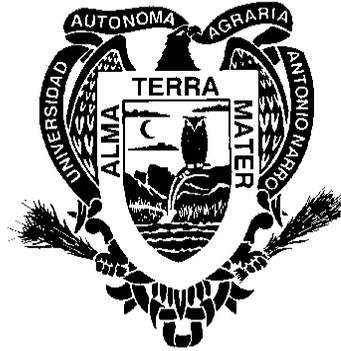


UNIVERSIDAD AUTONOMA AGRARIA
“ANTONIO NARRO”

DIVISION DE INGENIERÍA



Fertirrigación en el cultivo del manzano (*Malus pumila L.*) de alta densidad con sistema de riego por goteo.

Por:

ISMAEL VELAZQUEZ CHAVEZ

T E S I S

Presentada como Requisito Parcial para
Obtener el Título de:

Ingeniero Agrónomo en Irrigación

Buenavista, Saltillo, Coahuila, México

Septiembre de 1998

UNIVERSIDAD AUTONOMA AGRARIA
ANTONIO NARRO

DIVISION DE INGENIERIA

Fertirrigación en el cultivo del manzano (*Malus pumila L.*) de alta densidad con sistema de riego por goteo.

Realizado por:

Ismael Velázquez Chávez

Que somete a consideración del H. Jurado Examinador como requisito parcial para obtener el título de:

Ingeniero Agrónomo en irrigación

MC. Gregorio Briones Sánchez
Asesor Interno

MC. Juan Manuel Covarrubias Ramírez
Asesor Externo

MC. Lindolfo Rojas Peña
Coasesor

Ing. Jesús R. Valenzuela García
Coordinador de la División de Ingeniería

Buenavista, Saltillo, Coahuila, México, Septiembre de 1998.

AGRADECIMIENTOS

A Dios Nuestro Señor, le doy gracias por haber iluminado mi vida en los momentos más difíciles y por darme la fortaleza para lograr esta meta tan importante para mi.

A mi “Alma Mater” por darme la oportunidad de formarme como profesionista, a través la docencia del Departamento de Riego y Drenaje.

Al Campo Experimental Saltillo – INIFAP, por permitirme realizar mi trabajo de tesis en el proyecto “Fertirrigación del Manzano”.

A La Fundación Produce Coahuila AC. Sección Sureste, por su apoyo para la realización de este trabajo.

Al MC. Gregorio Briones Sánchez, mi más sincero agradecimiento por su valiosa ayuda, asesoría y sugerencias para la realización de este trabajo.

Al MC. Juan Manuel Covarrubias Ramírez, mi más sincero y especial agradecimiento por darme la oportunidad de realizar mi trabajo de tesis en sus proyectos de investigación y por su valiosa ayuda, asesoría, sugerencias, amistad y tiempo invertido para la realización y terminación de este trabajo.

Al MC. Lindolfo Rojas Peña, por su cooperación y sus acertadas sugerencias para la elaboración y terminación de este trabajo.

A Todos mis Maestros que me educaron y formaron como persona y profesionista.

DEDICATORIA

A mis Padres:

Sr. Daniel Velázquez Guzmán.

Sra. Socorro Chávez Yañez.

Con todo el cariño y respeto les dedico este trabajo, por darme su apoyo, amor y confianza que me encausaron por el camino de la superación y que con sus sacrificios y desvelos hicieron posible mi profesión.

A mis Abuelitos:

A mi Tía:

Cristina Chávez Yañez.

Por su valioso apoyo incondicional y confianza que en mi deposito.

A mis Hermanos:

J. Antonio, su Esposa e Hijo.

Manuel.

Ezequiel.

Juan Gabriel.

Por el apoyo incondicional que me han brindado en todo momento, por compartir con ellos todas las tristezas y alegrías de la vida, aun cuando la distancia nos separaba y recuerden siempre que la mejor herencia que nuestros padres nos pueden dar es el estudio.

Con mucho amor y cariño dedico este trabajo a mi novia:

Srita. Inés Hernández García

Que gracias a su apoyo, cariño y consejos jamas permitió de caer mis ánimos de estudio para lograr una de mis más lindas aspiraciones.

A mis Compañeros y Amigos:

La Generación LXXXIV de la especialidad de irrigación, especialmente a: Celerino, Antonio, Raúl, Ma. Luisa, Eloy, Erika, Lupita, Ma. de Jesús, Ecsar y Javier.

INDICE DE CONTENIDO

	Pag.
INDICE DE CUADROS.....	i
INDICE DE FIGURAS.....	iii
I. INTRODUCCION.....	1
Objetivos.....	3
Hipótesis.....	3
II. REVISION DE LITERATURA.....	4
Origen del manzano.....	4
Aspectos botánicos generales del manzano.....	4
Clasificación taxonómica.....	6
Composición nutricional del manzano.....	7
El medio.....	7
Características climáticas.....	7
Características del suelo.....	8
Requerimientos hídricos.....	9
Salinidad.....	10
Tipos de podas.....	11
Injertos y portainjertos.....	12
Control de malezas.....	12
	Fertilización.....
Aspectos relacionados con el agua e irrigación.....	17
El agua y sus propiedades en el cultivo del manzano.....	17
El agua en el suelo.....	19
Humedad del suelo en el cultivo del manzano.....	20
Requerimientos de agua en el cultivo del manzano.....	21
Movimiento del agua a través de la planta.....	22
La evapotranspiración del cultivo.....	23
El riego por goteo.....	25
Adaptabilidad.....	30
Ventajas.....	31

Desventajas.....	31
El riego en el cultivo del manzano.....	32
Aspectos de la fertirrigación.....	36
Fertirrigación.....	36
Ventajas de la fertirrigación.....	37
Limitaciones o desventajas de la fertirrigación.....	38
Compatibilidad de los fertilizantes.....	39
Solubilidad de los fertilizantes.....	41
Composición y acidez de algunos fertilizantes.....	43
Índice de sal de algunos fertilizantes.....	43
Características de los diferentes fertilizantes.....	45
Reglas básicas para las mezclas.....	47
Componentes del sistema de fertirrigación.....	48
Normas prácticas de fertirrigación.....	49
Manejo de la solución nutritiva.....	50
Nutrientes	51
Nitrógeno en la producción de manzana.....	51
El fósforo en la producción de manzana.....	52
El potasio en la producción de manzana.....	53
El azufre en la producción de manzana.....	54
Efectos de los fertilizantes en el agua de riego.....	54
Efectos de fertirrigación en manzano.....	55
Efecto del nitrógeno	55
Efecto del fósforo.....	57
Efecto del potasio.....	57
Efectos de micronutrientes	58
III. MATERIALES Y METODOS	59
Descripción del sitio experimental.....	59
Localización geográfica.....	59
Características del área de estudio.....	60

Características del suelo y agua.....	61
Diseño experimental.....	62
Diseño de tratamientos.....	62
Arregló en campo.....	64
Modelo experimental.....	65
Manejo del cultivo.....	65
Variables de análisis.....	66
Materiales utilizados.....	67
Equipo utilizado.....	68
Análisis estadístico.....	68
Balance de humedad del suelo.....	69
IV. RESULTADOS Y DISCUSION.....	71
Condiciones climatológicas presentadas en el área de estudio	71
Evapotranspiración del manzano.....	71
Efecto de la humedad del suelo.....	72
Efecto del nitrógeno.....	73
Efecto del fósforo.....	75
Efecto del potasio.....	77
Respuesta del cultivo.....	79
Diámetro de tronco.....	79
Rendimiento.....	80
Balance de humedad del suelo.....	81
V. CONCLUSIONES.....	85
VI. RECOMENDACIONES.....	87
VII. RESUMEN.....	88
VIII. APENDICE.....	90
BIBLIOGRAFIA.....	107

