al incrementar el rendimiento y el contenido de materia orgánica en el suelo (Elorza *et al.*, 2006), y la combinación de especies anuales de plantas medicinales con plantas perenes (*Aloe vera* (L.) N. L. Burm.), aumenta la eficiencia productiva de los suelos, sin afectar los principios activos de las plantas (Acosta *et al.*, 2008).

Una variante del sistema de cultivos intercalados es el sistema Milpa Intercalada con Árboles Frutales (MIAF), tecnología desarrollada para pequeños agricultores que producen maíz y frijol principalmente, en la que se incluyen árboles frutales que producen frutos de valor comercial, logrando con ello incrementar de manera significativa el ingreso neto de la familia, y coadyuvar en la mitigación del cambio climático (Cortés *et al.*, 2005). Este sistema con principios agroecológicos mejora el aprovechamiento de la radiación solar y precipitación pluvial con respecto a los monocultivos (John, 2004); así mismo, es capaz de controlar la erosión hídrica en suelos de ladera y capturar carbono, entre otros efectos benéficos.

Se ha encontrado que el sistema MIAF es tan eficiente en el control de escurrimientos en suelos cultivados como el maíz en terrazas de muro vivo (MTMV). Por otra parte, la productividad e ingreso económico, del sistema MIAF son mayores respecto al MTMV y maíz en labranza cero con pastoreo, contribuyendo al mismo tiempo a una seguridad alimentaria sostenida al producir suficiente maíz y frijol cada año. De la misma forma, en el sistema MIAF, debido al arreglo topológico de las especies que en ella interactúan, es mas eficiente en el uso de la radiación solar y agua del suelo, con respecto a los otros dos sistemas, lo que conduce a una mayor productividad e ingresos económicos sin perder la capacidad de conservación del suelo y agua (Camas, 2011).

Son pocos los estudios realizados en estos sistemas de producción. No obstante, los índices que se han usado para evaluar este sistema tales como la eficiencia relativa de la tierra (ERT), indican que el duraznero en el sistema MIAF ocupando un tercio del terreno, en cuatro años de estudio fue en promedio de 0.47 (mayor de 0.33), lo que significa que este sistema es mas productivo que el monocultivo (Torres *et al.*, 2008), ya que dicho valor indica que el rendimiento en un tercio de hectárea fue casi el equivalente al 50 % del rendimiento en una hectárea de cultivo simple. Camas (2011) obtuvo resultados similares, donde los rendimientos de maíz, frijol de Primavera-Verano y Otoño-Invierno, y guayaba en una hectárea de MIAF presentaron una ERT parcial de 0.52, 0.42 0.44 y 0.58, respectivamente para una ERT total de 1.96.

Dado lo anterior, los cultivos intercalados al incrementar la productividad, aumentan la eficiencia en el uso de la tierra de labor, la cual es limitada en las pequeñas unidades de producción (< 5 ha).

2.2 Necesidades y suficiencia nutricional

Se tiene conocimiento que el nitrógeno y potasio están estrechamente relacionados con la productividad del árbol frutal, ya que en general se encuentran en concentraciones más altas que otros macronutrientes en los frutos de los manzanos

(Nava y Roque, 2009) y con frecuencia el primero tiende a ser el elemento más deficiente en el suelo y el segundo el más acumulado en los frutos (Nour *et al.*, 2010), No obstante, las hojas y los frutos tienen diferente origen y necesidades, por lo que difieren en el contenido de minerales (Mancera *et al.*, 2007).

En términos generales, la extracción anual de los elementos minerales por los árboles frutales para el N es de 140 a 160 kg ha⁻¹, P₂O₅ de 100 a 120 kg ha⁻¹ y para K₂O de 60 a 80 kg ha⁻¹ (Agustí, 2008). El manzano en cultivo simple, con una producción de fruto de 40 Mg ha⁻¹, extrae un total por hectárea por ciclo las siguientes cantidades de nutrimentos: N 78 kg ha⁻¹, P 27 kg ha⁻¹ y K 129 kg ha⁻¹ (Díaz, 2002). De este total, aproximadamente una cuarta parte del N y P, y más de la tercera parte del K removidos son regresados al suelo por la caída de hojas y por la poda.

Para el manzano bajo el sistema MIAF, no existen recomendaciones de dosis de fertilización y se han usado aproximaciones con base a otros estudios. Por ejemplo, la fórmula de fertilización para el duraznero en el sistema MIAF en el primer año, es de 30-30-30 g de N, P₂O₅ y K₂O, respectivamente por árbol, en el siguiente año se duplica (60-60-60), se triplica en el tercer año (90-90-90) y después de este año se mantiene constante (Cortés *et al.*, 2005).

Por otra parte, la concentración de nutrimentos expresada en por ciento de materia seca obtenidos mediante el análisis foliar permite en gran medida entender la respuesta del crecimiento vegetativo, rendimiento y calidad de fruto del manzano, considerando la condición nutricional del árbol de acuerdo a las siguientes categorías: Deficiencia: <1.7 (N), <0.11 (P), <0.8(K); Bajo: 1.8-2.0 (N), 0.15 (P), 0.9-1.5 (K); y Optimo: 2.1-2.2 (N), 0.22 (P), 1.5-2.0 (K) (Agustí, 2008). De acuerdo con Silva y Rodríguez (1995), valores de N de 1.9 a 2.6, P de 0.14 a 0.40, K de 1.5 a 2.0, Mg de 0.20 a 0.24 y Ca de 1.20 a 1.60 son valores estándar normales o suficientes de los macronutrimentos en hojas (lámina y peciolo) de manzano; mientras tanto, los niveles en el fruto suelen ser inferiores, mismos que se presentan en el Cuadro A2 del Apéndice.

Se debe tener especial cuidado al momento de interpretar los resultados de los análisis de suelo y de la hoja, pues en el suelo, el contenido de calcio puede ser alto y en la hoja la concentración es baja dentro del intervalo de suficiencia, y Mg cerca de la deficiencia en manzano 'McIntosh' (Neilsen y Edwards, 1982). Esto confirma que el estado nutricional de los árboles frutales difícilmente puede predecirse con base al análisis de suelo, ya que factores como el clima, las propiedades químicas del suelo, la condición hídrica, el volumen explorado por las raíces, etc., pueden afectar la disponibilidad, absorción y translocación de los elementos.

En el suministro de nutrimentos, debe tenerse en cuenta las interacciones entre ellos. El grado de inhibición de cationes en el suelo, sería: $\text{NH}_4^+ > \text{K}^+ > \text{Mg}^{++} > \text{Ca}^{++}$, donde el mayor efecto del amonio en la inhibición de la absorción del calcio en el suelo, es debido a una disminución temporal del pH en torno a la rizósfera (Yuri, 2010). En términos generales, se sabe que el N inhibe la absorción de K, el P la de K, Fe, Zn y Cu, y el K la de Ca, B y Mg (Gutiérrez, 2003, Arciniega, 1999).

Por lo anterior y por la relación entre la productividad y el estado nutricional del árbol, el diagnóstico más acertado se logra mediante el análisis foliar; no obstante, cuando se busca mejorar la calidad de los frutos, debe considerarse el contenido de nutrientes en relación a su valor nutricional.

2.3 Respuesta del manzano a la fertilización con N, P y K

Los árboles de manzano generalmente responden de manera positiva a la aplicación de fertilizantes, cuando se suministran los elementos deficientes, reflejándose en el crecimiento vegetativo, rendimiento y calidad de frutos; no obstante, cuando el árbol no la necesita, la respuesta puede ser negativa. Debido a que los componentes del crecimiento y rendimiento están relacionados, estas se tratarán en un mismo apartado, y las variables de calidad de fruto se tratarán en un segundo apartado; el estado nutricional del árbol se tratará por separado.

No se encontraron trabajos donde se haya involucrado el manzano como cultivo intercalado, por lo que esta parte de la revisión se sustenta de resultados de investigaciones donde el manzano es manejado como cultivo simple.

2.3.1 Crecimiento vegetativo y rendimiento

El crecimiento vegetativo generalmente expresado en incremento de materia seca y volumen del árbol y el rendimiento en peso de fruto fresco por unidad de superficie, son modificados con el uso de fertilizantes al alterarse el contenido de los elementos esenciales en el suelo, traduciéndose en plantas de mayor crecimiento y rendimiento.

Diversos estudios han demostrado que los árboles frutales responden favorablemente a las aplicaciones de N, influyendo en el crecimiento vegetativo y en el rendimiento. En el manzano se ha encontrado que dosis altas de N (168 mg L⁻¹ en fertirrigación), inducen mayor crecimiento foliar (Neilsen *et al.*, 2009); pero dosis excesivas de este elemento, pueden disminuir el crecimiento vegetativo en *Malus trilobata* (Zahreddine *et al.*, 2008). Por otra parte, se documentado que la fertirrigación con Ca(NO₃)₂ incrementa el vigor del árbol y la concentración de Ca en la hoja, pero disminuye la de Mg y Mn en comparación con los árboles fertirrigados con urea o NH₄NO₃ (Neilsen *et al.*, 1993).

La fertilización con P en manzano puede incrementar el rendimiento y concentración de este elemento en hojas y frutos (Neilsen *et al.*, 2008). Otros estudios demuestran que el fósforo por si solo no afecta el crecimiento o rendimiento, pero la combinación de éste con composta si los incrementa (Moran y Schupp, 2005). Por otra parte, en un suelo en un andisol con niveles bajos de K, la aplicación de K₂SO₄ no tuvo efecto en el crecimiento vegetativo o en la producción de frutos; no obstante, la concentración de K en las hojas fue significativamente mayor en las plantas que fueron tratadas solamente con K o en combinación con Ca y Mg (von Bennewitz *et al.*, 2011).

Lo anterior confirma la importancia de la aplicación de nutrimentos al suelo para optimizar el crecimiento y rendimiento de los árboles frutales.

2.3.2 Calidad de fruto

La calidad busca satisfacer las preferencias del consumidor en cuanto a propiedades organolépticas, precio, inocuidad y autenticidad de los alimentos (Tadeo, 2008), para los cuales se han diseñado parámetros, estándares y/o indicadores. La presente revisión centró su atención a propiedades organolépticas y condición nutricional en respuesta a la fertilización, tomando en cuenta que la calidad del fruto está íntimamente relacionada con la composición mineral del mismo y la relación entre sus nutrientes (Mancera *et al.*, 2007).

Se tiene conocimiento que el N influye en el color de fruto, firmeza y la concentración de sólidos solubles del fruto de manzano (Fallahi *et al.*, 1997). Al respecto, se ha detectado que la aplicación de dosis altas de N (168 mg L⁻¹ en fertirrigación), induce aumento en el contenido de N en el fruto, pero disminución de la firmeza y coloración (Nielsen *et al.*, 2009). Nava y Roque (2009), también encontraron que la fertilización nitrogenada incrementa la concentración de N y la relación N/Ca en el fruto, y la concentración de Ca disminuye por la fertilización con N y con frecuencia por K.

La aplicación de fósforo en manzana incrementa la estabilidad de la membrana, eleva el contenido de antioxidantes y evita el manchado del fruto (Nielsen *et al.*, 2008). Esto puede estar asociado a una mayor absorción de calcio, ya que este elemento es parte esencial de la estructura celular y tiene influencia en la integridad de la membrana celular (Fallahi *et al.*, 1997); además, se ha observado una correlación positiva de la firmeza de la pulpa con el contenido del Ca en el fruto (Benavides *et al.*, 2004), aun después del almacenamiento (Fallahi y Simons, 1996). Por el contrario, se ha encontrado una correlación negativa del Ca en el peso fresco del fruto y la concentración de sólidos solubles al momento de la cosecha (Fallahi y Simons, 1996). El aumento de la concentración de Ca en el fruto del manzano 'Jonagold' se ha visto asociado con el uso de Ca(NO₃)₂ y fertirrigación con P

(Neilsen et al., 1993); mientras que otros estudios no muestran asociación directa entre el contenido de Ca en el fruto y del suelo (Neilsen y Edwads, 1982). Por otra parte, se ha observado una disminución del contenido de fósforo en el fruto con un incremento del diámetro de éste (Dris *et al.*, 1999). Resultados similares han sido reportados por Gonzáles *et al.* (2004), quienes han detectado influencia positiva de la concentración de K y P tanto de la hoja como del fruto con la acidez del mismo.

En una evaluación de 15 variedades de manzano, se encontró que el K es el nutriente mas acumulado en los frutos; sin embargo, la magnitud de las diferencias observadas en la composición pueden afectar tanto las propiedades nutricionales como sensoriales (Nour *et al.*, 2010). Se ha encontrado una correlación positiva del peso fresco del fruto y la concentración de sólidos solubles con la concentración de K en el fruto (Fallahi y Simons, 1996). De la misma forma, Nava y Roque (2009), han encontrado que el tamaño del fruto fue mas afectado positivamente por la fertilización potásica que por la nitrogenada y el incremento de la concentración de K y la relación K/Ca por la fertilización potásica. Por otro lado, una mayor absorción de K puede incrementar el pH y el porcentaje de ácido málico, y el exceso de acumulación de cationes esta relacionado con el aumento de pH (Richmond *et al.*, 1964).

Dado que el potasio está retenido más fuertemente que el sodio, la pérdida por lixiviación es mucho menor y por tanto el contenido suele ser alto en los suelos regularmente fertilizados y provocar con el tiempo, un efecto antagónico sobre la absorción de calcio y magnesio (Monge *et al.*, 1994).

Una deficiencia de calcio puede conducir a fisiopatías como el “bitter pit” o mancha amarga del fruto. Al respecto, Sadowski y Czescik (1977), encontraron en tejidos afectados, menor contenido de calcio y mayor concentración de magnesio, fósforo y potasio. Este último, como antagonista del calcio, retarda su absorción, de ahí que la concentración de calcio, tanto en frutos como en hojas, correlaciona negativamente con el nivel de potasio (Forsyth y Webster, 1971).

Por su parte, el Ca^{++} en el suelo está en equilibrio generalmente con el NO_3^- , por lo que hay una correlación alta entre las concentraciones de ambos iones en distintos órganos del frutal (hojas y frutos) (Monge *et al.*, 1994). Como el contenido de Ca en el fruto es determinante en la calidad del mismo, resulta importante el uso de prácticas combinadas, a fin de compensar el efecto negativo que el N y K pueden causar en la concentración de Ca en los frutos (Nava y Roque, 2009), acentuado por la fuerte competencia entre éstos con los vástagos en crecimiento (meristemas apicales y nuevas hojas) (Monge *et al.*, 1994). Las practicas pueden ser aplicaciones foliares de calcio que ayuden a compensar las deficiencias del elemento en el fruto (Yuri, 2010).

Interacciones negativas del Ca con Mg y K, y del K con Mg en el fruto son comunes, de aquí la importancia de la nutrición equilibrada de cationes en los árboles frutales (Neilsen y Edwards, 1982). A estas interacciones se suman la interacción negativa entre N y Ca, y positivas del N con P, K y Mg (González *et al.*, 2004, Fallahi y Simons, 1996).

Cabe señalar que el antagonismo del calcio con otros iones puede ponerse de manifiesto tanto en los mecanismos de absorción, translocación y posteriormente, dentro del fruto en el almacenamiento (Monge *et al.*, 1994). Se ha encontrado por ejemplo, que la falla para el incremento en el contenido de Ca, Mg y K en el fruto, ha sido por los niveles altos de nitrógeno, por lo tanto, es importante manejar bien la nutrición con N, pues de ello depende el contenido de Ca en el fruto y la vida de anaquel de éste (Neilsen y Edwards, 1982), debido a que el contenido de N, K y Ca en hojas y frutos frecuentemente están relacionados con los parámetros de calidad del fruto (Fallahi y Simons, 1996).

Una fertilización adecuada ayuda a incrementar el rendimiento y calidad de fruto, de lo contrario solo se consiguen efectos negativos. Por otra parte, dado que Ughini (1990), en dos años de estudio, encontró relaciones no determinantes entre parámetros de calidad del fruto del manzano con el contenido de elementos

minerales en la hoja y/o condición mineral del suelo, resulta conveniente la evaluación de varios años de producción.

2.4 Efecto del estado nutricional del árbol en el crecimiento vegetativo, rendimiento y calidad de fruto

Si bien tanto las hojas como los frutos tienen diferente origen y necesidades nutricionales, el rendimiento y especialmente la calidad del fruto pueden ser afectados por el estado nutricional del árbol, ya que actualmente se han asociado los estándares nutrimentales de la hoja con la calidad del fruto (Mancera *et al.*, 2007), establecidos mediante el análisis foliar. Hay que tener presente que el estado nutricional del árbol depende de las condiciones edafoclimáticas bajo las cuales el árbol está creciendo.

Hirst y Ferree (1995) encontraron que el mayor vigor de los vástagos está relacionado con niveles más altos de K, pero las concentraciones de P, Ca y Mg, por lo general no guardan relación con el crecimiento de la hoja, y tampoco se ha encontrado relación entre el desarrollo de las yemas y la concentración mineral de las hojas o del meristemo apical. Dris *et al.* (1999) encontraron concentraciones altas de N, P y K y bajas de Ca y Mg en hojas de ramillas sin frutos, similares a los encontrados por Neilsen y Edwards (1982) en manzano 'McIntosh'.

Se ha documentado que el incremento de N en la hoja, incrementa el diámetro del fruto, pero afecta negativamente la concentración de sólidos solubles. Por otra parte, al incrementar la concentración de P y Ca en la hoja, la acidez titulable aumenta y la relación sólidos solubles/acidez titulable disminuye (Dris *et al.*, 1999). De manera similar, se ha observado que la acidez del fruto está influenciada positivamente por la concentración de P y K tanto de la hoja como del fruto (Benavides *et al.*, 2004).

En algunos trabajos se han encontrado las siguientes correlaciones entre las concentraciones de nutrimentos en la hoja y en el fruto: negativas entre N y N, Ca y N, Mg y N, Ca y N, Ca y P, Ca y K, Mg y K. Positivas entre K y P, K y K (Benavides

et al., 2004), K y Ca, N y N (Fallahi y Simons, 2010), P y P, Mg y Mg (Dris *et al.*, 1999), pero no se ha encontrado relación clara entre el Ca en la hoja con el Ca en el fruto (Benavides *et al.*, 2004).

Por lo anterior, la condición nutrimental del árbol permite inferir sobre la calidad de los frutos, aunque limitadamente, ya que como se ha mencionado, las hojas y frutos tienen diferente origen y necesidades, y ante la falta de relaciones concluyentes en un estudio realizado por Ughini (1990) en dos años, este autor recomienda la evaluación durante varios de años de producción

2.5 Otros factores que afectan el crecimiento vegetativo, rendimiento y calidad de fruto

Resultado de las prácticas agronómicas aplicadas en una plantación, puede conseguirse un crecimiento y desarrollo vegetativo adecuado y altos rendimientos de fruto de alta calidad.

El incremento de la densidad de plantación y con ello el rendimiento ha sido posible con el uso de portainjertos que disminuyen el vigor del árbol (Yao *et al.*, 2009). Por otro lado, la regulación de la carga productiva mediante el raleo de fruto puede mejorar la calidad sin afectar significativamente el rendimiento, lográndose además menor alternancia de producción en el manzano (Embree *et al.*, 2007, Neilsen *et al.*, 2007). La alternancia a veces depende de la variedad (Bukovac *et al.*, 2010). También se ha demostrado que una polinización deficiente durante el período de floración temprana puede reducir la concentración de Ca del fruto de la variedad Braeburn, efecto producido por la reducción del número de semillas de los frutos, así como por la alteración de la distribución de frutos en el árbol (Volz *et al.*, 1996).

Fallas en el sistema de conducción y poda, con ello la distribución del área foliar del árbol, dan lugar a “golpe” de sol o exceso de sombreado (Raffo *et al.*, 2006), reduciendo la calidad de los frutos (Raffo y Rodríguez 2007). Así mismo, un alto porcentaje de amarre de fruto, afecta negativamente el tamaño (Bukovac, *et al.*,

2008) y la coloración de éste (Telias *et al.*, 2008). También se ha encontrado que árboles con alto rendimiento tienen frutos más pequeños y con menores concentraciones de sólidos solubles (Fallahi y Simons, 1996). Por último, algunas prácticas para el uso eficiente del agua parecen no afectar negativamente el crecimiento vegetativo y el rendimiento (Zegbe *et al.*, 2007 y Zegbe *et al.*, 2009), pero las que provocan déficit hídrico si pueden tener efecto negativo (Parra *et al.*, 2005, Van Hooijdonk *et al.*, 2007, Zegbe y Behboudian, 2008).

Lo anterior demuestra que las prácticas agronómicas como la fertilización, la conducción y poda del árbol, la regulación de carga, entre otros, tienen efectos sobre el rendimiento y calidad de fruto, por lo que se debe tener especial cuidado al momento de realizarlas.

CAPÍTULO III. MATERIALES Y MÉTODOS

3.1 Sitio experimental

La investigación se realizó con un experimento de milpa (maíz y frijol) intercalada con árboles de manzano, establecido en el año 2002 y evaluado en los años 2010 y 2011 en el Campo Experimental Valle de México (CEVAMEX) del Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias (INIFAP), el cual se encuentra ubicado a los 19° 29' 16.5" de Latitud Norte y 98° 53' 44.1" de Longitud Oeste, a una altura sobre el nivel del mar de 2251 m.

De acuerdo a la clasificación climática de García (1987), el clima es Cb (w₀) (w) (i) g; es decir, se trata de un clima templado subhúmedo con verano fresco; la precipitación media anual es de 645 mm bajo el régimen de lluvias en verano. La temperatura media anual es de 15 °C. El paisaje se describe como una planicie aluvial con pendiente menor al 1%.

Con base a la información obtenida en el museo de suelos del Colegio de Postgraduados para el perfil "El Horno", el suelo es del tipo Fluvisol, de material parental compuesto por sedimentos aluviales originarios principalmente de rocas volcánicas sedimentarias. Sin piedras ni afloramiento rocoso, sin evidencias de erosión y con efecto antropogénico principalmente en los dos horizontes superficiales por el laboreo mecanizado. El perfil es profundo de color café oscuro en los horizontes superficiales y café amarillento en los subyacentes, bien drenado en todos sus horizontes, de estructura bien desarrollada en forma de bloques subangulares y de tamaño medio 20 a 50 mm. La distribución de raíces de las malezas es normal encontrándose la mayor parte de ellas en los primeros 15 cm.

Con base a la NOM-021-RECNAT (SEMARNAT, 2002) y a los análisis realizados, el suelo es de textura franco arcillo-arenosa, muy bajo en materia orgánica (0.3 %), pH medianamente alcalino, 7.47 y 7.98 en las profundidades de 0 – 30 cm y 30 - 60 cm, respectivamente. La conductividad eléctrica (CE) es de 0.17 y 0.21 dS m⁻¹ para las

mismas profundidades. El suelo tiene un contenido de N muy bajo (0.01 %), medio en fósforo (9 ppm), alto en potasio (0.97 meq/100g), medio en calcio (8.5 meq/100g) y alto en magnesio (6.1 meq/100g). Cabe mencionar que el contenido de P y Ca al final de la hilera de árboles en la profundidad de 0 - 30 cm es alto (Cuadro A1). Por otra parte, de acuerdo a Castellanos *et al.* (2000) el contenido de P es moderadamente bajo y normal al final de la hilera en la profundidad de 0-30 cm, medio en el contenido de K en la profundidad de 30-60 cm y moderadamente alto en la profundidad de 0-30 cm, medio en el contenido de Ca y moderadamente alto en el contenido de Mg. La suficiencia del P en el suelo probablemente se debe a que en el terreno experimental se estuvo aplicando fertilizante fosforado en los últimos 20 años antes de establecerse el experimento.

En la parcela se observaron daños severos a los árboles de manzano, que afectaron especialmente la producción 2011, primero por heladas tardías ocurridas en el mes de marzo (Figura A2) que disminuyeron el amarre de fruto y después por el ataque de pájaros del género *Quiscalus* spp., a los frutos. La condición de heladas se presentaron básicamente en el valle de México, prueba de ello es que en las parcelas experimentales de manzano del Colegio de Postgraduados, campus Motecillo, se tuvieron bajos rendimientos, mientras que la media estatal para el Estado de México no disminuyó respecto al ciclo anterior (SIAP, 2011), lo que supone que en condiciones de ladera en las sierras, las bajas temperaturas no tuvieron un efecto significativo.

