

# **UNIVERSIDAD AUTÓNOMA AGRARIA ANTONIO NARRO**

**DIVISIÓN DE INGENIERÍA  
DEPARTAMENTO DE RIEGO Y DRENAJE**



**Programa de fertirrigación en manzano para la región de  
Arteaga, Coahuila.**

**POR:**

**CARLOS ARGUELLES FLORES**

**TESIS**

**Presentada como requisito parcial para obtener el título de:**

**INGENIERO AGRONOMO EN IRRIGACIÓN**

**Buenavista, Saltillo, Coahuila, México.  
Junio2012**

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA AGRARIA ANTONIO NARRO

DIVISIÓN DE INGENIERIA  
DEPARTAMENTO DE RIEGO Y DRENAJE

Programa de fertirrigación en manzano para la región de  
Arteaga, Coahuila.

TESIS

POR:

CARLOS ARGUELLES FLORES

QUE SOMETE A CONSIDERACIÓN DEL H. JURADO  
EXAMINADOR COMO REQUISITO PARCIAL PARA  
OBTENER EL TITULO DE:

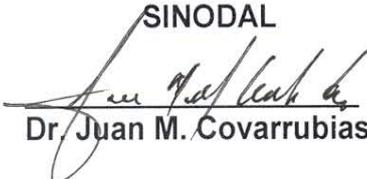
ING. AGRONOMO EN IRRIGACION

A P R O B A D A

PRESIDENTE DEL JURADO

  
M. C. Rolando Sandino Salazar

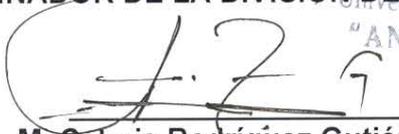
SINODAL

  
Dr. Juan M. Covarrubias Ramírez

SINODAL

  
M. C. Gregorio Briones Sánchez

COORDINADOR DE LA DIVISIÓN DE INGENIERÍA

  
M. C. Luis Rodríguez Gutiérrez

Buenavista, Saltillo, Coahuila, México.

Junio de 2012

Universidad Autónoma Agraria  
"ANTONIO NARRO"  
Coordinación de  
Ingeniería

## *Agradecimientos*

*A Dios por permitirme estar aquí y ahora, por no dejarme nunca de su mano.*

*A la Universidad Autónoma Agraria "Antonio Narro" por ser una institución humanitaria y maternal, por hacernos sentir sus hijos en nuestro paso por sus instalaciones. Por permitirme realizar mis estudios y ser un mejor mexicano. Por seguir siendo "El Alma Terra Mater" de todos aquellos que quieren superarse.*

*Al Dr. Juan Manuel Covarrubias Ramírez, por brindarme su apoyo, disposición y asesoría en este trabajo. Por su paciencia, tiempo, comprensión y conocimientos brindados durante toda mi formación profesional.*

*Al Ing. Islando Sandino Salazar por haberme brindado su confianza, por la oportunidad de pertenecer a su grupo de trabajo. Por sus conocimientos, tiempo y paciencia en su atenta labor como asesor en la realización de este trabajo.*

*Al Ing. Gregorio Briones Sánchez, por su valiosa participación como asesor de mi trabajo de tesis. Por su valioso tiempo y paciencia, por los conocimientos brindados durante mi formación profesional.*

*A todos mis maestros que de una y mil maneras sembraron en mí sus conocimientos, se los agradeceré por siempre, buscare transmitirlos a los demás para que permanezcan y se sirvan de ellos como lo hice yo.*

## *Dedicatoria*

*Dedicada a mis padres, Ángel Arguelles Balderas y Marcela Flores Cristóbal por ser ellos quienes me brindaron su confianza y apoyo tanto moral como económicamente. Por ser el motivo por el cual luchar cada día. Porque son el motor de mi vida, los que me impulsan a ser mejor, porque me brindan paz y la felicidad en este mundo donde todo es una competencia. Por brindarme lo mejor de ellos durante toda mi vida, por permanecer junto a mí en mis triunfos y fracasos. Gracias.*

*En especial a mi abuelo Al Sr. Lucario Arguelles Cortez (t). Eres el ejemplo de persona que he seguido, espero que estés orgulloso de mí, nunca te olvidaremos.*

*A mis hermanas Susana Arguelles Flores y Angélica Arguelles Flores por ser pilares en mi vida, por su ayuda emocional, económica y de cualquier índole durante todo este tiempo.*

*A mi Tío Enrique Arguelles Balderas (t) por ser más que un tío para mí. Gracias por sus consejos y siempre estará presente con todos los que lo apreciamos.*

*A mis amigos Iván Iván López Ramírez, Francisco Javier Oviedo Campos (t) por llenarme de gratos momentos al brindarme su apoyo confianza y conocimientos, durante toda mi formación profesional y porque seguirán formando parte de mi vida por siempre. A todos aquellos que en parte me regalaron su amistad y apoyo, los llevo en mi mente y corazón.*

*Dedicada a todas y cada una de las personas que me apoyaron y confiaron en mí... Gracias*

## INDICE DE CONTENIDO

<b>CONCEPTO</b>	<b>Pag.</b>
<b>AGRADECIMIENTOS</b>	<b>iii</b>
<b>DEDICATORIA</b>	<b>iv</b>
<b>ÍNDICE DE CONTENIDO</b>	<b>v</b>
<b>ÍNDICE DE CUADROS</b>	<b>vi</b>
<b>ÍNDICE DE ANEXOS</b>	<b>vi</b>
<b>ÍNDICE DE FIGURAS</b>	<b>vii</b>
<b>RESUMEN</b>	<b>viii</b>
<b>ABSTRAC</b>	<b>viii</b>
<b>1.- INTRODUCCIÓN</b>	<b>1</b>
<b>2.- REVISIÓN DE LITERATURA</b>	<b>4</b>
2.1    Nutrición	<b>5</b>
2.1.1    Disponibilidad del nutrimento en el suelo.	<b>5</b>
2.1.2    Movilidad del nutrimento en el suelo.	<b>8</b>
2.1.3    Interacción entre nutrientes en el suelo.	<b>10</b>
2.1.4    Propiedades del suelo.	<b>11</b>
2.1.5    Sistema radicular del manzano.	<b>14</b>
2.1.6    Absorción nutrimental del manzano	<b>16</b>
2.2    Fertilización	<b>19</b>
2.2.1    Demanda de cultivo	<b>19</b>
2.2.2    Suministro de suelo	<b>20</b>
2.2.3    Eficiencia del aprovechamiento del fertilizante	<b>21</b>
2.3    Fertirrigación	<b>22</b>
2.3.1    Manejo de agua	<b>23</b>
<b>3.- OBJETIVO</b>	<b>30</b>
<b>4.- HIPOTESIS</b>	<b>30</b>
<b>5.- MATERIALES Y MÉTODOS</b>	<b>31</b>
<b>6.- RESULTADOS Y DISCUSIÓN</b>	<b>34</b>
<b>7.- CONCLUSIONES</b>	<b>40</b>
<b>8.- LITERATURA CITADA</b>	<b>41</b>
<b>9.- ANEXOS</b>	<b>45</b>

## ÍNDICE DE CUADROS

<b>Cuadro</b>	<b>Pag.</b>
Cuadro 1. Absorción de los nutrientes esenciales por la raíz de la planta.	6
Cuadro 2. Antagonismos y sinergismos presentes en la nutrición mineral.	10
Cuadro 3. Capacidad de intercambio de cationes en el complejo arcilla-arena.	12
Cuadro 4. Efecto de la materia orgánica (MO) en las propiedades de los suelos.	13
Cuadro 5. Niveles de suficiencia del suministro del suelo para condiciones de suelo con PH alcalino.	21
Cuadro 6. Eficiencia de fertilizantes granulados aplicados al suelo.	21
Cuadro 7. Plantilla para calcular la uniformidad de distribución de agua en un riego por goteo.	27
Cuadro 8. Diseño San Cristóbal III con tratamientos adicionales para evaluar dosis de fertilizantes en Kg/Ha	32
Cuadro 9. Rendimiento por cada tratamiento.	35

## INDICE DE ANEXOS

<b># CUADRO</b>	<b>Pag.</b>
Cuadro 10A. Rendimiento por cada dosis aplicada de Nitrógeno.	45
Cuadro 11A. Rendimiento por cada dosis aplicada de Potasio.	45
Cuadro 12A. Rendimiento por cada dosis aplicada de Fosforo.	45
Cuadro 13A. Rendimiento por cada dosis aplicada de Magnesio	45
Cuadro 14A. Análisis de Varianza (ANOVA).	46

## ÍNDICE DE FIGURAS

<b>Figura</b>	<b>Pag.</b>
<b>Figura 1. Efecto de la movilidad de los nutrientes en la colocación del fertilizante.</b>	<b>10</b>
<b>Figura 2. Raíz del Manzano.</b>	<b>15</b>
<b>Figura 3. Crecimiento del manzano durante el ciclo anual.</b>	<b>16</b>
<b>Figura 4. Absorción del manzano.</b>	<b>17</b>
<b>Figura 5. Unidades y líneas en un sistema de riego por goteo.</b>	<b>24</b>
<b>Figura 6. Distribución del agua en la línea de riego por goteo en manzano.</b>	<b>25</b>
<b>Figura 7. Eficiencias en la aplicación del agua en un sistema de riego por goteo.</b>	<b>28</b>
<b>Figura 8. Localización de la huerta.</b>	<b>31</b>
<b>Figura 9. Rendimiento por cada dosis aplicada de Nitrógeno.</b>	<b>35</b>
<b>Figura 10. Rendimiento por cada dosis aplicada de Potasio.</b>	<b>36</b>
<b>Figura 11. Rendimiento por cada dosis aplicada de Fosforo.</b>	<b>37</b>
<b>Figura 12. Rendimiento por cada dosis aplicada de Magnesio.</b>	<b>38</b>

## Resumen

Generar un programa de fertirrigación fue el objetivo del estudio y se realizó en La Huerta El Capricho, en el poblado de la Biznaga, en Arteaga, Coahuila con más de 7 años. El diseño fue San Cristóbal III con tres factores: N, P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> y K<sub>2</sub>O, más un factor adicional (MgO) para 16 tratamientos con 3 repeticiones, las variables fueron rendimiento de fruta (Ren) y superficie de respuesta con dosis optima mediante la segunda derivada del modelo de superficie de respuesta e igualando a cero. Los tratamientos fueron diferentes significativamente ( $p \leq 0.05$ ). La mayor respuesta fue para la dosis 100 kgN/ha, 100 kgP<sub>2</sub>O<sub>5</sub>/ha, 90 K<sub>2</sub>O y 20 MgO/hay como se utilizaron las fuentes de urea, fosfato mono amónico, sulfato de potasio y sulfato de magnesio se aplicó como ión acompañante 31 kg S/ha. Las funciones de respuesta fueron  $Ren=6,342.5+4610N-425N^2$ , con  $R^2=0.92^{**}$  para nitrógeno;  $Ren=12,282+49.71P_2O_5-0.21*(P_2O_5)^2$ , con  $R^2=0.61^*$  para fósforo;  $Ren=12,370+223.5K_2O-2.296*(K_2O)^2$ , con  $R^2=0.99^{**}$  para potasio y  $14,404+179.46MgO+23.52*(MgO)^2$ , con  $R^2=0.99^{**}$  para magnesio La fertirrigación en frutales caducifolios es diferente por suelo y clima, durante el ciclo y entre ciclos.

**Palabras clave:** dosis, superficie de respuesta, fertilizantes.

## Abstrac

Generate a program fertigation was the objective of the study and performed in The Capricho Orchard, in the Biznaga town; inArteaga, Coahuila with more than 7 years. The design was San Cristobal III with three factors: N, P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> and K<sub>2</sub>O, plus an additional factor (MgO) to 16 treatments and 3 replications, the variables were fruit yield (Ren) and response surface with optimum dose throw second derivative of response model and equalize to zero. The treatments were significantly different ( $p \leq 0.05$ ). The higher response was for 100 kgN/ha, 100 kgP<sub>2</sub>O<sub>5</sub>/ha, 90 K<sub>2</sub>O y 20 MgO/ha dose and the sources were urea, mono ammonic phosphate, potash sulfate and magnesium sulfate, also ion accompanist application of 31 kg S/ha. The response functions were  $Ren=6,342.5+4610N-425N^2$ , with  $R^2=0.92^{**}$  to nitrogen;  $Ren=12,282+49.71P_2O_5-0.21*(P_2O_5)^2$ , with  $R^2=0.61^*$  to phosphorus;  $Ren=12,370+223.5K_2O-2.296*(K_2O)^2$ , with  $R^2=0.99^{**}$  to potassiumand  $14,404+179.46MgO+23.52*(MgO)^2$ , with  $R^2=0.99^{**}$  to magnesium. Fertigation in deciduous fruit trees is different for soil and climate, during the cycle and between cycles of production.