INDICE DE CUADROS

Cuadro.	Pag.
1.2. Recomendación para la zona manzanera de Coahuila y Nuevo León el siguiente programa de fertilización (Alonso, <i>et al</i>).....	17
2.2. Valores prácticos de agua útil que el suelo retiene expresados en litros de agua por metro cubico de suelo. (Alvarez, 1988).....	35
2.3. Necesidades de agua (NDP) por árbol y tiempos de riego para satisfacerlas, considerando dos goteros por árbol de 4 lph cada uno (Alonso, <i>et al.</i> , 1997).....	36
2.4. Compatibilidad de fertilizantes utilizados en el experimento de fertirrigación y su presentación encontrados en el mercado de la región en base al elemento (Burt <i>et al.</i> , 1995; CESAL, 1997).....	41
2.5. Información sobre la solución, composición de varios fertilizantes y como se usa en la preparación de soluciones para su aplicación durante la irrigación (Burt <i>et al.</i> , 1995).....	42
2.6. Composición y acidez de algunos fertilizantes (Medina, 1979; Enciso, 1995).	43
2.7. Valores de los índices de sal de algunos fertilizantes. (Medina, 1979)....	45
3.1. Características de la calidad del agua de riego usada en el experimento de fertirrigación en manzano, 1997.....	61
3.2. Condiciones iniciales del suelo en la huerta de manzano (Limón, 1997).	61
3.3. Tratamientos programados de fertilización (cada uno de los tratamientos de fertilización fue repetido bajo 3 niveles de humedad del suelo, Bajo, Medio y Alto), CESAL, 1997.....	63
3.4. Dosis de fuentes de fertilizantes utilizadas para fertirrigación semanalmente (CESAL, 1997).....	63
4.1. Efecto de los niveles de humedad del suelo en la productividad de manzano, 1997.....	72
4.2. Efecto del nitrógeno en la productividad del manzano bajo fertirrigación, 1997.....	74

4.3.	Efecto del fósforo en la productividad del manzano bajo fertirrigación, 1997.....	76
4.4.	Efecto del potasio en la productividad del manzano bajo fertirrigación, 1997.....	78
4.5.	Efecto de dosis de fertirrigación en el diámetro de tronco (cm) en manzano a 1250 arboles/ha. 1998.....	80
4.6.	Producción de manzana (ton/ha) bajo efecto de fertirrigación, 1997.....	81
4.7.	Resultados del balance de humedad del suelo, 1997.....	82

INDICE DE FIGURAS

Figura	Pag.
2.1. Disposición de un sistema de riego por goteo.....	30
2.2. Compatibilidad de los productos fertilizantes utilizados en el experimento para fertirrigación enlistados en el cuadro 2.4. (Burt, <i>et al.</i> , 1995; CESAL, 1997).....	40
2.3. Componentes de un sistema de fertirrigación.....	49
3.1. Localización geográfica del lote experimental.....	59
3.2. Curva característica de humedad del lote experimental, profundidad 0-30 cm. (Limón, 1997).....	62
3.3. Distribución de tratamientos en el lote experimental con 10 tratamientos de fertilización y 3 regímenes de humedad del suelo.....	64
4.1. Representación gráfica de la temperatura máxima y mínima presentadas durante el ciclo vegetativo del manzano, 1997.....	72
4.2. Producción total de manzana con tres niveles de nitrógeno aplicados por fertirrigación, 1997.....	73
4.3. Concentración foliar de nitrógeno en tres niveles aplicados por fertirrigación en manzano de alta densidad. CESAL, 1997.....	74
4.4. Producción de manzana con tres niveles de fósforo aplicados por fertirrigación, 1997.....	75
4.5. Concentración foliar de fósforo con tres niveles aplicados por fertirrigación en manzano de alta densidad, 1997.....	76
4.6. Producción total de manzana con dos niveles de potasio aplicados por fertirrigación, 1997.....	77
4.7. Concentración foliar de potasio en dos niveles aplicados por fertirrigación en manzano de alta densidad, 1997.....	78
4.8. Representación gráfica de la distribución de la precipitación durante el ciclo vegetativo del manzano, 1997.....	82
4.9. Representación gráfica del balance de humedad del suelo regado a 1 bar en el cultivo del manzano, 1997.....	82
4.10. Representación gráfica del balance de humedad del suelo regado a 3 bar	

	en el cultivo del manzano, 1997.....	83
4.11.	Representación gráfica del balance de humedad del suelo regado a 5 bar en el cultivo del manzano, 1997.....	84

I.INTRODUCCION

El riego ha sido determinante en el surgimiento de las grandes civilizaciones de la antigüedad. En la era moderna, los recursos hidráulicos continúan impulsando el desarrollo de las diversas actividades económicas como la agricultura, el abastecimiento rural, urbano, industrial, generación de energía eléctrica, turismo, y otros (Guajardo, 1997).

El valor del recurso va adquiriendo una mayor relevancia conforme se diversifica su uso; entre más escaso, necesario y útil es, tiende a adquirir su valor real, es decir un valor de mercado. Al presentarse esto con el uso del agua para riego se tiene que ser más eficiente.

Para lograr una mayor eficiencia, se han iniciado múltiples programas gubernamentales buscando concientizar al agricultor sobre esta situación, sin embargo, hasta la fecha poco se ha logrado.

Valdés (citado por Cepeda, 1978), Menciona que dos terceras partes del país registran algún grado de aridez, por lo que se requiere del registro para procurar la obtención de cosechas con rentabilidad aceptable. Por esta situación es necesario conocer las fuentes de abastecimiento, así como volúmenes disponibles y de captación del recurso agua.

Para conocer lo anterior, se han estado haciendo estudios para definir cual es la disponibilidad de agua en las diferentes regiones del país, considerando que la distribución espacial y temporal de este recurso es bastante desfavorable para los diferentes usos a que se destina. Para la estimación de los volúmenes disponibles y

consumos, se debe considerar que estas variables tienen un componente aleatorio sobre todo en las regiones áridas.

En la Sierra de Arteaga, el manzano se inicia a cultivar hacia el año de 1880, pero no fue sino hasta 1915 en que el cultivo se estableció en forma tecnificada por el Dr. Rafael Cepeda, en el rancho Santa Anita, el Sr. Martín Recio en Jamé y el Sr. Cresencio Farías en la Congregación de San Juan de los Dolores.

En esta región, la superficie sembrada con manzano se riega principalmente con sistemas presurizados (por goteo y microirrigación) y la adopción de estos sistemas de riego va en constante incremento debido a la escasez de agua y a los altos costos de su extracción, además por el apoyo al programa de fertirrigación implementado por el gobierno Federal a través de Alianza para el Campo.

De acuerdo a estas condiciones, se utilizan los sistemas de riego presurizado para la aplicación de fertilizantes. Sin embargo, para hacer esto, es necesario realizar estudios locales que tomen en cuenta las necesidades de nutrientes de los cultivos, las características de los suelos, las condiciones climáticas y la interrelación de los diversos factores de la producción.

OBJETIVO

Definir el efecto de la fertirrigación aplicada bajo tres regímenes de humedad del suelo en el cultivo del manzano en huertas de alta densidad en la Sierra de Arteaga, Coahuila por medio de un sistema de riego por goteo.

HIPOTESIS

Ho: Los fertilizantes aplicados por el sistema de fertirrigación tienen el mismo efecto en el cultivo bajo tres regímenes de humedad del suelo.

Ha: No es el mismo efecto.

II. REVISION DE LITERATURA

2.1. Origen del manzano

Ramírez (1993) , Menciona que el manzano, se originó en el suroeste de Asia. En informaciones recientes se especula que ni los romanos, ni los griegos fueron pueblos que hayan desarrollado dicho fruto. Se piensa que ambos grupos adquirieron, por herencia, los conocimientos sobre el manzano de otros pobladores desconocidos hasta ahora. Los primeros pasos en la proliferación de ese frutal pudieron iniciarse en el medio Este o Sureste de Europa con la tecnología utilizada por los griegos y Romanos.

Se ha publicado en otras obras que el origen del manzano *Malus pumila L.* es Transcaucasia Central; mientras que en Asia Central se originaron el *Malus silvestris L.*

Este frutal fue traído por primera vez a América, a principios de 1600, por pobladores europeos. La propagación de esta especie durante esas épocas fue por semilla, dada su facilidad de transporte. Actualmente los cultivares más populares son Red delicious, Golden delicious y McIntosh, aunque se sigue trabajando con el mejoramiento e introducción de nuevos cultivares particularmente los de origen Asiático.