El ataque por pájaros en la parcela experimental fue severo dado que anidan en unos árboles de eucalipto bajo experimentación próximos a la parcela experimental. El daño a la producción del 2011 fue acentuado por la eliminación de algunos árboles frutales de otros experimentos, los cuales servían de barrera. Por lo tanto, el fruto cosechado fue aquel que se protegió con bolsas de papel, se no ser así, el daño hubiese sido del 100%. En la cosecha del año 2010, el daño fue menor de acuerdo a observación visual.

3.2 Materiales

3.2.1 Material genético

El material genético con el cual se trabajó fue manzano 'Agua Nueva'/MM106/manzano criollo de Huejotzingo, Pue. Los árboles de manzano criollo de un año de edad fueron adquiridos en un vivero y se trasplantaron en el 2002 a una distancia de 1 m entre ellos, en la parte media de una franja de 4.8 m de ancho, en dirección Este-Oeste en el mes de Junio. En la primera quincena del mes de Marzo de 2003 fueron injertados simultáneamente el interinjerto y la variedad Agua Nueva sobre el manzano criollo procedente de semilla. Cuatro años después fue injertado 'Dorssett Golden' en dos ramas secundarias cada 10 árboles (Figura 1) para mejorar la polinización en el manzano 'Agua Nueva' (Cruz *et al.*, 2002).

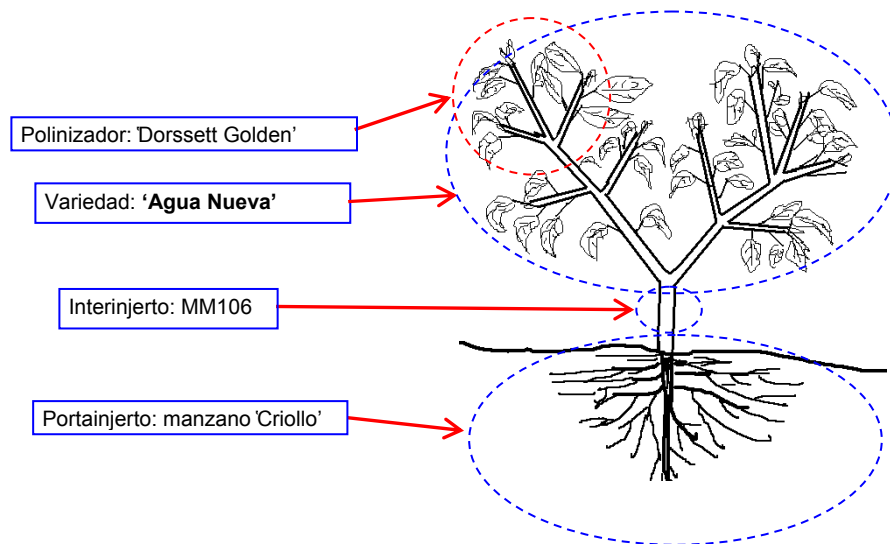


Figura 1. Arreglo y disposición de los genotipos utilizados en la formación del árbol.

En la milpa, para maíz se sembró los híbridos H-155 y H-160, y para frijol las variedades Flor de mayo y frijol negro. En el modulo MIAF, el maíz y el frijol fueron sembrados en surcos alternos hasta completar dos franjas de 4.8 m, que fueron ubicados a los lados de la franja de 4.8 m que corresponde al árbol de manzano (Figura 2).

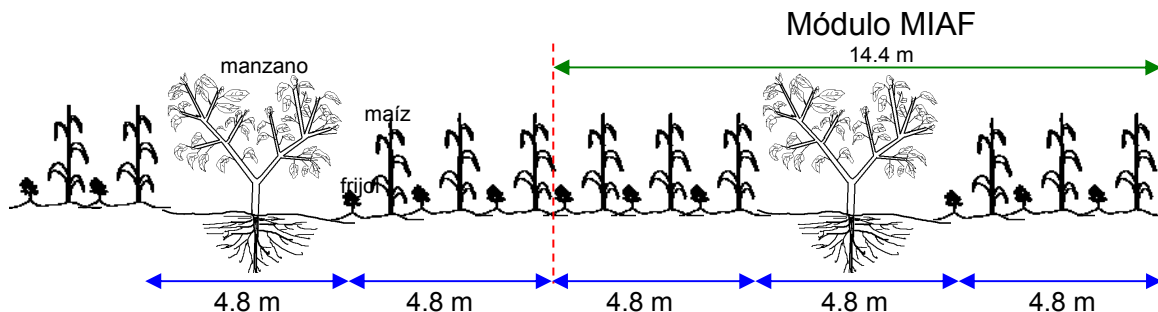


Figura 2. Arreglo topológico del maíz, frijol y manzano en el sistema MIAF.

3.2.2 Fertilizantes

Como fuente nitrogenada se usó urea ($\text{CO}(\text{NH}_2)_2$) con 46% de nitrógeno, para fósforo se usó súper fosfato triple de calcio ($\text{Ca}(\text{NH}_2\text{PO}_4)_2$) con 46% de P_2O_5 y para potasio se usó cloruro de potasio (KCl) con 60% de K_2O .

3.3 Manejo del cultivo

Excepto para la fertilización, el manejo de los árboles se realizó mediante prácticas comerciales de producción, que incluyó, poda de fructificación, aplicación de riego (rodado), control de plagas y enfermedades y control de malezas (manual y químico). La milpa se manejó bajo técnicas convencionales de producción que incluyeron: preparación del terreno (barbecho, rastra y surcado), siembra manual, cultivos y deshierbes (manual y químico), riego (rodado) y control de plagas y enfermedades. Además, el maíz y el frijol se manejaron bajo microrrotación anual, es decir; en un surco, el año que se sembró maíz, para el siguiente año se sembró frijol y viceversa. El manzano fue formado bajo el sistema de conducción Tatura modificado y dado que el sistema MIAF está dirigido a pequeños productores de subsistencia, no incorpora algún método de control de heladas.

De acuerdo a Van den Ende *et al.*, (1987), en el sistema de conducción Tatura, los árboles están formados sobre una estructura en forma de V dispuesta perpendicular a la hilera. El sistema Tatura modificado sigue este principio, pero se induce a que el árbol forme su propia estructura mediante la poda a temprana edad, dejando dos

ramas principales (de estructura) perpendiculares a la hilera, con lo que finalmente toma la forma de V o Y modificada sin ningún tipo de soporte (Cortés *et al.*, 2005).

3.4 Diseño experimental

El diseño de tratamientos fue un diseño central compuesto (Box y Hunter, 1957) con tres factores (N, P y K), con cinco niveles cada uno para un total de 15+1 tratamientos, divididos en tres bloques incompletos para reducir el error experimental (Cuadro 1). Los tratamientos fueron asignados en un diseño experimental en bloques incompletos al azar con dos repeticiones. Cada tratamiento estuvo constituido de dos árboles.

3.5 Conducción del experimento

Las dosis de N, P y K enlistadas en el Cuadro 1 corresponden a 4 veces (4x) la fórmula aplicada en el primer año del experimento, por lo que el tratamiento 100-40-100 es el centro del diseño central compuesto. Por lo tanto, en el año 2002 (plantación) el tratamiento central fue 25-10-25, el cual se duplicó (50-20-50) en el 2003, se triplicó (75-30-75) en el 2004, cuadruplicándose (100-40-100) en el año 2005. A partir de este año se mantuvo este tratamiento al considerarse que cubriría las necesidades del árbol en su fase de plena producción. La aplicación de fertilizantes se realizó al inicio de la primavera, aplicando 1/3 del N y el total de fósforo y potasio. Al final del verano se aplicó el resto del N. Los fertilizantes fueron incorporados al suelo a una profundidad de 15 cm y una distancia aproximada de 40 cm del tronco, colocando una mitad en la parte norte y la otra en la parte sur, correspondiendo a cada rama principal.

Cuadro 1. Lista de tratamientos para estudiar el efecto de las dosis de nitrógeno, fósforo y potasio en el crecimiento vegetativo, rendimiento y calidad de fruto del manzano 'Agua Nueva'/MM106/Manzano criollo Huejotzingo'.

Tratamientos	Niveles de los factores						Bloque
	Codificados			Reales			
	X1	X2	X3	N ←	P ₂ O ₅ g/árbol/año	K ₂ O →	
1	-1	-1	-1	64	16	64	1
2	-1	-1	+1	64	16	136	2
3	-1	+1	-1	64	64	64	2
4	-1	+1	+1	64	64	136	1
5	+1	-1	-1	136	16	64	2
6	+1	-1	+1	136	16	136	1
7	+1	+1	-1	136	64	64	1
8	+1	+1	+1	136	64	136	2
9	-1.633	0	0	40	40	100	3
10	+1.633	0	0	160	40	100	3
11	0	-1.633	0	100	0	100	3
12	0	+1.633	0	100	80	100	3
13	0	0	-1.633	100	40	40	3
14	0	0	+1.633	100	40	160	3
15	0	0	0	100	40	100	3
16	0	0	0	100	40	100	3

La cantidad de frutos por árbol se ajustó a los 30 días después de floración plena con un raleo manual, dejando dos frutos en cada punto de fructificación. Las evaluaciones de crecimiento vegetativo, rendimiento y calidad de fruto se realizaron en los meses de mayo, junio y julio de los años 2010 y 2011.

3.6 Evaluación de la respuesta

La respuesta del manzano puede ser medida con distintas variables. En este estudio el principal interés fue en el crecimiento vegetativo, estado nutricional, rendimiento y sus componentes y calidad del fruto. Para el crecimiento vegetativo se evaluó el área de la sección transversal del tronco (ASTT), la altura del árbol y ancho del dosel. El estado nutricional se evaluó mediante el análisis foliar que incluyó los elementos N, P, K, Ca y Mg. Para el rendimiento de fruto y sus componentes se evaluó los puntos de fructificación (yemas florales), porcentaje de amarre de fruto, número de frutos por árbol, rendimiento en una hectárea MIAF, eficiencia relativa de la tierra (ERT), y eficiencia del rendimiento; y para la calidad del fruto se registró la relación ancho/largo, peso fresco, tamaño, firmeza de la pulpa, °Brix, acidez titulable, índice de Thiault, pH y composición nutricional del fruto. En el año 2011 se evaluaron todas las variables, y en el 2010 solamente se registró el porcentaje de amarre de fruto, rendimiento de fruto, peso fresco y °Brix del fruto. Los datos obtenidos fueron de cada árbol para después calcular las medias para cada tratamiento.

Dentro de las parcelas en algunos tratamientos se observó un crecimiento y desarrollo diferencial entre árboles debido a fallas en el establecimiento de los árboles en los primeros años del experimento, por lo que las variables ASTT, altura del árbol, diámetro de la copa, puntos de fructificación, número de frutos por árbol y rendimiento de fruto, fueron ajustados. El ajuste se realizó eliminando el valor del árbol con menor desarrollo, restando cierto porcentaje del valor del árbol dominante y replicándolo para el árbol previamente eliminado. Los porcentajes de ajuste se asignaron tras la observación directa en las parcelas y con la ayuda del cálculo del ASTT, estableciendo que una diferencia entre valores $> 6 X$ (veces), el ajuste para el árbol dominante fue de -30%; una diferencia $> 4X$, el ajuste para el árbol dominante fue de -20%; y una diferencia $> 2X$, el ajuste para el árbol dominante fue de -10%. Próximo al árbol de menor desarrollo se encontraba un árbol de la parcela adyacente, por lo que el ajuste aplicado para el árbol dominante también fue aplicado a este árbol (Figura A3). El ajuste se realizó en 6 de las 32 parcelas.

3.6.1 Crecimiento vegetativo

Los componentes de crecimiento vegetativo fueron evaluados un mes antes de la cosecha. Se midió el perímetro del tronco de cada árbol, 10 cm por arriba del interinjerto y en árboles con troncos cortos, en la parte media del tronco entre interinjerto y la primera rama de bifurcación para con ello calcular el área de la sección transversal del tronco (ASTT). También se midió la altura de cada árbol desde nivel del suelo hasta el ápice de la rama más alta y el ancho del dosel de cada árbol en la dirección Norte-Sur midiendo hasta las partes más prominentes de la parte media de las dos ramas principales.

3.6.2 Estado nutricional

Para el análisis foliar, se colectaron 100 hojas con peciolo por árbol de la parte media de brotes sin frutos, 30 días antes de la cosecha. Tras ser transportadas al lugar de procesamiento, se lavaron; primero con agua corriente y después se enjuagaron con agua destilada. Posteriormente se secaron en una estufa de ventilación forzada a 70 °C por 72 horas. Después fueron molidas con un molino de acero inoxidable, usando un tamiz con malla 20 y colocadas en bolsas de papel para su análisis. El nitrógeno fue determinado por el método semimicro-Kjeldhal modificado para incluir nitratos y los otros elementos se determinaron por solubilización-digestión con $\text{NHO}_3/\text{HClO}_4$; el potasio, el calcio y el magnesio se cuantificaron por absorción atómica y el fósforo por colorimetría ultravioleta en solución de vanadato-molibdato (Etchevers, 1992).

El diagnóstico del estado nutricional del árbol se hizo mediante el uso de intervalos de suficiencia y de la carta de balance nutricional propuesta por Kenworthy (1973). Para diferenciar los elementos determinados (N, P, K, Ca y Mg) en el análisis foliar de los factores estudiados (N, P, K), los primeros se escribieron en *itálicas* y se les agregó el símbolo “ ’ ” con el fin de poder diferenciarlos; así la notación para el nitrógeno fue de la siguiente manera: *N'*.

3.6.3 Rendimiento de fruto y sus componentes

Previo a la floración, se cuantificó el número total de puntos de fructificación (yemas florales) por árbol. Iniciada la floración, aleatoriamente fueron ubicadas 6 yemas brotadas de cada árbol, uno en la parte baja, otro en la parte media y otro en la parte alta de cada rama principal, en las que una vez que se observó la apertura floral, se contabilizó el número de flores y un mes después se hizo lo mismo con los frutos, calculando con ello el porcentaje de amarre de fruto.

El rendimiento expresado en toneladas por hectárea, para la cosecha del 2010, fue estimado a partir del número y peso de frutos cosechados de cada árbol y extrapolando el rendimiento obtenido a 694 árboles que componen una hectárea MIAF.

Dado que en el año de producción 2011 el rendimiento de fruto fue afectado severamente, primero por heladas tardías que afectaron el amarre de fruto y después por el ataque de pájaros durante su crecimiento; los resultados de rendimiento obtenidos fueron recalculados con base a la producción del ciclo anterior, que se aproximó hasta cierto grado a la cosecha esperada, bajo las condiciones del experimento.

Por lo anterior y dado que el porcentaje de amarre de fruto del 2011 fue considerablemente menor respecto al año anterior, para aproximar un rendimiento esperado, se pensó en obtener una relación inversa de estos valores con el peso promedio de los frutos por el número de estos del año en cuestión, por lo que para la cosecha del año 2011, el rendimiento de fruto por árbol fue reajustado usando la siguiente ecuación:

$$RAF = \frac{\left(\left(\frac{PFC}{FC} \right) \times FDR \right) \times AFA}{AF}$$

Donde:

RAF = Rendimiento ajustado de fruto

FDR = Número de frutos contados después del raleo de fruto

PFC = Peso de los frutos cosechados en gramos

FC = Número de frutos cosechados

AFA = % amarre de fruto del año anterior

AF = % amarre de fruto en el 2011

Esta ecuación generada supone linealidad, por lo que los resultados que de ella se obtienen deben manejarse con reserva, ya que con cargas mayores podría no aplicarse de manera adecuada, en su caso sería conveniente un estimador cuadrático.

A partir de este ajuste, se estimaron los rendimientos, mismos que fueron reajustados donde se observó desarrollo diferencial de árboles dentro de parcelas, siguiendo la metodología para el ajuste de algunas variables anteriormente mencionadas.

Con base a los rendimientos estimados, se estimó una media general de la eficiencia relativa de la tierra (ERT), usando la formula de Mead y Willey (1980):

$$ERT = \frac{\text{Rendimiento del manzano en el sistema MIAF}}{\text{Rendimiento del manzano en el cultivo simple}}$$

Dado que no se tuvo el cultivo simple de manzano, la ERT fue determinada usando los rendimientos de 8.03 y 8.24 ton ha⁻¹ de Golden Delicious bajo riego reportados para el 2010 y 2011 respectivamente, en el Estado de México (SIAP, 2011).

Con el dato del área de la sección transversal (ASTT) en cm² y con base a lo cosechado de cada árbol, se evaluó la eficiencia del rendimiento por árbol (kg/cm²).

3.6.4 Calidad de fruto

Para evaluar el tamaño y la relación largo/ancho del fruto fueron tomados aleatoriamente 3 frutos por árbol, y para la evaluación de firmeza de la pulpa, °Brix, acidez titulable y pH se tomaron aleatoriamente 4 frutos por tratamiento (2 por repetición = 1 por árbol), asegurando que fueran representativos, mismos que fueron utilizados para evaluar el estado nutricional del fruto.

Peso fresco individual. Se obtuvo dividiendo el peso total en gramos de los frutos entre el número total de frutos.

Relación ancho/largo. Se midió el diámetro ecuatorial y el diámetro polar del fruto mediante el uso de un vernier, expresando este dato como la relación diámetro ecuatorial/diámetro polar.

Tamaño. Este se expresó con base a los datos del diámetro ecuatorial.

Firmeza del fruto. Se determinó en dos sitios de la parte media del fruto, midiendo propiamente la firmeza de la pulpa, mediante el uso de un Texturómetro Universal, Force Five FDV-30. Las unidades fueron expresadas en Newtons.

° **Brix.** Se determinó en dos sitios de la parte media del fruto, raspando la pulpa con una cuchara para colectar el jugo y se midió la concentración con el uso de un refractómetro digital ATAGO PR-100 con escala de 0-32%. Cabe mencionar que en la cosecha del 2010, se usó un refractómetro óptico, usando tres frutos por árbol.

Acidez titulable. Fue determinada según el método oficial de la AOAC (1980), expresando los resultados en % de ácido málico, de acuerdo a la siguiente ecuación:

$$\% \text{ ácido málico} = \frac{G \times N \times \text{Meq} \times VT}{P \times A} \times 100$$

Donde:

- G = Gasto usado en la titulación.
N = Normalidad del hidróxido de sodio (0.01)
Meq = Miliequivalentes del ácido málico (0.064)
VT = Volumen Total (muestra + agua en mL)
P = Peso de la muestra utilizada (g)
A = Alícuota (mL)

pH. Se determinó por dilución-titulación con NaOH, usando fenoftaleina como indicador.

Índice de Thiault. Se calculó con base a los resultados de contenido de azúcares y acidez del fruto (Thiault, 1970 citado por Hägg *et al.*, 1999) mediante la siguiente fórmula:

$$IT = AT + AC \times 10$$

Donde:

IT = Índice de Thiault

AT = azúcares totales que corresponde aproximadamente a:

$$AT = (^\circ\text{Brix} \times 10.6) - 20.6$$

AC = Acidéz = g L⁻¹ de ácido málico

Estado nutricional del fruto. Para esta determinación se usaron los mismos frutos que fueron utilizados para evaluar las otras variables de calidad. Dado que el lavado se realizó antes de hacer todos los análisis y para evitar posibles alteraciones en el contenido nutrimental, ya no se realizó un segundo lavado. Para el secado, previamente se había realizado un ensayo cortando el fruto en rodajas de aproximadamente 1 mm de grosor y secándolas en una estufa de ventilación forzada a 100 °C, revisando posibles alteraciones en sus características y composición debido a caramelización de los azúcares. Al no notarse alteraciones, se procedió a

secar las muestras al siguiente día de haber iniciado con los otros análisis de calidad a esta temperatura por un periodo de 5 días. Después fueron molidas con un molino de acero inoxidable, usando un tamiz con malla 20 y colocadas en bolsas de papel para su inmediato análisis, evitando con ello la absorción de humedad. Tal como se hizo para el análisis foliar, el nitrógeno fue determinado por el método semimicro-Kjeldhal modificado para incluir nitratos, y los otros elementos se determinaron por solubilización-digestión con $\text{NHO}_3/\text{HClO}_4$, para lo cual, el potasio, el calcio y el magnesio se cuantificaron por absorción atómica y el fósforo por colorimetría ultravioleta en solución de vanadato-molibdato (Etchevers, 1992).

Similar a lo realizado para el estado nutricional del árbol, para diferenciar los elementos determinados (N, P, K, Ca y Mg) de los factores estudiados (N, P, K), los primeros se escribieron en *itálicas* y se les agregó el símbolo “ ’ ” con el fin de poder diferenciarlos; así para el nitrógeno determinado en la composición nutricional del fruto la notación fue la siguiente: *N'*.

3.7 Análisis estadístico

El efecto de los factores estudiados se evaluó mediante el análisis de varianza y análisis de regresión. El análisis estadístico primero hace referencia al ANOVA y después el análisis de regresión, ya que el ANOVA puede ocultar algún grado de libertad significativo o próximo a serlo, al mostrar en conjunto (promedio) los grados de libertad para una variable en particular, siendo posible encontrar ese grado de libertad con el análisis de regresión. El límite impuesto por el análisis de varianza para encontrar ese grado de libertad significativo o ligeramente significativo puede verse incrementado con el incremento del error experimental, relacionado con el grado de variabilidad de los datos.

Para el ANOVA de tratamientos, bloques y repeticiones, se usó el programa estadístico SAS versión 9 en español, y se realizó la prueba de comparación de medias para tratamientos mediante la prueba de Tukey ($\alpha=0.01$). Donde se incluyó el año como efecto de variación este también fue analizado así como su interacción

con los tratamientos, mientras que bloques y repeticiones no se les hizo mayor análisis, ya que en teoría, estos son ortogonales a los tratamientos; es decir, deben ser iguales, y las diferencias detectadas pueden ser propias del error experimental y la alta variabilidad en los datos.

El análisis de regresión se realizó con base al modelo cuadrático y también se usó el programa estadístico SAS, manejando los factores en términos codificados para luego expresarlos en cantidades de N, P₂O₅ y K₂O, y poder graficar la respuesta. Para la inclusión de los efectos en el modelo, se estableció una presión alta de permanencia ($p < 0.05$), con el fin de que la precisión y sensibilidad del modelo fuera alta. De esta manera se obtuvieron las ecuaciones de regresión, para cada variable independiente y se graficaron las respuestas.

Las variables dependientes fueron evaluadas en los años 2010 y 2011. El modelo cuadrático para estudiar la respuesta a una variable dada con información de un solo año fue de la forma:

$$\hat{y} = r_1 + b_1 + b_2 + r_1b_1 + r_1b_2 + \beta_0 + \beta_1N + \beta_2P + \beta_3K + \beta_{11}N^2 + \beta_{22}P^2 + \beta_{33}K^2 + \beta_{12}NP + \beta_{13}NK + \beta_{23}PK$$

Y para el caso de variables donde se incluyó también el año como factor de estudio el modelo fue:

$$\hat{y} = r_1 + b_1 + b_2 + r_1b_1 + r_1b_2 + \beta_0 + \beta_1N + \beta_2P + \beta_3K + \beta_{11}N^2 + \beta_{22}P^2 + \beta_{33}K^2 + \beta_{12}NP + \beta_{13}NK + \beta_{23}PK + a_1 + a_1\beta_1N + a_1\beta_2P + a_1\beta_3K + a_1\beta_{11}N^2 + a_1\beta_{22}P^2 + a_1\beta_{33}K^2 + a_1\beta_{12}NP + a_1\beta_{13}NK + a_1\beta_{23}PK$$

Donde:

\hat{y} = variable dependiente

r = efecto de repeticiones

b = efecto de bloques

β = estimador

N = efecto de nitrógeno

P = efecto de fósforo

K = efecto de potasio

a = efecto de años

En la obtención de la ecuación de regresión se manejaron variables auxiliares. Por lo tanto, el término a_1 que corresponde a la variable “auxiliar o dummy” para años, toma el valor de $a_1=0$ para el año de referencia, 2011, y $a_1=1$ para el año 2010. En este caso, el término con a_1 indica diferencias de respuesta entre años así como su interacción con los factores N, P y K (Turrent *et al.*, 2005).