**Key words:** dose, response surface, fertilizers.

## 1.INTRODUCCIÓN

Los manzanos son los árboles frutales más antiguos del mundo. Al parecer sus originarios han sido situados entre los Balcanes de Europa, el Cáucaso, Irán, Turkestán y el sur de Rusia, desde donde fue llevada a Grecia siglos A.C. Las variedades cultivadas se conocieron en el siglo XIII y aun persisten. En asentamientos prehistóricos descubiertos en los lagos suizos, se han hallado restos carbonizados de manzanas (SAGARPA 2013).

La manzana llegó a América de la mano de los primeros colonos, que llevaban consigo semillas del árbol. Se conservan documentos de la Massachusetts Bay Company, de Estados Unidos, que demuestran que en Nueva Inglaterra ya se cultivaba el manzano en 1630. Indígenas, misioneros y comerciantes llevaron las semillas hacia el oeste de los nuevos territorios (SAGARPA, 2013).

A nivel mundial se producen aproximadamente 60 millones de toneladas de manzana al año en una superficie de 5.6 millones de hectáreas, siendo China el principal productor con más de 20 millones de toneladas, seguido de Estados Unidos de América con 5.0 millones. Estos países aportan el 45% de la producción mundial, mientras que México aporta 0.58 millones de toneladas al año, que representa el 0.97% de la producción mundial (SIAP, 2013).

Actualmente en México la superficie sembrada de manzana es de 61,219.53 ha con una producción de 584,655.18 t de las cuales 39,544.70 ha se trabajan bajo condiciones de riego teniendo una producción de 491,524.34 t y bajo condiciones de temporal se siembran 21,674.83 ha con una producción de 93,130.84 t (SIAP, 2013). Los estados con mayor superficie y producción de manzana son en orden de importancia Chihuahua, Durango y Coahuila. Las tendencias nacionales son estables en superficie pero inestables en cuanto a la producción dado a factores climáticos como lo pueden ser las heladas tardías y el granizo entre otros.

Debido a que el consumo *per cápita* de manzana en México aumentó de 3.7 a 7.9 Kg de 1980 al 2011, la importación de manzana a cobrado cada vez mayor auge, ya que la producción nacional no abastece las necesidades de los consumidores en el país, lo que obliga a nuestros productores y empresarios a ser más competitivos, ya que debe satisfacerse primero la demanda del mercado nacional y después buscar posicionarse de mejor manera internacionalmente (SAGARPA, 2013).

Actualmente Chihuahua es el principal productor de manzana en el país con aportación de más del 58%, además de que en el estado se selecciona y empaca más del 75% de las cajas a nivel nacional. El nivel de tecnología (tipo de riego, control de enfermedades, mallas antigranizo, control de heladas entre otros) oscila entre el 30% con nivel alto, 40% con nivel intermedio y 30% con nivel bajo, este último tendiendo a desaparecer (SAGARPA, 2013).

En el estado de Coahuila de Zaragoza se encuentran sembradas 7,028 ha con una producción total de 59,653.78 t de las cuales 3,063 ha se encuentran bajo condiciones de riego teniendo una producción de 45,776.28 t y bajo condiciones de temporal se tienen 3,965 ha con un producción de 13,877.50 t (SIAP, 2013).

Los manzanos requieren de un ambiente con clima templado, con humedad relativa estable, una temperatura menor a 25° C en verano. Son muy resistentes al frío en invierno en dormancia y al romper la latencia en forma lenta al inicio de la primavera, con ello se reduce el riesgo de heladas tardías en primavera, aunque los órganos anuales como hojas, flores y frutos, sean sensibles.

El manzano es la especie más cultivada a escala mundial. Asia es el continente de mayor producción, el Continente Europeo es la segunda área geográfica en importancia seguida de América del Norte donde destaca Estados Unidos como segundo productor del mundo; por último se encuentra América del sur, África y Oceanía (FAO, 2013).

En cuanto al suelo, los manzanos se muestran relativamente poco exigentes. Se adaptan en suelos de mediana calidad y de naturaleza bastante diversa. Los suelos sanos, porosos, de consistencia media, son los mejores para cultivarlos en forma rentable. Sólo los suelos extremadamente áridos y pobres, o los suelos exageradamente húmedos, no les permiten una vegetación y una fructificación aceptable.

#### TAXONOMÍA Y MORFOLOGÍA

Nombre Común: Manzano

Nombre Científico: *Malus Domestica* (Linnaeus)

Familia: *Rosáceas*

## 2. REVISIÓN DE LITERATURA

La fertilidad natural de un suelo normalmente no aporta los suficientes nutrimentos para cumplir con la demanda de los cultivos, necesaria para obtener su máximo rendimiento y producción, por lo tanto, se requiere de complementación con fertilizantes (Etchevers, 1997; Alcántar y Sandoval, 1999).

El concepto de fertirrigación ha venido evolucionando de acuerdo a varios autores de la siguiente manera:

- Fertirrigación es la aplicación de fertilizantes a través del agua de riego (Burtet *et al.*, 1995).
- Fertirrigación es la aplicación en el agua de fertilizantes y reguladores de crecimiento a través del sistema de riego (IrrigationAssociation, 1997).
- Fertirrigación es el método más racional para realizar una fertilización optimizada (Cadahia, 2005).
- Fertirrigación es proporcionar a la planta su alimento en la cantidad y cuando lo necesite mediante el agua de riego (Covarrubias *et al.*, 2011).

Al considerar que la extracción nutrimental regula a la fertirrigación y que ésta no es uniforme a través del ciclo, por consecuencia la dosis de fertirrigación, hace que ésta sea variable, además se debe considerar la disponibilidad de fuentes de fertilizantes en la región (Limón, 1997), con lo cual, se cumple el concepto que la fertirrigación es alimentar a la planta en la cantidad que necesita, así la fertirrigación en manzano es una tecnología para todos los productores pero diferente para cada situación, porque en el campo, el suelo y el clima provocan que las necesidades de fertilización sean diversas a través del ciclo de cultivo y entre ciclos por la edad y producción del árbol (Covarrubias, 2003).

## 2.1 NUTRICIÓN

En la actualidad los elementos esenciales para las plantas superiores son 17, el carbono, el hidrógeno y el oxígeno son proporcionados por la atmosfera en el proceso de fotosíntesis y están relacionados con una buena cobertura de hojas y la radiación incidente; el nitrógeno, fósforo y potasio son los macronutrientes, por la mayor cantidad que se utilizan en los cultivos; el calcio, magnesio y azufre, son los meso nutrientes porque se necesitan en menor cantidad y los micronutrientes por la mínima cantidad que se requiere de ellos en los cultivos y son los metales como hierro, cobre, zinc y manganeso, además el boro, el molibdeno, el cloro y actualmente el níquel.

Existen elementos útiles para el desarrollo del cultivo como es el silicio, cobalto y sodio; el sodio es considerado como útil para el manzano y en condiciones de pH alcalino se encuentra en el suelo, estos elementos son proporcionados por el suelo debido a que las necesidades son mínimas, además el sodio es un elemento muy soluble que es fácilmente absorbido, por lo que casi nunca se recomienda su aplicación, pero se debe monitorear con análisis foliar para tener control.

El suministro de nutrientes para el manzano debe ser principalmente a través del suelo y sólo en forma foliar cuando la absorción por las raíces se dificulta por diversos factores y entre ellos se encuentran los siguientes:

### 2.1.1 Disponibilidad del nutriente

Los nutrientes en el suelo pueden estar en forma de gas, solubles, adsorbidos, intercambiables y fijos, pero lo importante es la forma como son absorbidos por la raíz del manzano en la solución del suelo, los nutrientes reportados como esenciales para manzano y su forma de absorción se muestran en el Cuadro 1.

El nitrógeno es el único elemento que se absorbe como catión y anión en la raíz del manzano, esta absorbe casi la totalidad del N como nitrato y amonio ( $\text{NO}_3^-$  y  $\text{NH}_4^+$ ), ambos se mueven a las raíces del árbol mediante flujo de masas y difusión. El  $\text{NO}_3^-$  se absorbe normalmente en mayor cantidad que el  $\text{NH}_4^+$  y su absorción es mayor a un pH ligeramente ácido. Por ser un anión, tiene un sinergismo con la absorción del calcio, magnesio y potasio (Alcántar y Sandoval, 2001), para regular esta situación las raíces exudan iones hidroxilo y bicarbonato ( $\text{OH}^-$  y  $\text{HCO}_3^-$ ) para mantener el balance iónico en la rizósfera y la solución del suelo (Havlin *et al.*, 1999), lo cual ocasiona un incremento en el pH del medio.

Cuadro 1. Absorción de los nutrimentos esenciales por la raíz del manzano.

Elemento	Símbolo	Forma	Nombre	Forma	Nombre
Nitrógeno	N	$\text{NO}_3^-$	Nitrato	$\text{NH}_4^+$	Amonio
Fósforo	P	$\text{H}_2\text{PO}_4^-$	Ortofosfato diácido	$\text{HPO}_4^{2-}$	Ortofosfato monoácido
Potasio	K	$\text{K}^+$	Potasio		
Azufre	S	$\text{SO}_4^{2-}$	Sulfato		
Calcio	Ca	$\text{Ca}^{2+}$	Calcio		
Magnesio	Mg	$\text{Mg}^{2+}$	Magnesio		
Cobre	Cu	$\text{Cu}^{2+}$	Cobre		
Zinc	Zn	$\text{Zn}^{2+}$	Zinc		
Manganeso	Mn	$\text{Mn}^{2+}$	Manganeso		
Hierro	Fe	$\text{Fe}^{2+}$	Hierro		
Boro	B	$\text{H}_3\text{BO}_3$	Acido Bórico		
Cloro	Cl	$\text{Cl}^-$	Cloro		
Sodio	Na	$\text{Na}^+$	Sodio		

El  $\text{NH}_4^+$  es absorbido por el árbol en mayor proporción a un pH neutro y se reduce en condiciones ácidas. Por tratarse de un catión, tiene antagonismos con el calcio, magnesio y potasio y sinergismo con fosfatos, sulfatos y cloruros. La absorción de  $\text{NH}_4^+$  reduce el pH en la rizósfera debido a que las raíces exudan iones hidrógeno ( $\text{H}^+$ ) para mantener un balance catiónico dentro de la raíz (Havlin *et al.*, 1999).

Niveles de humedad del suelo superiores a capacidad de campo (33 kPa), donde se disminuye la aireación y se crean condiciones de anaerobiosis que reducen la actividad de las bacterias *Nitrosomonas* y *Nitrobacter*, lo que incrementan los niveles de  $\text{NH}_4^+$  en la solución del suelo por la disminución del proceso de nitrificación; así el  $\text{NH}_4^+$  es absorbido en exceso por el árbol creando toxicidad (Mengel and Kirby, 1987).

El fósforo es el macroelemento que se aplica en mayor cantidad, además de ser el más limitante para el crecimiento del manzano (Schachtman *et al.*, 1998). Esto se debe a la baja disponibilidad de P, que normalmente no excede de  $10 \mu\text{M}$  en la solución del suelo (Raghothama, 1999), a su baja difusión en los suelos ( $10^{-12}$  a  $10^{-15} \text{ cm}^2 \text{ s}^{-1}$ ), la más baja de los elementos esenciales en la nutrición del manzano, y a un alto valor de pH en los suelos, generalmente desfavorable a la solubilidad del P (Havlin *et al.*, 1999).

En los suelos derivados de rocas sedimentarias calizas (Calcisoles y Gypsisoles), suelos alcalinos característicos de las zonas semiáridas de México, el P se encuentra como fosfato tricálcico, el cual es insoluble y cuya formación se incrementa durante el desarrollo del árbol, lo que provoca deficiencias de este elemento en cada ciclo. Por lo anterior, más del 80 % del P llega a ser inmovilizado y no está disponible para ser absorbido por las plantas (Holford, 1997).

El potasio es absorbido por las plantas como ión potasio ( $\text{K}^+$ ), en mayor cantidad que cualquier otro nutriente excepto el nitrógeno. En el suelo se encuentra en forma mineral, en forma no intercambiable (fijado en arcillas tipo 2:1), en forma intercambiable, y en forma soluble, donde las dos últimas formas representan del 1 al 10 % del K disponible en el suelo para ser absorbido por la planta (Havlin *et al.*, 1999).

El transporte del potasio a las raíces es por difusión y flujo de masas; la cantidad de potasio absorbida por difusión está directamente relacionada con la cantidad de potasio en la solución, la difusión es de  $10^{-4}$  a  $10^{-6}$   $\text{cm}^2 \text{s}^{-1}$  y el flujo de masa depende del volumen de agua que utilicen la plantas y de la concentración en la solución. Existe una relación directa entre la concentración de K en la solución y la cantidad de potasio absorbido (Planchette, 2001).

La concentración de potasio aprovechable en el suelo se determina con el K intercambiable, debido a que el K soluble es muy dinámico y varía su concentración en la solución del suelo; el K intercambiable se encuentra adherido a las partículas de arcilla, por lo que un suelo arcilloso tendrá mayor reserva de potasio que un suelo arenoso (Alcántar y Sandoval, 1999).