2.2. Aspectos botánicos generales del manzano

Biachini y Corbetta, (1973); Ramírez, (1993). Indican que el árbol de manzano es leñoso de capa globosa y de tamaño medio, su altura es de 6 a 10 m., de raíces con magnitudes de 3 a 8 m. típicas, rastreras, ramificadas, con derivaciones secundarias

extendidas y una masa de raicillas que, en conjunto, forman la cabellera, poseen cofia y pelos absorbentes y alcanzan una longitud vertical de 1.5 a 2.0 m. y una longitud horizontal de 3.0 a 6.0 m. Su tronco generalmente es tortuoso y tiene ramas gruesas, con capa ancha y poco regular alcanzando diversas alturas, según la variedad alcanza a medir de 2.5 a 6.0m. Y el portaingerto; presenta corteza cubierta de lenticelas, lisa, unidad de color ceniciento verdoso sobre las ramas y escamoso y gris pardo sobre las partes viejas. Las ramas se insertan en el tronco en forma de ángulo más o menos cubierto, lo cual también depende de la variedad de que se trate.

Las hojas del manzano son caducas, alternas, acuminadas (es decir, terminan en una punta corta, aserrada y con dientes obtusos) son de un color verde oscuro por el haz, y leñoso y blanquecino por el envés y lo doble de largo que el peciolo, de cuatro a ocho nervios alternados y bien desarrollados. Forma, textura y pubescencia son características de la variedad.

Mendoza, (1965). Señala que el manzano es un árbol deciduo, o sea, que tira sus hojas durante el invierno, para entrar en un periodo de descanso llamado letargo del cuál sale en primavera. Las flores son hermafroditas de color blanco o rosa-pálido, se abren antes que las hojas .

Edmond, (1967). Indica que las flores son perfectas, con un cáliz pentalobulado, cinco pétalos separados, moderadamente grandes, numerosos estambres separados y un ovario con cinco celdas ó alvéolos y cinco estilos.

Algunas variedades son autofértiles y otras autoestériles, por lo que toda plantación exige el establecimiento de polinizadores (Gisper, 1985) .

La yema floral mixta, situada en el extremo de cada espolón, nacen 5 o más flores (Edmond, 1967). Las yemas son de forma ovalada o cónica que se encuentran en los tallos o en las axilas de las hojas. Están constituidas por una serie de escamas duras y

resistente que en su interior protegen las células meristemáticas, los cuales dan origen a tallos, hojas y flores (Calderón 1987).

Edmond, (1981). Indica que el fruto varía en forma, color, textura, tamaño, época de madurez y otras características. De piel verde, amarilla o roja o puede combinar dos o los tres de dichos pigmentos. La pulpa es blanca o amarilla y libre de células arenosas.

2.3. Clasificación taxonómica

La clasificación taxonómica del manzano (Sinnot y Wilson, 1975) citado por Ramírez, (1993) es la siguiente:

Reino:	Vegetal
División:	Traqueofitas
Subdivisión:	Pteropsidas
Clase:	Angiospermas
Subclase:	Dicotiledóneas
Orden:	Rosales
Familia:	Rosaceae
Género:	Pyrus
Especie:	malus

Escobar (1981), considera la especie *malus. L.*, como un subgénero del género *Pyrus*, aunque muchos autores coinciden con el nombre científico de *Pyrus malus*.

2.4. Composición nutricional del manzano

(Weswood, 1978) citado por Ramírez, (1993). Menciona que de cada 100 g. de la parte comestible del fruto del manzano están nutricionalmente compuestos de : 84% de agua; 56 calorías; 0.2 g. de proteínas; 0.6 g. de grasas; 14.1 g. de carbohidratos; vitamina A, 90 unidades internacionales (i.u.); vitaminas B1, 0.03 mg; niacina, 0.1 mg; vitamina C (ácido ascórbico), 7 mg; calcio, 7 mg; fósforo, 10 mg; fierro, 0.3 mg; sodio, 1 mg; y potasio, 110 mg.

2.5. El medio

2.5.1. Características climáticas

Alvarez, (1988). menciona que el manzano es una de las especies frutales menos exigentes en cuanto a suelo y clima. Los manzanos prefieren los climas templados y estables con uniformidad de cierta duración, admite los cambios bruscos a temperatura, la resistencia al frío de los manzanos es muy variable según las diferentes épocas del año y la variedad. Un árbol maduro dependiendo de la variedades y del endurecimiento de la madera puede soportar temperaturas extremas y de hasta 34 grados bajo cero.

Manfield y Campero, (1967) y Alvarez, (1988). Menciona que las flores en estado de botón cerrado iniciando el color, en general, la temperatura límite que soportan es de menos cuatro grados centígrados y los fruto jóvenes que son los mas sensibles, una temperatura de menos 2 grados centígrados durante media hora como máximo; esto es dependiendo de la variedad. Las temperaturas elevadas extremas son de 25 a 30°C.

El granizo causa graves daños en la época de floración y del desarrollo del fruto. Los ensayos, que son realizados hasta la fecha para la protección de los árboles frutales con costosas instalaciones de redes protectoras, o provocando la descarga previa de las tormentas, sin embargo, no han dado aun los resultados deseados. Sus zonas preferidas son las de atmósferas húmedas y nubladas alternativamente. Se aclimata muy bien en las pendientes suaves de las sierras y valles.

Los manzanos, requieren climas que varían de frescos a fríos en inviernos seguidas por un ascenso rápido de la temperatura en la primavera, con poca probabilidad de heladas a medida que las flores se desarrollen y sin deficiencias hídricas al inicio del ciclo. La alta radiación durante el ciclo promueve mayores tasas fotosintéticas y por lo tanto grandes cantidades de asimilatos. La suficiencia hídrica después de la cosecha incrementa la movilización de nitrógeno, promueve la morfogenésis de los estados finales de las yemas, así como la producción de reservas de carbohidratos que son movilizados a las yemas en crecimiento durante la primavera (Landsberg y Jones, 1981).

2.5.2. Característica del suelo

Alvarez,(1988). Menciona que este cultivo no es exigente en cuanto a suelo, pero prosperan mejor en los terrenos arcillosos, silíceos o calcáreos, prefieren un terreno mas bien fresco, pero el exceso de humedad perjudica, así como el déficit de humedad. El manzano precisa terrenos bien drenados y aireados, con humedad suficiente en los períodos críticos de la floración y de rápido crecimiento. La fertilidad del suelo tiene menos importancia que las características físicas y la buena localización.

Un drenaje deficiente, así como la presencia de un manto freático elevado, causa problemas de aireación y ocasiona serios daños a las raíces por asfixia. La zona de máxima actividad de absorción por la parte radical en el manzano se sitúa principalmente a un metro de profundidad, aunque puede llegar hasta 1.5 m. La profundidad del suelo ejerce un efecto positivo sobre el rendimiento y vigor de la planta, pues el espesor del suelo que exploran las raíces es lo que determina su capacidad de reserva de agua y de suministro de nutrientes (Trocme y Gras, 1979).

Westoond, (1978); Alvarez, (1988). Citan que el manzano se adapta mejor en suelos de pH neutro a ligeramente ácido, con estos valores se tiene una mayor disponibilidad de nutrientes, pero el pH más favorable oscila entre el valor de 5.5 a 6.5, pero el manzano puede desarrollarse en terrenos con pH comprendidos en el rango de 4 a 8.5 como máximo.

2.5.3. Requerimientos hídricos

En las nuevas plantaciones se debe mantener de preferencia suficiente agua para que en el huerto se establezcan los árboles y desarrollen sus raíces adecuadamente de tal forma que puedan obtener buen rendimiento. En los árboles en producción conviene aplicar un mínimo de cuatro riegos, distribuyéndose el primer riego antes o en el momento de la floración y los otros a intervalos de 30 días, con una lamina de riego de 10 cm en el cajete del árbol (CEVGU, INIFAP , 1986).

Alvarez, (1988). El abastecimiento de agua, es uno de los principales factores que limitan el crecimiento y producción del cultivo del manzano. Se estima que el manzano requiere de una lamina de precipitación mínima anual de 700 mm., la cual puede ser mayor en regiones de clima seco y cálido. Durante el período de formación el manzano va adquiriendo, progresiva y anualmente, mayor fuerza y desarrollo foliar, el suministro de agua está destinado a lograrlo equilibradamente. Si el agua se dosifica o es escasa el árbol disminuye su crecimiento, ocasionando que el cultivo retrase su período productivo.