Con el fin de incrementar las R^2 de las ecuaciones de regresión, se quitaron del error experimental, los efectos de bloques y repeticiones, ya que el planteamiento inicial buscaba detectar estos efectos usando variables auxiliares; no obstante, fueron descartados para evitar confusión e inconsistencias en la interpretación de los resultados. El daño por pájaros y heladas que se presentaron durante la conducción del experimento, así como por la escasez de efectos significativos debido a los factores N, P y K, hicieron que finalmente se descartara el análisis de bloques y repeticiones,

Por otra parte, debido a que el diseño central compuesto no necesariamente permite graficar con precisión la curvatura de respuesta (Volke *et al.*, 2005), especialmente cuando se incluyen pocos factores, en las interacciones se hizo énfasis en el efecto de las dosis altas de N, P y K en las variables evaluadas, con el fin de una mayor claridad de las gráficas. Como se trata de un diseño central compuesto, en la aplicación de la ecuación de regresión para calcular los valores de las variables dependientes y graficarlos, se manejó el concepto $x_i - x_0$, donde x_i corresponde a la dosis de N, P y/o K evaluadas, y x_0 los valores del centro que para $N=100$, $P_2O_5=40$ y $K_2O=100$; por lo tanto, para hacer referencia a los valores usados en la aplicación de la ecuación de regresión se usaron los términos $N''=N-100$, $P_2O_5'=P_2O_5-40$ y $K_2O'=K_2O-100$.

Para facilitar el cálculo de los valores de las variables dependientes, la instrucción dada en el programa estadístico SAS dividió el espacio de exploración en intervalos constantes, dando para N los valores 40, 70, 100, 130 y 160, para P_2O_5 0, 20, 40, 60 y 80, y para K_2O 40, 70, 100, 130 y 160, mismos que fueron usados para graficar, situación que no representa dificultad para el análisis de la respuesta, ya que dichos valores se encuentran dentro del espacio de exploración. Por otra parte, los consonantes para denominar los factores (N, P y K) se usaron de igual manera para hacer referencia a las dosis de N, P y K, mientras que para la graficación se manejaron gramos de N, P_2O_5 y/o K_2O por árbol por año.

CAPITULO IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Los resultados que a continuación se presentan son con base a la evaluación de los dos años de cosecha (2010 y 2011) y enseguida se hace referencia a las variables evaluadas en el 2011. Estos incluyen análisis de varianza, prueba de comparación de medias, análisis de regresión y gráficas de respuesta.

4.1 Amarre, rendimiento, peso fresco y sólidos solubles totales del fruto

El amarre de fruto y el rendimiento de fruto del año 2011, fueron afectados severamente por heladas tardías y ataque por pájaros a los frutos; por lo tanto, los bajos rendimientos observados de ese año fueron recalculados con base a la ecuación del rendimiento ajustado de fruto (RAF) que supone linealidad, para analizarlos y compararlos con los rendimientos observados del año 2010, aunque para este año también fueron bajos por los intervalos prolongados en la frecuencia de riego en años anteriores. Por lo tanto, los resultados aquí presentados y las conclusiones que de ellos derivan, son bajo la condición de bajos rendimientos, que evidencia las ventajas de un sistema de cultivos intercalados, donde si el árbol frutal falla, se tienen las otras especies, por lo tanto, el ingreso neto del pequeño agricultor puede disminuir seriamente, pero no se queda sin fuente de alimentación básica.

El análisis de varianza (Cuadro 2) indicó que el año afectó el amarre, rendimiento de fruto, y el peso fresco del fruto, y en interacción con tratamientos el contenido de sólidos solubles totales (SST) del fruto. De la misma manera, el factor tratamiento afectó el amarre de fruto, y los factores bloques y repeticiones afectaron los SST. La desviación estándar de la media fue adecuada para los SST, pero para el resto de las variables fue alta.

El amarre de fruto en el año 2010 fue 64% mayor respecto al año 2011 (Cuadro 3). Esto fue debido al daño por heladas ocurridas en el mes de marzo del 2011, durante el periodo principal de floración (Figura A2). Por otra parte, el rendimiento ajustado de la cosecha del año 2011 fue 46% mayor al rendimiento observado de la cosecha

del 2010; no obstante; la rendimiento observado en la cosecha de año 2011 fue de apenas 127.7 kg/ha, y con el ajuste por carga de fruto (número de frutos del 2010) sin el factor amarre de fruto, fue de 1. 166 Mg ha⁻¹ MIAF, siendo ambos rendimientos significativamente inferiores respecto a la cosecha del año 2010, que fue de 1.866 Mg ha⁻¹ MIAF.

Cuadro 2. Análisis de varianza para el amarre de fruto, rendimiento, peso fresco del fruto (PFF) y sólidos solubles totales (SST), en dos años de producción.

FV	GL	Amarre de fruto (%)	Rend. (Mg 0.33 ha ⁻¹)	PFF (g)	SST (°Brix)
Años (A)	1	**	**	**	**
Repeticiones (R)	1	NS	NS	NS	*
Tratamientos (T)	15	*	NS	NS	NS
Bloques (B)	2	NS	NS	NS	*
A x T	15	NS	NS	NS	*
Error	29				
Total	63				
CV (%)		64.26	78.89	26.52	5.87
Media		10.147	2.655	120.5	16.024

NS, *, **: No significativo, significativo a $P \leq 0.05$ y 0.01 , respectivamente; FV: Fuente de variación; GL: Grados de libertad;

Cuadro 3. Efecto del año en el amarre de fruto, rendimiento, peso fresco del fruto (PFF) y sólidos solubles totales (SST).

Año	Amarre (%)	Rend. (Mg/3 ha) ^z	PFF (g)	SST (°Brix)
2010	14.908 a ^y	1.867 b	157.968 a	14.914 b
2011	5.387b	3.445 a	83.045 b	17.134 a
DMSH	3.334	1.071	16.344	0.481

^yMedias con la misma letra dentro de columnas son estadísticamente iguales de acuerdo a la prueba de Tukey ($\alpha=0.01$); DMSH: Diferencia mínima significativa honesta; ^z2010, Rendimiento observado y 2011, Rendimiento ajustado.

El peso fresco del fruto obtenido en el año 2010 fue 47% mayor respecto al año 2011. Los frutos cosechados en el 2011 en su mayoría carecían de semillas (partenocarpia), lo que significa que las heladas no sólo afectaron negativamente el amarre de fruto, sino también la polinización y con ello el tamaño de fruto, la concentración de Ca' en el fruto, entre algunas otras variables, tal como se explicará mas adelante.

Con respecto a los SST, puede notarse diferencia significativa entre años. En los frutos cosechados en el 2011 la diferencia fue 13% más que el año 2010, lo que indica que con una menor carga de frutos se indujo mayor acumulación de sólidos solubles, similar a lo encontrado por Fallahi y Simons (1996).

La comparación de medias para tratamientos en diferencias significativas para el amarre de fruto (Cuadro 4), donde el tratamiento 7 (136-64-64) fue 84% superior al tratamiento 14 (100-40-100) y 89 % mayor respecto al tratamiento 9 (40-40-100).

Estos resultados indican que dosis altas de N y P acompañadas de dosis bajas de K, son favorables para el amarre de fruto; sin embargo, al disminuir las dosis de N y de P e incrementado la dosis de K, el amarre es afectado negativamente. Este resultado evidencia el papel del N en la longevidad del saco embrionario, con ello el periodo efectivo de polinización y consecuentemente en un mayor porcentaje de amarre de fruto. Por otro lado, ya que el suelo no fue deficiente en K, el incremento en las dosis de este elemento, seguramente incidieron desbalance nutrimental, afectando otras variables, entre ellos el amarre de fruto.

La prueba de comparación de medias para la interacción año x tratamientos (Cuadro 5), muestra que el tratamiento 8 (136-64-136) del a₂ (2011), tuvo un 23% a 28% mas °Brix, respecto a casi todos los tratamientos del a₁ (2010), incluyendo el tratamiento 8. Este tipo de resultados sugieren: 1) para el año 2011, los frutos fueron más pequeños, lo que favoreció acumulación de sólidos solubles y 2) en este mismo año hubo menor numero de frutos por árbol, lo que pudo influir en la acumulación de sólidos (Fallahi y Simons, 1996).

Cuadro 4. Efecto del tratamiento de fertilización en el amarre de fruto durante dos años de producción.

Tratamientos	Fórmula	Amarre de fruto (%)
7	136-64-64	20.44 a ²
11	100-0-100	15.59 ab
8	136-64-136	14.80 ab
10	160-40-100	12.08 ab
2	64-16-136	11.99 ab
1	64-16-64	11.30 ab
4	64-64-136	10.94 ab
6	136-16-136	10.15 ab
12	100-80-100	9.89 ab
5	136-16-64	9.48 ab
13	100-40-40	9.17 ab
3	64-64-64	7.77 ab
15	100-40-100	7.63 ab
16	100-40-100	5.79 ab
14	100-40-160	3.19 b
9	40-40-100	2.16 b
	DMSH	17.23

²Medias con la misma letra dentro de columnas son estadísticamente iguales de acuerdo a la prueba de Tukey ($\alpha=0.01$); DMSH: Diferencia mínima significativa honesta.

Con base a los rendimientos de 8.03 y 8.24 Mg ha⁻¹ de 'Golden Deliciosos' bajo riego reportados para el 2010 y 2011 respectivamente, en el Estado de México (SIAP, 2011), para el año 2011 el rendimiento se ubicó en el orden de la media estatal, mientras que la cosecha del 2010 estuvo por abajo.

Se descartó el análisis del efecto de bloques y repeticiones en los SST, ya que en teoría, estos son ortogonales a los tratamientos; es decir, deben ser iguales, y las diferencias detectadas pueden ser propias del error experimental y la alta variabilidad en los datos.

Cuadro 5. Efecto de la interacción Años x Tratamientos sobre los SST en dos años de producción.

Interacción	SST (°Brix)	Interacción	SST (°Brix)
a ₂ ^z 136-64-136	19.75 a ^y	a ₁ 100-0-100	15.75 ab
a ₂ 64-64-64	18.49 ab	a ₂ 100-40-100	15.71 ab
a ₂ 100-40-160	18.35 ab	a ₁ 64-16-64	15.25 b
a ₂ 100-40-40	18.05 ab	a ₁ 100-40-160	15.25 b
a ₂ 64-64-136	17.94 ab	a ₁ 40-40-100	15.03 b
a ₂ 100-40-100	17.88 ab	a ₂ 136-16-136	14.93 b
a ₂ 160-40-100	17.65 ab	a ₁ 100-40-100	14.85 b
a ₂ 40-40-100	16.94 ab	a ₁ 100-40-40	14.83 b
a ₂ 100-80-100	16.74 ab	a ₁ 136-16-136	14.70 b
a ₂ 136-64-64	16.71 ab	a ₁ 136-64-64	14.60 b
a ₂ 100-0-100	16.68 ab	a ₁ 100-80-100	14.55 b
a ₂ 136-16-64	16.33 ab	a ₁ 64-64-64	14.55 b
a ₁ 160-40-100	16.28 ab	a ₁ 136-64-136	14.50 b
a ₁ 100-40-100	16.15 ab	a ₁ 136-16-64	14.28 b
a ₂ 64-16-136	16.11 ab	a ₁ 64-16-136	14.05 b
a ₂ 64-16-64	15.91 ab	a ₁ 64-64-136	14.03 b
		DMSH	4.49

^yMedias con la misma letra dentro de columnas son estadísticamente iguales de acuerdo a la prueba de Tukey ($\alpha=0.01$); DMSH: Diferencia mínima significativa honesta; ^za₁, año 2010, a₂, año 2011.

De acuerdo al análisis de regresión, el amarre de fruto se relacionó con el nitrógeno y fósforo, así como con el efecto de años por si mismo y su interacción con estos dos elementos (Cuadro 6). El rendimiento y los SST del fruto se relacionaron con el año de manera negativa, y el peso del fruto se asoció positivamente con el año y la interacción de éste con el potasio.

El marcado efecto del año, ocasionó que la variación atribuible a este factor en el rendimiento fuera del 33 % y en los SST fuera del 54 %; de la misma manera, en el

amarre de fruto y PFF donde el año interaccionó con otros factores, indica que estos favores explican el 54 y 65 % de la variación total, respectivamente.

Cuadro 6. Ecuaciones de regresión que describen el efecto de N, P y K en el amarre de fruto, rendimiento, peso fresco del fruto (PFF) y sólidos solubles totales (SST) de dos años de producción.

Variable	Ecuación	R ²
Amarre de fruto	$= 5.93436 + 0.00292 NP^* + 6.32607 a_1^{**} + 0.10897 a_1N^{**} + 0.00666 a_1P^2^*$	54
Rendimiento ^z	$= 2.61793 - 1.57794 a_1^{**}$	33
PFF	$= 84.06471 + 74.92276 a_1^{**} + 0.33103 a_1K^*$	65
SST	$= 17.04531 - 2.22031 a_1^{**}$	54

*, **: Significativo a $P \leq 0.05$ y 0.01 , respectivamente; ^zEcuación con base al rendimiento observado en 2010 (a_1) y rendimiento ajustado en 2011 (a_2).

En el año 2010 (a_1), el efecto de la dosis de N en el amarre de fruto fue positivo, lo que ratifica el incremento de esta variable debido al N. Por otra parte, la ecuación evidencia el efecto del daño producido por la helada en el año 2011, pues el amarre de fruto fue significativamente mayor en el año 2010. De la misma forma, la curvatura positiva del P (Figura 3B), indica que dosis bajas o altas de este elemento favorecerían el amarre de fruto; no obstante, cuando estas dosis son combinadas con dosis altas de N, la curvatura es modificada, mostrando un efecto positivo de las dosis de N combinadas con dosis altas de P y con ello el incremento en el amarre de fruto.

Para graficar los resultados, se usaron los valores de N, P_2O_5 y/o K_2O menos los valores del centro del diseño ($N=100$, $P_2O_5=40$ y $K_2O=100$). Por ejemplo, para el caso de amarre de fruto (Figura 3B), la ecuación aplicada fue la siguiente:

$$\hat{y} = 5.93436 + 0.00292 (N-100)(P_2O_5-40) + 6.32607 a_1 + 0.10897 a_1 (N-100) + 0.00666 a_1 (P_2O_5-40)^2$$

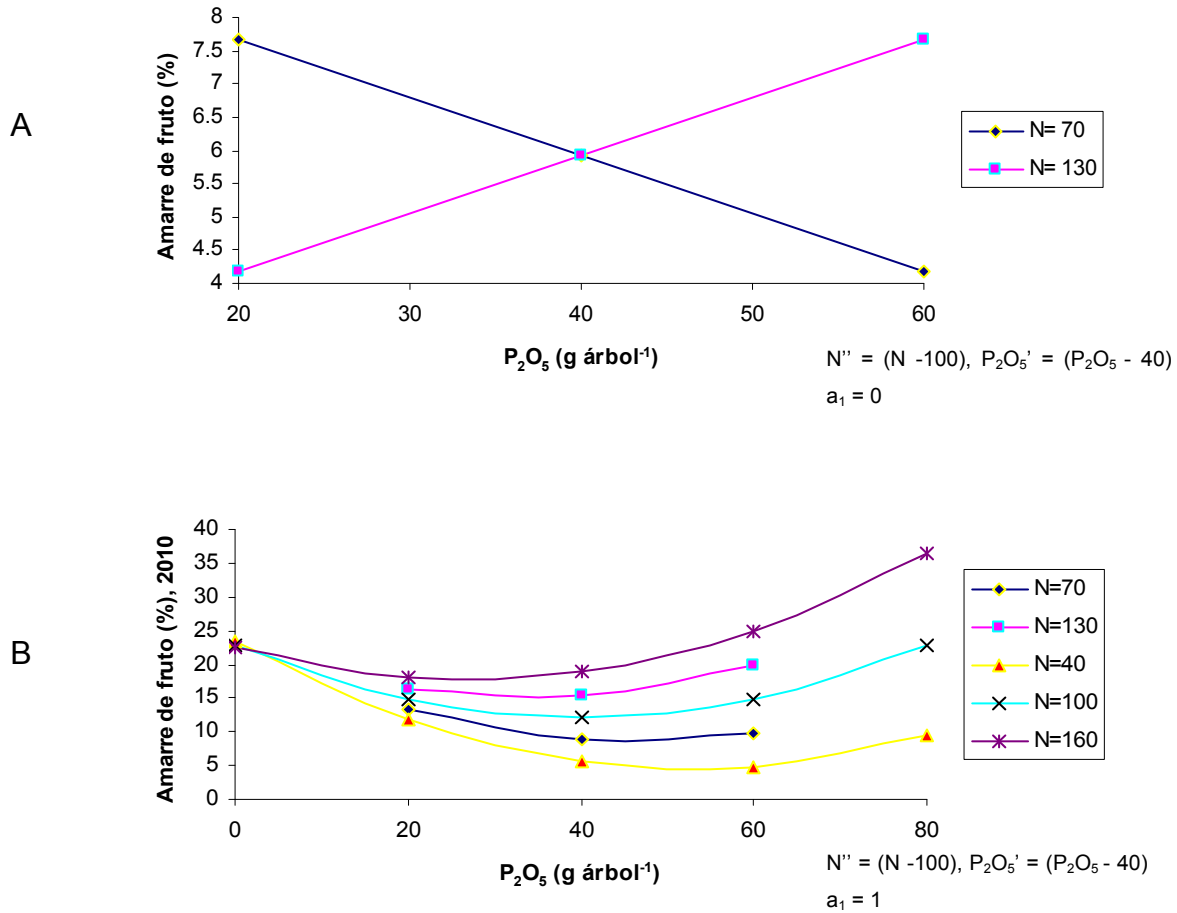


Figura 3. Efecto de las dosis de N y P sobre el amarre de fruto: durante dos años de producción (A), y en el año 2010 (B).

Para el cálculo con la dosis de 70 g de N y 60 g de P_2O_5 para la cosecha del 2010 (Figura 3, B), la solución de la ecuación fue la siguiente:

$$\hat{y} = 5.93436 + 0.00292 (70-100)(60-40) + 6.32607 (1) + 0.10897 (1) (70-100) + 0.00666 (1) (60-40)^2$$

$$\hat{y} = 9.9 \% \text{ de amarre de fruto}$$

Es necesario recordar que el término a_1 indica la diferencia entre años, por lo que para el rendimiento de fruto no hubo respuesta a los factores N, P y K; no obstante, el efecto negativo del factor año, significó la disminución de 1.577 t ha^{-1} MIAF para el

año 2010 (a_1). Similar a lo realizado en el ANOVA, la comparación del rendimiento observado de la cosecha en 2010 con el rendimiento ajustado de la cosecha del año 2011 (Cuadro A2), condujo a este resultado, de haberse hecho la comparación sólo con rendimientos observados, el rendimiento menor sería para la cosecha de 2011.

El PFF en el año 2010 se incrementó de 84.06 a 158.98 g y junto con la dosis de K, por cada gramo de este elemento, el peso se incrementó en 0.33 g (Figura 4). Al respecto, se ha encontrado una correlación positiva del peso fresco del fruto con la concentración de K en fruto (Fallahi y Simons, 1996). El K y el N están estrechamente relacionados con la productividad del huerto; en general, ambos elementos se encuentran en concentraciones más altas que otros macronutrientes en los frutos de los manzanos (Nava y Roque, 2009).

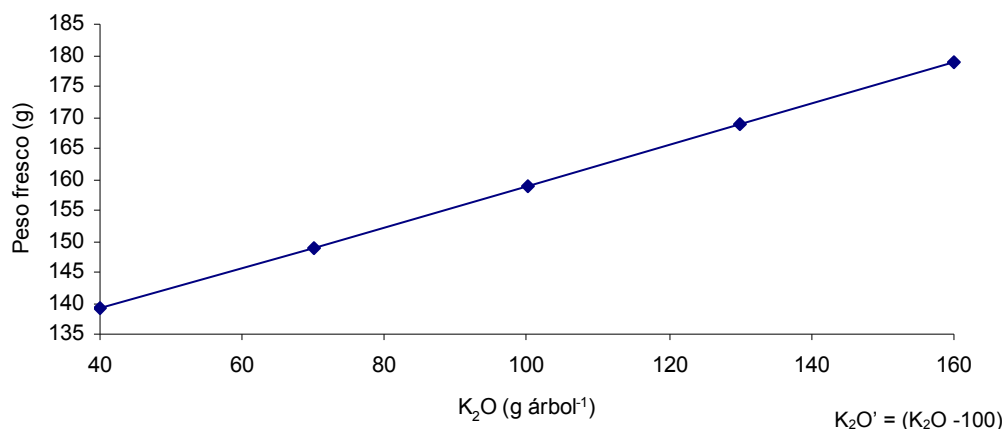


Figura 4. Efecto de la dosis de K sobre el peso fresco del fruto cosechado en el año 2010.

Una polinización deficiente a causa de las heladas pudo ser la causante de que en el 2011 los frutos fueran más pequeños (menor PFF), ya que los frutos cosechados prácticamente no tenían semillas. Por otro lado, el mayor tamaño de fruto de la cosecha del 2010, pudo haber provocado un efecto de dilución, afectando negativamente los °Brix, aunque también existe la posibilidad de que el P haya favorecido la absorción de Ca (Nielsen *et al.*, 1993), tal como se explicará mas adelante. Resultados similares fueron encontrados por Fallahi y Simons (1996),

quienes hallaron que el Ca puede afectar negativamente la concentración de sólidos solubles al momento de la cosecha.

Este tipo de resultados muestran como el incremento en el tamaño del fruto disminuye el contenido de sólidos solubles (efecto de dilución); es decir, frutos grandes son menos firmes que frutos pequeños. Contrario a esto, Fallahi y Simons (1996), encontraron que árboles con alto rendimiento produjeron frutos más pequeños y tuvieron menores concentraciones de sólidos solubles; no obstante, esa disminución de SST pudo deberse mas por la carga que por el tamaño de fruto; por lo tanto, la carga influyó en la calidad de los frutos.

Las escasas relaciones encontradas en este trabajo entre las variables de respuesta y las dosis de N, P y K, son similares a lo reportado en el estudio conducido por Ughini (1990), donde en dos años de estudio en manzano, encontró un reducido numero de relaciones entre parámetros de calidad del fruto con la concentración de elementos minerales en la hoja y/o condición mineral del suelo, por lo que se recomienda la evaluación de más años de producción. Por ejemplo, Nava y Roque (2009) estudiaron la respuesta durante ocho años, de 1998 a 2006.

4.2 Crecimiento vegetativo

En lo sucesivo, los resultados se centran el análisis se centra en las variables dependientes evaluadas en el año 2011 y en su caso se relaciona con lo encontrado en el análisis anterior, que incluyó los dos años.

El análisis de varianza (Cuadro 7) mostró que los factores no afectaron el ASTT, altura y ancho del dosel del árbol, con desviación estándar de la media adecuada. Sin embargo, el análisis de regresión indicó que la interacción N x P se relacionó con la primera variable dependiente.

La ecuación de regresión fue:

$$ASST = 68.2675 - 0.0123 NP \quad (R^2 = 16)$$

Cuadro 7. Análisis de varianza del área de la sección transversal del tronco (ASTT), altura del árbol y ancho del dosel del árbol.

FV	GL	ASTT (cm ²)	Altura del árbol (m)	Ancho del dosel (m)
Tratamientos	15	NS	NS	NS
Bloques	2	NS	NS	NS
Repeticiones	1	NS	NS	NS
Error	13			
Total	31			
CV (%)		16.33	16.64	15.74
Media		66.36	2.58	1.90

NS: No significativo; FV: Fuente de variación; GL: Grados de libertad.

De acuerdo a esta ecuación, con dosis bajas de P, el ASTT se incrementó, al aumentar la dosis de N, y viceversa con dosis altas de P (Figura 5); no obstante, la disminución puede darse cuando las dosis altas o bajas de ambos elementos son combinadas. Este resultado hay que tomarlo con reserva, ya que el coeficiente de determinación fue bajo. Respecto a lo anterior, Zahreddine *et al.* (2008), encontraron que las dosis excesivas de nitrógeno, pueden disminuir el crecimiento vegetativo en *Malus trilobata*.