El  $\text{K}^+$  tiene una menor afinidad para la superficie coloidal del suelo respecto al ión amonio ( $\text{NH}_4^+$ ), por lo que se puede lograr un considerable movimiento del potasio a través del suelo cuando se aplica mediante sistemas de riego por goteo, al incrementarse el flujo de masa (IrrigationAssociation, 1999).

El calcio está presente en los suelos de zonas áridas y semiáridas del norte de México; el manzano tiene variedades que muestran deficiencia de Ca aun en suelos con suficiencia de este elemento, esto se debe a la capacidad de absorción de Ca de cada variedad, por lo cual, la aspersión de Ca al fruto se ha vuelto una práctica común.

### 2.1.2 Movilidad del nutrimento en el suelo.

Los nutrimentos para que puedan ser absorbidos por la planta deben estar en solución y una vez que estén en solución, la movilidad depende de la capacidad de cada elemento para desplazarse en el agua. La movilidad de los elementos es la siguiente:

Móviles	$\text{NO}_3^-$ , $\text{K}^+$ , $\text{SO}_4^{2-}$ , $\text{H}_3\text{BO}_3$ , $\text{Cl}^-$ y $\text{Na}^+$
Poco Móviles	$\text{MoO}_4^{2-}$
No Móviles	$\text{NH}_4^+$ , $\text{H}_2\text{PO}_4^-$ , $\text{HPO}_4^{2-}$ , $\text{Ca}^{2+}$ , $\text{Mg}^{2+}$ , $\text{Zn}^{2+}$ , $\text{Cu}^{2+}$ y $\text{Fe}^{2+}$

De los macroelementos, el fósforo tiene muy poca movilidad, siendo esta de 3 cm a una profundidad de 20 a 30 cm, para este elemento es de suma importancia el suministro mediante la fertirrigación (Petersen and Stevens, 1994).

Los mecanismos de movimiento de los nutrientes a la raíz son los siguientes:

- Flujo de Masas.- Es el arrastre de los nutrientes en solución por el agua hacia la raíz, ya sea por efecto de la absorción de agua por un gradiente de transpiración o por las pulsaciones del agua en un riego por goteo. Este mecanismo aporta los nutrientes que se encuentran en mayor concentración en la solución del suelo. Los nutrientes que se mueven a la raíz por este proceso son:  $\text{H}_3\text{BO}_3$ ,  $\text{Ca}^{2+}$ ,  $\text{Cu}^{2+}$ ,  $\text{Mg}^{2+}$ ,  $\text{Mn}^{2+}$ ,  $\text{MoO}_4^{2-}$ ,  $\text{NO}_3^-$  y  $\text{SO}_4^{2-}$ .
- Difusión.- Es el movimiento de nutrientes en la solución en base a un gradiente de mayor concentración a una menor. Este proceso se realiza a cortas distancias y los nutrientes más importantes en este proceso son  $\text{H}_2\text{PO}_4^-$  y  $\text{K}^+$ .
- Intercepción Radical.- Cuando el sistema radical empieza a desarrollarse, este cruza por donde se encuentran los nutrientes de baja movilidad en las partículas de arcilla y los absorbe siendo estos el  $\text{Ca}^{2+}$  y  $\text{H}_3\text{PO}_4^-$ .

Conociendo los mecanismos de movimiento de los nutrientes y la movilidad de estos podemos concluir que debemos aplicar dentro de la zona radicular el  $\text{NO}_3^-$ ,  $\text{K}^+$ ,  $\text{SO}_4^{2-}$ ,  $\text{H}_3\text{BO}_3$ ,  $\text{Cl}^-$  y  $\text{Na}^+$ . (Figura 1a) y aplicar el  $\text{NH}_4^+$ ,  $\text{H}_2\text{PO}_4^-$ ,  $\text{HPO}_4^{2-}$ ,  $\text{Ca}^{2+}$ ,  $\text{Mg}^{2+}$ ,  $\text{Zn}^{2+}$ ,  $\text{Cu}^{2+}$  y  $\text{Fe}^{2+}$  cerca de las raíces de absorción (Figura 1b), todo esto se logra con el agua y el crecimiento de las raíces.

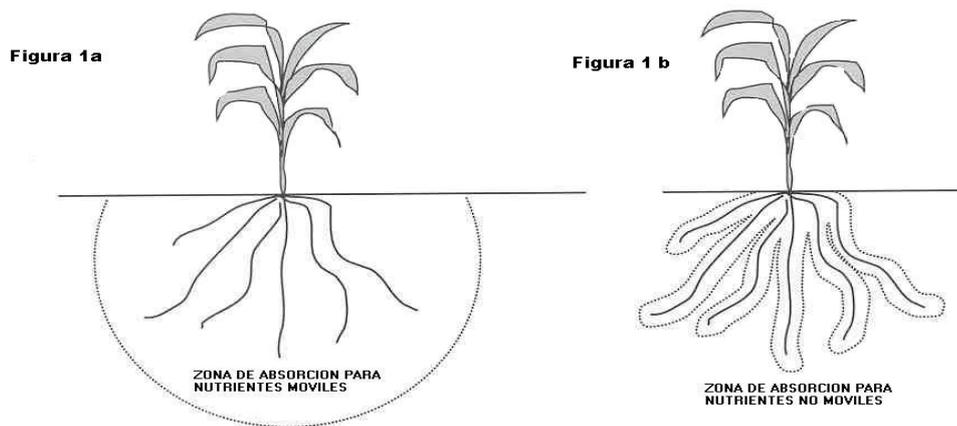


Figura 1. Efecto de la movilidad de los nutrientes en la colocación del fertilizante.

### 2.1.3 Interacciones entre nutrimentos en el suelo

La aplicación de nutrimentos no puede ser observada en forma independiente entre ellos, los fertilizantes alteran la química del suelo y consecuentemente la absorción por el manzano y por consecuencia esto influye en la nutrición. En la fertirrigación las aplicaciones de bajas dosis de fertilizantes no alteran el equilibrio nutrimental de las plantas y el suelo. Los técnicos deben recordar que la aplicación de un nutriente puede afectar la absorción de otro.

Las interacciones entre nutrientes pueden ser de sinergismos o antagonismos. El sinergismo es cuando la absorción de un nutriente incrementa la absorción de otro y el antagonismo es cuando la absorción de un nutriente decrece la absorción de otro. Las interacciones conocidas se muestran en el Cuadro 2.

Cuadro 2. Antagonismos y sinergismos presentes en la nutrición mineral.

La absorción de este nutriente:	Antagonismo con :	Sinergismo con:
$\text{NH}_4^+$	$\text{Mg}^{2+}$ , $\text{Ca}^{2+}$ , $\text{K}^+$ , $\text{MoO}_4^{2-}$	$\text{Mn}^{2+}$ , $\text{H}_2\text{PO}_4^-$ , $\text{HPO}_4^{2-}$ , $\text{SO}_4^{2-}$ , $\text{Cl}^-$
$\text{NO}_3^-$ $\text{H}_2\text{PO}_4^-$ , $\text{HPO}_4^{2-}$	$\text{Fe}^{2+}$ , $\text{Zn}^{2+}$ $\text{Zn}^{2+}$ , $\text{Cu}^{2+}$	$\text{Ca}^{2+}$ , $\text{Mg}^{2+}$ , $\text{K}^+$ , $\text{MoO}_4^{2-}$ $\text{MoO}_4^{2-}$
$\text{K}^+$	$\text{Ca}^{2+}$ , $\text{Mg}^{2+}$	$\text{Mn}^{2+}$ (en suelos ácidos)
$\text{Ca}^{2+}$		$\text{Mn}^{2+}$ (en suelos ácidos)
$\text{Mg}^{2+}$	$\text{Ca}^{2+}$ , $\text{K}^+$	$\text{MoO}_4^{2-}$
$\text{Fe}^{2+}$	$\text{Cu}^{2+}$ , $\text{Zn}^{2+}$	
$\text{Zn}^{2+}$	$\text{Cu}^{2+}$	
$\text{Cu}^{2+}$	$\text{Zn}^{2+}$ , $\text{MoO}_4^{2-}$	
$\text{Mn}^{2+}$	$\text{Zn}^{2+}$ , $\text{Ca}^{2+}$ , $\text{MoO}_4^{2-}$	

#### 2.1.4 Propiedades del suelo.

- Reacción del suelo (pH).- La disponibilidad de nutrientes para el manzano está influenciada por factores del suelo como el pH que indica la acidez o alcalinidad y para la región Norte de México, los suelos son ligeramente alcalinos.

Los suelos de la zona manzanera de la Sierra de Arteaga en Coahuila, pertenecen a los grupos Leptosol lítico en las faldas de la Sierra y Calcisolhaplico en los valles (FAO, 2013; INEGI, 2013). Por estas características, estos suelos tienen pH alcalino, que como tal tiene poca importancia, pero por sus efectos indirectos, se provoca indisponibilidad de los nutrimentos como fósforo, boro, manganeso, hierro, cobre y zinc, además se afecta la disponibilidad de nitrógeno porque a un pH de 7.5 en la solución del suelo, el ion amonio se transforma en amoniaco y se volatiliza hasta un 30% y en el proceso de nitrificación las bacterias *nitrosomonas* y *nitrosococcus* reducen su actividad a este pH, disminuyendo la eficiencia en la absorción de nitrógeno.

El manzano requiere de un pH óptimo de 5.5 a 7, que son condiciones de suelos ligeramente ácidos a neutros. Otra observación son las mezclas donde los metales como Fe, Cu y Zn no deben mezclarse, situaciones que se complementan en el tema de antagonismos y sinergismo.

El pH también influye en la presencia de hongos y bacterias en el suelo, el pH adecuado para desarrollo de los hongos es 5.0 a 8.5 y el pH para bacterias es de 5.5 a 9.0.

- Capacidad de Intercambio Catiónico (CIC).- Otra propiedad del suelo que influye en el suministro de nutrimentos es la CIC, que esta regida por el complejo arcilla-humus del suelo, debido a que las arenas y los limos tienen muy poca capacidad, por lo que su efecto se tiene con la arcilla-humus de acuerdo al cuadro 3.

Cuadro 3. Capacidad de Intercambio de Cationes en el complejo arcilla-humus.

MATERIAL	CAPACIDAD DE INTERCAMBIO CATIONICO (cmol <sub>c</sub> /kg)
Humus	200 a 250
*Montmorillonita 2:1	80 a 150
*Illita 2:1	10 a 40 Alta fijación de K
*Kaolinita 1:1	3 a 15
*Vermiculita 2:1	100 a 150
*Clorita 2:2 o 2:1:1	10 a 40
Esmectita	90 a 120
Aluminosilicatos Amorfos	5 a 100

\*Arcillas con arreglo de tetraedro de sílice y octaedro de aluminio.

- Materia orgánica (MO).- Como ya se mencionó el enriquecimiento de los suelos con MO puede tener muchas ventajas para los cultivo, puesto que mejora las condiciones físicas de suelo y además puede aumentar la eficiencia de los fertilizantes fosforados al bajar el pH del suelo y formar los complejos humus-fosforados que retienen el fósforo en forma asimilable para la nutrición del manzano (Cuadro 4).

Las fuentes de materia orgánica son los residuos de cosecha, los abonos verdes, compostas y los estiércoles, de estos la gallinaza es rica en nitrógeno y fósforo, siendo ideal para suelos alcalinos.

La gallinaza es utilizada como complemento de la fertilización porque contiene 2.9 a 5.1 % de nitrógeno, dependiendo de su contenido de paja, de su grado de descomposición y de la alimentación suministrada a las gallinas. El contenido de fósforo varia de 2 a 3.3 % (Pratt *et al.*, 1973).

Cuadro 4. Efecto de la materia orgánica (MO) en las propiedades del suelo.

Propiedad	Comentario	Efecto en el suelo
Color	El color oscuro típico de muchos suelos es causado por la MO.	Facilita el calentamiento.
Retención de agua	Aumenta el peso del suelo.	Ayuda a prevenir el secado y contracción; aumenta la retención de agua en suelos arenosos.
Combinación con arcillas	Forma agregados con las partículas del suelo.	Permite el intercambio de gases, estabiliza la estructura e incrementa la permeabilidad.
Quelatación	Forma complejos estables con $\text{Cu}^{2+}$ , $\text{Mn}^{2+}$ , $\text{Zn}^{2+}$ y otros cationes.	Incrementa la disponibilidad de micronutrientes en la solución del suelo.
Solubilidad en agua.	La MO es insoluble debido a su asociación con la arcilla.	Sólo una pequeña parte de la MO se pierde por lixiviación.
Bufferización	Evita los cambios en los procesos de los nutrientes en la solución del suelo.	Ayuda a mantener la uniformidad del pH del suelo.
Intercambio catiónico	La capacidad total del humus esta en el rango de 200 a 1400 $\text{cmol}_c/\text{kg}$ .	La MO puede incrementar la CIC del suelo del 20 al 70 %.
Mineralización	La descomposición de la MO produce $\text{CO}_2$ y nutrientes.	Es una fuente de nutrientes para el árbol de manzana.
Combina con moléculas orgánicas	Afecta la bioactividad, persistencia y biodegradabilidad de los agroquímicos.	Modifica las dosis de agroquímicos para un control más efectivo y eficiente.