Si el agua es excesiva, se producen asfixias radicales y gran lavado de nutrientes en el suelo, provocando también se retrase el crecimiento. La fertilización y riegos excesivos dan lugar a grandes desarrollos poco lignificados, que producen roturas de ramas e injertos por efectos del viento. Un crecimiento de los tallos entre 1.0 y 2.0m de altura por año debe considerarse ampliamente satisfactoria. Para plantaciones intensivas la aplicación de agua debe ir incrementándose anualmente a razón del 30, 60 y 80% durante los tres primeros años respectivamente y en plantaciones extensivas con marco de plantación de 5 x 5 m. o mayores, el suministro de agua debe ser del 20,40, y 80% del consumo adulto, correlacionándose desde el primero al cuarto año. Estas proporciones son equivalentes al desarrollo foliar o el porcentaje de suelo sombreado.

2.5.4. Salinidad

Las sales solubles del suelo consisten principalmente en varias proporciones de los cationes sodio, calcio y magnesio y de los aniones cloruros y sulfatos; el cation potasio y los aniones bicarbonato, carbonatos y nitratos, se encuentran generalmente en cantidades menores (Trocme y Gras, 1979).

Las partículas del suelo tienden a adsorber y retener cationes a consecuencia de las cargas eléctricas que existen en su superficie. Una vez que los cationes adsorbidos se han combinado químicamente con las partículas del suelo, pueden ser reemplazados por otros cationes que se encuentren en la solución del suelo. Esta reacción, se llama intercambio catiónico, cuando los cationes de sodio, calcio y magnesio son rápidamente intercambiables; otros cationes como el potasio y el amonio pueden quedar retenidas en determinada posición sobre las partículas del suelo, de manera que se intercambien con gran dificultad, se concluye entonces que se han fijado. El intercambio de cationes es un fenómeno de superficie y como tal, se identifica principalmente con el limo fino, la arcilla y otras fracciones de materia orgánica de los suelos. Muchas clases diferentes de minerales y materiales orgánicos que se encuentran en los suelos poseen propiedades de intercambio y en conjunto se conoce como complejo de intercambio.

En el CEVGU, INIFAP, (1986). Se encontró que cuando se esta regando un suelo salino o con agua que contiene muchas sales, más de 0.8 g/l, se debe pensar en incrementar la lámina de agua a fin de lixiviar estas sales y evitar la degradación del suelo. Esta es una de las partes más importantes en los riegos de dosificación exacta como es el riego por goteo, y no se debe tener en cuenta para otros sistemas, tal como el caso de los riegos por inundación, que debido a su baja eficiencia, producen lavados importantes. La lámina de lavado supone un incremento del 10 por ciento del agua de consumo y este puede ser evitado en los meses de Julio y Agosto, cuando el gasto y la demanda es más alta y los suministros suelen escasear.

Chavez, (1997). Menciona que la concentración de sales en el agua de riego no debe de pasar de 3500 micromhos/cm para los cultivos mas resistentes.

2.6. Tipos de podas

Alonso, *et al.*, (1997). Mencionan que la práctica de podas debe llevarse a cabo durante toda la vida del árbol, sin embargo el objetivo y naturaleza de la poda es diferente en cada una de sus etapas, por lo cuál existen cuatro tipos de podas.

Poda de Plantación: eliminación de raíces dañadas y despunte de raíces principales. Despunte a una altura de 60 a 70 cm.

Poda de Formación: seleccionar las ramas con ángulos abiertos (40-50°). Seleccionar básicamente ramas principales que estén distribuidas y escalonadas alrededor del árbol. Determinar los pisos del árbol dejando de 50 a 75 cm. entre uno y otro, realizan prácticas tendientes a adelantar la entrada en la producción y la mejor brotación, mediante el doblado de ramas con ayuda de carrizos, madera o alambre acerado del No. 12.

Poda de Fructificación: Consiste en evitar el amontonamiento de ramas mediante un aclareo de aquellas que se encuentran entrecruzadas.

Regular el crecimiento vegetativo y la producción de fruta bajo los siguientes principios:

- a) Despuntar los crecimientos terminales de acuerdo a su vigor entre más fuertes, despuntar más suave entre más débiles, despunte más fuerte.
- b) En la parte interior del árbol no despuntar en crecimientos vegetativos anuales, salvo en aquellos que contengan madera de producción.
- c) Eliminar crecimientos fructíferos en todo el árbol, si este presenta crecimiento vegetativo anual muy débil.
- d) Determinar la altura y lo ancho de la copa y dejar crecimientos fructíferos en las zonas donde se desea parar el crecimiento.

Poda de Rejuvenecimiento: aumentar el crecimiento vegetativo mediante prácticas tales como despuntes fuertes, eliminación de ramas completas, de tal manera

que el árbol entre nuevamente a su vida productiva. Para lograr el crecimiento vegetativo, en este tipo de poda se recomienda la aplicación de fertilizantes nitrogenados y agua suficiente. La aplicación de esta poda debe efectuarse en los meses de diciembre, enero, febrero y marzo, de acuerdo a las condiciones climáticas y el número de árboles a podar. Todos los cortes mayores de 2 cm. debe cubrirse con cera u otro material.

2.7. Injertos y Portainjertos

Ravel, (1968). Afirma que sin duda alguna el injerto, es el procedimiento normal de propagación de los árboles frutales, y es el que se usa con mayor frecuencia, además ofrece enormes ventajas sobre todo los demás. El injerto consiste en la unión íntima que se efectúa entre dos partes vegetativas de tal manera que ambas se soldan, permanecen unidas y continúan su vida de esa manera. Una de las partes generalmente forma el sistema radical y constituye el llamado patrón o portainjerto, dando lugar a otra parte aérea llamada injerto o variedad, esto se puede derivar de una simple yema o de una vareta o púa.

Alonso, *et al.*, (1997). Menciona que el portainjerto MM106 es altamente productiva bajo condiciones de riego implementario por lo que se puede sugerirse de alto rendimiento con cualquiera de las variedades utilizadas en la Sierra de Arteaga.

2.8. Control de malezas

Alonso, *et al.*,(1997). Hace mención que la malas hierbas constituyen anualmente un problema serio en las huertas de manzano, de manera que es necesario combatir este problema con el fin de evitar la competencia por agua, espacio y nutrientes que aprovechan más rápidamente que los manzanos, y prevenir la posible diseminación e incrementos de plagas que tienen como hospederas a las malas hierbas y puedan propagarse a los árboles frutales. Además, dificultan la mano de obra en el manejo agronómico requerido y pueden servir de refugios a roedores que afectan al sistema circulatorio del árbol al alimentarse de raíz y tallo.

En la Sierra de Arteaga, la problemática de malezas es variable, el control de malas hierbas, se puede llevar a cabo por medios manuales, mecánicos y químicos. Los primeros dos, no son suficientes todo el año por la presencia de lluvias, lo que propicia un incremento poblacional de malezas tan elevado que los hace incosteables e imprácticos, siendo su control factible solo mediante la aplicación de herbicidas.

Este método es efectivo, económico y práctico, siendo el que ha dado, resultados más satisfactorios en términos de eliminación de malezas por periodos largos. Para el caso de malezas anuales, es conveniente el uso de productos preemergentes, Simazima, (Gesatop 50PH), Diuron (Karmex 80 PH), Oxifluorfen, (Goal CE), Oxadiazon, (Rostar 25 CE), mientras que las perennes son mejor controladas con postemergentes Glifosato, Faena, Paraquat, Gramoxone, Fuazifop-butil Fusilade.

Principales malas hierbas

Perennes

Hoja ancha

- Trompillo (*Solanum eleagnifolium*).
- Polocotillo (*Heliantus laciniatus*).
- Correhuela (*Convolvulus arvensis*).
- Hierba del golpe (*Gaura coccinea*).
- Cebollin (*Asphodelus fistulosus*).
- Lengua de vaca (*Rumex crispus*).

Hoja angosta

- Zacate grama (*Cynodon dactylon*).
- Cola de Zorra (*Setarea geniculata*).

Anuales

Hoja ancha

- *Bidens odorata*
- *Eruca sativa*
- *Melilotus albus*
- *Taxaracum officinale*
- *Helianthus annus*
- *Fumaria parviflora*
- *Erodium cicutarium*
- *Chenopidium álbum*
- *Anoda cristata*

Hoja angosta

- Zacate salvación (*Bromus unioloides*).
- Avena silvestre (*Avena fatua*).
- Zacate pata de gallo (*Eleucine indica*).
- Zacate crecimiento (*Eragrostis mexicana*).