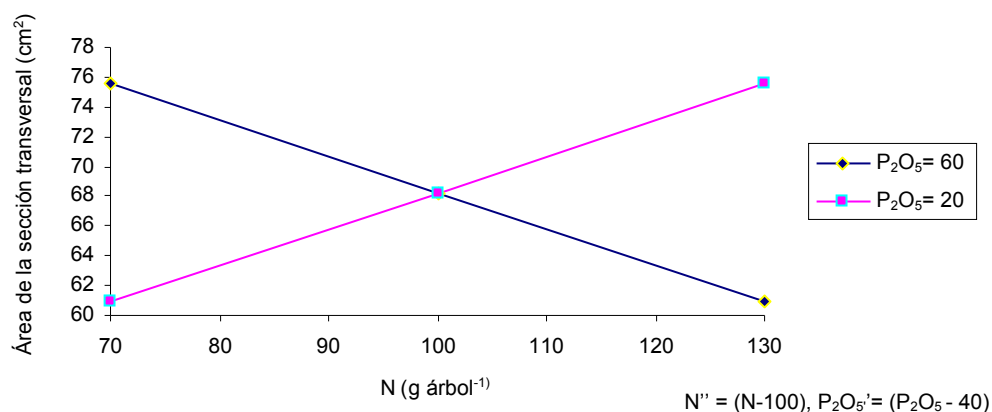


Figura 5. Área de la sección transversal del tronco en función de la interacción N x P.

Se tiene conocimiento de que el N en forma de NH_4^+ provoca un efecto antagónico sobre la absorción de K^+ (Arciniega, 1999, Yuri, 2010); sin embargo, combinado con el P en un suelo que no es deficiente de K, al parecer favoreció la absorción de K y otros nutrimentos, que impactaron favorablemente otras variables de calidad de fruto, pero no el crecimiento vegetativo. Por otra parte, el contenido medio de P en el suelo del experimento (Cuadro A1), sobre todo al final de la hilera, aunado al suministro de este elemento, es probable que haya favorecido el crecimiento radical del árbol, afectando negativamente el crecimiento vegetativo de la parte aérea del árbol.

La altura del árbol y el ancho del dosel pudieron haber sido influenciados por la intensidad de poda, razón por la cual no se detectaron efectos significativos, y muestra que con el tratamiento 64-16-64, se alcanzaron valores promedio 2.58 m de altura y 1.9 m de ancho de dosel. Debido a los problemas que ya se explicaron en otros apartados, no se sabe con certeza si con este desarrollo vegetativo, los árboles son capaces de dar la máxima producción, ya que influyen otros factores como distancia de plantación e intensidad de la poda.

4.3 Estado nutricional

Cabe recordar que para diferenciar los elementos determinados (N, P, K, Ca y Mg) en el análisis foliar de los factores estudiados (N, P, K), los primeros se escribieron en *itálicas* y se les agregó el símbolo “ ’ ” con el fin de poder diferenciarlos; por lo tanto, la notación para la concentración de nitrógeno fue: N' .

El análisis de varianza mostró que la concentración de P' en la hoja (lámina y peciolo) fue afectado por los tratamientos y repeticiones, cuyo efecto también fue significativo en la concentración de N' en la hoja; mientras tanto, los otros elementos no fueron afectados (Cuadro 8). La desviación estándar de la media fue adecuada, excepto para el K' , que fue alta.

Cuadro 8. Análisis de varianza de la concentración de N' , P' , K' , Ca' y Mg' en la hoja.

FV	GL	N'	P'	K'	Ca'	Mg'
Tratamientos	15	NS	*	NS	NS	NS
Bloques	2	NS	NS	NS	NS	NS
Repeticiones	1	*	**	NS	NS	NS
Error	13					
Total	31					
CV (%)		5.24	8.45	24.93	13.35	13.68
Media		1.96	0.16	1.67	0.63	0.26

NS, *, **: No significativo, significativo a $P \leq 0.05$ y 0.01 , respectivamente; FV: Fuente de variación; GL: Grados de libertad.

Los tratamientos no causaron variaciones significativas en la concentración de K' en la hoja, quizá por que el suelo donde se realizó el presente trabajo no era deficiente de este elemento; así mismo, el Mg' y el Ca' no presentaron diferencias significativas; sin embargo, de acuerdo a la carta de balance nutricional se situaron en el intervalo abajo del normal (Figura A1) y el K' generalmente se ubicó en “normal” y “arriba del normal”. Las concentraciones con medias para N' de 1.96 %, P' de 0.16 %, K' de 1.67% y Mg' de 0.26%, se consideran suficientes según lo indicado por Silva y Rodríguez (1995), y el Ca' con 0.63 % puede considerarse como insuficiente, lo cual tiene relación con lo obtenido en las cartas de balance. Resultados similares fueron obtenidos por Dris *et al.* (1999) quienes encontraron concentraciones altas de N' , P' y K' y bajas de Ca' y Mg' en muestras tomadas de brotes sin frutos.

La no deficiencia del K en el suelo, probablemente se deba a que este elemento está retenido más fuertemente que el sodio por lo que no se lixivía fácilmente, por lo tanto su nivel, en los suelos regularmente fertilizados, suele ser elevado, y a lo largo del tiempo, puede provocarse un enriquecimiento en K, con el consiguiente efecto antagónico sobre la absorción de Ca y Mg por parte de las raíces (Monge *et al.*, 1994), conduciendo a tener algunos desbalances nutrimentales.

Por otra parte, también se ha demostrado que el fenómeno de la alternancia de producción puede cambiar significativamente las concentraciones de los elementos en las hojas, ya que Bould (1966), en un estudio donde evaluó los cambios en el contenido nutrimental de la hoja del manzano en años “on” y “off”, encontró que para el año “on” (producción normal), la concentración de N' , Ca' y Mg' incrementaba, mientras que la de K' disminuía y el P' permanecía sin cambios. Con esto se deduce que en la cosecha del 2011, al haber poca producción, la concentración de Ca' fue baja; de la misma forma, explica el porque en las cartas de balance, las concentraciones de N' , Ca' y Mg' con frecuencia se ubicaron en intervalos “abajo del normal” y el K' en “normal” y algunas veces “arriba del normal” (Figura 8).

El pH del suelo moderadamente alcalino, que puede afectar la absorción del P, pudo ser así, pues en la cartas de balance nutrimental, en general se ubicó en el intervalo por abajo del normal, pero no lo suficiente como para afectar negativamente el estado nutricional de la hoja, ya que de acuerdo a Silva y Rodríguez (1995) fue suficiente, y el contenido medio de este elemento en el suelo, donde 20 años antes de establecerse el experimento para este estudio, se estuvo aplicando fertilizante fosfórico en los cultivos ahí establecidos.

De acuerdo a la comparación de medias la concentración de P' en la hoja fue 27 % mayor con el tratamiento 4 (64-64-136) con respecto al tratamiento 6 (136-16-136) y 30 % mayor con respecto al tratamiento 10 (160-40-100). Esto indica que dosis bajas de N, junto con dosis alta de P y K, incrementaron la concentración del P' en la hoja; sin embargo, dosis altas de N acompañadas de dosis medias o altas de K afectan negativamente la concentración de P' en la hoja, sin importar si se aplican dosis bajas o medias de este elemento.

Cuadro 9. Efecto del tratamiento en la concentración de fósforo en la hoja (P') de árboles de manzano 'Agua Nueva'

Tratamiento	Fórmula de fertilización	P' (%)
4	64-64-136	0.199 a ²
7	136-64-64	0.176 ab
15	100-40-100	0.175 ab
3	64-64-64	0.171 ab
14	100-40-160	0.170 ab
1	64-16-64	0.169 ab
13	100-40-40	0.158 ab
16	100-40-100	0.158 ab
5	136-16-64	0.157 ab
9	40-40-100	0.154 ab
11	100-0-100	0.153 ab
2	64-16-136	0.151 ab
8	136-64-136	0.150 ab
12	100-80-100	0.147 ab
10	160-40-100	0.140 b
6	136-16-136	0.140 b
	DMSH	0.056

²Medias con la misma letra dentro de columnas son estadísticamente iguales de acuerdo a la prueba de Tukey ($\alpha=0.01$); DMSH: Diferencia mínima significativa honesta.

Estos resultados tienen cierta relación con lo reportado por Neilsen *et al.* (2008), quienes encontraron que la fertilización con P en manzano incrementa la concentración de P' en la hoja. Por otra parte, dosis altas de N podrían causar desbalances nutrimentales disminuyendo la concentración de P' en la hoja a niveles por abajo del normal (Figura 7).

El efecto de repetición se omite su análisis, ya que en teoría, estos son ortogonales a los tratamientos; es decir, deben ser iguales, y las diferencias detectadas pueden ser propias del error experimental y la alta variabilidad en los datos.

El análisis de regresión indicó que la concentración de P' en la hoja estuvo relacionado con la dosis de N, la de K' con el efecto cuadrático de K y con la interacción de éste con el P; la de Ca' con el efecto cuadrático de P y la interacción P x K. La concentración de N' y Mg' no se relacionó con las dosis de N, P y K (Cuadro 10). La variación atribuible al factor N en la concentración del P' en la hoja fue del 27 %, mientras que en la concentración del K' debido al K y su interacción con el P fue del 30 % y en el Ca' debido al P y su interacción con el K fue del 29 %.

Cuadro 10. Ecuaciones de regresión que describen el efecto de N, P y K en la concentración de P' , K' y Ca' en la hoja.

Variable	Ecuación	R ²
P'	$= 0.16156 - 0.00019 N^*$	27
K'	$= 1.44056 + 0.00020 K^2^{**} + 0.00032 PK^{**}$	30
Ca'	$= 0.59201 + 0.00008 P^2^{**} + 0.00006 PK^{**}$	29

*, **: Significativo a $P \leq 0.05$ y 0.01 , respectivamente.

Es probable que el N aplicado en forma de urea al ser convertido en NO_3^- ocasionara cierto desbalance por competencia entre aniones, reflejando la disminución de la concentración del P' en la hoja (Figura 6A). Se descarta el efecto por dilución, ya que con el incremento en la dosis no se observó un incremento significativo en el crecimiento del tronco, de la altura del árbol y del ancho de dosel. Esto indica que dosis altas de N podrían asociarse con un desbalance nutrimental disminuyendo la concentración de P' en la hoja a niveles por abajo del normal (Figura 7), y cuando estas dosis son combinados con dosis altas de P podrían afectar el ASTT. Este resultado ratifica lo obtenido en la comparación de medias de tratamientos, donde se observó que las dosis altas de N disminuyeron la concentración de P' en la hoja.

Dosis altas o bajas de K incrementarían la concentración del mismo en la hoja, pero la interacción P x K positiva modifica las curvaturas, de tal manera que con dosis bajas o altas de ambos elementos puede tenerse la mayor concentración de K' en la hoja, pero disminuye si se baja la dosis de unos de los dos elementos. Similar a lo

anterior ocurre con el efecto del P y su interacción positiva con el K en la concentración del Ca' en la hoja (Figura 6B).

De acuerdo a la carta de balance nutricional de los tratamientos 4 (64-64-136), 8 (136-64-136) y 12 (100-80-100), las dosis altas de P y K incrementarían la concentración de K' por arriba de lo normal (Figura 8), ya que como ha de recordarse, el suelo no era deficiente de este elemento, provocando con ello algunos desbalances nutrimentales. Al respecto, se ha encontrado incremento de la concentración de K' por la fertilización potásica (Nava y Roque, 2009); de la misma manera, la adición de P puede favorecer la absorción de Ca' (Boniche *et al.* 2008), que a pesar de que no fue observado claramente en la carta de balance nutricional, este efecto si se detectó en el análisis por regresión.

La curvatura positiva en la ecuación de regresión de la concentración de Ca' en función de la dosis de P, indica que dosis altas o bajas de P incrementarían el Ca' en la hoja, resultado que tiene relación a lo reportado por Boniche *et al.* (2008), quienes mencionan que el fósforo puede propiciar una mayor absorción de Ca. Lo anterior también muestra cierto desbalance generado por competencia, ya que con dosis intermedias de P y K, la absorción de Ca puede estar mas restringida por la absorción de K, mientras que con el incremento de P, se podría favorecer la absorción de Ca sin afectar la de K.

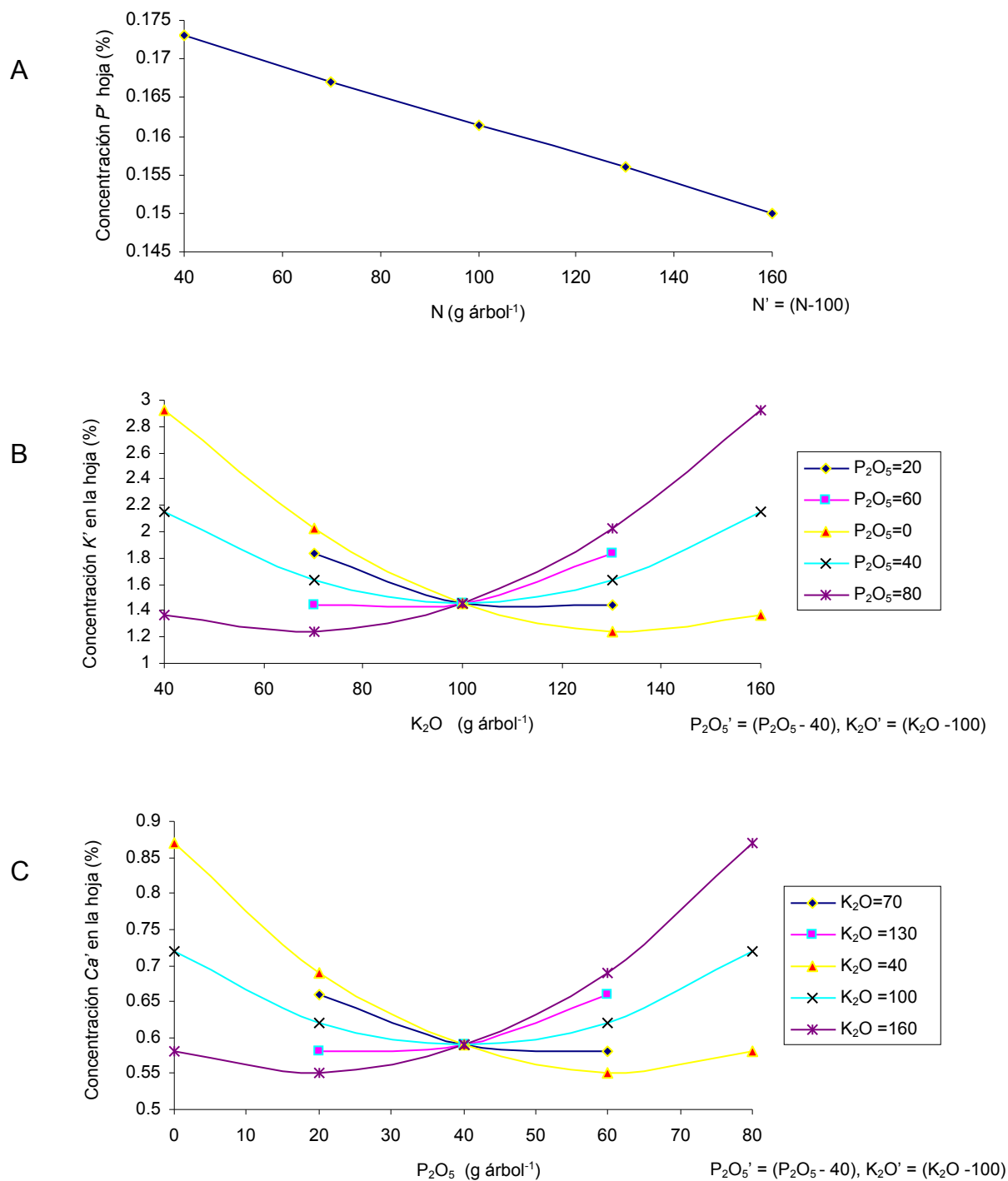


Figura 6. Estado nutricional del árbol manzano 'Agua Nueva' de acuerdo al análisis foliar: (A) efecto del N sobre la concentración de P', (B) efecto del K y P sobre la concentración de K' y (C) efecto del P y K sobre la concentración de Ca'.

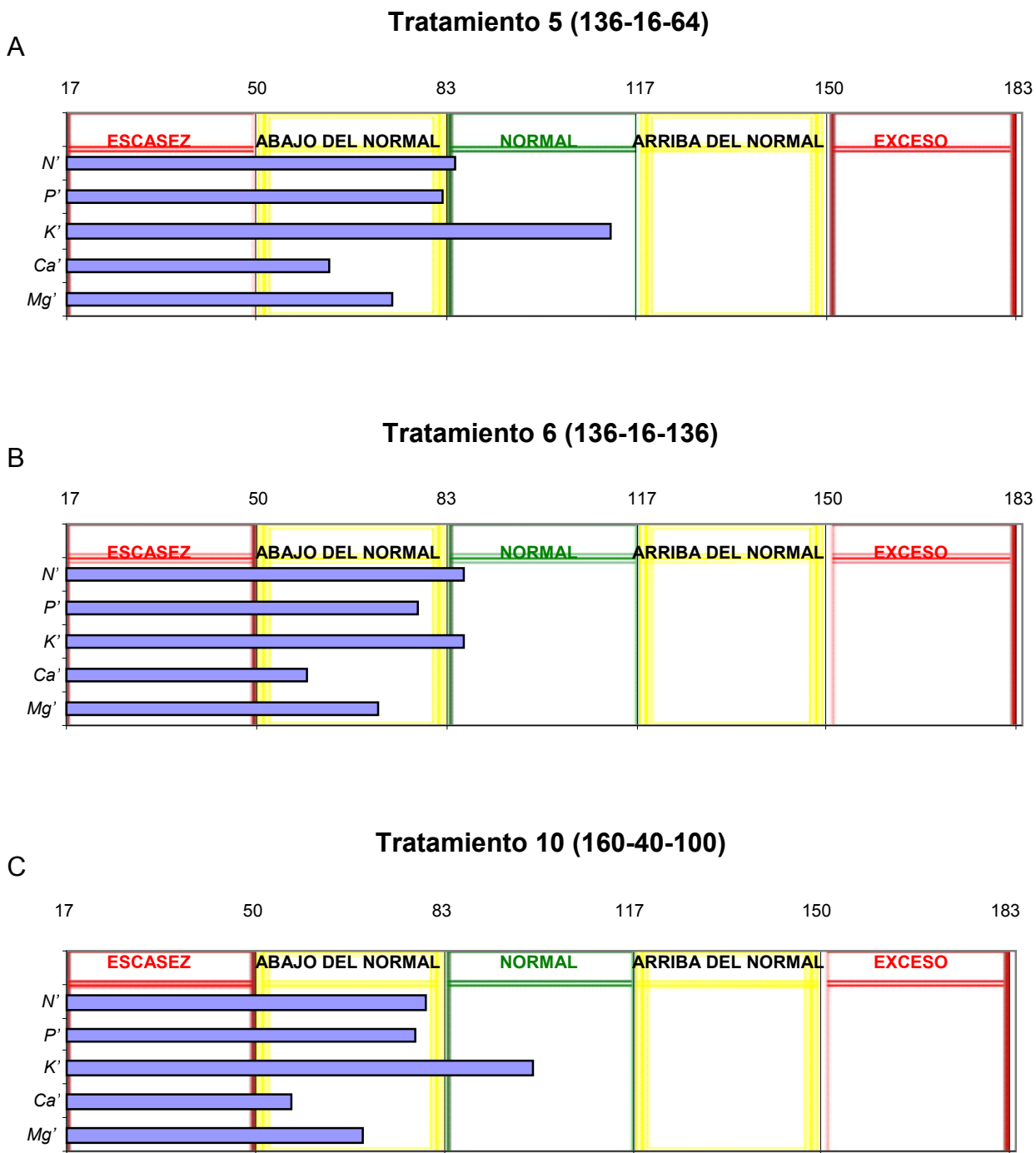
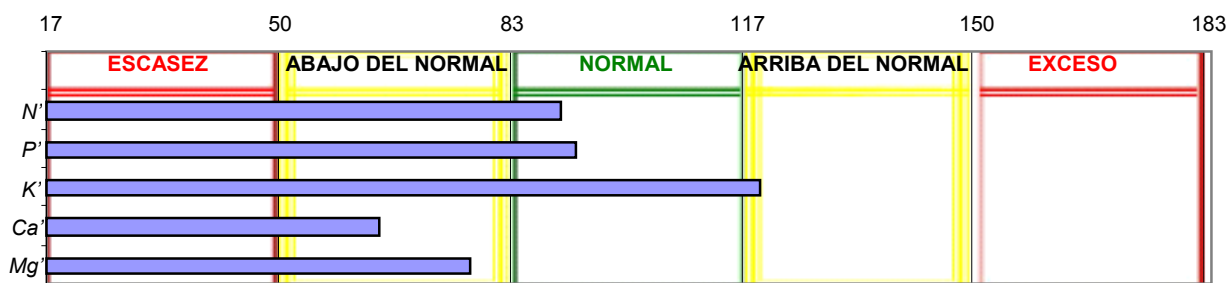


Figura 7. Cartas de balance nutricional para los tratamientos con niveles altos de N: (A) 136-16-64, (B) 136-16-136 y (C) 160-40-100 que manifiestan cierto grado de desbalance nutrimental.

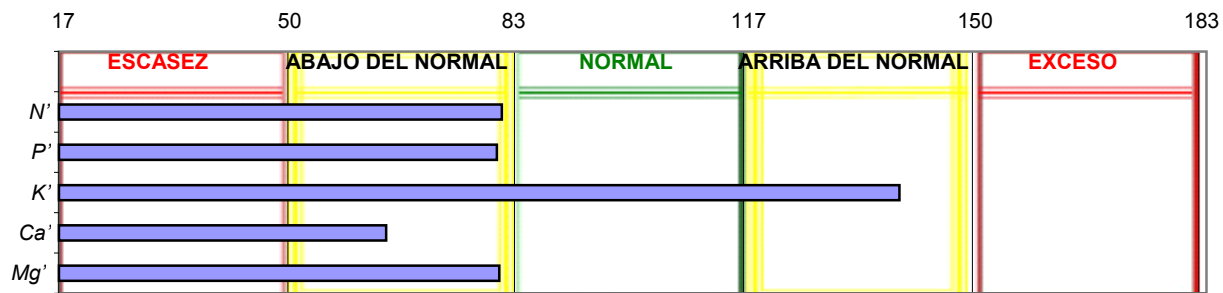
Tratamiento 4 (64-64-136)

A



Tratamiento 8 (136-64-136)

B



Tratamiento 12 (100-80-100)

C

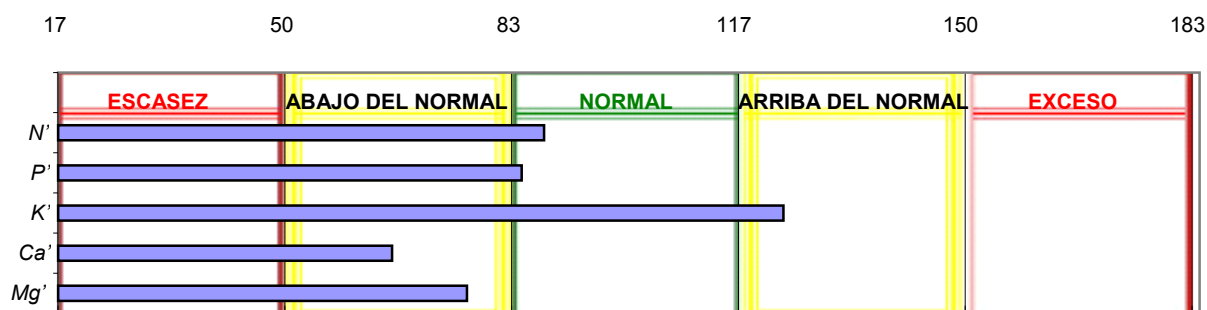


Figura 8. Cartas de balance nutricional para los tratamientos con niveles altos de K: (A) 64-64-136, (B) 136-64-136 y (C) 100-80-100, que manifiestan cierto grado de desbalance nutricional, y muestran el efecto de la carga de cosecha sobre la composición nutricional del fruto.

Lo anterior coincide con lo obtenido por Neilsen y Edwards (1982), quienes encontraron interacción negativa entre K y Ca, y de acuerdo con Yuri (2010) se debe en parte por que el catión monovalente K es uno de los más fuertes competidores en la absorción de Ca. De acuerdo al mismo autor, la escala de inhibición de cationes desde el suelo, sería: $\text{NH}_4^+ > \text{K}^+ > \text{Mg}^{++} > \text{Ca}^{++}$; de la misma forma, el antagonismo de otros iones con el calcio puede ponerse de manifiesto tanto en los mecanismos de absorción, translocación y almacenamiento, como posteriormente, en el interior del mismo fruto (Monge *et al.*, 1994). De ahí la importancia de la nutrición equilibrada de cationes en los huertos (Neilsen y Edwards, 1982).