- Textura.- La textura del suelo determina la distribución del tamaño de poros dentro de los agregados del suelo, y a su vez la estructura determina la conectividad y distribución de poros entre los agregados. El movimiento del agua y las raíces es controlado por la textura y la estructura, por ejemplo una textura arenosa y estructura en bloques crea macroporos que permiten un mejor crecimiento de raíces. El tamaño de poro y su rugosidad en la conectividad de los poros (tortuosidad) determinan el movimiento del agua en la zonas de raíces, por ejemplo, la textura arcillosa y estructura en placas limita el crecimiento de raíces y el movimiento del agua, respecto a una textura media y estructura granular, que facilita el crecimiento de raíces y el movimiento del agua.

La textura y estructura afectan la densidad aparente del suelo ( $D_a$ ) y por ende, la conductividad térmica del suelo; esta aumenta al incrementarse la  $D_a$  y el contenido de agua en el suelo, que repercute en la nutrición, porque la absorción y crecimiento de raíces del manzano inicia a partir de 6.2 °C (Childers *et al*; 1992). Por ello, para empezar a fertilizar el manzano, se requiere aplicar el riego y que la temperatura del suelo sea superior a 6.2 °C, esto ocurre al final de la dormancia, en los meses de febrero, pero puede ser afectado por el calentamiento global y presentarse antes.

### 2.1.5 Sistema radicular del manzano

Las raíces del manzano con fines de nutrición y agua deben cumplir las siguientes funciones claves: a) Anclaje, b) Absorción mineral, c) Síntesis de ciertas hormonas del manzano y d) Tamaño de raíz que afecta el tamaño del árbol y el espaciamiento entre ellos. Para el establecimiento de una huerta de manzano el suelo debe tener en los primeros 0.3 m una buena aireación y drenaje, para permitir un desarrollo extensivo de las raíces.

Pero el subsuelo a partir de los 0.3 hasta los 1.2 m, debe permitir también un adecuado desarrollo de raíces, porque de lo contrario el árbol sólo tendrá buena producción los primeros años, y cuando requiera de agua por la transpiración de las hojas, esta será mayor y en los meses de sequía el árbol puede morir, o causarle un daño irreversible en su desarrollo, teniendo árboles raquíticos debido a un menor desarrollo de raíces.

El árbol de manzano con un patrón estándar tiene un sistema



Figura 2. Raíz de Manzano.

radicular formado por raíz principal o de extensión, raíz lateral o adventicia y raíces de absorción, es considerada una raíz superficial entre los frutales (Figura 2), porque más del 70 % de su volumen radicular está entre los primeros 0.4 m de profundidad del suelo, por lo cual, esta es la zona de absorción de agua y

nutrientes en árboles con crecimiento estándar.

El engrosamiento de la raíz del manzano ocurre cada ciclo de desarrollo durante los meses julio y agosto por varios años hasta que se detiene y puede durar detenido por varios años (Maib *et al.*, 1996). Lo que indica, que este crecimiento coincide con la parte final del crecimiento de los brotes y del fruto (Figura 3).

El sistema de raíces de un árbol maduro consta de raíces de diferente edad, diámetro y grado de suberización. Las raíces jóvenes son inicialmente blancas con pelos radicales cortos, después de una a cuatro semanas las raíces empiezan cambiar a un color café y los pelos radicales empiezan a secarse.

El cambio por la suberización y lignificación de la raíz a color café ocurre de dos a tres semanas entre mayo y septiembre pero toma 12 semanas durante invierno en la dormancia.

La corteza de la raíz una vez obscurecida es removida por lombrices y microorganismos, y a la par de esto ocurre un engrosamiento secundario en otras raíces, que van a formar el sistema de raíces perennes; las raíces laterales se mantienen sin engrosar y desaparecen (Del-Real-Laborde *et al.*, 1990).

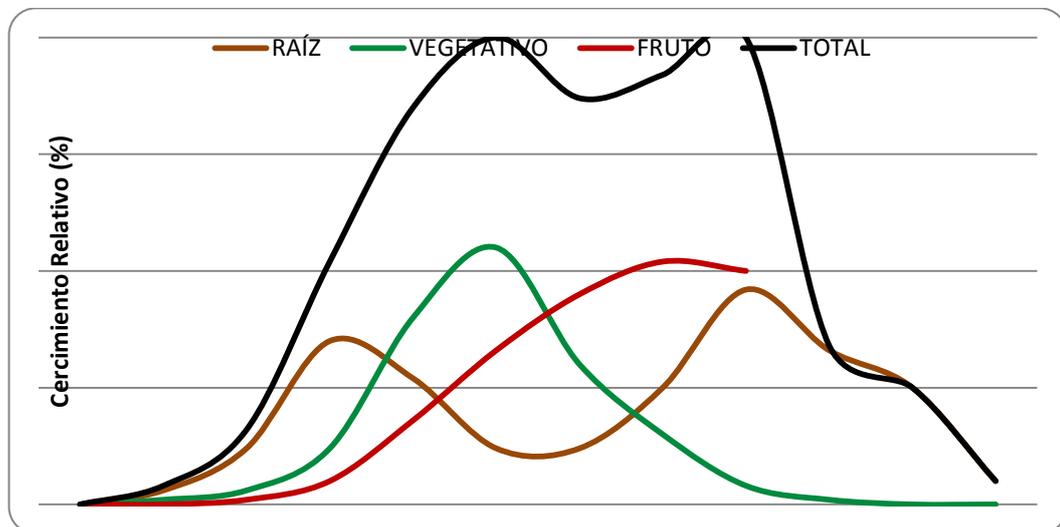


Figura 3. Crecimiento de un árbol de manzano durante su ciclo anual.

En el árbol de manzano, las raíces pueden dividirse en dos tipos: raíces de extensión y raíces laterales. Las raíces de extensión son las que engruesan y sobreviven. El crecimiento de las raíces blancas varía de 0.3 a 2 mm y las raíces de extensión tienen un crecimiento de 1 cm/día, ambos crecimientos son mayores por la noche.

Los pelos radicales donde se realiza la mayor absorción de agua y nutrientes, tienen una longitud de 0.025 a 0.05 mm, los exudados de éstos pelos radicales contienen carbohidratos como malato, citrato y oxalato, que son señales para los procesos de absorción de nutrientes y de la interacción con los microorganismos del suelo.

### 2.1.6 Absorción nutrimental en manzano

Los puntos de crecimiento de la raíz y los pelos radicales son conocidos como raíces de absorción de nutrientes y de agua. Tanto las raíces blancas y las leñosas translocan en las nutrientes y el agua, pero las raíces blancas tienen mayor absorción que las raíces leñosas.

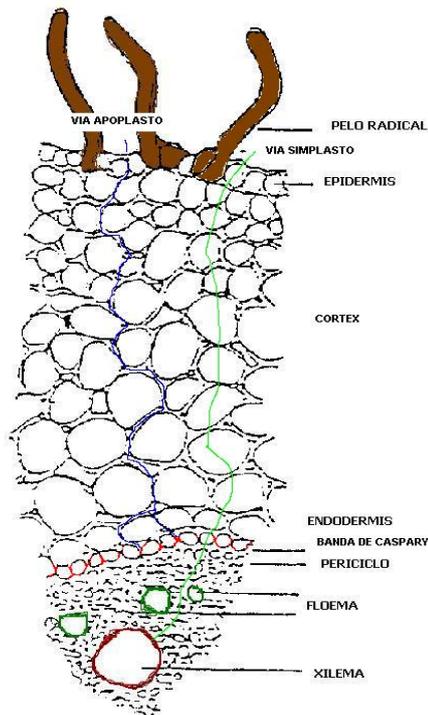


Figura 4. Absorción en Manzano.

No debemos olvidar que para que un fertilizante se absorba debe estar en solución en las formas como se muestran en el cuadro 1, y deben cumplir los requisitos de movilidad en la solución del suelo a la raíz y de su interacción entre ellos.

El agua tiene un camino desde la raíz hasta las hojas siguiendo un gradiente descendente de potencial hídrico, el potencial hídrico es el estado energético con que se encuentra el agua en el continuo suelo-planta-

atmósfera, y se puede expresar en forma de peso, masa o volumen y actualmente se expresa en unidades de Pascals (Pa)

El recorrido de los nutrientes en la absorción en forma de iones en solución y del agua, vía apoplasto es a través de los espacios intercelulares con fluido, este movimiento es por un gradiente de difusión en todos los espacios libres dentro de la raíz (Figura 4).

El movimiento de los nutrientes en solución a través de membranas selectivamente permeables, se conoce como vía simplasto, este movimiento es mediante transportadores para mover los iones a través de la membrana celular en contra de un gradiente químico y electroquímico, la energía utilizada es proporcionada por la proteína transmembranal en forma de Adenosina Tri Fosfato (ATP por su siglas en inglés) (Marschner, 1995).

La viasimplasto es el paso de una solución del medio externo al interno de la célula, este es el termino de absorción, por lo cual, la vía apoplasto no se considera por algunos autores como absorción (Alcántar y Trejo-Telléz, 2007).

Los co-transportadores en la absorción transmembranal mueven iones por gradientes a un flujo de 10<sup>2</sup> a 10<sup>4</sup> moléculas por segundo. Existen tres tipos de co-transportadores: los uni-transportadores: son canales donde se mueven sustancias a favor de un gradiente de concentración a una velocidad baja. Los anti-transportadores: son transportadores de intercambio ( $H^+$  vs  $NO_3^-$ ) ó ( $H_2PO_4^-$  vs  $NO_3^-$ ) y los sim-transportadores: son canales donde se mueven sustancias en contra de un gradiente de concentración y para ello requieren de transportadores específicos (DNAC), estos se conocen como las señales para activar los genes específicos en el proceso de fuente y demanda.

La absorción nutrimental vía simplasto no es uniforme para cada nutriente en su forma iónica, existe una absorción diferencial entre iones, y el nitrógeno es el mejor ejemplo, porque no puede ser absorbido como  $NH_4^+$  en exceso por el manzano por ser un catión; ya que sólo se tolera una concentración de 0.01 a 0.2 mM en el citosol, cloroplastos y la mayor en la mitocondria de las células de la raíz (Alcántar y Sandoval, 2001).

En cambio el  $NO_3^-$  se absorbe en mayor cantidad pero no puede estar en el citosol, por tener una solución ácida y por ello se encuentra acumulado hasta 346 mM g<sup>-1</sup> en la raíz, pero el 95% del  $NO_3^-$  está de reserva en la vacuola y de ahí pasa en pequeñas cantidades al citosol para ser reducido a  $NH_4$  por las enzimas nitrato reductasa y nitrito reductasa, esta es la forma de cómo es la asimilación del N; así el  $NH_4$  es asimilado como glutamina mediante la enzima glutamina sintetasa para formar glutamato (Ulrich, 1992), ambos aminoácidos no esenciales para las plantas, pero útiles para el desarrollo del árbol, por esto, existen productos utilizados en la nutrición a base de aminoácidos y como puede verse es mejor una buena nutrición desde el principio que aplicar después compuestos nutritivos.

Esto indica porque el manzano requiere más fertilización con fuentes de  $\text{NO}_3^-$  para una absorción activa, que fuentes de  $\text{NH}_4^+$ , y sobre todo en fertirrigación, porque en la fertilización las fuentes de  $\text{NH}_4^+$  se consideran una fertilización pasiva y tiene que llevarse a cabo el proceso de nitrificación, además su absorción es más lenta y por eso el fertilizante puede durar más tiempo en el suelo, en cambio el  $\text{NO}_3^-$  no, porque se lixivia (Covarrubias *et al.*, 2009).

## 2.2 FERTILIZACIÓN

La fertilidad natural de un suelo normalmente no aporta los suficientes nutrimentos para cumplir con la demanda de los cultivos, necesaria para obtener su máximo rendimiento y producción, por lo tanto se requiere de complementación con fertilizantes. Las necesidades de fertilización de un cultivo dependen de la demanda del cultivo menos la aportación que realice el suelo con base en su fertilidad natural, considerando la eficiencia del fertilizante que se utilice (Etchevers, 1997; Alcántar y Sandoval, 1999).

$$\text{Necesidades (kg ha}^{-1}\text{)} = \frac{\text{Demanda del cultivo} - \text{Su ministro del suelo}}{\text{Eficiencia de aprovechamiento del fertilizante}}$$

### 2.2.1 Demanda de cultivo

La demanda fue estimada para el manzano con base a resultados experimentales en la región. Las fórmulas de fertilización están diseñadas para los macroelementos que no son proporcionados en forma suficiente por el ambiente y se representan así: 120-80-40. Donde el primer número (120), indica los kilogramos de nitrógeno que se necesitan, el segundo (80) los kilogramos de fósforo, pero en forma de  $\text{P}_2\text{O}_5$  que es la forma comercial de encontrar al fósforo y el último (40) los kilogramos de potasio como  $\text{K}_2\text{O}$ . Esta fórmula representa la cantidad de fertilizante de  $\text{N}^-\text{P}_2\text{O}_5^-$   $\text{K}_2\text{O}$  que se va aplicar por hectárea de terreno.