2.9. Fertilización

Alonso, *et al.*, (1997). Mencionan que la región manzanera de Coahuila, cuenta con 8500 has. y se estima que el 60% de esa superficie se encuentra bajo condiciones de temporal con una precipitación errática mal distribuida. La mayor parte de los árboles de manzano en producción tienen niveles marginales de fertilización, en esta región se realizan aplicaciones al suelo al inicio de la primavera y antes de la brotación y solo un bajo porcentaje de productores la complementan con aplicaciones foliares.

No existen recomendaciones generales de fertilización para todos los huertos de manzanos, ya que estos se localizan en una gran variabilidad de suelos, climas, manejos, patrón utilizado, variedades, edades del árbol, densidades de plantación, sistema de cobertura entre hileras y periodos de alternancia y debido también a que son por lo menos 16 elementos esenciales que los árboles toman del suelo, agua y aire para complementar su nutrición y que, algunos de ellos existen en mayores concentraciones en el suelo se requieren en mucho mayor cantidad que otros; Sin embargo, en todos los casos el abonado debe ser completo de acuerdo a las condiciones de cada huerto en particular.

Una base para definir el programa de fertilización es disponer de los resultados de análisis de suelo, cada tres años y de análisis foliar cada año. Se recomienda una fertilización fraccionada y las épocas más apropiadas para fertilizar el suelo son: tres semanas antes de la brotación, después de la caída de junio e inmediatamente después de la cosecha.

Nitrógeno

De acuerdo a estudios realizados se recomienda aplicar de 50 a 100 kg. N/ha/año para árboles jóvenes con producciones de 15 a 20 ton/ha. mientras que para adultos de 80 a 200 kg. N/ha. con producciones de 15 a 20 ton/ha.

Fósforo

Se recomienda aplicar de 15 a 20 gr/año de edad/árbol.

Potasio

Lo recomendado es de 10 a 20 gr./año de edad/árbol.

Magnesio

Una dosis de 2.5%, se puede repetir 2 o 3 veces entre tratamiento con 15 días de intervalo.

Boro

Es recomendable aplicar una solución de solubor a una dosis de 2.5 kg. En 100 litros de agua en dos aplicaciones en abril y julio.

Fierro

Aplicar de 5 a 10 gr./árbol/ dependiendo de la fuente disueltos en agua y aplicarlos en 3 o 4 puntos debajo de la copa del árbol en la zona de las raíces activas.

Zinc

Es recomendable aplicar aspersiones de sulfato de zinc ($ZnSO_4$) mismas que se pueden realizar en tres etapas durante el invierno, lo más tarde posible, pero antes de floración a dosis de 1.8 a 3%.

Calcio

Es recomendable aplicar cloruro de Calcio ($Ca Cl_2$) de 4 a 6 veces a partir del 15 de junio con intervalos de 15 días en un porcentaje del 2%. Es conveniente utilizar ácidos fúlvicos o carboxílicos para promover el movimiento de calcio en los vasos del floema y evitar sus deficiencias en frutos.

Cuadro 2.1. Recomendación para la zona manzanera de Coahuila, y Nuevo León el siguiente programa de fertilización (Alonso , *et al* , 1997).

Edad del árbol	Dosis a aplicar g/árbol/año			Ejemplo de Fertilizante g/árbol/año		
	N	P ₂ O ₅	K ₂ O	18-46-00	00-00-50	0-00-00
Primer año	36	92	00	200	-	-
Segundo año	54	138	00	300	-	-
Tercer año	54	138	50	300	100	-
Cuarto año	90	230	75	500	150	-
Quinto año	90	230	100	500	200	-
Sexto año	95	138	100	300	200	200
Séptimo año	150	92	100	200	200	570
Octavo año	200	92	200	200	400	820
Noveno año	250	120	250	260	500	990
Décimo año	300	150	300	326	600	706
En adelante hasta	400	200	500	435	1000	1600

2.10. Aspectos relacionados con el agua e irrigación

2.10.1. El agua y sus propiedades en el cultivo del manzano

Alvarez, (1988). Menciona que el agua posee numerosas propiedades físicas, únicas en la naturaleza, que son especialmente aprovechadas por los vegetales y sin las cuales sería imposible su supervivencia. Son tan importantes que vamos a enumerarlas para ver la relación que hay entre ellas y el desarrollo del árbol, con la finalidad de obtener el máximo provecho.

El agua posee un calor de vaporización excepcionalmente alto, 589 calorías por gramo, y es capaz de evaporarse a la temperatura ambiente y provocar un importante descenso térmico. Este fenómeno permite al manzano defenderse de la temperatura generada por la acción de los rayos solares sobre sus frutos, hojas y corteza. Es necesario, que durante los días calurosos, el árbol disponga de suficiente agua para refrescarse.

Otra importante ventaja del agua es el calor latente de fusión, que es de 80 cal/g. y, dada la importante proporción de agua en los tejidos del manzano, esto significa que antes de que la planta se congele debe extraerse una gran cantidad de calor ; de esta forma es más resistente a las heladas invernales y de primavera.

La capilaridad del agua le permite elevarse a una altura a través de un tubo estrecho como el que se forma entre las paredes celulares. En un tubo de 0.03 mm el agua se eleva hasta 1.25 m de altura, la savia es ayudada en su ascenso hacia las partes altas del manzano por este fenómeno. En el suelo, los poros de las partículas de tierra forman capilares por los cuales los desplazamientos del agua son mucho más importantes y fluye de las partes más húmedas hacia las más secas y va completando los pequeños espacios vacíos del suelo, quedando a disposición de raíces más alejadas.

El agua es el disolvente natural por excelencia y en sus desplazamientos por el suelo va disolviendo pequeñas cantidades de sustancias químicas, tales como los abonos, llevándolas consigo hasta las raíces para que puedan ser aprovechadas por las plantas. La combinación de la capilaridad capacidad de disolución que permite aprovechar los abonos aunque no estén en contacto directo con la raíz.

El agua se difunde de las zonas de menor concentración de “soluto” (sustancias químicas disueltas) a las de mayor concentración y así consigue que la raíz penetre en su interior, y cuanto mayor es la diferencia de concentración es más rápida y en mayor cantidad pasará del suelo a la raíz, de aquí la importancia que tiene el usar aguas puras o con poca concentración de sales. La avidéz de agua del líquido interno (savia radicular) genera una presión interna real, conocida por el nombre de presión osmótica, y que empuja la savia del árbol arriba con una presión que, dependiendo del vigor de pie y tipo de planta, puede alcanzar hasta las 15 atmósferas.

El agua es absolutamente indispensable para el desarrollo de la manzana ya que constituye entre 80 y el 92% de esta fruta dándole peso y turgencia, así mismo, participa en multitud de reacciones químicas necesarias para su desarrollo y apreciación

comercial, tales como la formación de azúcares y sabores, en ella se disuelven y transportan las sales minerales necesarias para el desarrollo del fruto.

2.10.2. El agua en el suelo

Alvarez, (1988). Indica que el suministro de agua en el suelo es indispensable para el desarrollo y crecimiento de las plantas, es muy importante conocer la forma y cantidad que ésta se encuentra disponible en el suelo. El agua de riego, o de lluvia, se infiltra por el suelo a través de sus poros y es retenida por las fuerzas capilares. Si el agua es abundante desaloja el aire y completa totalmente los espacios entre partículas hasta llegar a la saturación. En este momento tenemos un suelo saturado, el cual produce asfixia radicular y fermentaciones nocivas. Al suspender en este punto la aportación de agua, por efecto de la gravedad parte de ella es arrastrada o infiltrada hacia capas más profundas. A este tipo de agua se le llama “agua gravitacional” y su consumo en las etapas de cultivo permite que los grandes poros se llenen nuevamente del aire necesario.

En el momento en que el suelo ha perdido el agua por gravedad, este se encuentra en su máxima “capacidad de campo”, el agua es retenida por las fuerzas capilares y su desplazamiento por el suelo se realiza en cualquier dirección desde zonas húmedas a zonas secas. Este nivel de humedad es el más alto que debe tener un suelo y el óptimo para conseguir los mayores crecimientos del fruto y el árbol.