4.3 Rendimiento de fruto y sus componentes

Para este análisis también se consideró el rendimiento ajustado de fruto (Cuadro A2); por lo tanto, los resultados aquí presentados y las conclusiones que de ello derivan, son bajo la condición de bajos rendimientos.

El análisis de varianza mostró que el efecto de tratamientos solamente fue significativo en el número de puntos de fructificación (NPF), no así el rendimiento y sus componentes tuvieron una respuesta similar (Cuadro 11). Sin embargo, cabe mencionar que las desviaciones estándar de la media fueron altas. Estos resultados indican que al no haber una respuesta significativa a las dosis de N, P y K, con el tratamiento de dosis baja (64-16-64) podría ser suficiente para tener el amarre de fruto, número de frutos, rendimiento y eficiencia del rendimiento (ER), que bajo las condiciones experimentales de daños por heladas (año atípico) y daño por pájaros, no se pudo observar el máximo potencial productivo (valores óptimos deseables esperados) de los frutales, y bajo el supuesto que se deriva del cálculo de los rendimientos del 2011 en el que supone linealidad.

Cuadro 11. Análisis de varianza del rendimiento y sus componentes.

FV	GL	NPF	Amarre (%)	No. frutos	Rendimiento (Mg 0.33 ha ⁻¹)	ER (g cm ⁻²)
Tratamientos	15	*	NS	NS	NS	NS
Bloques	2	NS	NS	NS	NS	NS
Repeticiones	1	NS	NS	NS	NS	NS
Error	13					
Total	31					
CV (%)		25.49	121.85	66.80	82.55	82.55
Media		134.18	5.38	18.10	3.38	74.83

NS, *: No significativo, significativo a $P \leq 0.05$, respectivamente; FV: Fuente de variación, GL: Grados de libertad; NPF: Número de Puntos de fructificación; ER: Eficiencia del rendimiento.

Un bajo porcentaje de amarre de fruto (5.38 %), una carga de 18.1 frutos por árbol y una ER de 74.83 g cm⁻² indican que los árboles no expresaron su máximo potencial productivo. Lombard *et al.* (1988) indican que un cuajado de 12 % en manzano proporciona una cosecha comercial. Al respecto, otros trabajos han demostrado que el manzano 'Agua Nueva II' polinizado manualmente con 'Anna', 'Elba' y 'Ma'ayan', presenta 19.6, 12.9 y 13.4 % de amarre de fruto, respectivamente (Cruz *et al.*, 2002). No obstante, el amarre de fruto disminuye a un 1.3 % cuando se deja a libre polinización, lo que puede ser comparable con lo obtenido en este estudio; sin embargo, se ha encontrado un amarre inicial de 61% en polinización abierta en manzano 'Golden Deliciosos' cuando este se le incorpora el polinizador 'Snow Drift' y tres colmenas de abejas por hectárea (Guerrero *et al.*, 2006).

A pesar de que el ANOVA no detectó diferencias significativas entre tratamientos para amarre de fruto, en el primer análisis, el cual incluyó el efecto de año si hubo, y el tratamiento 7 (136-64-64) tuvo un amarre 84% mayor respecto al tratamiento 14 (100-40-100), y 89 % mayor respecto al tratamiento 9 (40-40-100).

Por otra parte, el promedio de 134 puntos de fructificación, indican que de no haber tenido los problemas que con anterioridad se mencionaron y aun cuando cierto

porcentaje de yemas florales no brotaran, los árboles pudieron haber expresado mayor potencial productivo, ya que el rendimiento promedio ajustado para la cosecha del 2011 fue de 3.38 Mg en una hectárea MIAF. Usando este dato para estimar la ERT con base a los rendimientos (8.24 Mg ha^{-1}) de 'Golden Delicious' bajo riego de la producción 2011 en el Estado de México (SIAP, 2011), se tuvo una ERT en promedio de 0.41 (mayor que 0.33). Esto lo que indica que el rendimiento medio del experimento en 2011, con el ajuste aplicado debido al efecto de heladas tardías y daño por pájaros, se ubica en el orden de la media estatal.

Estos resultados parecen diferir con lo obtenido por Neilsen *et al.*, (2008) y Moran y Schupp (2005) quienes encontraron que la fertilización solo con fósforo o la combinación de este con composta en manzano incrementa el rendimiento. Se espera que con producciones mayores este comportamiento sea diferente y puedan encontrarse algunas dosis óptimas; así mismo, un incremento en el tamaño de la unidad experimental y número de repeticiones disminuiría el error experimental.

La prueba de comparación de medias para la variable puntos de fructificación (Cuadro 12), indicó que el tratamiento 3 (64-64-64) fue superior en un 70 % con respecto al tratamiento 7 (136-64-64). Lo anterior sugiere que el simple hecho de adicionar más nitrógeno provocó un efecto desfavorable en la formación de estos puntos de fructificación, y cuando estas dosis altas son combinadas con dosis altas de P se provoca un desbalance nutrimental, afectando no solo esta variable, sino también el crecimiento vegetativo (ASTT).

El N que generalmente se relaciona con mayor desarrollo vegetativo, aunque en el presente trabajo no se encontraron claras evidencias, se podría suponer que a cambio de esto, restringió la formación de puntos de fructificación. Los resultados anteriormente expuestos tienen relación con los resultados del análisis foliar, donde dosis altas de N disminuyeron el P en la hoja, y tiene cierta relación con lo encontrado por Neilsen *et al.* (2008), quienes demostraron que la fertilización con fósforo en manzano incrementa el rendimiento; por el contrario, Hirst y Ferree (1995) no encontraron relación entre el desarrollo de las yemas florales y la concentración

mineral de las hojas de los brotes o de los niveles minerales del meristemo apical. Estos resultados hay que manejarlos con cierta reserva, en su caso ampliar el número de años evaluados.

Cuadro 12. Efecto de tratamientos en el número de puntos de fructificación (NPF) de árboles de manzano 'Agua Nueva'.

Tratamiento	Fórmula de fertilización	NPF
3	64-64-64	207.35 a ^z
16	100-40-100	171.75 ab
15	100-40-100	157.25 ab
2	64-16-136	152.03 ab
13	100-40-40	150.90 ab
11	100-0-100	145.98 ab
8	136-64-136	144.50 ab
4	64-64-136	143.80 ab
6	136-16-136	131.95 ab
5	136-16-64	130.00 ab
14	100-40-160	128.85 ab
10	160-40-100	124.45 ab
1	64-16-64	123.10 ab
9	40-40-100	91.50 ab
12	100-80-100	82.25 ab
7	136-64-64	61.25 b
	DMSH	141.79

^zMedias con la misma letra dentro de columnas son estadísticamente iguales de acuerdo a la prueba de Tukey ($\alpha=0.01$); DMSH: Diferencia mínima significativa honesta.

De acuerdo a las ecuaciones de regresión el rendimiento y la eficiencia del rendimiento (ER) se relacionaron con el efecto cuadrático del K (Cuadro 13); mientras tanto, la variación asociada a tratamientos fue significativamente menor al error experimental en las otras variables dependientes. La variación atribuible al

factor K en el modelo sobre el rendimiento y la ER fue de 28 y 34 % respectivamente.

Cuadro 13. Ecuaciones de regresión que describen el efecto de la dosis de N, P y K en el rendimiento y la eficiencia del rendimiento (ER).

Variable	Ecuación	R ²
Rendimiento	= 2.48051 - 0.0147 K ^{NS} + 0.0007 K ² *	28
ER	= 53.16963 - 0.3322 K ^{NS} + 0.01575 K ² *	34

^{NS}, *: No Significativo y significativo a $P \leq 0.05$, respectivamente.

La curvatura positiva del K en la ecuación de regresión para rendimiento y ER significa que dosis altas o bajas serían favorables, pero como esta respuesta es confusa, se procedió a involucrar el efecto lineal del mismo elemento; aunque no significativo estadísticamente, para ambas variables fue negativa. Esta respuesta se debe a la no deficiencia de este elemento en el suelo en el que fue llevado a cabo el experimento (Cuadro A1).

Las graficas para rendimiento de fruto y ER muestran que debido al efecto cuadrático del K, con dosis ligeramente altas de K (centro del diseño) se tienen los valores mas bajos; sin embargo, con las dosis que corresponden a dosis bajas de dicho elemento, el rendimiento y la ER tienden a incrementarse, lo que supone que a dosis bajas, incluso por abajo de las exploradas podrían dar los valores mas altos (Figura 9).

De acuerdo a la respuesta del crecimiento vegetativo, un desbalance provocado por dosis altas de N y P, podría afectar el área de la sección transversal del tronco (ASTT), pero no el rendimiento, alterado en parte por el efecto de heladas, y/o como un menor rendimiento provocado por una dosis mayor de K podría no afectar el ASTT. Esto quizá se debe a que en el suelo donde se realizó el presente trabajo no era deficiente en K. Cabe mencionar que estas deducciones son bajo la condición de bajos rendimientos.

El efecto negativo sobre todo de las heladas tardías sobre el rendimiento, pudo conducir a este tipo de resultados, ya que Moran y Schupp (2005) encontraron que el P por si solo no propicia el crecimiento o rendimiento del árbol de manzano, pero la combinación de éste con composta si puede incrementar el rendimiento, a sabiendas que la composta puede ser rica en nitrógeno y potasio; por otro lado, difieren con lo encontrado por Neilsen *et al.*, (2008), quienes demostraron que la fertilización con fósforo en manzano incrementa el rendimiento.

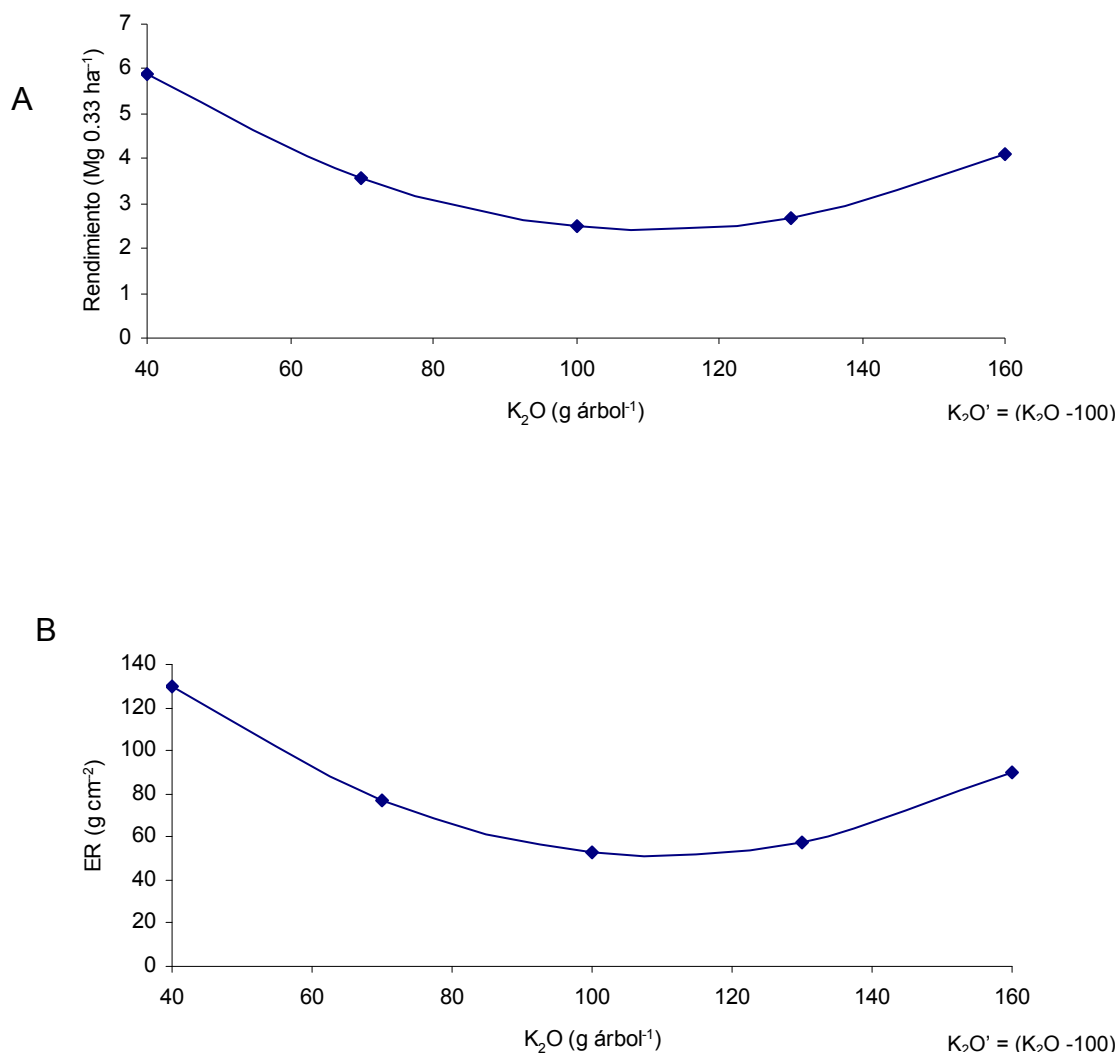


Figura 9. Efecto del K en el rendimiento de fruto (A), y en la eficiencia del rendimiento (ER) (B).

Por otra parte, resulta importante recordar que en el análisis donde se incluyó el efecto de año, fue detectado un efecto positivo de la interacción N x P en el amarre de fruto; no obstante, este análisis de regresión que evaluó solo el año 2011, no lo detectó; por el contrario, el efecto de K en el rendimiento de fruto no fue detectado en el análisis donde se involucró al factor años y solo hubo diferencias debido a este factor.

4.4 Calidad del fruto

4.4.1 Relación ancho/largo, peso fresco y tamaño del fruto

Los resultados del análisis de varianza (Cuadro 14) indicaron que la relación ancho/largo, peso fresco y tamaño del fruto, no fueron afectados por los tratamientos, bloques o repeticiones. De acuerdo a estos resultados, las dosis más bajas de N-P-K (64-16-64) son suficientes para tener frutos de la calidad comercial que se presentan en el cuadro 14, bajo las condiciones en que se llevó a cabo el experimento.

Cuadro 14. Análisis de varianza de la relación ancho/largo, peso fresco y tamaño de fruto.

FV	GL	Tamaño (mm)	Relación ancho/largo	Peso fresco (g)
Tratamientos	15	NS	NS	NS
Bloques	2	NS	NS	NS
Repeticiones	1	NS	NS	NS
Error	13			
Total	31			
CV (%)		10.86	6.02	29.42
Media		58.61	1.17	83.04

NS: No significativo; FV: Fuente de variación; GL: Grados de libertad.

El valor promedio del tamaño del fruto (diámetro ecuatorial= 5.86 cm) es de categoría tercera según la NMF-FF-061-2003, y este valor así como el peso fresco

están por abajo de los reportados por Mancera *et al.* (2007), quienes reportan datos para 'Golden Delicious' de 7.5 cm y 7.11 cm para frutos grandes y chicos, respectivamente, y peso promedio de 171.3 g, por lo que los frutos cosechados no son los mas indicados en el mercado para fruta de mesa. Este resultado muestra que los problemas en la polinización a causa de las heladas tardías, condujeron a tener frutos pequeños, ya que estos fueron en su mayoría partenocárpicos, cuando la media es tener de dos a tres semillas por fruto (Cruz *et al.*, 2002); por otro lado, la relación ancho/largo coincide con lo reportado por dichos autores.

El análisis de regresión indicó que el peso fresco y el tamaño de fruto se relacionaron con la dosis de P, pero los porcentajes de variación atribuibles a este factor en modelo fueron mínimos (Cuadro 15). Esta es la explicación por que en el ANOVA no fue detectado al evaluar el efecto promedio de los tratamientos, y el efecto moderado de uno de los tratamientos podría diluirse en el total.

Cuadro 15. Ecuaciones de regresión que describen el efecto de N, P y K en el peso fresco (PFF) y tamaño de fruto.

Variable	Ecuación	R ²
PFF	= 82.30427 + 0.21775 P *	16
Tamaño	= 58.32354 + 0.09637 P *	19

*: Significativo a $P \leq 0.05$.

Las ecuaciones de regresión indican que con incrementos en la dosis de fósforo se incrementarían tanto el tamaño como el peso fresco del fruto (Figura 10). Nava y Roque (2009), mencionan que el N y P están estrechamente relacionados con la productividad huerto, lo que se relaciona con estos resultados.

De acuerdo a lo obtenido anteriormente, el fósforo por si sólo favorecería el tamaño y peso fresco del fruto; sin embargo, dosis altas combinadas con dosis altas de nitrógeno, podrían no afectar estas variables, pero si favorecer el amarre de fruto y afectar negativamente el número de puntos de fructificación y el área de la sección transversal del tronco.

Dado que el K favoreció el peso fresco del fruto en el año 2010, puede deducirse que tanto el P como el K pueden favorecer de manera similar a dicha variable.

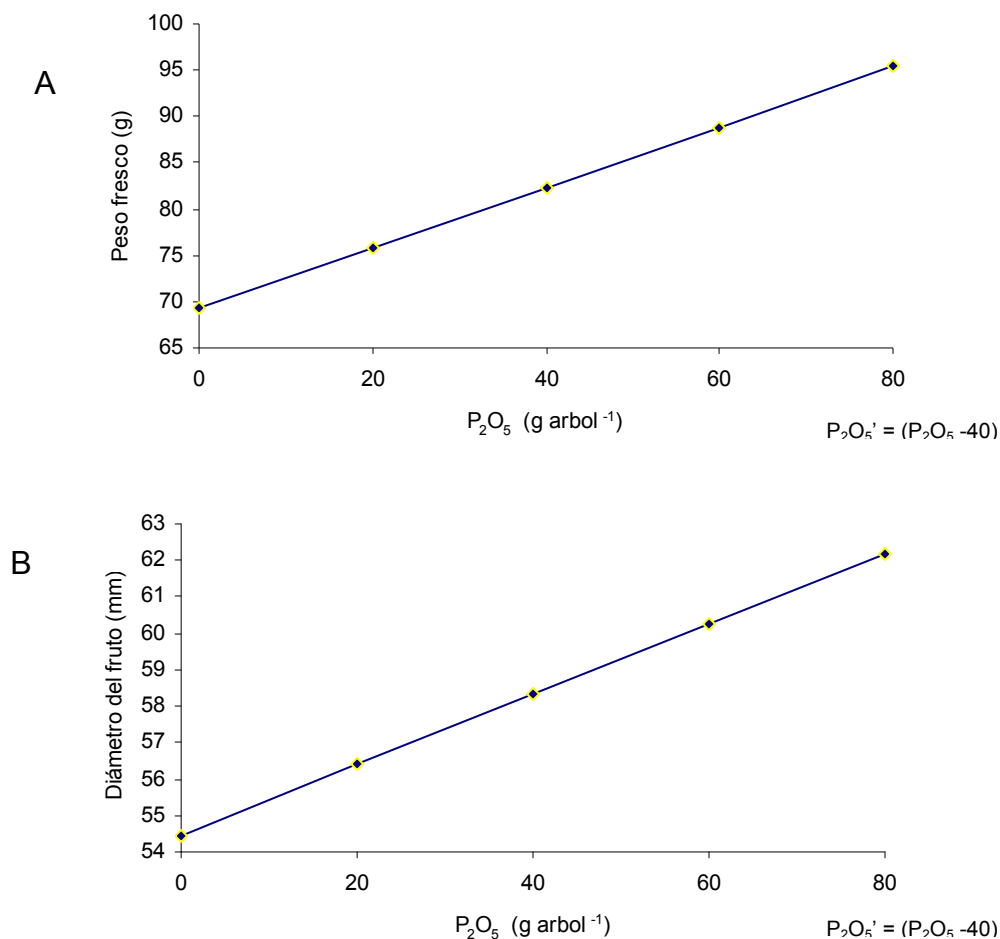


Figura 10. Efecto del P en la calidad de fruto: (A) peso fresco y (B) tamaño (diámetro) del fruto.

4.4.2. Firmeza, sólidos solubles, acidez titulable, índice de Thiault y pH

El análisis de varianza (Cuadro 16), indicó que solamente pH del jugo del fruto fue afectado por el factor bloques, mientras que las otras variables dependientes no variaron debido a tratamientos, bloques o repeticiones. El efecto no significativo de tratamientos, significa que las dosis mas bajas de N, P y K (64-16-64) son suficientes para tener la firmeza, los sólidos solubles totales (SST), la Acidez Titulable, el Índice

de Thiault y el pH del jugo, con los valores promedio que aquí se reportan, en un año de poca producción.

El promedio de la firmeza de la pulpa fue de 8.75 newtons, Mancera *et al.* (2007), reportaron valores de 12.94 lb/pulg². Los SST de 17.13 °brix son superiores a los 14.41 °brix reportados por estos mismos autores para ‘Golden Deliciosos’, y también por arriba por lo reportado por González *et al.* (2008) para la misma variedad. Silveira *et al.* (2007), señalan que una manzana de buena calidad debe mostrar valores de 11 °Brix o superiores, por lo tanto los valores obtenidos en el presente trabajo están por arriba por los indicados por estos autores. Por otra parte, la acidez titulable (% de ácido málico) de 0.46, reportado por Mancera *et al.* (2007), es inferior al promedio de 1.10 obtenido en el presente estudio, si bien el valor de la firmeza es ligeramente baja, no se encontraron fisiopatías relacionadas a este resultado.

Cuadro 16. Análisis de varianza de la firmeza de la pulpa, sólidos solubles totales (SST), acidez titulable, índice de Thiault y pH del jugo.

FV	GL	Firmeza (Newtons)	SST (°Brix)	Ac. Titulable (% de ácido málico)	I. Thiault	pH
Tratamientos	15	NS	NS	NS	NS	NS
Bloques	2	NS	NS	NS	NS	*
Repeticiones	1	NS	NS	NS	NS	NS
Error	13					
Total	31					
CV (%)		20.49	19.99	14.11	10.09	3.22
Media		8.75	17.13	1.10	272	3.67

NS, *: No significativo, significativo a $P \leq 0.05$, respectivamente; FV: Fuente de variación; GL: Grados de libertad,

En promedio, el índice de Thiault con valor de 272 obtenido en el presente trabajo fue superior al valor mínimo recomendado por la multinacional FOMESA (Food Machinery Española, S. A.), para ‘Golden Delicious’, quien establece que para la cosecha, el valor debe ser mayor a 160. Dado que este valor esta asociado a los °brix y acidez titulable (Rega *et al.*, 2009), los altos valores de estas variables

favorecen directamente el índice de Thiault, por lo que los frutos a pesar de que fueron demasiado pequeños, fueron consistentes y de acuerdo a este índice, de buena calidad.

Para el pH no se encontraron referencias confiables, por lo que estos resultados quedan a juicio del lector-investigador.

Por lo anterior, los frutos cosechados en este experimento, pueden ser buenos para fines industriales, pero pueden ser poco competitivos para el mercado de fruta fresca.

De acuerdo a las ecuaciones de regresión estimadas, la firmeza de la pulpa se relacionó con la dosis de P y la interacción de este con el N y K, así como el efecto cuadrático del N. Los SST se relacionaron con el P, la acidez titulable y el pH del jugo con el efecto cuadrático del K, y el índice de Thiault con el efecto cuadrático del N (Cuadro 17).

Cuadro 17. Ecuaciones de regresión que describen el efecto de N, P y K en la firmeza de la pulpa, sólidos solubles totales (SST), acidez titulable, índice de Thiault y pH del jugo del fruto.

Variable	Ecuación	R ²
Firmeza	$= 8.13417 - 0.02068 P^* + 0.00056 N^2^{**} + 0.00075 NP^* + 0.00068 PK^*$	33
SST	$= 17.09635 + 0.03036 P^*$	18
Ac. Titulable	$= 1.2059 - 0.00008 K^2^{**}$	20
I. Thiault	$= 75.8793 - 0.089 N^{NS} + 0.0063 N^2^{**}$	14
pH	$= 3.60451 - 0.00003 K^{NS} + 0.00005 K^2^{**}$	25

^{NS}, *, **: No significativo, significativo a $P \leq 0.05$ y 0.01 , respectivamente.