Cuando es necesario aplicar el resto de los elementos a la fórmula de fertilización solamente se le agrega la cantidad del elemento que se necesita indicando con su símbolo de cual se trata y sabiendo que los tres primeros siempre van a ser  $N^*P_2O_5 - K_2O$ .

Pongamos el ejemplo de aplicar 20 kilos de azufre y 10 de magnesio con la anterior formula, quedando la nueva formulación de la siguiente manera: 120-80-40-20S-10Mg.

### 2.2.2 Suministro del suelo

El suministro mediante un análisis de suelo para así poder determinar las necesidades de fertilización. La época adecuada para el muestreo de suelo es en enero en dormancia para prevenir un síntoma de deficiencia. Con el análisis se determinan las necesidades de fertilización en el ciclo y se evitan posibles problemas con la calidad del suelo.

El análisis debe realizarse en laboratorio establecido y de preferencia certificado, en la sección de análisis foliar de describen los laboratorios de la región. El método de muestreo debe ser en zig-zag por sección o unidad de riego para tener una muestra compuesta, muestras específicas si se tiene diferencias de suelo o de crecimiento en los árboles.

El reporte de los laboratorios en el análisis de fertilidad debe proporcionarse en mg/kg y considerando una Da promedio de  $1.3 \text{ t/m}^3$ , una profundidad de suelo de 0.3 m y una superficie de una hectárea ( $10,000 \text{ m}^2$ ) se obtiene un factor de 3.75, para estimar el suministro del suelo (Cuadro 5).

Cuadro 5. Niveles de suficiencia del suministro del suelo para condiciones de suelos con pH alcalino.

Nutriente	Unidades	Método	Nivel de suficiencia
Nitrógeno inorgánico	mg/kg	N-NO <sub>3</sub> Electrodo y ión específico	6.8 a 13.3
Fósforo disponible	mg/kg	Olsen	16 a 20
Potasio	mg/kg	Acetato de amonio	200 a 400
Calcio	mg/kg	NH <sub>4</sub> OAc pH 8.5	1500 a 2500
Magnesio	mg/kg	NH <sub>4</sub> OAc pH 8.5	200 a 400
Azufre	mg/kg	Acetato de amonio	8 a 12
Hierro	mg/kg	Extracción por DTPA	9 a 12
Zinc	mg/kg	Extracción por DTPA	1.3 a 2.5
Manganeso	mg/kg	Extracción por DTPA	7 a 12
Cobre	mg/kg	Extracción por DTPA	0.9 a 1.2
Boro	mg/kg	Agua caliente	1.1 a 1.5

Fuente: Castellanos *et al.*, 2000; SPACI, 2000.

Como interpretar el cuadro 5, si su reporte de nitrógeno inorgánico indica un valor de 5 mg/kg y el menor nivel de suficiencia es 6.8, la diferencia para estar a un nivel de suficiencia de nitrógeno en el suelo es 1.8, este valor se multiplica por 3.75 y nos da un resultado de 6.75 kg N/ha, este nivel de N, se suma al cálculo de las necesidades de N en la fertilización.

### 2.2.3 Eficiencia de aprovechamiento del fertilizante

Los nutrientes que se aplican al suelo son N, P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>, K<sub>2</sub>O, MgO, SO<sub>4</sub>, el resto se aplica en forma foliar, porque se requiere de menor cantidad y su eficiencia es mayor con esta forma de aplicación, además se pueden aplicar junto con otros agroquímicos. En el Cuadro 6, se presenta la eficiencia de estos nutrientes.

Cuadro 6. Eficiencia de fertilizantes granulados aplicados al suelo.

Elemento	Eficiencia (%)
Nitrógeno	60 al 65
Fósforo	10 al 25
Potasio	25 al 40
Calcio	4 al 8
Magnesio	4 al 8

Desde el punto de vista ecológico, el uso correcto de los fertilizantes puede contribuir a disminuir los riesgos de contaminación del agua, de los alimentos, del aire y reducir la producción de gases de efecto invernadero (GEI).

Para tener la mayor eficiencia, debe considerarse las épocas de aplicación, que están relacionadas con la extracción del árbol de manzano, porque si se aplica fuera de esas fechas, se reducen los valores de eficiencia.

## 2.3 FERTIRRIGACION

Los sistemas de riego presurizados a tienen su auge a partir de 1972, con ellos se determinó la oportunidad, uniformidad y eficiencia de aplicación de los fertilizantes a través del riego (Davies, 1996).

La tecnología actual y el abatimiento del manto freático en la Sierra de Arteaga, sólo permite el riego por goteo como la mejor opción en el manejo del agua, considerando los espaciamientos actuales de las huertas de manzano de: 6 x 6 m, 5 x 6 m, 3 x 6 m, 3 x 4 m, 2.5 x 4 m y 2 x 4 m, los espaciamientos mayores son para el tráfico del tractor y para el tendido de la línea de riego sobre las hileras de árboles, estos tendidos son de 100 m promedio, porque a mayor longitud se reduce la eficiencia de aplicación del agua.

Nunca debemos olvidar que si deseamos manejar la nutrición a través del sistema de riego, la eficiencia de aplicación del agua siempre debe ser mayor y nunca la eficiencia de aplicación del fertilizante será mayor, siempre será igual o menor, por ello es necesario antes de aplicar el fertilizantes, verificar si el sistema de riego esta funcionando a una eficiencia mayor del 90 %.

### 2.3.1 Manejo del agua

En el sistema de riego, los goteros pueden ser insertados en la manguera de 1 a 2 m de fábrica y están disponibles en el mercado, o pueden obtenerse goteros individuales, que actualmente son auto regulables y compensables, pero todo gotero debe estar colocado hasta 0.5 m o más del tronco para evitar el exceso de agua y evitar la presencia de enfermedades.

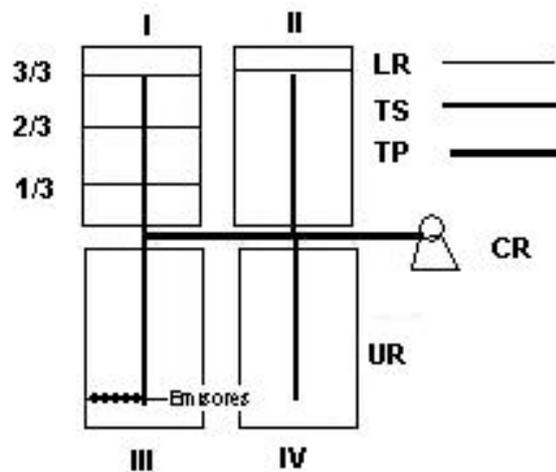
Una vez instalado el sistema y/o al inicio de operaciones de cada ciclo agrícola es necesario realizar al menos una evaluación que permita conocer la uniformidad del riego, la cual debe ser igual o mayor a 90 %. También es necesario realizar esta evaluación para aplicar cualquier agroquímico a través del agua de riego y que el sistema de riego este funcionando uniformemente al aplicar el agroquímico, para evitar desperdicio del producto.

El sistema de goteo tiene un cabezal de riego (CR), tubería principal (TP), tubería secundaria (TS) que alimenta las unidades de riego (UR); cada UR cuenta con un cabezal de control, que a su vez se componen de líneas de riego (LR), en las cuales se encuentran los goteros o emisores (Figura 5) (Covarrubias *et al.*, 2005).

- Metodología para toma de datos.

Para realizar la evaluación se requiere de 10 recipientes con capacidad de un litro, una probeta graduada de 100 mL, un cronómetro y un manómetro de reloj con glicerina y adaptador para medir la presión en la LR, un formato para registro de datos y un croquis del sistema de riego.

La evaluación se realiza en tres LR de cada UR, en el 1er, 2do y 3er tercio de la UR (Figura 5), en cada línea se realizan 10 mediciones volumétricas en los goteros.



**Figura 5. Unidades y líneas en un sistema de riego por goteo.**

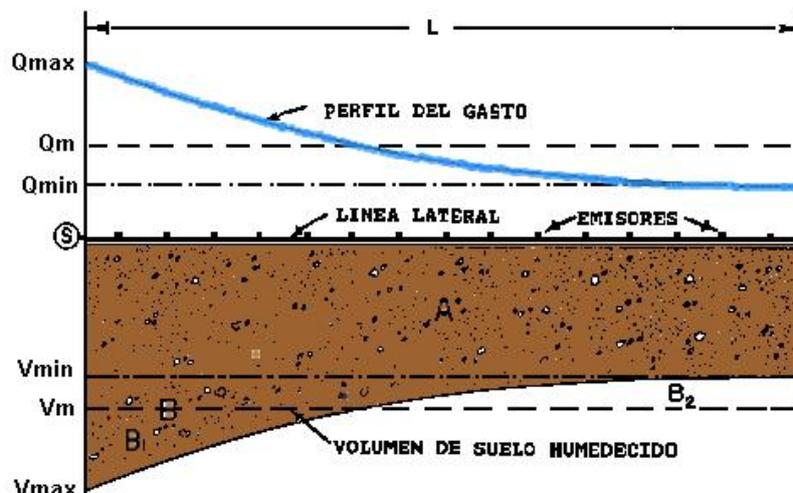
Una vez determinado dónde se colocarán los recipientes a lo largo de la LR, se mide la presión con el manómetro al inicio de la UR y al final de la línea evaluada; la variación de la presión debe ser igual o menor al 20% de la presión de operación del gotero; esto es, si la presión promedio es  $1 \text{ kg cm}^{-2}$  (14.22 PSI), su variación debe ser hasta  $1.1 \text{ kg cm}^{-2}$  (15.65 PSI) como límite superior y  $0.9 \text{ kg cm}^{-2}$  (12.8 PSI) como límite inferior; de lo contrario, podría haber fugas o taponamientos a lo largo de la LR, por lo que se deberá corregir.

En la evaluación del sistema de riego se requiere de personal suficiente para mayor rapidez (hasta 10 personas), que se colocan junto a cada recipiente, donde la persona con el cronómetro dará la señal para colocar el recipiente debajo del gotero y capturar el volumen de agua durante 6 minutos.

Para comprender mejor este procedimiento, a continuación se presenta un ejemplo:

En una huerta de manzano de alta densidad con  $1250 \text{ árboles ha}^{-1}$ , con arreglo de 4 m entre hileras y 2 m entre árboles, se tiene un sistema de riego con cuatro UR (Figura 5), cada LR es de 100 m con goteros cada 2 m, ésta tiene 50 goteros, dentro de los cuales sólo en 10 se realizarán las mediciones volumétricas, espaciadas cada cinco goteros.

Si las mediciones de todos los volúmenes capturados los ordenamos de mayor a menor, podemos observar gráficamente (Figura 6) el volumen máximo ( $V_{max}$ ) de agua aplicado, el cual penetrará en el suelo a la mayor profundidad y el volumen mínimo ( $V_{min}$ ), el cual penetra a la menor profundidad; si consideramos que el volumen medio ( $V_m$ ) es la cantidad de agua que requiere el cultivo, al inicio de la línea de riego estaremos sobre regando ( $B_1$ ) y al final de la línea estaremos sub irrigando ( $B_2$ ), lo cual indica que esta parte del manzano tendrá menor cantidad de agua y por consecuencia menor desarrollo y producción.



**Figura 6. Distribución del agua en la línea de riego por goteo en manzano.**

- Uniformidad de distribución del agua de riego.

El análisis para determinar la distribución del agua en la línea de goteo es a partir de la captura de los volúmenes de agua en los goteros, se calcula el promedio de los volúmenes capturados en todos los emisores de la línea de riego ( $Q_m$ ), que por efecto de espejo de la Figura 6, este será similar a  $V_m$ , considerando una infiltración básica, conductividad hidráulica y tortuosidad del suelo constantes, porque entonces no se cumple la condición que  $Q_m = V_m$ .

Se calcula el volumen medio de agua que se capturó de los emisores que representan la cuarta parte del gasto más bajo ( $Q_{25\%}$ ),

estos representa el área B2. En caso de seleccionar 10 emisores calcularíamos el promedio de los 3 de menor gasto, cuando el promedio sea 2.5, se aproxima a la siguiente unidad o sea 3.

Una vez que se conocen el promedio de los caudales de los emisores que representan la cuarta parte del gasto más bajo y la media de todos los gastos medios (Q25 y Qm.) se calcula el coeficiente de uniformidad (C. U.) mediante la siguiente fórmula:

$$C.U. = \frac{Q_{25}}{Q_m} * 100$$

Otra estimación de la uniformidad del riego con un procedimiento que incluye el estadístico de la desviación estándar, es el siguiente:

$$C.U. = \left( 1 - \frac{s}{\bar{x}} \right) * 100$$

Donde:

$\bar{x}$  = Promedio de las observaciones.

s = desviación estándar.