La absorción de agua por las raíces y la evaporación en la superficie del suelo va reduciendo el contenido de humedad en el terreno hasta llegar al punto donde el movimiento por capilaridad ya no se produce, el agua queda retenida con tal fuerza que la planta no puede aprovecharla y empieza a marchitarse. A este estado se conoce que el suelo está en el “punto de marchitez permanente”. Debajo del punto de marchitez permanece en cierto nivel de humedad, no aprovechable por las plantas, llamamos “agua higroscópica”.

Así, el agua se mueve en el suelo según su permeabilidad y el contenido de agua en este. En estado gravitacional su dirección es descendente, de esta forma se aplica sobre el suelo. Una vez en el suelo se mueve por gravedad descendiendo hasta el subsuelo produciendo un lavado, o queda retenida en una capa impermeable, o se desplaza lateralmente por capilaridad.

2.10.3. Humedad del suelo en cultivo del manzano

Alvarez, (1988). Menciona que al estudiar la humedad disponible hay que relacionarla con la profundidad explorada por las raíces. Se sabe que un manzano puede alcanzar de 3 a 4 m. de profundidad radicular, pero debemos aclarar que el 40 % del consumo se realiza en el primer 25% y el resto en las capas restantes; es decir, en un suelo profundo de 2 m. el manzano extrae el 40% del agua en los primeros 50 cm. de la superficie y el 60% en el siguiente primer metro. No hay que ser especialmente optimista al considerar el agua almacenada en el suelo, pues incluso en suelos profundos es conveniente explotar el agua en los niveles superiores, que son los más fértiles. Por lo tanto conviene hacer riegos frecuentes y dosis bajas. El manzano de mesa es más exigente que el de sidra en cuanto a la cantidad de agua del suelo de que puede disponer.

Para comprobar la humedad aprovechable en el suelo existe el método manual, que consiste en tomar una muestra con una sonda, estrujarla entre los dedos y comprobar la plasticidad; es un sistema muy eficaz. También es útil el empleo de tensiómetros.

No se debe regar según la apariencia del cultivo, pues cuando apreciamos síntomas de sequía ya hemos causado retrasos en el desarrollo del cultivo.

2.10.4. Requerimientos de agua en el cultivo del manzano

Alvarez, (1974). Indica que el agua es un factor limitativo de considerable importancia en el cultivo del manzano. En los terrenos donde el riego no es posible, se estima que las precipitaciones anuales deben ser, por lo menos, de 700 mm y aun superiores en las regiones cálidas. Algunos autores señalaban como precipitaciones más convenientes para el manzano las comprendidas entre 600 y 800 mm., y como excesivas las que pasan de 1,000 mm.

El contenido de agua que un suelo pueda retener en contra de la gravedad y una vez que se ha drenado se conoce como “Capacidad de Campo”. La capacidad de campo no se puede modificar sensiblemente con las labores agrícolas. La aplicación de materia orgánica aumenta ligeramente la capacidad de campo en la capa superior del terreno, pero su acción beneficiosa se debe más bien a que facilita la penetración del agua y favorece la aireación de las raíces del árbol frutal.

Un terreno ligero puede retener del 20 al 25 % de su peso en agua, mientras que un suelo arcilloso puede retener del 30 al 35%, que se conoce como contenido gravitacional aunque estos suelos pueden drenar mal y no ser satisfactorios para el desarrollo de los jóvenes manzanos. Una parte del agua de lluvia o de riego se pierde por fuga o drenaje, por filtración o por evaporación. Estas pérdidas son muy variables, según la época o las características del terreno.

En las zonas de regadío, lo más importante es saber cuándo y cómo se debe de regar. Es indudable que las mayores necesidades de agua corresponden a los períodos de rápido crecimiento del manzano. Resulta prácticamente imposible establecer normas generales sobre el volumen de agua que debe emplearse y las épocas de regar, ya que nadie mejor que el propio fruticultor conoce las características del terreno, la climatología de la zona y el comportamiento de las distintas variedades.

La observación del árbol o del terreno son los indicadores usuales para el riego, pero resulta peligroso esperar los síntomas del árbol. Modernamente, existen bloques de

resistencia que funcionan eléctricamente y van provistos de un aparato lector de pilas y transistores, con los cuales puede determinarse en cualquier momento el estado de humedad del suelo y su necesidad de riego. Algunas variedades de manzano precisan más riego que otras, según su capacidad de transpiración, ya que varía del simple al triple. Red Delicious, transpira mucho.

El agua durante la formación del fruto es importantísima, tres riegos de 500 metros cúbicos por hectárea cada uno pueden suponer un incremento del 30% de la cosecha, con un beneficio notable no sólo en peso, sino también en precio.

Los sistemas de riego son ampliamente conocidos, según la forma de distribuir el agua, se denominan como de sumersión o a manta, de escurrimiento, de infiltración o en surcos, de aspersión, y por goteo.

Ramírez y Cepeda (1993). Mencionan que después de plantar el árbol de manzano se despunta a 80 cm y se riega inmediatamente con no menos de 40 lts. de agua en un “cajete” de 80 cm de diámetro; otra forma de regar es mediante gravedad a través de melgas con bordos de 1m. de ancho.

2.10.5. Movimiento del agua a través de la planta

Alvarez, (1988). Menciona que los pelos radiculares poseen diminutos poros por los cuales se supone penetra el agua y éstos, a su vez, son demasiado pequeños como para que pasen en sentido inverso sustancias disueltas a una concentración mayor. La raíz forma una membrana semipermeable selectiva, que es más permeable a la solución externa del agua que a la solución interna que es más concentrada.

Los pelos radiculares absorben agua mientras el potencial de la raíz sea inferior al de la solución del suelo. Según va entrando la solución en la raíz, es transferida hacia el interior, pasando a formar la llamada savia, entre ambos líquidos hay un potencial hídrico negativo que favorece el flujo del exterior hacia el interior. Cuando una planta

transpira activamente la concentración de sales en la savia disminuye, así también disminuye su capacidad radicular para extraer agua del suelo. Por esta razón la cantidad de sales minerales y otras sustancias disueltas en la savia es inversamente proporcional a la intensidad de la transpiración.

La savia es conducida desde la raíz hasta las hojas a través de tubos continuos llamados vasos, situados en la corteza del tronco y ramas. La velocidad con que asciende la savia depende de la hora del día y de la temperatura, siendo mayor al mediodía de los días calurosos ; y dentro de la planta, la velocidad es más elevada en la base del tronco, donde puede llegar a un metro por hora, y disminuye gradualmente según asciende por el árbol, donde ya se reparte por las numerosas ramas. Daños en la corteza junto a la raíz, por roedores o insectos, limitan el crecimiento del árbol por la imposibilidad mecánica de transportar la savia necesaria. La savia asciende hasta las hojas por efecto de la presión de la raíz, de la capilaridad, y del gradiente de potencial provocada por la transpiración.

2.10.6. La evapotranspiración del cultivo

La evapotranspiración es la cantidad de agua consumida por el cultivo y ésta en función de la variedad, el patrón, el medio local, el tipo de suelo con su humedad, los fertilizantes, las labores, el clima, las podas, las plagas. El clima es su principal condicionante y dentro de los factores que lo componen debemos mencionar por orden de importancia las horas luz diurna, la temperatura, la humedad ambiental, el viento, y la insolación.

Los técnicos han decidido encontrar un patrón común para la gran variedad de cultivos, al que se ha llamado “evapotranspiración de referencia” (ET_o) y que se ha definido como la tasa de evapotranspiración de una superficie extensa de gramíneas verdes de 8 a 15 cm de altura uniforme, de crecimiento activo, que sombrean totalmente el suelo y que no escasean de agua. La ET_o se mide en l/m²/día, l/m²/semana,

l/m^2 /decena, l/m^2 /mes, l/m^2 /año, según el periodo de tiempo que usemos. La ETo se calcula por varias fórmulas (Penman, Blaney, Tanque clase A, etc.).

La “evapotranspiración del cultivo” (ETc) representa la evapotranspiración de un cultivo en condiciones óptimas y que produce rendimientos óptimos. La ETc esta directamente relacionada con el ciclo vegetativo, y en el manzano hay que distinguir entre el periodo vegetativo de formación del árbol y el periodo vegetativo de producción. El primero dura unos 3 años en las plantaciones intensivas y unos 8 años en plantaciones tradicionales 6X6m.