La variación atribuible al factor P, al efecto cuadrático del N, y a las interacciones N x P, y P x K en el modelo para la firmeza de la pulpa fue del 33 %. Mientras tanto, debido al factor P para los SST fue de 18 %, y el efecto cuadrático del K en la acidez

titulable y en el pH fueron del 20 y 25 %, respectivamente. La variación debido al efecto cuadrático del N en el índice de Thiault fue de 14 %.

De acuerdo a la ecuación de regresión para firmeza de la pulpa, dosis altas o bajas de N serían favorables; no obstante, en la Figura 11, se observa como el marcado efecto negativo del P en la firmeza hizo que fueron poco efectivas las interacciones positivas de este elemento con el N o K.

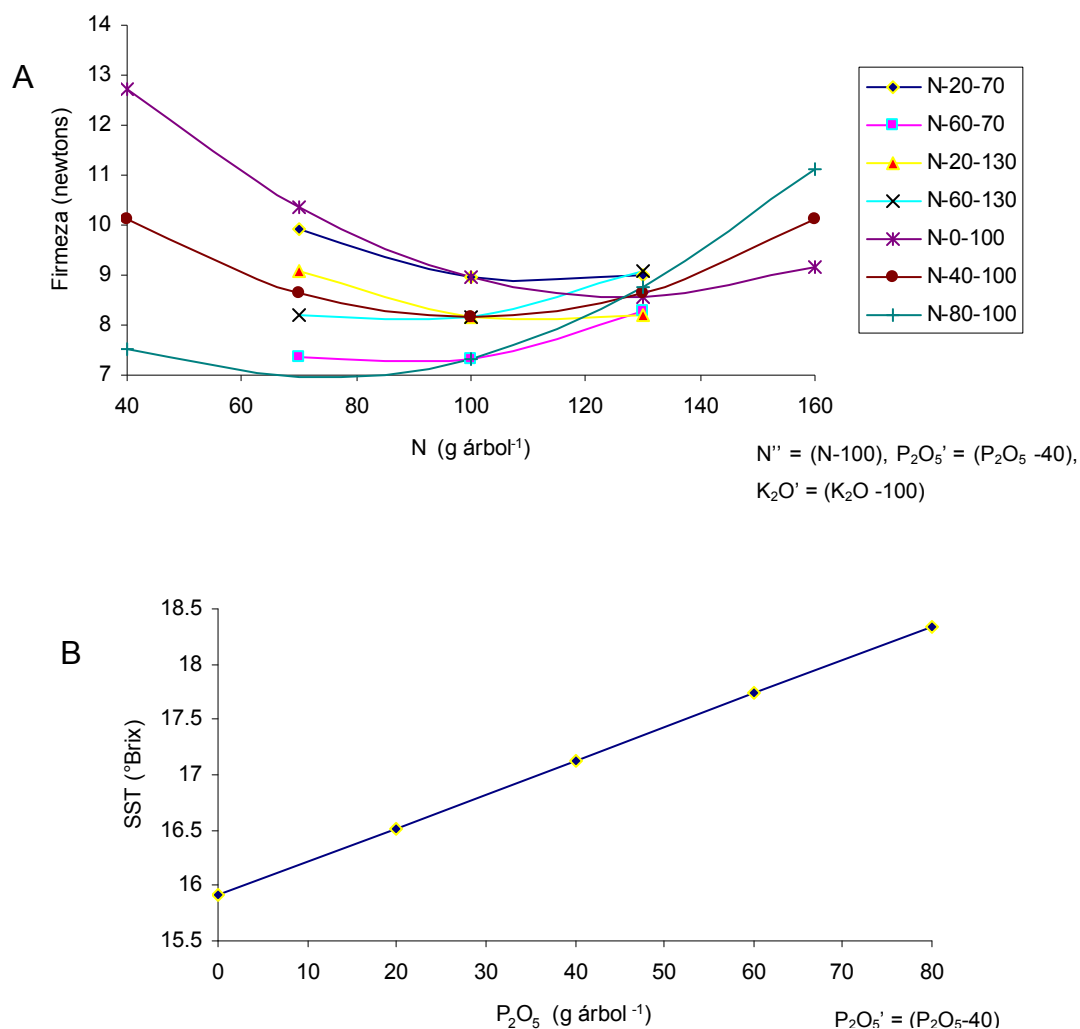


Figura 11. Efecto de las dosis de N, P y K en la calidad del fruto: firmeza de la pulpa (A) y sólidos solubles totales (SST) (B).

La disminución en la firmeza puede tener otro origen. Se ha encontrado que la polinización deficiente durante el período de floración temprana puede reducir las concentraciones de Ca' en el fruto de la variedad 'Braeburn' (Volz *et al.*, 1996); de la misma manera, la fertilización con P provocó la disminución del Ca' en el fruto, lo que afectó directamente la firmeza de la pulpa.

Por otra parte, el K' del fruto se le ha correlacionado positivamente con la concentración de sólidos solubles (Fallahi y Simons, 1996), respuesta que no se presentó en este estudio; sin embargo, como se verá mas adelante, la fertilización con P reflejó una disminución de Ca' en el fruto, y este se le ha correlacionado negativamente con la concentración de sólidos solubles al momento de la cosecha (Fallahi y Simons, 1996), lo que significa que una disminución de Ca' en el fruto a causa del P favorecería los SST. El efecto del P no fue detectado en el análisis que incluyó el efecto de año y solo se detectó diferencia debido a este segundo factor, por lo que se puede deducir que una mayor carga de cosecha fue la razón de un menor contenido de SST en el fruto.

La curvatura negativa en la acidez titulable con la adición de K (Figura 12), indica que dosis intermedias serían favorables respecto a dosis bajas o altas. Al respecto, Benavidez *et al.* (2004) encontraron que la acidez del fruto está influenciada positivamente con la concentración de K' y P' tanto en la hoja como en el fruto.

De acuerdo a la curvatura positiva del N en el índice de Thiault y del K en el pH del jugo, con dosis bajas o altas de estos elementos se tendrían los mayores valores, pero como esto no da mayor explicación de las respuestas, se incluyó el efecto lineal del N (no significativo) en el modelo para índice de Thiault y del K (no significativo) en el modelo para el pH del jugo. Esto muestra que el mayor índice de Thiault se obtendría con dosis bajas de N; mientras tanto, el efecto lineal del K en el pH es apenas notorio, entonces las dosis altas del potasio pudieron inducir un exceso de acumulación de cationes, incrementándose con ello el pH del fruto (Richmond *et al.*, 1964).

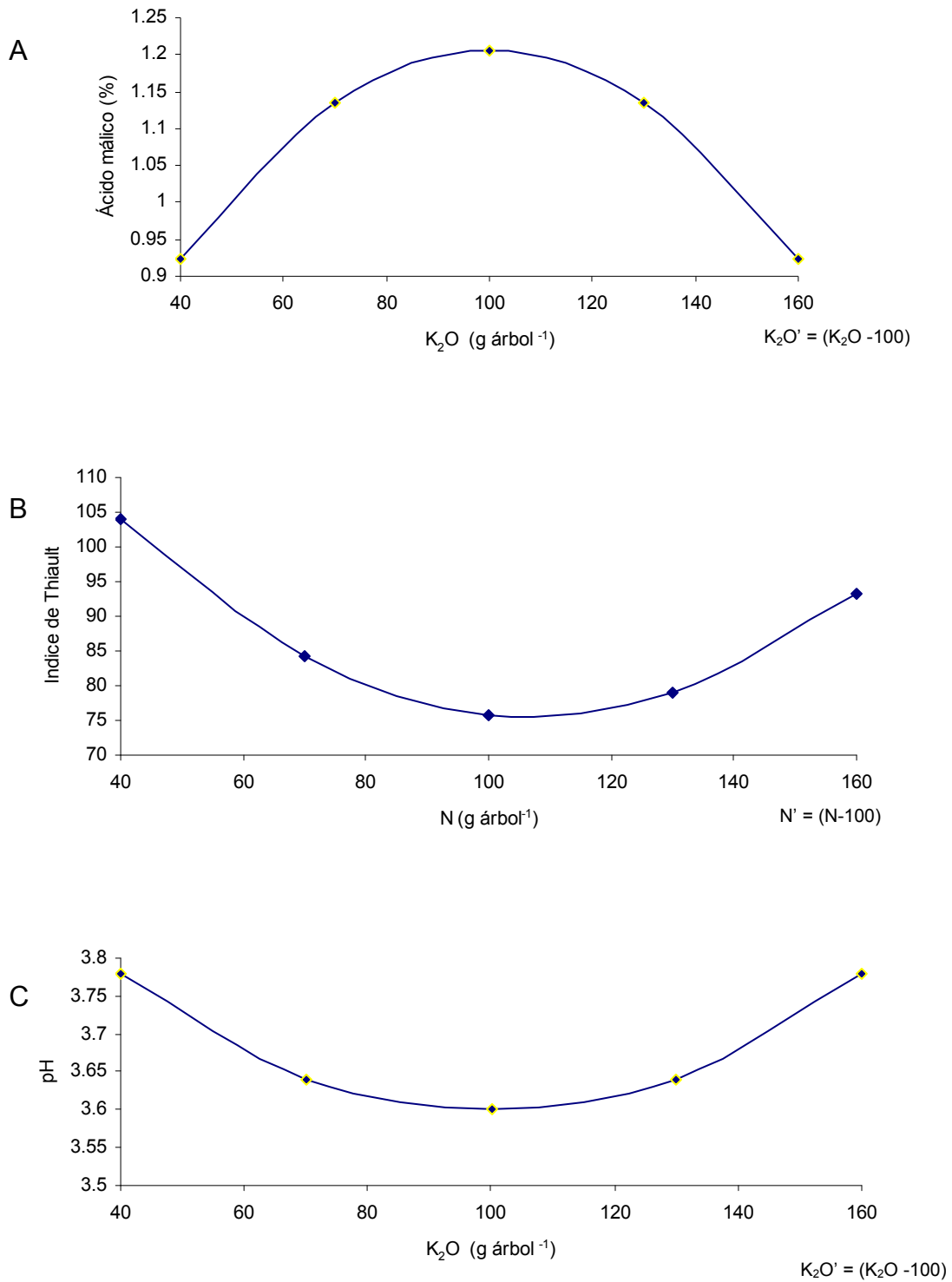


Figura 12. Efecto de las dosis de N y K en la calidad del fruto: acidez titulable (ácido málico) (A), en el índice de Thiault (B) y en el pH del jugo (C).

Estos resultados fueron obtenidos en un año de baja producción, por lo que queda la posibilidad de que una mayor producción puede modificar las ecuaciones de regresión debido a cambios de respuestas; como por ejemplo, la correlación positiva encontrada por Fallahi y Simons (1996) entre el K' y los sólidos solubles del fruto. Por otra parte, el haber cubierto los frutos con bolsas de papel, pudo modificar la respuesta de la calidad del fruto debido a la fertilización, siendo conveniente tomar los resultados con reserva.

De acuerdo a lo obtenido previamente, el nitrógeno por si solo afectaría negativamente la formación de puntos de fructificación, mientras que el fósforo favorecería el tamaño, peso fresco individual y SST de los frutos, pero sería negativo para la firmeza de la pulpa; por el contrario, dosis altas de fósforo combinadas con dosis altas de nitrógeno, no afectarían estas variables, en cambio si favorecerían el amarre de fruto y la firmeza de la pulpa, pero también afectarían negativamente el área de la sección transversal del tronco y el número de puntos de fructificación.

4.4.3. Composición nutricional del fruto

De acuerdo al análisis de varianza (Cuadro 18), todas las variables evaluadas en la composición nutricional del fruto no fueron afectados por los tratamientos, bloques o repeticiones. Las desviaciones estándar de la media en general fueron inadecuadas. Lo anterior muestra que las dosis mas bajas de N-P-K (64-16-64) son suficientes para tener frutos con las concentraciones promedio de los elementos que en el Cuadro 18 se reportan.

La concentración media de N' y Ca' son bajos comparándolos con los reportados por Mancera *et al.* (2007) (Cuadro A3), mientras los que valores para P' , K' , Mg' y la relación N'/Ca' son similares a los reportados por dicho autor. La mayor concentración le correspondió al K' , coincidiendo con lo reportado por Nava y Roque (2009), quienes mencionan que en manzano, el N' y K' generalmente se encuentran en concentraciones más altas que otros macronutrientes; así mismo, coincide con lo

encontrado por Nour (2010), donde tras la evaluación de quince variedades, entre ellas 'Golden Deliciosos', el *K'* fue el nutriente mas acumulado.

Cuadro 18. Análisis de varianza de la composición nutricional de los frutos.

FV	GL	<i>N'</i>	<i>P'</i>	<i>K'</i>	<i>Ca'</i>	<i>Mg'</i>	Rel <i>N'/Ca'</i>
Tratamientos	15	NS	NS	NS	NS	NS	NS
Bloques	2	NS	NS	NS	NS	NS	NS
Repeticiones	1	NS	NS	NS	NS	NS	NS
Error	13						
Total	31						
CV (%)		25.26	32.18	18.55	47.76	96.81	81.44
Media		0.400	0.090	0.680	0.038	0.045	18.61

NS: No significativo; FV: Fuente de variación; GL: Grados de libertad.

El *Ca'* también resultó abajo del valor crítico de 0.070 % reportado por Bramlage *et al.* (1974), quienes afirman que la presencia de escaldadura, colapso senescente y decaimiento son desordenes más prevalecientes cuando el contenido de *Ca'* específicamente del epicarpio está por abajo de este valor. No obstante, Faust y Shear (1980) reportaron que el intervalo normal del *Ca'* en el epicarpio se encuentra entre 0.070-0.100 %, mientras que en la pulpa oscila entre 0.025-0.050 %; y dado que en este trabajo se analizó todo el fruto, excepto las semillas, puede decirse que los valores obtenidos están dentro de estos intervalos. La proporción de *N'/Ca'* del fruto se encuentra fuera de los límites aceptables mencionados por Shear (1975), quien reporta que con una proporción *N'/Ca'* de 10 en base a peso seco en la pulpa de la manzana, ésta puede ser almacenada por un largo tiempo en buenas condiciones.

La concentración de *Ca'* encontrada en el fruto tiene relación con lo encontrado en el análisis foliar, ya que en ambos, la concentración fue baja; no obstante, dado que en el suelo el contenido es adecuado (medio) pone de manifiesto la poca o nula asociación directa entre el contenido de Ca en el fruto y del suelo, tal como ha sido encontrado por Neilsen y Edwads (1982). Por el contrario, se ha detectado que la

fertirrigación con $\text{Ca}(\text{NO}_3)_2$ induce a mayor concentración de Ca' en la hoja (Neilsen *et al.*, 1993), pero ello no supone mayor concentración de Ca' en el fruto (Monge *et al.*, 1994), en cambio, se ha encontrado que la nutrición solamente con nitrógeno si puede afectar la nutrición de Ca (Nava y Roque, 2009). La deficiencia de Ca, pudo haber sido acentuada por fallas en la polinización, ya que Volz *et al.* (1996), han encontrado evidencias de que la polinización deficiente durante el período de floración temprana puede reducir las concentraciones de Ca' del fruto de la variedad 'Braeburn', dicha disminución puede producirse por la reducción de números de semillas en los frutos, así como mediante la alteración de la distribución de frutos en el árbol.

La concentración baja de N' en el fruto y cantidades normales de los otros elementos, pudo ser el causante del aumento en el pH del jugo, resultado probable de un exceso de acumulación de cationes (Richmond *et al.*, 1964).

La ecuación de regresión estimada indicó que la concentración de N' en el fruto estuvo relacionada con las dosis de K, la de P' con las dosis de N, P y las interacciones NP, NK y PK; por su parte, el K' , Ca' y la relación N'/Ca' se relacionaron con las dosis de P (Cuadro 19). La variación atribuible al factor K en la concentración de N' en el fruto fue de 24 %, mientras que debido al N, P y las interacciones NP, NK y PK en el modelo para la concentración del P' en el fruto fue del 61 %. La variaciones debidas al P en la concentración de K' , Ca' y la relación N'/Ca' en el fruto, fueron de 20, 14 y 20 %, respectivamente.

Según la ecuación de regresión para N' en el fruto, la aplicación de K incrementaría la concentración de N' (Figura 13), lo cual pudo deberse a un posible sinergismo del K en la absorción de N en forma de nitrato. Por otra parte, el efecto positivo del P en la concentración del P' en el fruto, tienen relación con lo reportado por Dris *et al.* (1999), quienes encontraron relaciones positivas entre las concentraciones de P' de la hoja y del fruto. Por otra parte, se ha encontrado que el K' en la hoja está correlacionado positivamente con la concentración del P' y K' en el fruto (Benavides

et al., 2004), coincidiendo de cierta manera con lo obtenido en el presente trabajo, ya que el K favoreció la concentración de mismo en la hoja.

Cuadro 19. Ecuaciones de regresión que describen el efecto de N, P y K en la composición nutricional de los frutos.

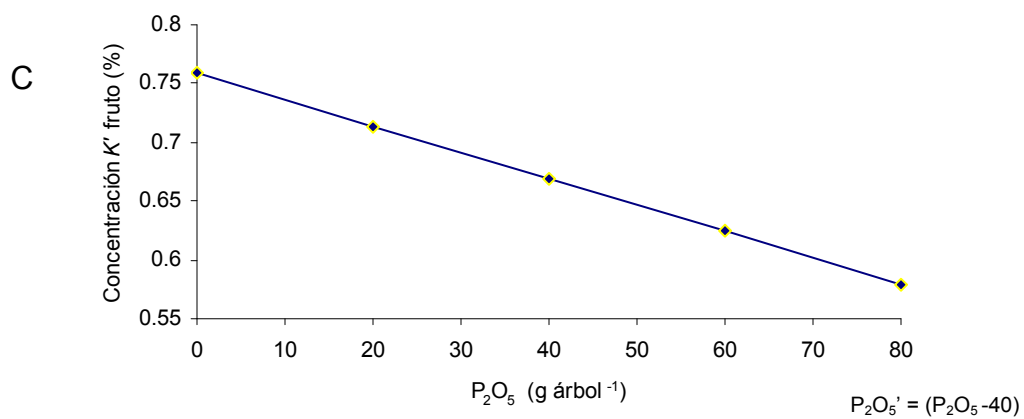
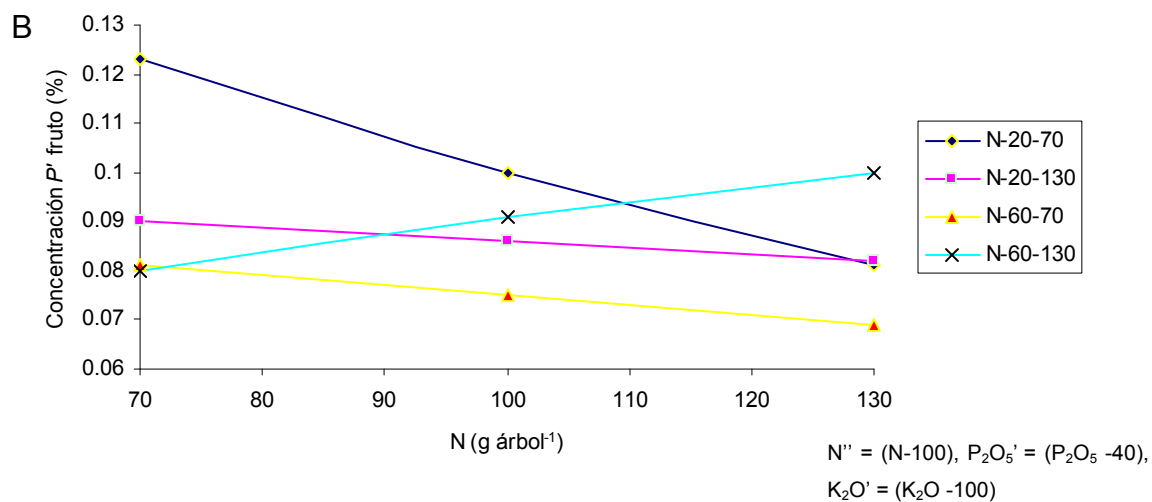
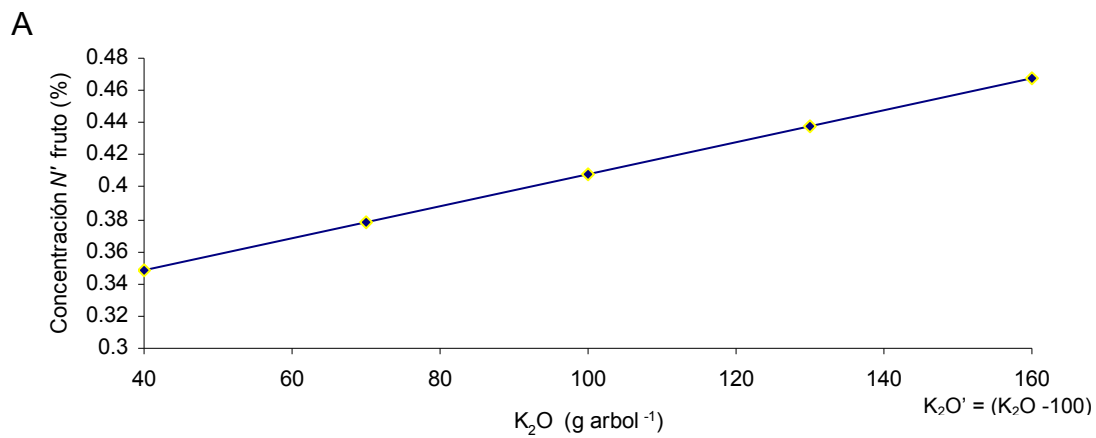
Variable	Ecuación	R ²
<i>N'</i>	= 0.40828 + 0.001 K *	24
<i>P'</i>	= 0.08917 + 0.00017 N * + 0.00027 P * + 0.000013 NP * + 0.000009 NK * + 0.000013 PK *	61
<i>K'</i>	= 0.67953 – 0.00225 P *	20
<i>Ca'</i>	= 0.03938 – 0.00036 P *	14
Rel. <i>N'/Ca'</i>	= 18.61078 + 0.20656 P *	20

*: Significativo a $P \leq 0.05$.

De acuerdo al análisis foliar, la dosis de N disminuiría la concentración de *P'* en la hoja, pero incrementaría la concentración de este elemento en el fruto, lo que podría indicar una translocación del *P'* de la hoja hacia el fruto, conduciendo a tener frutos de mayor calidad (Fallahi y Simons, 1996).

Merece atención especial la interacción positiva N x P en la concentración del *P'* en el fruto, ya que dosis altas de N y P favorecerían la firmeza de la pulpa, pero afectarían negativamente el número de puntos de fructificación y el desarrollo vegetativo.

Con respecto al *K'* y el *Ca'*, el efecto negativo del P parece contradecir lo obtenido en el análisis foliar, donde este elemento relegó una curvatura positiva en la concentración del *Ca'*; sin embargo, esto indica que las dosis altas de P podrían favorecer la absorción de *Ca'* en la hoja, pero puede haber poca translocación hacia el fruto, de ahí que se recomienden las aplicaciones foliares de Ca para compensar deficiencias de este elemento en el fruto (Monge *et al.*, 1994, Yuri, 2010). Por otra parte, debido que el P afectó negativamente la concentración del *Ca'* en el fruto, indujo el incremento de la relación *N'/Ca'* (Figura 14).



Figuras 13. Efecto de las dosis de N, P y K en la composición nutricional del fruto: A, nitrógeno (N'); B, fósforo (P') y C, potasio (K').