Para estimar la uniformidad de distribución del agua (UD) en la LR se utiliza el C. U. que representa a continuación, la distribución de Q de la Figura 6, se utiliza una plantilla (Cuadro 15) para organizar los datos en la LR con goteros de 4 litros por hora (LPH) a una presión de 1 kg cm<sup>-2</sup> (14.22 PSI), espaciados a un metro en la LR, la longitud de la LR es de 100 m y seleccionamos 10 puntos de muestreo espaciados cada 10 m.

Cuadro 7. Plantilla para calcular la uniformidad de distribución del agua en un riego por goteo.

Observación	Posición del recipiente en metros	Volumen colectado en 6 min. (mL)	Gasto aplicado en LPH
1	10	445	4.45
2	20	432	4.32
3	30	416	4.16
4	40	406	4.06
5	50	402	4.02
6	60	395	3.95
7	70	390	3.90
8	80	376	3.76
9	90	372	3.72
10	100	364	3.64
Promedio	$(\bar{x} \text{ o } Q_m)$		4.0
Desviación Estándar	(s)		0.26
Cuarta parte del más bajo	$(Q_{25})$		3.71

Sustituyendo valores con ambos métodos:

$$C. U. = (1 - (0.26 / 4.0)) \times 100 = 93.43 \%$$

$$C. U. = (3.71 / 4.0) \times 100 = 92.67 \%$$

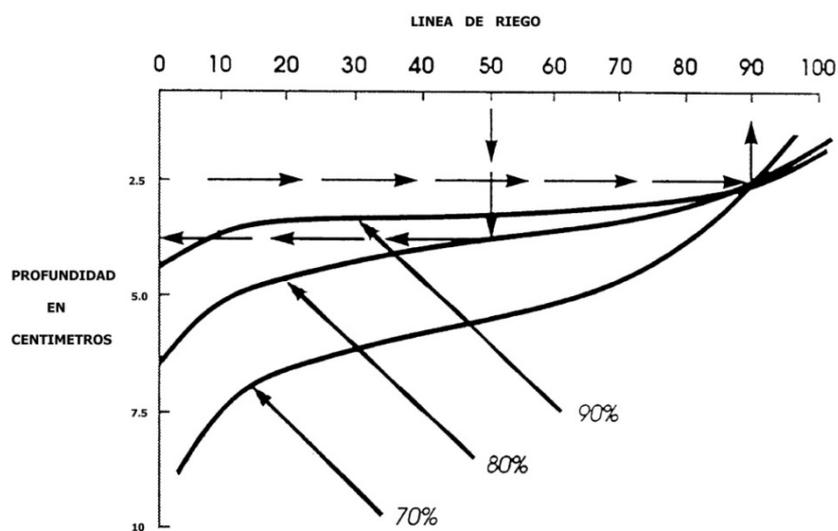
Como puede observarse, la eficiencia de la LR es del 93.43 % es mayor con el método de la desviación estándar respecto a 92.67% del método de la cuarta parte más baja, y como el primer método es un procedimiento matemático más sofisticado tiene mayor exactitud que el segundo método; la conversión de volumen en mL a gasto en LPH se realiza como  $LPH = mL/100$  considerando la evaluación en 6 minutos. La desviación estándar entre el promedio es el coeficiente de variación de las observaciones del gasto aplicado y pueden obtenerse con una calculadora de bolsillo y/o una hoja de cálculo. Esto se repetirá hasta lograr la medición de todas las UR para determinar la uniformidad general del sistema (Figura 5).

El CU en la UR I para la LR ubicada en el 1er tercio es del 93.43 % utilizando el método de la desviación estándar, de 92.21% en la LR del 2do tercio y de 92.76 % en la LR del 3er tercio; por lo tanto, el CU para la UR I es el promedio de las tres LR y es igual a 92.80 %.

Si el CU en la UR II es del 90.25 %, en la UR III es del 91.52 % y en la UR IV es del 92.32 %; la uniformidad general del sistema es el promedio de las cuatro UR  $((92.8 + 90.25 + 91.52 + 92.32)/ 4)$  y su valor es 91.72 %.

El promedio del CU de las UR es la eficiencia general de la uniformidad en la aplicación del agua del sistema de riego, la cual debe ser igual o mayor del 90% en los sistemas de riego por goteo, esto aplica a otros frutales.

En caso de que la CU tenga valores menores a 90 %, se puede tener valores de 80 y 70 % y si organizamos las observaciones realizadas, tenderemos un efecto de espejo como se observa en la figura 7, donde el agua aplicada se percola a una profundidad mayor de la raíz, perdiendo esta agua y si tenemos un contenido nutrimental en el suelo, este se lixivias, provocando una baja eficiencia de aplicación del agua y una baja eficiencia de aplicación del fertilizante, y en mayor grado la contaminación de los acuíferos de la Sierra de Arteaga.



**Figura 7. Eficiencias en la aplicación del agua en un sistema de riego por goteo.**

Para evitar lo anterior se recomienda revisar los siguientes aspectos del sistema de riego y una vez corregidos, realizar nuevamente la evaluación:

- \* Taponamiento de los goteros, por estar sucio el sistema de filtrado y tener una baja presión.
  - \* Un problema de diseño del sistema de riego por cambios bruscos de pendiente en la LR.
  - \* Antigüedad de los filtros, tubos, válvulas y accesorios que provoca fugas.
- Eficiencia de aplicación del agua.

Si consideramos una huerta con unidades de riego de 1.7 has, con una bomba de riego de 30 LPS, con una evapotranspiración neta del cultivo de manzano de 40.4 mm/semana que corresponde a la 1a semana de abril (Covarrubias *et al.*, 2009a), además una UD de 91.72 %. Si el programa de riegos está diseñado para aplicar el agua cada semana, el tiempo de riego se estima de la siguiente manera:

$$Tiempo\ de\ Riego\ (h) = \frac{Lámina\ de\ Riego\ Neta\ (m) \times Area\ de\ Riego\ (m^2)}{Gasto\ del\ sistema\ de\ riego\ (m^3/h) \times Uniformidad\ de\ Distribución}$$

El tiempo de riego es utilizando la lámina de riego real y es igual a 8 h aplicando el riego en un día, para suministrar una lámina de riego real de 50 mm para esa semana.

La Eficiencia de Aplicación (Ea) se determina de la siguiente manera:

$$Ea = \frac{Lámina\ de\ Riego\ Neta\ (mm)}{Lámina\ de\ Riego\ Real\ (mm)}$$

$$Ea\ (\%) = \frac{40.4\ mm}{50\ mm} \times 100 = 86.7\ \%$$

Con una Ea de casi 87 %, la eficiencia de aplicación de cualquier fertilizante a través del agua de riego siempre será menor a este valor, de ahí que se asume la mayor pérdida del fertilizante nitrogenado por lixiviación.

### **3. OBJETIVO**

El objetivo del trabajo fue generar un programa de fertirrigación para manzano con más de siete años de edad en la Sierra de Arteaga, en Coahuila.

### **4. HIPOTESIS**

Ha: "La dosis de fertirrigación evaluadas son adecuadas para una huerta de más de siete años de edad"

Ho: "No son adecuadas"

## 5. MATERIALES Y MÉTODOS

El estudio se realizó en 2011 en la huerta El Capricho del poblado La Biznaga, en el municipio de Arteaga, Coahuila, con una unas coordenadas de 25°20'53.81" Latitud Norte y 100°41'17.83" Longitud Oeste (Figura 8). Se trabajó en una huerta de más de siete años de producción con la variedad Golden estándar.

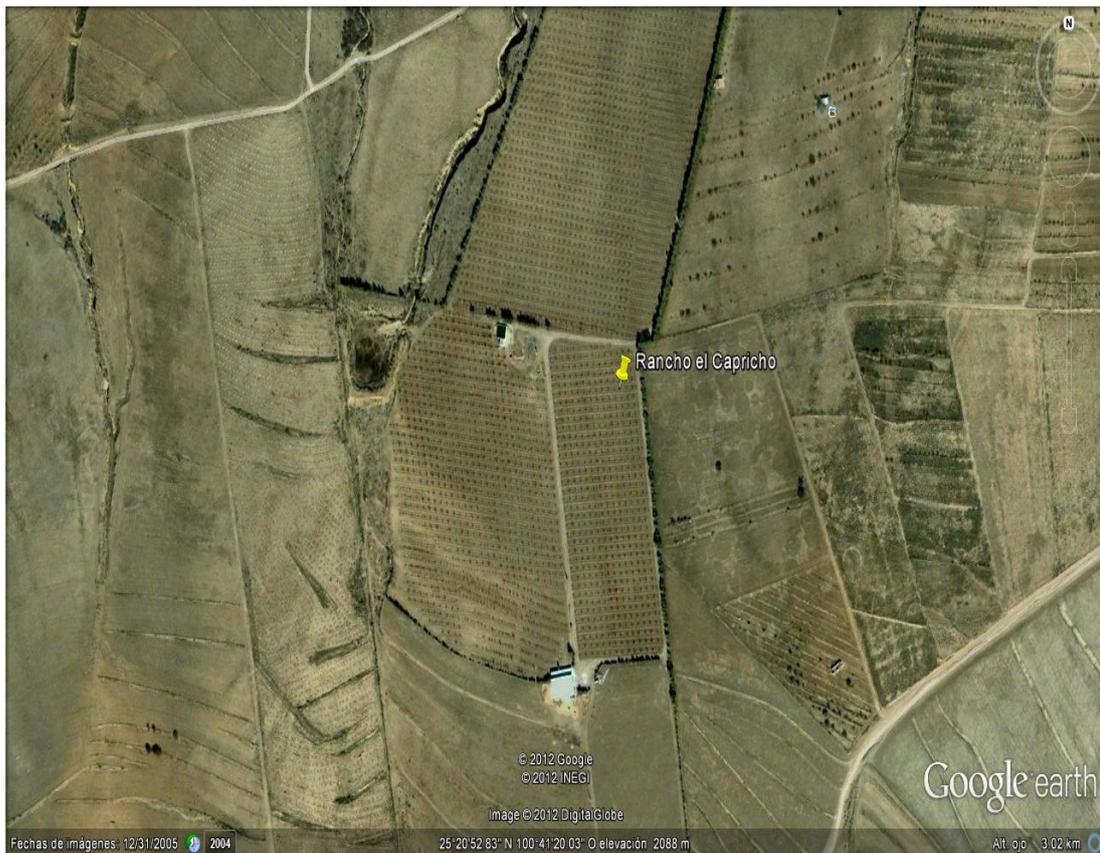


Figura 8. Localización de la Huerta

Se evaluaron niveles de nitrógeno (N), fósforo ( $P_2O_5$ ), potasio ( $K_2O$ ) y Magnesio (MgO) en un diseño San Cristóbal III con arreglo para tres factores (N,  $P_2O_5$  y  $K_2O$ ) con 14 tratamientos, al cual se le anexo un factor más (MgO) con dos tratamientos adicionales para un total de 16 con tres repeticiones (Cuadro 1), el tamaño de la unidad experimental en la huerta desde consistió en una hilera de 100 m en una sección de riego con arreglo de 4 m entre hileras y 2 m entre árboles.

Cuadro 8. Diseño San Cristóbal III con tratamientos adicionales para evaluar dosis de fertilizantes en kg/ha.

<b>Tratamiento</b>	<b>N</b>	<b>P<sub>2</sub>O<sub>5</sub></b>	<b>K<sub>2</sub>O</b>	<b>MgO</b>
1	0	0	0	0*
2	0	0	90	0
3	0	100	0	0
4	0	100	90	0
5	100	0	0	0
6	100	0	90	0
7	100	100	0	0
8	100	100	90	0
9	120	50	45	0
10	50	120	45	0
11	50	50	45	0
12	0	50	45	0
13	50	0	45	0
14	50	50	0	0
15	50	50	45	10
16	100	100	90	20

\*Testigo

Las dosis evaluadas se aplicaron diferente al programa de riegos y fertilización de la huerta, así, para aplicar un tratamiento, se pesaba la cantidad de fertilizantes y se aplicaba sólo en una hilera, de la misma forma para cada tratamiento, teniendo 16 hileras y entre ellas una hilera sin tratamiento para evitar efecto de bordo.

Las fuentes de fertilizante utilizadas fueron: urea (46-0-0), fosfato mono amónico (12-61-0), sulfato de potasio (0-0-50-18S) y sulfato de magnesio (0-0-0-13S-9Mg), las aplicaciones de azufre fueron hasta de 31kg/ha por cada 100 kg de fertilizante del tipo sulfato aplicado y el azufre como elemento acompañante, las aplicaciones fueron semanales con base al programa de riego de la huerta y se estimaron dividiendo el tratamiento entre el ciclo del producción del manzano que fue de marzo

hasta julio, en todas las huertas se trabajó con la variedad Golden Estándar.