El “coeficiente de cultivo” (Kc) representa el factor de relación entre la ETo de cada período con relación a la “evapotranspiración del manzano” (ETc) y sus fases vegetativas. El manzano tiene tres fases totalmente definidas:

- 1ª fase: Desde la brotación hasta el 80% de cobertura por hojas. En esta primera fase, que se suele iniciar a primeros de abril, el Kc toma valores ascendentes desde $Kc = 0.35$ hasta $Kc = 1$ al llegar a fin de junio, con una duración de 90 días.
- 2ª fase: Desde el 80% de cobertura hasta la recolección. En este tiempo el $Kc = 1$ tiene un valor prácticamente constante. En esta fase se desarrolla el fruto exigiendo gran consumo de agua. Esta segunda fase coincide con el inicio de julio y finaliza el 1º de septiembre o el 1º de octubre, según variedades, y suele durar de 70 a 100 días .
- 3ª fase: Desde la recolección hasta la caída de la hoja con valores de $Kc = 0.9$ decrecientes hasta $Kc = 0.6$ y una duración de 50 a 20 días. En esta fase, el árbol toma reservas para invernar.

El Kc tiene variaciones según la zona y, para efectos prácticos podemos considerar que en zonas con humedad ambiental alta, superior al 70%, se puede reducir en un 10%, y en ambientes muy secos, con humedad relativa por debajo del 30%, hay que aumentar un 10%.

La presencia de hierba debajo de los arboles tiene gran importancia en el consumo del agua y el K_c del manzano debe aumentarse en un 20%. La hierba, durante los períodos de formación, eleva el consumo al mismo nivel que un árbol adulto.

La evapotranspiración del manzano (ET_c) se obtiene multiplicando el valor del patrón ET_o por su coeficiente de cultivo (K_c), tal como vemos en la formula: $ET_c = K_c \times ET_o$. (Alvarez, 1988).

2.10.7. El riego por goteo

Alvarez, (1974). Menciona que este sistema de riego fue desarrollado por los israelitas para las zonas desérticas con el fin de reducir al mínimo las perdidas de agua por evaporación. Este consiste en una red de tuberías adecuadamente distribuidas que conducen el agua a la base del árbol en cantidades muy pequeñas y constantes, casi sin presión, por medio de unos dispositivos llamados goteros.

La instalación para el riego gota a gota consta de las bombas de alimentación, válvula de regulación y filtros para agua, las tuberías de conducción del agua, perpendiculares a las anteriores, y los emisores, de los que existen diversos modelos que de año en año se vienen perfeccionando.

Este moderno sistema de riego presenta importantes ventajas, pues, aparte de la notable economía de agua que con él se alcanza, permite una distribución uniforme de agua, no exige la nivelación del terreno en suelos sin excesiva pendiente, mantiene la humedad suficiente en el sistema radicular del árbol independientemente de la textura del terreno, y reduce el empleo de mano de obra debido al automatismo de toda instalación.

Alvarez, (1988). Menciona que este sistema es de reciente introducción y poco conocido. Se adapta a todos los suelos, permite una correcta dosificación de agua y abonos disueltos, no se crean problemas con las hierbas y el tránsito de los tractores.

Exige riegos casi diarios, por lo que se hace prácticamente imprescindible automatizar integralmente el sistema y tener suministros de agua constantes. Al mejorar la eficiencia de distribución, permite regar con un 15 ó 20% menos de agua que otros sistemas; sin embargo, las altas producciones que se consiguen requieren buenas dotaciones de riego. Debe ponerse atención en colocar los emisores necesarios para conseguir un mínimo del 35% de suelo mojado. El riego se instala con todos los goteros al inicio de la plantación y no en varios años según se desarrolle el árbol, pues el sistema radicular queda muy bien formado al encontrar poco suelo húmedo. Los principales inconvenientes suelen de instalaciones defectuosas, con dotaciones bajas de agua y deficiente filtrado. Exige inversiones elevadas de instalación y tiene un consumo de energía entre 1000 y 2000 kw./ha/ año. Permite importantes ahorros de agua durante los períodos de formación del árbol y es adecuado cuando se dispone de mucha tierra y poca agua.

Rojas y Briones, (1994). Definen el riego por goteo como la aplicación artificial del agua y nutrientes al suelo en forma lenta pero frecuente y en pequeñas cantidades dirigidas directamente a la zona radicular de las plantas a donde llega a través de emisores o goteros de 2 a 10 lph con flujo gradual y uniforme. De esta forma la planta dispone continuamente de nutrientes y humedad suficiente para que la asimilación se realice con el mínimo consumo de energía. Al utilizar la planta agua y abonos en la zona de influencia de las raíces se incrementa la rentabilidad del cultivo, reduciendo, así mismo las cantidades de fertilizantes y de agua necesaria.

El agua aplicada se distribuye en el perfil del suelo describiendo un patrón de humedecimiento ovoide llamado bulbo de mojado cuyo contorno se extiende más lateral que verticalmente en suelos arcillosos mientras que en suelos arenosos se presentan más alargado en forma vertical que horizontal.

Rojas y Briones, (1994); Reche, (1994). Indican que debido a que la aplicación es intermitente permite mantener el suelo en condiciones óptimas de humedad durante el desarrollo del cultivo. En campo la distribución del agua es por medio de una extensa red de tuberías que trabajan a presiones generalmente de 1 a 2 Kg./ cm².

Ramírez y Cepeda, (1993). Mencionan que el riego por goteo y microaspersión consiste en llevar el agua hasta las raíces de las plantas a través de un sistema de tuberías para que el agua salga en forma de gotas o aspersión, por medio de dispositivos específicos llamados microaspersores y emisores o goteros. De esta manera, se da a las plantas el agua dosificada en cantidad y en tiempo, lo que, con los métodos tradicionales de gravedad o de aspersión, no es posible, por lo menos en forma económica. Este riego se puede usar en cualquier tipo de suelos, con cualquier pendiente y clima; evita la nivelación de tierras, incrementa la producción tanto en cantidad como en calidad; no entorpece las labores de cultivo ni de cosecha; ni las aplicaciones de insecticidas y fungicidas. Sin embargo, estos sistemas requieren equipo especial que implica altos costos de inversión y se necesita de un adecuado diseño para que todas las plantas reciban la misma humedad, además, debe preverse el taponamiento de los goteros, es decir, requiere de supervisión constante.

Chavez, (1998). Indica que un sistema de riego por goteo está constituido por una serie de accesorios formados principalmente por el cabezal de control, de red de tuberías y accesorios.

Cabezal de control.- Está constituido principalmente por las siguientes partes:

Fuente de abastecimiento.- Es la parte encargada de proporcionar el agua para el sistema y está puede ser un canal, río, pozo, etc.

Equipo de bombeo.- Es la fuente que proporciona la presión de trabajo para que el sistema pueda operar eficientemente.

Medidor de gasto.- Es el equipo que indica la cantidad de agua que se dispone para el sistema.

Tanque fertilizador y bomba inyectora.- Son aquellos equipos mediante los cuales es posible introducir la solución de fertilizantes y ácidos al sistema.

Filtros.- Estos equipos tienen como finalidad eliminar todas aquellas partículas en suspensión que pueden obstruir las salidas del flujo del agua en los goteros, en la actualidad se cuenta con diferentes tipos de filtro:

- a) Filtro de malla .- Este equipo contiene en su interior uno o dos cilindros con pequeños orificios formados con mallas de diferentes calibres que impiden el paso de partículas finas como limos y arcillas, además que algún fertilizante que al reaccionar con el agua forme sólidos en suspensión.
- b) Filtro hidrociclónico.- Para el funcionamiento de este filtro consiste en Aprovechar la fuerza centrífuga del agua para sedimentar los materiales sólidos más pesados como arenas gruesas y finas.
- c) Filtro de grava y arena.- Este filtro está formado de un recipiente en cual se encuentran acomodadas capas de grava y arena de diferentes diámetros, el agua se filtra de sólidos en suspensión como algas y musgos de pilas a cielo abierto preferentemente al pasar a través del perfil del sustrato.