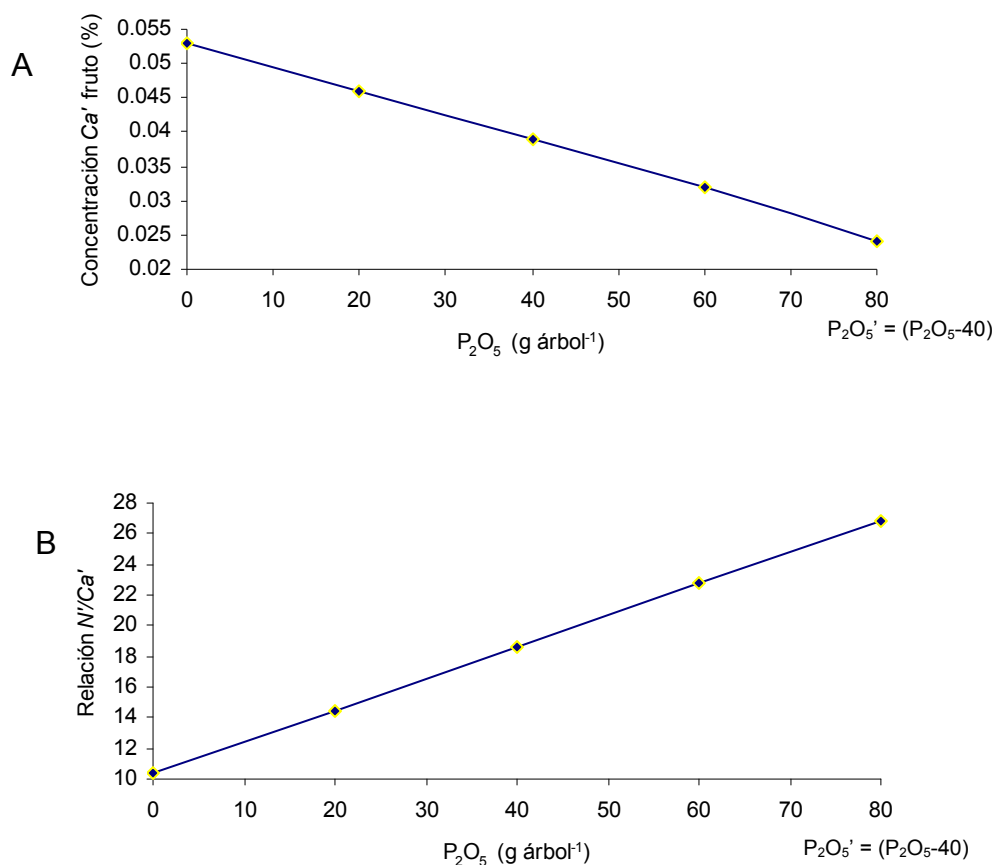


Figura 14. Efecto de las dosis de P en la composición nutricional del fruto: A, Calcio (Ca') y B, relación N'/Ca' .

Estos resultados indican que debido a que el P por si solo favorecería el tamaño y peso fresco individual del fruto, hubo efecto de dilución del Ca' en el fruto, incrementándose la relación N'/Ca' y perjudicando la firmeza de la pulpa; sin embargo, esto contradice a lo obtenido por Neilsen *et al.* (2008), quienes encontraron una correlación positiva de la aplicación de P en la calidad de la manzana al incrementar la estabilidad de la membrana, elevar el contenido de antioxidantes y evitar el manchado del fruto, por lo que estos resultados deben manejarse con reserva.

CAPITULO V. CONCLUSIONES

El efecto de heladas tardías y la evaluación de solo dos años de producción no permiten recomendar una dosis de fertilización específica; sin embargo, dosis intermedias de N y P y baja de K (100-40-64 g árbol⁻¹) promueven el equilibrio entre crecimiento vegetativo, rendimiento y calidad de fruto del manzano 'Agua Nueva' bajo el sistema de cultivos intercalados y alta densidad de plantación, y la supone que la dosis generalizada de fertilización de N, P y K (90-90-90 g árbol⁻¹) es inadecuada en suelos de tipo Fluvisol de la zona del valle de México.

La variación en el efecto de las dosis de N, P y K, indicó que la mayor calidad de fruto se obtendría con distintas dosis a las correspondientes a crecimiento vegetativo y/o rendimiento, por lo que para la fertilización, debe tomarse en cuenta el destino del fruto y las características del mercado.

La aplicación de potasio en un suelo no deficiente de este elemento, incrementó la concentración del K en la hoja, sin importar si este elemento se aplique solo o combinado con fósforo, provocando desbalances nutrimentales y/ toxicidad; aunado a esto, la baja carga de cosecha indujo a tener alta concentración de K y bajo de Ca en hojas de manzano.

Existió efecto de año en las variables amarre y rendimiento de fruto, y peso fresco y SST del fruto, razón atribuible por la presencia de un año con heladas tardías.

El nitrógeno benefició el amarre de fruto pero puede afectó negativamente la formación de puntos de fructificación y el índice de Thiault del fruto, y el fósforo favoreció el tamaño y peso fresco individual y sólidos solubles totales de los frutos, pero hubo efecto de dilución del calcio en el fruto, incrementándose la relación N/Ca y perjudicando la firmeza de la pulpa.

La fertilización con nitrógeno combinada con fósforo, favoreció la firmeza de la pulpa y el porcentaje de amarre de fruto, pero afectó negativamente el número de puntos de fructificación y el área de la sección transversal del tronco.

En el año que hubo mayor carga (2010), con el incremento de las dosis de K se favoreció el peso fresco del fruto, y en el 2011 se incrementó el pH, pero afectó el rendimiento y la eficiencia del rendimiento, razón atribuible a que el suelo donde se realizó el presente estudio no era deficiente de este elemento.

CAPITULO VI. LITERATURA CITADA

- Agustí, M. 2008. Fruticultura. Ed. Mundi-Prensa. España. 494 p.
- A.O.A.C. 1980. Official Methods of Analysis, 13th ed. Association of Official Analytical Chemists. Washington D.C. 376-384.
- Arciniega R., J. 1999. In: Memoria del II curso nacional de fertirrigación. INIFAP- Produce. Culiacán, Sinaloa. 53-58.
- Benavides, A., J. Puy, I. Recasens and T. Casero 2004. Relationships between leaf and fruit nutrients and fruit quality attributes in 'Golden Smoothie' apples using multivariate regression techniques. *J Plant Nutr.* 27: 313-324.
- Boniche, J., A. Alvarado, E. Molina, A. Ares, y T. J. Smith. 2008. Respuesta del pejibaye para palmito a la fertilización con fósforo en la zona norte de Costa Rica. *Agronomía Costarricense* 32(001): 31-54.
- Bould, C. 1966. Leaf analysis of deciduous fruits, p. 651-684. In: N. F. Childers (ed.). *Nutrition of fruit crops.* Horticultural Publications. Rutgers. The State Univ., New Brunswick, N. J.
- Box, G. E. and J. S. Hunter. 1957. Multifactor experimental design for exploring response surfaces. *Ann. Math. Stat.* 28: 195-294.
- Bramlage, W.J., M. Drake and J.H. Baker. 1974. Relationship of calcium content to respiration and postharvest condition of apples. *J. Amer. Soc. Hort. Sci.* 99 (4): 376-378.
- Bueno J., J. E., A. Alonso L., V. Volke H., F. Gallardo L., M. M. Ojeda R., y R. Mosqueda V. 2005. Respuesta del papayo a la fertilización con nitrógeno, fósforo y potasio en un luvisol. *Terra Latinoamericana* 23(3): 409-415.
- Bukovac, M. J., P. Sabbatini, P. G. Schwallier, and M. Schroeder. 2008. Characterizing the interaction between NAA and BA on apple fruit abscission and development. *HortScience* 43: 1794-1801.
- Bukovac, M. J., P. Sabbatini, F. Zucconi, and P. G. Schwallier. 2010. A Long-term study on native variation of flowering and fruiting in spur-type 'Delicious' apple. *HortScience* 45: 22-29.
- Camas G., R. 2011. Erosión hídrica, productividad, captura de carbono y uso de la radiación solar y agua en tres sistemas de manejo, para la agricultura de ladera en el trópico subhúmedo de México. Tesis de doctorado en

Edafología, Colegio de Postgraduado, Campus Montecillo. Texcoco, Edo de México. 171 p.

- Cassanova, F., L. Ramirez, y S. Solorio. 2007. Interacciones radicales en sistemas agroforestales: mecanismos y opciones de manejo. *Avances en Investigación Agropecuaria* 11(003): 41-52.
- Castellanos, J. Z., J. X. Uvalle B. y A. Aguilar S. 2000. Manual de interpretación de análisis de suelos y aguas agrícolas, plantas y ECP. Instituto de Capacitación para la Productividad Agrícola, México, 201 p.
- Cortés F., J. I., A. Turrent F., P. Díaz V., E. Hernández R., R. Mendoza R. y E. Aceves R. 2005. Manual para el establecimiento y manejo del sistema Milpa Intercalada con Árboles Frutales (MIAF) en laderas. Colegio de Postgraduados, Montecillo, México. 27 p.
- Cortés, F. J. I., A. Turrent F., P. Díaz V., L. Jiménez S., E. Hernández R., and R. Mendoza R. 2005. Hillside agriculture and food security in Mexico: Advances in the sustainable hillside management project. *In: Lal, R. (ed) Climate Change and Global Food Security*. Lal, R., Uphoff, N., Steward, A.B. y Hansen, D. (eds). CRC Taylor & Fancis Group. United States of America. 569-588 pp.
- Cruz H., T., E. Avitia G. y J. P. Cruz H. 2002. Selección de polinizadores para manzano 'Agua Nueva II'. *Revista Chapingo Serie Horticultura* 8(2): 251-261.
- Díaz M., D. H. 2002. Fisiología de árboles frutales. AGT editor, S. A. México DF. 390 p.
- Dris, R., R. Niskanen, and E. Fallahi. 1999. Relationships between leaf and fruit minerals and fruit quality attributes of apples grown under northern conditions. *Journal of Plant Nutrition*, 22(12): 1839-1851.
- Elorza M., P., J. M. Maruri G., M. L. Hernández S., y G. Elmedo P. 2006. Cultivo intercalado de cedro rosado (*Acrocarpus fraxinifolius* Wight) y su efecto sobre el contenido de materia orgánica en el suelo. *Revista UDO agrícola* 6(1): 109-113.
- Embree, C. G., M. T. D. Myra, D. S. Nichols, and A. H. Wright. 2007. Effect of blossom density and crop load on growth, fruit quality, and return bloom in 'Honeycrisp' apple. *HortScience* 42: 1622-1625.
- Etchevers B., J.D. 1992. Manual de métodos para análisis de suelos, plantas, aguas y fertilizantes. Análisis rutinarios en estudios y programas de fertilidad.

Laboratorio de Fertilidad. Centro de Edafología. Colegio de Postgraduados en Ciencias Agrícolas. Montecillo, Edo. de México. 154 p.

Fallahi, E., W. S. Conway, K. D. Hickey and C. E. Sams. 1997. The role of calcium and nitrogen in postharvest quality and disease resistance of apples. *HortScience* 32 (5): 831-835.

Fallahi E. and B. R. Simons. 1996. Interrelations Among Leaf and Fruit Mineral Nutrients and Fruit Quality in 'Delicious' Apples. *Journal of Tree Fruit Production* 1 (1): 15-25.

Faust, M. and C.B. Shear. 1980. Nutritional ranges in deciduous fruit tree and nuts. *Horticultural Review* 3(2):142-163.

Fernández H., A., G. Beltrán y R. Fernández E. 2009. Evolución de la composición mineral (NPK) en la hoja de olivo. *Análisis foliar de macronutrientes. Agricultura*. 720-722.

García M., E. 1987. Modificaciones al sistema de Clasificación climática de Köpen (para adaptarlas a las condiciones climáticas de la Republica Mexicana). 4^a edición. Ed. Offset Larios. D.F., México. 217 p.

González P. M., N. E. Rocha G, J. Simpson, R. Rodríguez G., J. A. Gallegos I., E. Delgado y K. Gil V. 2008. Determinación de algunos atributos de calidad de manzana 'Starking' y 'Golden Delicious' en comparación con sus mutantes y su relación con las unidades frío. *Ciencia y Tecnología Alimentaria*, 6 (1): 27-32.

Guerrero P., V. M., A. Romo C., J. A. Orozco A., D. I. Berlanga R., A. A. Gardea B. y R. A. Parra Q., 2006. Polinización en manzano 'Red Delicious' y 'Golden Delicious'. *Revista Fitotecnia Mexicana* 29 (001): 41-45.

Gutiérrez G., S. 2003. Relaciones iónicas de N, P y K en el crecimiento, nutrición y calidad de crisantemo. Tesis de M. C. en Edafología, Colegio de Postgraduado, Campus Montecillo. Texcoco, Edo de México. 88p.

Hägg, M., R. Ahvenainen, A. M. Evers and K. Tiilikkala. 1999. *Agri-Food Quality II. Quality management of fruits and vegetables*. The Royal Society Chemistry, Cambridge, UK. 379 p.

John, G. B. 2004. Fruit-tree-based agroforestry in the western higlands and of Guatemala: An evaluation of tree-crop-interactions and socioeconomic characteristics. Doctoral dissertation. University of California. 217 p.

- Kenworthy, A. L. 1973. Leaf analysis as an aid in fertilizing orchards. In: Walsh, L. M. and J. D. Beaton (ed.). Soil testing and plant analysis. Soil Sci. Soc. Amer. Madison, Wi. Pp. 381-394.
- Lombard P. B., N. W. Callan., F. G. Dennis Jr., N. E. Looney, G. C. Martin, A. R. Renquist and E. A. Mielke. 1988. Towards a standardized nomenclature, procedures, values, and units in determining fruit and nut tree yield performance. HortScience 23(5): 813-817.
- Mancera L., M. M., J. M. Soto P., E. Sánchez C., R. M. Yáñez M., F. Montes D., R y R. Balandrán Q. 2007. Caracterización mineral de manzana 'Red Delicious' y 'Golden Delicious' de dos países productores. Tecnociencia. 1(2):6-17.
- Mead, R., and R. W. Willey. 1980. The concept of a 'land equivalent ratio' and advantages in yields from intercropping. Exp. Agric. 16:217-228.
- Monge M., J., y R. Agüero A. 2006. Crecimiento inicial del duraznillo (*Prunus annularis*) en tres sistemas agroforestales. Agronomía mesoamericana 17(1): 63-68.
- Monge E., J. Val, M. Sanz, A. Blanco y L. Montañés. 1994. El calcio nutriente para las plantas. Bitter pit en manzano. An. Estac. Exp. Aula Dei (Zaragoza). 21(3): 189-201.
- Moran, R. E, and J. R. Schupp. 2005. The Effect of preplant monoammonium phosphate fertilizer and compost on the growth and yield of 'Macoun' apple trees. HortScience 40: 1854-1856.
- Nava. G. and A. Roque D. 2009. Long-term annual fertilization with nitrogen and potassium affect yield and mineral. Sci. Agric. (Piracicaba, Braz.). 66 (3):377-385.
- Neilsen, G. E, and T. Edwards. 1982. Relationships between Ca, Mg, and K in soil, leaf, and fruits of 'Okanagan' apple orchards. Can. J. Soil Sci. 62: 365-374.
- Neilsen, G., F. Kappel, and D. Neilsen. 2007. Fertigation and crop load affect yield, nutrition, and fruit quality of 'Lapins' sweet cherry on Gisela 5 rootstock. HortScience 42: 1456-1462.
- Neilsen, G. H., D. Neilsen, and L. Herbert. 2009. Nitrogen fertigation concentration and timing of application affect nitrogen nutrition, yield, firmness, and color of apples grown at high density. HortScience 44: 1425-1431.
- Neilsen, G. H., D. Neilsen, P. Toivonen, and L. Herbert. 2008. Annual bloom-time phosphorus fertigation affects soil phosphorus, apple tree phosphorus nutrition, yield, and fruit quality. HortScience 43: 885-890.

- Neilsen, G.H., P. Parchomchuk, W.D. Wolk, and O.L. Lau. 1993. Growth and mineral composition of newly planted apple trees following fertigation with N and P. *J. Amer. Soc. Hort. Sci.* 118(1):50-53.
- Nour, V., i. Trandafir y M. E. Ionica. 2010. Compositional characteristics of fruits of several apple (*Malus domestica* Borkh.) Cultivars. *Not. Bot. Hort. Agrobot. Cluj* 38 (3): 228-233.
- Parra Q., R. A., J. A. Orozco A., M. Gonzáles P., J. P. Amado A., y P. Ortiz F. 2005. Rendimiento y tamaño del fruto del manzano sometido a estrés hídrico planificado en Chihuahua, México. *Agricultura Técnica en México* 31(001): 11-20.
- Raffo B., M. D., y A. Rodríguez. 2007. Factores que afectan el porcentaje de fruta asoleada en manzano cv. Fuji en el valle alto del río negro y Neuquén. *Revista de Investigaciones Agropecuarias* 36(001): 131-146.
- Raffo, B., M. D., R. Rodríguez, y A. Rodríguez. 2006. Distribución lumínica en diferentes combinaciones portainjerto/variedad en manzana cv. Mondial Gala y su efecto sobre la calidad de la fruta y parámetros vegetativos 35(002): 53-69.
- Rega P., Petriccione, A. Akkak, A. Tartaglia, L. Branca and O. Insero. 2009. Recupero, conservazione e valorizzazione del germoplasma frutticolo dell'Irpinia. *Atti del 104° Congresso della Società Botanica Italiana Campobasso*. pag. 147.
- Richmond, A. E., D. R. Dilley, D. H. Dewey. 1964. Cation, organic acid, and pH relationships in peel tissue of apple fruits affected with Jonathan spot. *in: plant physiology*. 39(6): 1056-1060.
- SEMARNAT. 2002. Norma Oficial Mexicana NOM-021-RECNAT-2000. Especificaciones de fertilidad, salinidad y clasificación de suelos. Estudios, muestreo y análisis. Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales. *Diario Oficial de la Federación*, 31 de diciembre 2002. 85 p.
- Shear, C.B. 1975. Calcium-related disorders of fruits and vegetables. *HortScience* 10(4):361-365.
- Silva, E. H. y J. Rodríguez S. 1995. Fertilización de plantaciones frutales. Facultad de Agronomía, Pontificia Universidad Católica de Chile. 590 p.
- Silveira, A. C., C. K. Sautter, S. Tonneto de Freitas, G. Galieta y A. Brackman. 2007. Determinación de algunos atributos de calidad de la variedad Fuji y sus mutantes al momento de la cosecha. *Ciencia y Tecnología Alimentaria* 27: 149-153.

- Tadeo, N. 2008. Calidad y seguridad en productos frutihortícolas frescos de exportaciones: implicaciones en los procesos laborales de la agroindustria de cítricos dulces entre ríos. *Mundo Agrario*. 8(016): 1-30.
- Telias A., E. Hoover, and D. Rother. 2008. Plant and environmental factors influencing the pattern of pigment accumulation in 'Honeycrisp' apple peels using a novel color analyzer software tool. *HortScience* 43: 1441-1445.
- Torres Z., J. P., J. I. Cortés F., A. Turrent F., E. Hernández R., y A. Muratalla L. 2008. Rendimiento de fruto y número de ramas principales en árboles de durazno intercalado con milpa. *Terra Latinoamericana* 26(3): 256-273.
- Turrent F., A., J. R. Laird; J. I. Cortés F. y A. Barrios A. 2005. Un reencuentro con la productividad de agro sistemas: II. Validez para adaptar tecnología al maíz en México. *Agrociencia* 39:149-159.
- Ughini, V. 1990. Apple quality as related to nutrient status of orchard. *Acta Hort. (ISHS)* 274:489-490.
- Van den Ende, B., D. J. Chalmers, and P. H. Jerie. 1987. Latest developments in training and management of fruit crops on Tatura trellis. *HortScience* 22: 561-568.
- Van Hooijdonk, B. M., M. H. Behboudian, and M. H. 2007. Fruit quality of 'Pacific Rosetm' apple grown under partial rootzone drying and deficit irrigation. *Journal Food, Agriculture & Environment* 5(3-4): 173-178.
- Volke H., V., A. Turrent F. y A. Castillo M. 2005. Diseños de tratamientos y estimación de funciones de respuesta en la investigación agrícola, Colegio de Postgraduados. Montecillo, Estado de México, México. 68 p.
- Volz, R. K., D. Stuart T. and I. B. Ferguson. 1996. Pollination effects on fruit mineral composition, seeds and cropping characteristics of 'Braeburn' apple trees. *Scientia Horticulturae*. 66(3-4): 169-180.
- Von Bennewitz, E., T. Cooper, C. Benavides, T. Losak, and J. Hlusek. 2011. Response of "Jonagold" apple trees to Ca, K and Mg fertilization in an andisol in southern Chile. *Journal of Soil Science and Plant Nutrition*. 11 (3): 71-81.
- Wiersum, L. K. 1979. Effect of environment and cultural practices on calcium nutrition *Commun. Soil Sci. Plant Anal* 10: 259-278.
- Yao, S., I. A. Merwin, and M. G. Brown. 2006. Root dynamics of apple rootstocks in a replanted orchard. *HortScience* 41: 1149-1155.

- Yuri, J. A. 2010. Bitter pit y nutrición mineral en manzanos. Revista de Fruticultura. Centro de Pomáceas. Universidad de Talca. Chile. 4:20-31.
- Zahreddine, H. G., D. Struve, and S. N. Talhouk, 2008. Growth and nutrient partitioning of containerized *Malus trilobata* Schneid. and *Acer syriacum* Boiss. and Gaill. under two fertigation regimes. HortScience 43: 1746-1752.
- Zegbe, J. A., and M. H. Behboudian. 2008. Plant water status, CO₂ assimilation, yield, and fruit quality of 'Pacific Rosetm' apple under partial rootzone drying. Advances in Horticultural Science 22(1): 27-32.
- Zegbe, J. A., y M. H. Behboudian, A. Lang, y B. E. Clothier. 2007. Respuesta del manzano 'Pacific rosetm' al riego parcial de la raíz. Revista Chapingo, Serie Horticultura 13(1): 43-48.
- Zegbe, J. A., y A. Serna P. 2009. El riego parcial de la raíz incrementa la productividad del agua en manzano en un ambiente semi-árido. Revista Chapingo Serie Horticultura 15(2): 111-118.

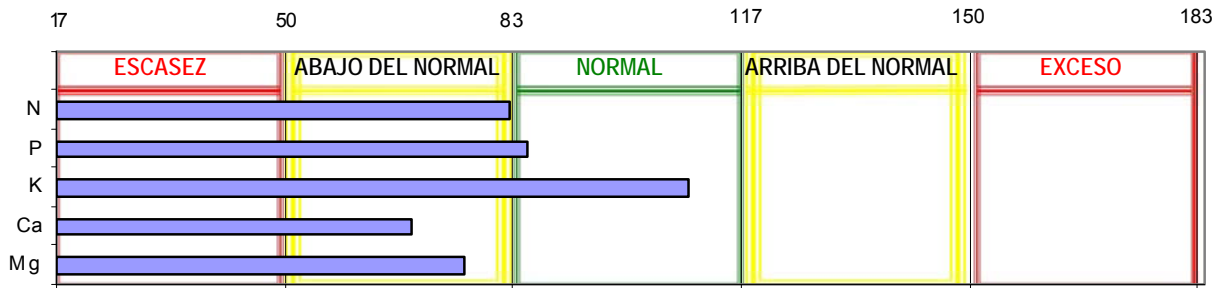
CAPITULO VII. ANEXO

Cuadro A1. Características físicas y químicas del suelo del modulo MIAF, hojas activas, manzano. Campo Experimental Valle de México (CEVAMEX), INIFAP. Chapingo. México.