Las variables de estudio fueron rendimiento de manzana en t/ha y concentración foliar de nutrientes (Covarrubias,1999a), el rendimiento se analizó con el proceso ANOVA y al encontrar diferencia significativa entre tratamiento se efectuó el análisis de superficie de respuesta para dosis versus rendimiento para estimar la dosis óptima de fertirrigación mediante la 1ª derivada, igualando a cero y despejando el valor para cada elemento (SAS, 2002).

## 6. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

En cada localidad estudiada los tratamientos evaluados fueron diferentemente significativos ( $p \leq 0.05$ ), por lo que se pudo realizar la estimación de la superficie de respuesta. Los rendimientos variaron desde 5 t/ha para el testigo hasta 27.4 t/ha para la mejor dosis de fertilización, en la huerta durante el período de estudio y por esta variación para la superficie de respuesta.

Los requerimientos en la fertirrigación para huertas con más de 7 años de producción (Cuadro 9), por consecuencia es el mayor con 100 kg N/ha, 100 kg  $P_2O_5$ /ha, 90 kg  $K_2O$ /ha, 20 kg MgO/ha y como ión acompañante del sulfato de potasio (0-0-50-18S) y sulfato de magnesio (0-0-0-13S-9Mg) fue de 31 kg S/ha.

El azufre se utiliza como ión acompañante, y favorece la acidificación del suelo, por las condiciones de suelos calcáreos y yesíferos de la Sierra de Arteaga, lo que favorece la absorción de  $PO_4$  y de los micronutrientes del grupo de metales como Fe, Cu, Zn y Mn, además, estos metales se aplican de manera foliar como quelatos para evitar el daño a la epidermis del fruto (Briones *et al.*, 2007).

Los programas de fertirrigación aunque aquí se muestran exactos, las cantidades de fertilizantes pueden variar de acuerdo a la fuente existente en la región (Covarrubias, 2003) y su monitoreo con el análisis foliar es una forma de determinar el nivel nutrimental del cultivo.

La fertirrigación en un cultivo cíclico no es nada similar a la fertirrigación en manzano, por lo que existen variaciones en las dosis y pocos estudios en frutales caducifolios.

Cuadro 9. Rendimiento por cada tratamiento

Tratamiento	N kg/ha	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> kg/ha	K <sub>2</sub> O kg/ha	MgO kg/ha	Rendimiento t/ha
1	0	0	0	0	5.25 k
2	0	0	90	0	9.82 j i
3	0	100	0	0	9.52 j
4	0	100	90	0	15.77 e
5	100	0	0	0	14.60 f
6	100	0	90	0	18.35d c
7	100	100	0	0	17.77 d
8	100	100	90	0	25.50 b
9	120	50	45	0	18.35 c
10	50	120	45	0	16.07 e
11	50	50	45	0	13.30 g
12	0	50	45	0	10.42 i
13	50	0	45	0	12.20 h
14	50	50	0	0	14.70 f
15	50	50	45	10	18.55 c
16	100	100	90	20	27.40 a

a, b, c, etc. = valores con diferente literal en la columna son diferentes (p≤0.05)

La distribución del N y MgO es mayor al inicio con una dosis final de 100 a 120 kg N/ha (Figura 9); al inicio porque en la brotación aumentan los requerimientos de amina en las fitohormonas que las inducen, además en el crecimiento vegetativo aumenta la demanda de clorofila característico de su color verde, éste pigmento está formado por aminas formado un anillo con Mg.

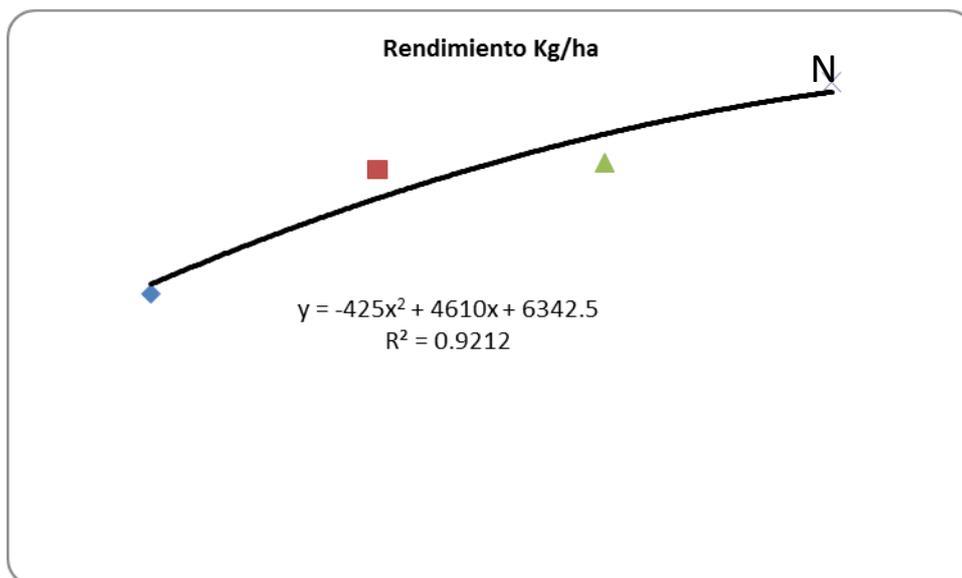


Figura 9. Rendimiento por dosis aplicada de Nitrógeno.

El cálculo de la dosis óptima de nitrógeno con el modelo  $Y = 6342.5 + 4610 N - 425 N^2$ , fue el siguiente:

$$\frac{dY}{dN} = 4610 - 2(425 N), \text{ derivando}$$

$$0 = 4610 - 850 N, \text{ igualando a cero y despejando}$$

$$N = \frac{4610}{850} = 5.42 \text{ kgN/ha.}, \text{ dosis óptima de nitrógeno.}$$

En la figura 9, el valor del coeficiente de determinación ( $R^2 = 0.92^{**}$ ), es altamente significativo, por lo que se concluye que la regresión esta aceptable sin embargo al realizar el proceso matemático la dosis obtenida no es la ideal (Cuadro 9), lo que nos lleva a sugerir que no fueron suficientes repeticiones para tener una dosis óptima.

El  $K_2O$  induce la división y elongación celular del fruto, la parte importante del cultivo la cual inicia en abril hasta la cosecha en agosto (Covarrubias y González, 2001), concentraciones adecuadas de potasio favorecen un mayor rendimiento de fruto, por lo cual se aplica una dosis de 80 kg  $K_2O$ /ha.

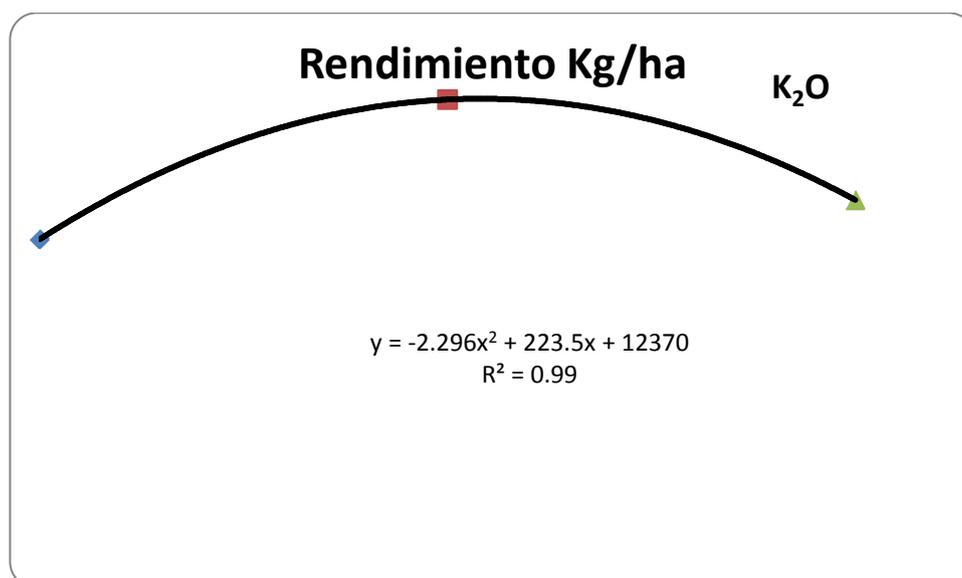


Figura 10. Rendimiento por dosis aplicada de Potasio

El cálculo de la dosis óptima de potasio con el modelo

$Y = 12370 + 223.56 K - 2.296 K^2$ , fue el siguiente:

$$\frac{dY}{dK} = 223.56 - 2(2.296 K), \text{ derivando}$$

$0 = 223.56 - 4.592 K$ , igualando a cero y despejando.

$$K = \frac{223.56}{4.592} = 48.68 \text{ kgK/ha.}, \text{ dosis óptima de potasio.}$$

En la figura10, el valor del coeficiente de determinación ( $R^2 = 0.99^{**}$ ), es altamente significativo por lo que se concluye que la regresión esta adecuada, sin embargo al realizar el proceso matemático la dosis obtenida no es la ideal (Cuadro 9), lo que nos lleva a sugerir que no fueron suficientes repeticiones para tener una dosis óptima.

El  $P_2O_5$  se mantiene constante a partir de marzo, porque aporta la energía en el proceso de floración y formación de nuevas raíces, de acuerdo a la Figura 3, junto con la brotación se inicia el crecimiento de raíces, el cual se reduce cuando es mayor el crecimiento del fruto, para después de la cosecha incrementarse nuevamente el crecimiento de raíces, aprovechado que el P es un elemento de basa movilidad, solubilidad y absorción, su utilidad dejar ser para el fruto y se enfoca a las raíz, de ahí la dosis de 11826 kg  $P_2O_5$ /ha.

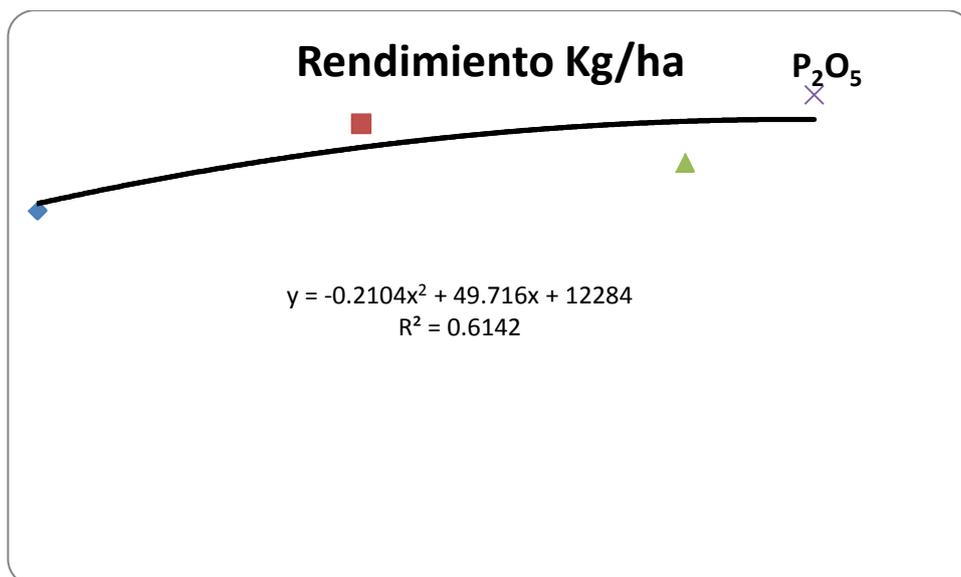


Figura 11. Rendimiento por dosis aplicada de Fósforo

El cálculo de la dosis óptima de fósforo con el modelo  $Y = 12284 + 49.716 P - 0.2104 P^2$  fue el siguiente:

$$\frac{dY}{dP} = 49.716 - 2(0.2104 P), \text{ derivando}$$

$$0 = 49.716 - 0.4208 P, \text{ igualando a cero y despejando}$$

$$P = \frac{49.716}{0.4208} = 118.14 \text{ kgP/ha.}, \text{ dosis óptima de fósforo}$$

En la figura 11, el valor del coeficiente de determinación ( $R^2 = 0.61^*$ ), es significativo por lo que se concluye que la regresión es adecuada y al realizar el proceso matemático la dosis obtenida esta dosis si concuerda con los resultados obtenidos (Cuadro 9), lo que nos lleva a sugerir que para este elemento las repeticiones si fueron adecuadas para tener una dosis optima, con su sugerencia que el modelo puede incrementarse en precisión incrementando su coeficiente de determinación (Alcántar y Sandoval, 1999).