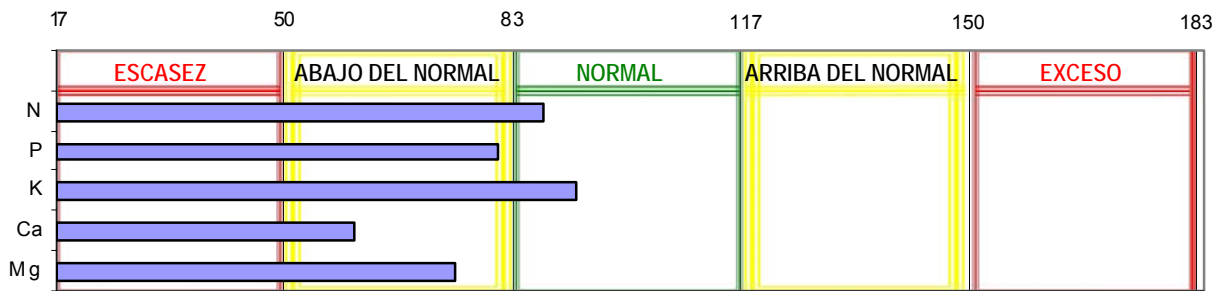
Sitio	Profundidad (cm)	pH	CE	M.O. (%)	N- kjeldahl (%)	P Olsen	K	Ca	Mg	Na	Textura			Clasificación
		1:2 H ₂ O	1:5 H ₂ O	Walkley y Black			←	NH ₄ OAc 1 N pH 7	→	arena	limo (%)	arcilla	Textural	
		mmhos/cm dS m ⁻¹				ppm	meq/100g (cmoles Kg ⁻¹)				←	→		
1 ^z	0-30	7.47	0.19	0.3	0.01	13	1.1	8.5	6.2	0.1	45	27	27	franco Arcillo-Arenoso
	30-60	7.92	0.21	0.3	0.01	9	0.6	10.4	6.8	0.1	43	27	29	franco Arcillo-Arenoso
2	0-30	7.46	0.15	0.3	0.01	8	1.5	7.3	4.9	0.2	55	19	25	franco Arcillo-Arenoso
	30-60	8.04	0.20	0.4	0.01	6	0.7	7.9	6.5	0.3	52	23	25	franco Arcillo-Arenoso

^zsitio 1 = final de la hilera, sitio 2 = entrada de agua a la hilera

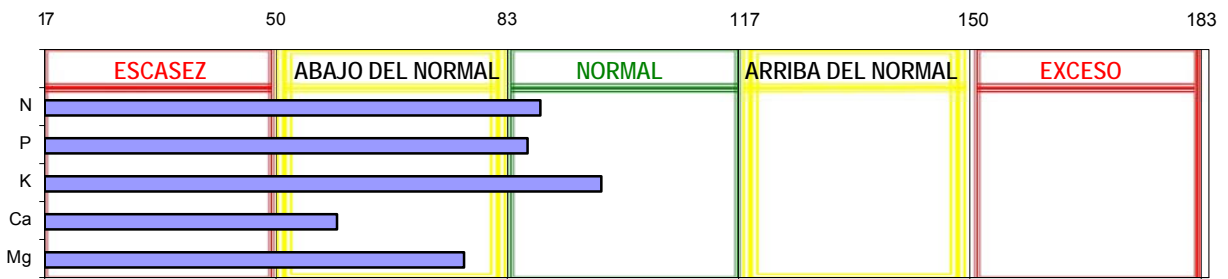
Tratamiento 1 (64-16-64)



Tratamiento 2 (64-16-136)



Tratamiento 3 (64-64-64)



Tratamiento 4 (64-64-136)

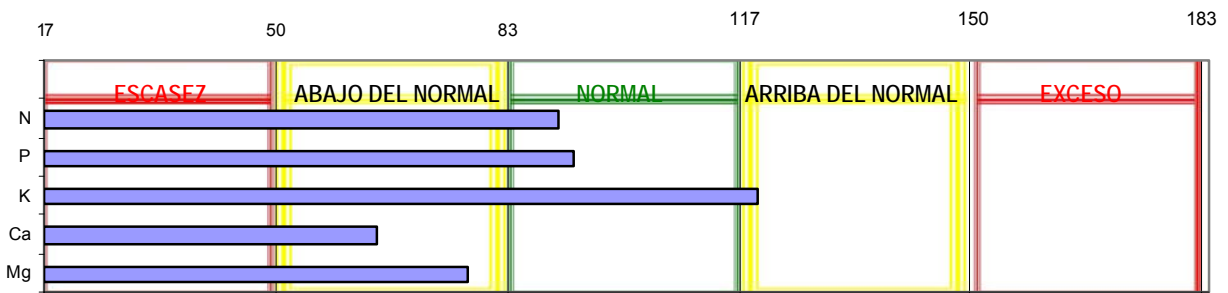
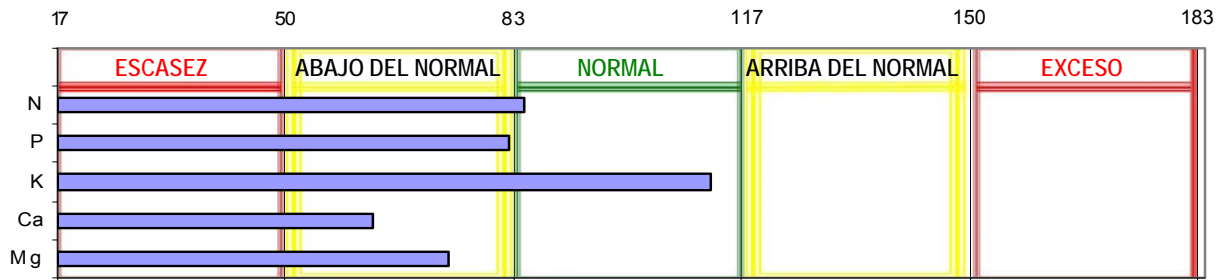
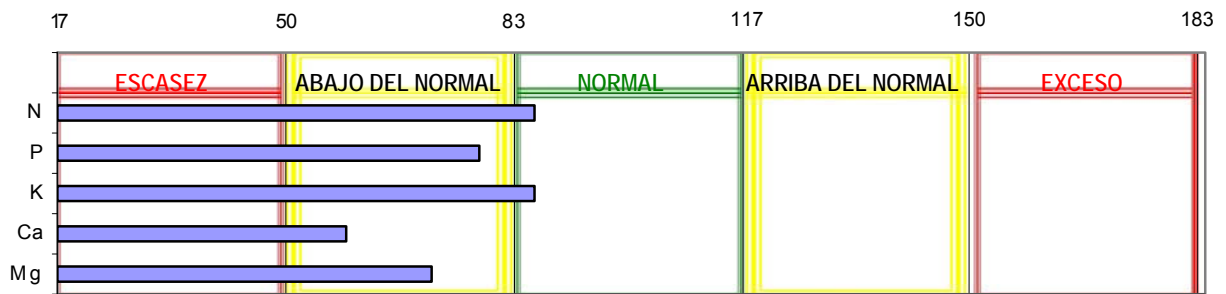


Figura A1. Cartas de balance del análisis foliar.

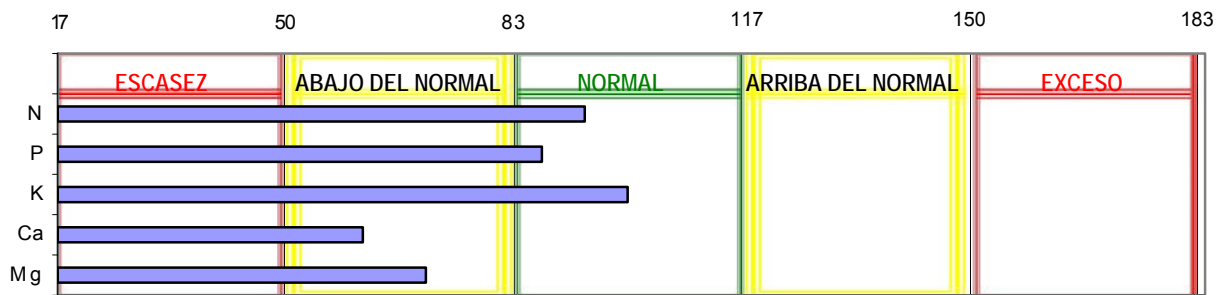
Tratamiento 5 (136-16-64)



Tratamiento 6 (136-16-136)



Tratamiento 7 (136-64-64)



Tratamiento 8 (136-64-136)

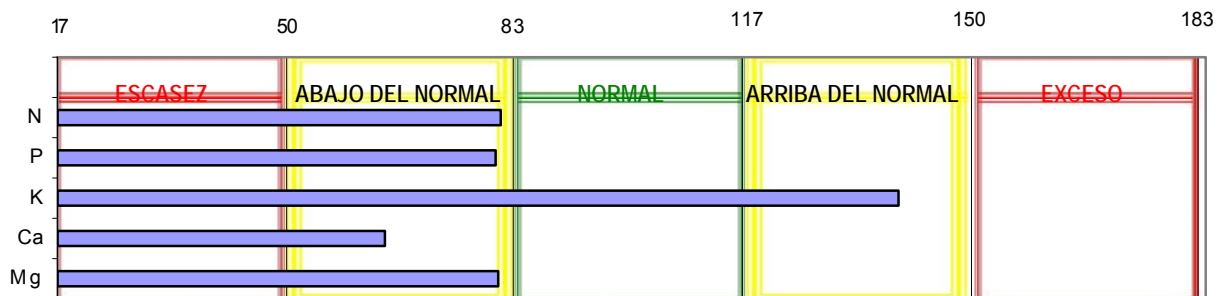
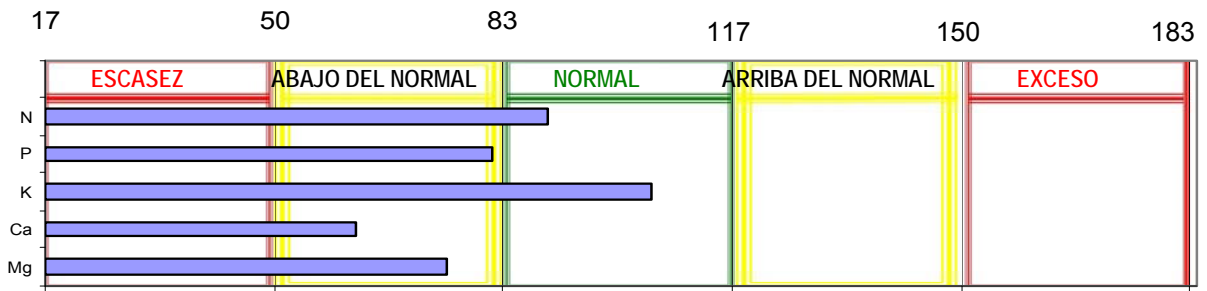
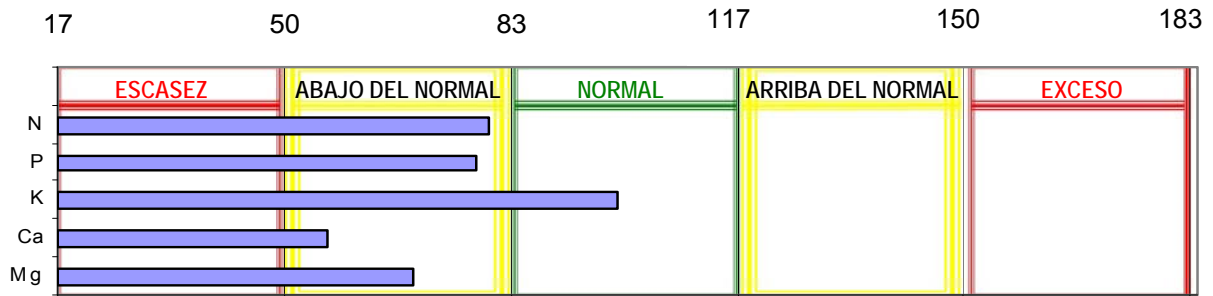


Figura A1. Cartas de balance del análisis foliar. Continuación...

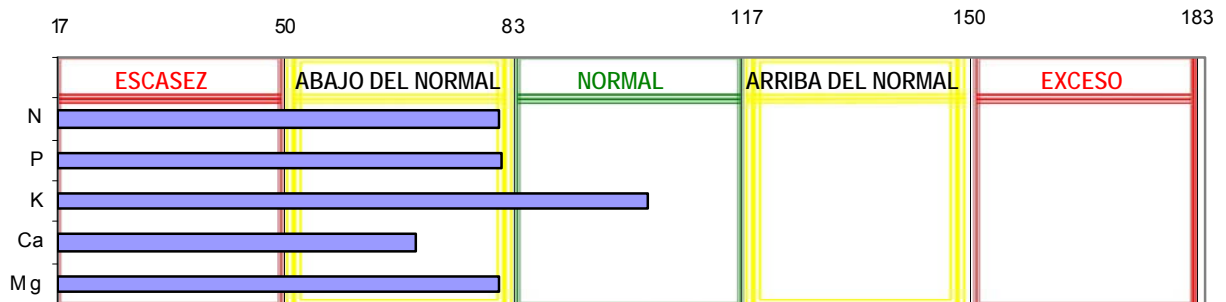
Tratamiento 9 (40-40-100)



Tratamiento 10 (160-40-100)



Tratamiento 11 (100-0-100)



Tratamiento 12 (100-80-100)

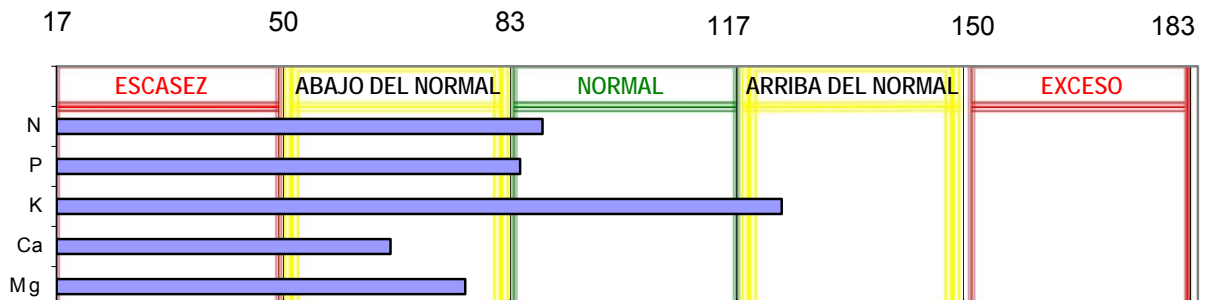
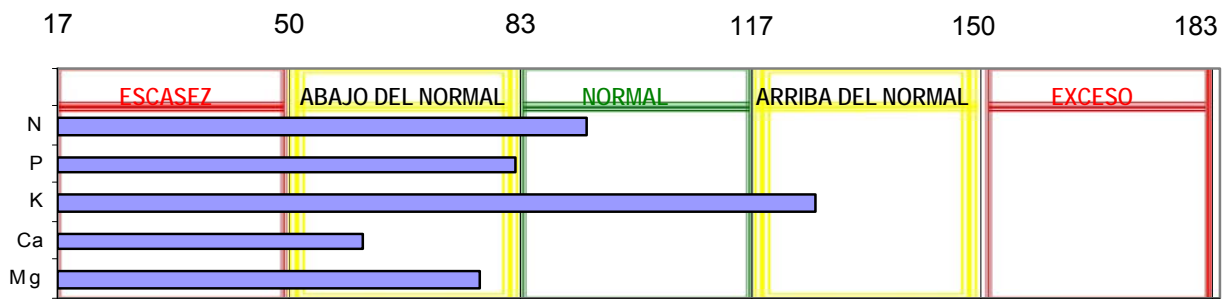
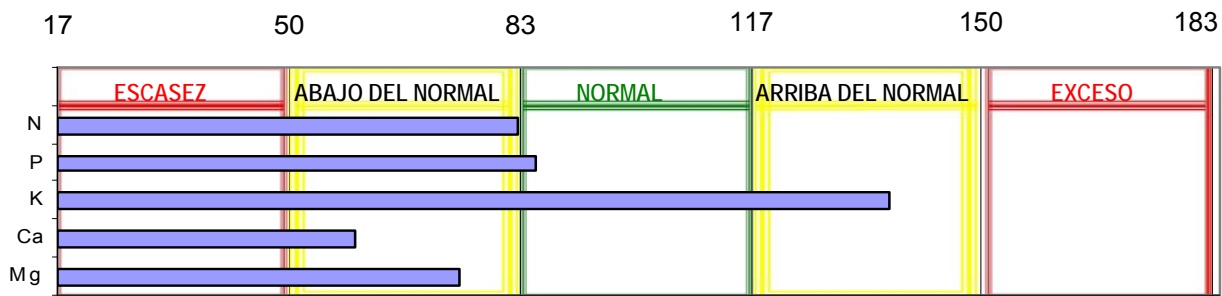


Figura A1. Cartas de balance del análisis foliar. Continuación...

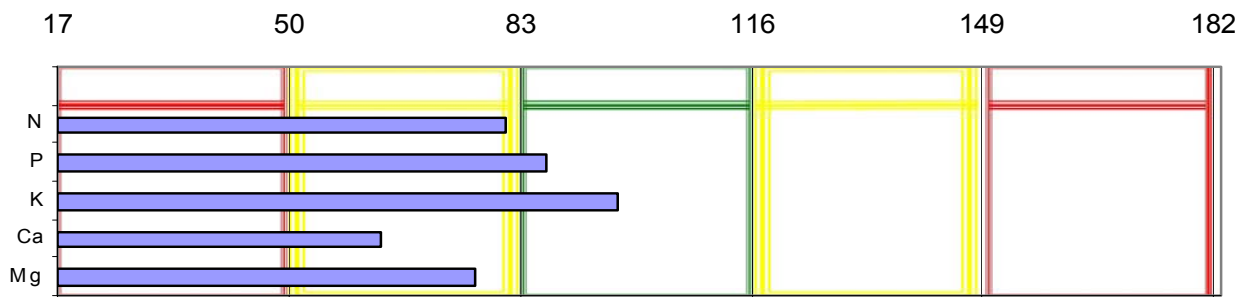
Tratamiento 13 (100-40-40)



Tratamiento 14 (100-40-100)



Tratamiento 15 (100-40-100)



Tratamiento 16 (100-40-100)

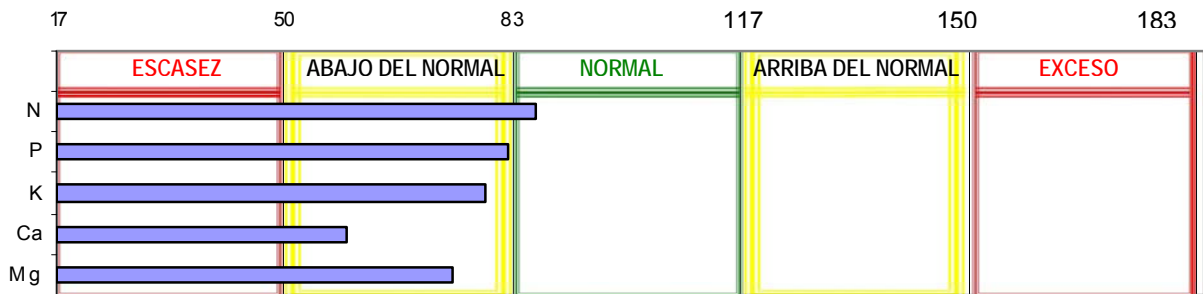


Figura A1. Cartas de balance del análisis foliar. Continuación...

Temperatura media, máxima y mínima de Chapingo, México (Marzo, 2011)

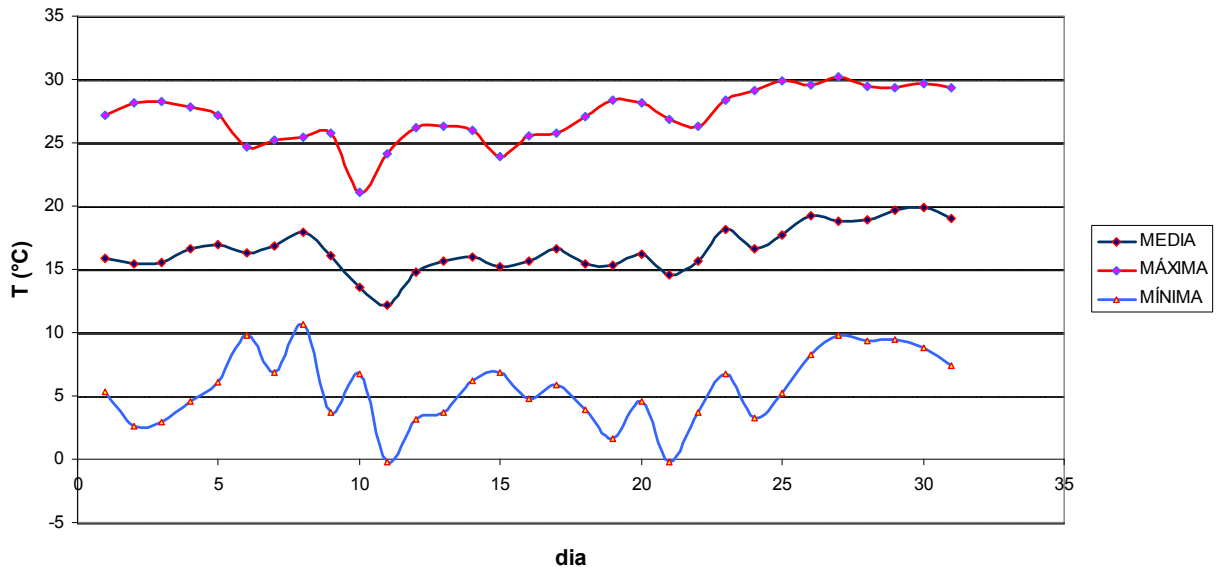


Figura A2. Temperaturas medias, máximas y mínimas prevalecientes en el mes de marzo del 2011, Chapingo, México.

Fuente: Administración de la estación meteorológica, Preparatoria Agrícola, Universidad Autónoma Chapingo, México.

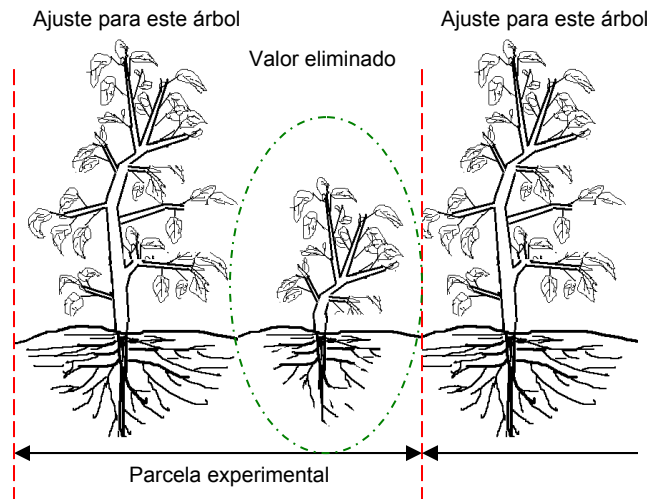


Figura A3. Ajuste dentro de parcelas y entre parcelas por diferente crecimiento de árboles.

Cuadro A2. Rendimiento real, rendimiento ajustado de fruto (RAF) por árbol, RAF por diferente crecimiento por árbol y RAF en una hectárea de MIAF.

Tratamiento	Rend. observado (g árbol ⁻¹)	RAF (g árbol ⁻¹)	RAF ajustado (g árbol ⁻¹)	RAF ajustado en una ha de MIAF(Mg)
1	144.87 ^z	3630.52 ^y	4952.33 ^x	3.437 ^w
2	292.47	4106.67	4065.94	2.822
3	345.95	7114.21	8802.61	6.109
4	185.26	5066.51	4485.69	3.113
5	156.85	4243.44	4243.44	2.945
6	124.97	1532.43	1676.26	1.163
7	245.29	3242.80	2931.58	2.035
8	245.97	4775.21	4775.21	3.314
9	187.89	2311.43	2311.43	1.604
10	260.59	5741.71	5934.83	4.119
11	222.05	5554.25	5304.76	3.682
12	170.88	3015.73	3015.73	2.093
13	191.24	9474.92	9154.00	6.353
14	193.84	4820.07	6549.49	4.545
15	170.94	4483.21	4483.21	3.111
16	168.75	5104.08	5104.08	3.542

^zPromedio de dos parcelas con dos árboles cada una

^yRAF obtenido con base a ecuación

^xRAF con base al crecimiento diferencial entre árboles dentro y entre parcelas

^wRendimiento calculado con base a 694 árboles en una hectárea de MIAF

Cuadro A3. Rangos de suficiencia mineral y proporciones minerales en frutos en postcosecha para la sección ecuatorial de frutos de manzana 'Golden Delicious' de Chihuahua, México (Mancera *et al.*, 2007).

		Pulpa	Epicarpio
N	%	1.121 – 1.71	0.78 – 1.11
NO ₃	ppm	711.6 – 1008	860 – 1218
P	%	0.069 – 0.098	0.079 – 0.112
K	%	0.491 – 0.695	0.505 – 0.716
Ca	%	0.081 – 0.115	0.087 – 0.124
Mg	%	0.036 – 0.051	0.036 – 0.051
N/Ca		15 ^z	11 ^y
NO ₃ /Ca		1 ^z	1 ^y

^zCon base al promedio de N

^yCon base al promedio de NO₃