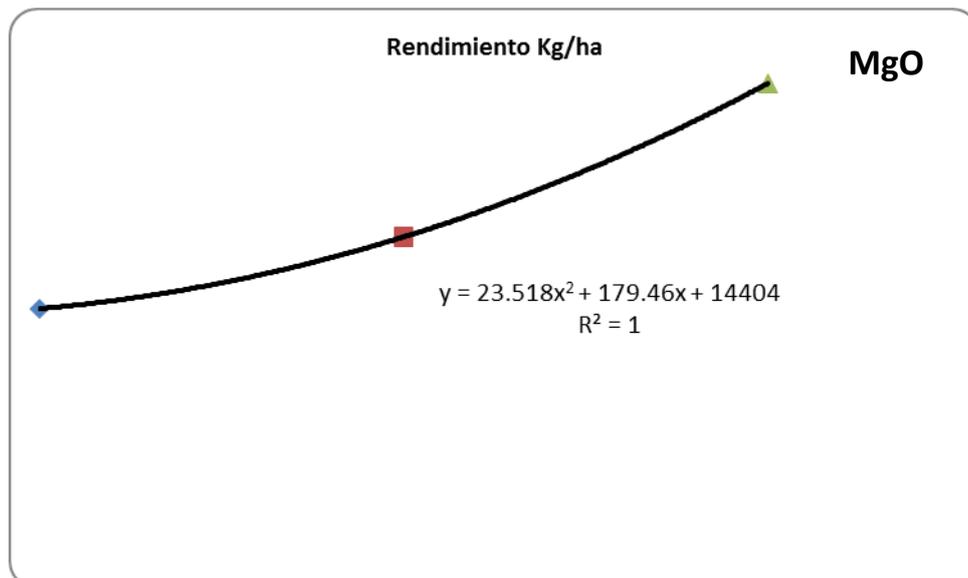


Figura 12. Rendimiento por dosis aplicada de Magnesio.

El cálculo de la dosis óptima de magnesio con el modelo fue el siguiente:

$$Y = 14404 + 179.46 Mg + 23.518 Mg^2$$

$$\frac{dY}{dMg} = 179.46 - 2(23.518 Mg), \text{ derivando.}$$

$$0 = 179.46 - 47.036 Mg, \text{ igualando a cero y despejando.}$$

$$Mg = \frac{179.46}{47.036} = 3.81 \text{ kgMg/ha.}, \text{ dosis óptima de magnesio.}$$

En la figura12, el valor del coeficiente de determinación ( $R^2 = 0.99^*$ ), es significativo por lo que se concluye que la regresión esta aceptable, sin embargo sin embargo al realizar el proceso matemático la dosis obtenida no es la ideal (Cuadro 9), lo que nos lleva a sugerir que faltaron niveles de exploración porque no se logró el óptimo porque el modelo cuadrático no presenta el nivel máximo.

Considerando los resultados obtenidos, la dosis adecuada en la fertirrigación para huertas con más de 7 años de producción, por consecuencia es con 100 a 120 kg N/ha, 120 kg  $P_2O_5$ /ha, 90 kg  $K_2O$ /ha, 20 kg MgO/ha y 31 kg S/ha, en la distribución la relación N:Mg es 6.3 de febrero a abril, en mayo baja a 4.5 y junio de 1.75, esta reducción se debe a que el objetivo del manzano es producir fruto y no ramas que se lignifican y se podan en invierno (Covarrubias *et al.*, 2010).

## **7. CONCLUSIONES**

Las necesidades de nutrimentos se incrementan con la edad del árbol.

La fertirrigación en frutales caducifolios requiere de varios años de estudio en función a la edad del árbol.

Las dosis estimadas pueden variar en otras regiones, pero son un buen indicador de la fertirrigación en manzano.

Siempre en la fertirrigación se debe realizarse un monitoreo mediante análisis foliar para corregir la dosificación y no tener problemas con excesos de algún fertilizante.

## 8. LITERATURA CITADA

- Alcántar G., G. y M. Sandoval, V. 1999. Manual de análisis químico de tejido vegetal. Publicación especial 10. Sociedad Mexicana de la Ciencia del Suelo, A.C. Chapingo, México. 156 p.
- Alcántar G., G. y Sandoval V., M. 2001. Funciones de los nutrimentos en las plantas. Curso postgrado. Colegio de Postgraduados - IRENAT - Edafología - Nutrición Vegetal. Montecillo, Texcoco, Edo. de México. 104 p.
- Alcántar G., G. y L. Trejo-Telléz, 2007. Nutrición de cultivos. Ed. Mundi Prensa México. S. A. de C. V. México, D. F. 454 p.
- Burt C., K. O. Connor and T. Ruehr. 1995. Fertigation. Irrigation Training and Research Center. California Polytechnic State University. San Luis Obispo, C.A., USA. 295 p.
- Briones-Sánchez, G.; J. M. Covarrubias-Ramírez y M. del R. Zúñiga Estrada. 2007. Fertilización postcosecha en manzano en la Sierra de Arteaga, Coahuila. *In*: Amador R, M. D., J. A. Zegbe D., L. R., Reveles T., J. Mena C. y A. Serna P. (eds). Memoria del XII Congreso Nacional de la Sociedad Mexicana de Ciencias Hortícolas, A. C. Zacatecas, Zac. p 63.
- Castellanos, J.Z.; J.X. Uvalle Bueno y A. Aguilar Santelises. 2000. Manual de interpretación de análisis de suelos y aguas. 2ª Edición. INCAPA. Celaya, Gto. 226 p.
- Cadahia L., C. 2005. Fertirrigación. 3ª ed. Mundiprensa. Madrid. Esp. 881 p.
- Childers, N. 1992. Fruticultura Moderna. Tomo I. Ed. Hemisferio Sur. Buenos Aires, Argentina. 458 pp

- Covarrubias-Ramírez, J. M. 1999. Análisis foliar en manzano. Una herramienta básica en la fertirrigación. Desplegable Técnica Num. 4. CESAL. CIRNE. INIFAP. Septiembre. Saltillo, Coah.
- Covarrubias-Ramírez, J. M. y V. González R. 2001. Fertirrigación del manzano en huertas de alta densidad en la Sierra de Arteaga, Coahuila. *In: Memorias del IX Congreso Nacional de Ciencias Hortícolas*. Oaxtepec, Mor. Horticultura Mexicana 8(3):379.
- Covarrubias-Ramírez., J. M. 2003. Guía para preparar mezclas de fertilizantes en sistemas de fertirrigación. Folleto técnico Núm. 6. INIFAP-CIRNE. Campo experimental Saltillo. Saltillo, Coah. 27 p.
- Covarrubias-Ramírez, J. M. y L. Hernández F. 2005. Biofertirrigación en maíz, manzano y papa en México. *In: Memorias del VIII Simposio Internacional de Agricultura Sostenible*. SOMAS. Cd. Victoria, Tam. CD-ROM. p 37.
- Covarrubias-Ramírez, Juan Manuel, R. Sandino Salazar. y J. J. Cortes Bracho. 2009. Efecto de la Fertilización nitrogenada en la concentración de nitratos en el agua subterránea en Arteaga, Coah. *In: Preciado-Rangel, P. (ed.). Memoria del XXXIV congreso nacional de la ciencia del suelo*. Torreón, Coah., México. p 47.
- Covarrubias-Ramírez, J. M., G. Briones S., J. A. Vázquez R., F. J. Contreras de la R., 2010. Nutrición del manzano. *In: Manual para el cultivo de manzano en la Sierra de Arteaga, Coahuila*. Reyes López, Alfonso. Editor. Libro electrónico en <http://www.cultivodemanzana.com/> 51 p.
- Covarrubias Ramírez, J. M.; Sánchez Aspeytia, D., y Alvarado Carillo, M. 2011. Programa de fertirrigación en melón bajo riego por goteo y acolchado. *In: Martínez Ríos, Juan José; Vázquez Navarro, Manuel; Santana Rodríguez, Rolando, Martínez Ríos, Alejandro y Puentes*

- Gutiérrez, Judith (eds). Memoria de la XXIII Semana Internacional de Agronomía. UJED-FAZ-DEP. Venecia Durango, México. 13:503-537.
- Davies, F. S. 1996. Fertigation of citrus. *In*: Memorias del 1er simposio de fertirrigación. Hermosillo, Son. pp 70-75.
- Del-Real-Laborde, J. I., J. L. Anderson, S. D. Seeley. 1990. An apple tree dormancy model for subtropical conditions. *ActaHort.*276: 183-191.
- Etchevers B., J.D. 1997. Evaluación del estado nutrimental del suelo y de los cultivos ferti-irrigados. Memoria, 2° Simposio internacional de fertirrigación. Querétaro, México. pp. 51-60.
- FAO.2013. Soil classification and characterization. En línea: <http://www.fao.org/Wairdocs/ILRI/x5546E/x5546e04.htm> (Consultado el 25 de abril de 2013).
- Havlin, J.L., J.D. Beaton, S.L. Tisdale, and W.L. Nelson. 1999. Soil Fertility and Fertilizers. An introduction to Nutrient Management. Sixth Edition. Prentice-Hall, Inc.
- Holford, I. C. R. 1997. Soil phosphorus: its measurement and its uptake by plants. *Aust. J. Soil Res.* 35:227-239.
- INEGI. 2013. Guía para la interpretación de cartografía. En línea: [http://www.inegi.org.mx/prod\\_serv/contenidos/espanol/bvinegi/productos/geografia/publicaciones/guias-carto/edafo/Edafl.pdf](http://www.inegi.org.mx/prod_serv/contenidos/espanol/bvinegi/productos/geografia/publicaciones/guias-carto/edafo/Edafl.pdf)(Consultado el 25 de abril de 2013)
- Irrigation Association. 1999. Chemigation. Ed. I.A. Fairfax, VA. 192 p.
- Limón M., H. J. 1997. Eficiencia de la aplicación de fertilizantes a través de riego por goteo en el cultivo de manzano. Tesis de licenciatura. U.A.A.A.N. Buenavista, Saltillo, Coah. 76 p.

- Maib, M. K.; P. A. Andrews; G. A. Lang and K. Mullinix. 1996. Tree fruit physiology: Growth and development. Good Fruit Grower, Yakima, Washington. 165 p.
- Mengel K. and E.A. Kirby. 1987. Principles of plant nutrition. 4th Edition. International Potash Institute. Bern, Switzerland. 687 p.
- Petersen, A. B. and Stevens, R. G. 1994. Tree fruit nutrition. Good Fruit Grower, Yakima, Washington. 211 p.
- Planchette, C. 2001. Influence of cultural practices on mycorrhizal soil infectivity. *In: Aspectos teóricos de técnicas moleculares aplicados a la investigación de la micorriza arbuscular*. CONASIMI-UNAM. México, D.F. CD-ROM.
- Raghothama, K. G. 1999. Phosphate acquisition. *Annu. Rev. Plant Physiol. Plant Mol. Biol.* 50:665-693.
- SAGARPA. 2013. Sistemas producto integrados. Manzana. En línea <http://www.sagarpa.gob.mx/agricultura/Publicaciones/SistemaProducto/Paginas/SistemasProductoIntegrados.aspx?Inde&SelectedList=Manzana> (Consultado el 25 de abril de 2013).
- Schachtman, D. P.; R. J. Reid and S. M. Ayling. 1998. Phosphorus uptake by plants: from soil to cell. *PlantPhysiol.* 116:447-453.
- SIAP. 2013. Producción agrícola 2011. En Línea [http://www.siap.gob.mx/index.php?option=com\\_wrapper&view=wrapper&Itemid=350](http://www.siap.gob.mx/index.php?option=com_wrapper&view=wrapper&Itemid=350) (Consultado el 25 de abril de 2013).
- StatisticalAnalysisSystem (SAS). 2002. SAS/STAT User's guide, Release 9.03. SAS Institute Inc. Cary, N.C. USA. pp:136-170.
- Ulrich, W.F. 1992. Nitrogen metabolism in plants. Clarendon Press p. 121-137.

## 9. ANEXOS

Cuadro 10A. Rendimiento de manzano por dosis de Nitrógeno.

N kg/ha	Rendimiento Kg/ha
0	10,160
50	14,965
100	15,245
120	18,350

Cuadro 11A. Rendimiento de manzano por dosis de Potasio.

K <sub>2</sub> O kg/ha	Rendimiento Kg/ha
0	12,370
45	17,780
90	13,890

Cuadro 12A. Rendimiento de manzano por dosis de Fosforo.

P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> Kg/ha	Rendimiento Kg/ha
0	12,045
50	15,065
100	13,715
120	16,075

Cuadro 13A. Rendimiento por cada dosis aplicada de Magnesio.

MgO Kg/ha	Rendimiento Kg/ha
0	14,404
10	18,550
20	27,400

Cuadro 14. Análisis de varianza de niveles de fertirrigación en manzano

<b>Fuente de variación</b>	<b>Grados de libertad</b>	<b>Suma de cuadrados</b>	<b>Cuadrado medio</b>	<b>Fcalc.</b>	<b>Pr &gt; F</b>
Repeticiones	3	21.9275	7.309167	117.57	< 0.0001
Tratamientos	15	1954.535	130.302333	2096.02	<0.0001
Error	45	2.7975			
Total	63	1979.26			