Red de tuberías. La red de tuberías son las encargadas de conducir el agua para riego desde la fuente de abastecimiento hasta las diferentes unidades de riego diferenciándose específicamente por la función que desempeñan teniendo por lo tanto la siguiente clasificación:

Tuberías de conducción.- Son parte esencial del riego por goteo y se consideran aquellas tuberías que conducen el agua de la fuente de abastecimiento a las unidades de riego. Estas tuberías pueden ser construidas con polietileno, PVC, acero galvanizado o de asbesto - cemento, seleccionándose de acuerdo al efecto por sustancias corrosivas como ácidos o fertilizantes.

Líneas de distribución.-Las líneas de distribución son aquellas tuberías que abastecen a las líneas regantes las cuales son conectadas a uno o ambos lados, a la vez estas van conectadas a la tubería de conducción o principal. El distribuidor puede ser flexible si es instalado sobre la superficie o rígido si va enterrado utilizando polietileno o PVC.

Líneas regantes o laterales.- Son aquellas líneas en las cuales se colocan los emisores o goteros generalmente a espaciamientos predeterminados en la línea sobre. Las líneas generalmente son instaladas en la superficie del terreno y estas líneas son construidas con manguera de polietileno o PVC flexible de alta densidad para que soporte la columna de agua y el efecto del medio ambiente. El acomodo de líneas puede ser en forma recta, zigzag, doble línea, o flotante con diámetros que varían de 10 a 32 mm.

Accesorios.- Dentro de los principales accesorios que están formando parte del riego por goteo están comprendidos los siguientes:

Manómetros.- Indica la presión a la cual va conducida el agua y la presión a la que se encuentra trabajando el sistema.

Medidor volumétrico.- Este equipo permite conocer el volumen descargado en un momento dado.

Válvulas reguladoras de presión.- Estas válvulas tienen como función controlar la presión de trabajo y su gasto.

Emisores o goteros.- Los emisores son elementos que actúan como disipadores de la energía de presión que permite que el agua salga de las tuberías para mojar el terreno a través de pequeños poros u orificios. De acuerdo a esta característica los emisores se clasifican en goteros de salida simple o múltiple de flujo en espiral, de vértice, de microtubo, tipo espagueti y de diafragma. Por lo general los emisores deben contar con ciertas características fundamentales tales como:

- a) Fácil instalación.
- b) Fácil reposición.
- c) Bajo costo.
- d) Gasto uniforme.
- e) Compacto.

Cuando se realiza la aplicación del agua el emisor puede trabajar con dos tipos de flujo, en el turbulento la descarga del emisor puede ser calculado con la formula de orificios, cuando el flujo es laminar la descarga es directamente proporcional a la carga de operación.

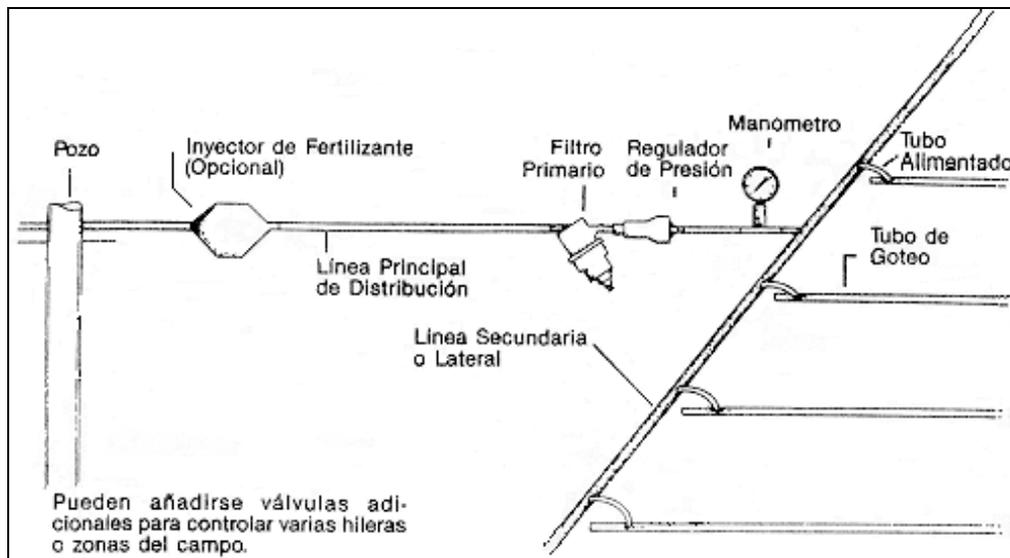


Figura 2.1. Disposición de un sistema de riego por goteo.

2.10.7.1. Adaptabilidad

Chávez, (1997). Afirma que debido a las características específicas de este método no es aplicable a todos los cultivos, sin embargo su utilización es bastante amplia, sobre todo aquellos cultivos que son ampliamente remunerativos y por lo general presentan un alto costo inicial tal es el caso de frutales como el manzano.

2.10.7.2. Ventajas

Dentro de las principales ventajas que presenta el riego por goteo se tienen:

- Mejor aprovechamiento del agua, así como una disminución del tiempo y trabajo dedicado en comparación con los otros sistemas de riego.
- Uso de agua salina.
- Permite utilizar gastos pequeños.
- Control permanente de la humedad.
- En el riego se puede aplicar fertilizante líquido y sólidos solubles.
- Uso óptimo y ahorro de fertilizantes, así como la posibilidad de aplicar al sistema diversos productos químicos desinfectantes de enfermedades.
- Se aumentan considerablemente los rendimientos agrícolas en calidad y cantidad.
- Acelera la maduración.
- Suelo para el control de plagas y enfermedades entre otros.
- Influye en la disminución de la humedad ambiental de los invernaderos que repercute en la reducción de enfermedades fungosas.
- No apelmazamiento del suelo, como ocurre con riegos por inundación, elimina la compactación.
- Permite utilizar suelos arenosos.
- Reduce la incidencia de malezas.

2.10.7.3. Desventajas.

Este método presenta problemas que en algunas condiciones es imposible su establecimiento tales como:

- Altos costos de inversión y dedicación a su mantenimiento para evitar las destrucciones en el sistema. Un buen sistema de filtrado puede reducir una parte la mano de obra destinada al manejo y mantenimiento de las instalaciones.
- El material utilizado en tuberías, goteros, etc. deben ser resistentes a altas presiones y factores ambientales.

- Las sustancias químicas y fertilizantes que se apliquen deben ser solubles y no reaccionar en el material de tubería.
- No se utiliza en cultivos sembrados al voleo.
- Dificulta el uso de maquinaria por sus líneas.
- Se tiene taponamientos frecuentes de los goteros, sin un mantenimiento adecuado.
- Dificultad de dar lavados a profundidad y por toda la superficie.
- Posibilidades de salinización del suelo cuando el manejo de este riego no es adecuado.
- Necesidad de un mayor conocimiento técnico del agricultor y asesor.
- Diseño e instalación del sistema de riego por especialistas.
- Se requiere de personal capacitado para manejar el sistema.
- Necesidad de utilizar fertilizantes totalmente solubles en agua.

2.10.8. El riego en el cultivo del manzano

Kramer, (1982). Señala que la necesidad de riego en la fruticultura depende, por un lado, de las necesidades de agua de las especies frutícolas plantadas y, por otro, de las condiciones climáticas y del tipo de suelo. Las condiciones para riego vienen determinadas principalmente por temperatura y las precipitaciones, sin embargo, está limitado por distintos factores. Así al menos el 60% de la precipitación anual designada como óptima debe caer durante verano.

El suelo y su capacidad de retención del agua son decisivos para el aprovechamiento de las precipitaciones por parte de los árboles frutales, por que la actitud para el riego es muy distinta en los diferentes suelos. Los suelos ligeros absorben fácilmente el agua sin consecuencias adversas para la estructura, pero la retienen insuficientemente, lo mismo que a las sustancias nutritivas, que ocasionan grandes pérdidas de agua y simultáneamente un lavado intenso de las sustancias minerales. Los suelos pesados y arcillosos tienden a enlodarse y si hay grandes cantidades de agua puede dañarse su estructura. Los suelos adecuados para el riego son los migajones ricos

en humus, ya que no se producen daños estructurales y se retiene el agua, aprovechándola convenientemente.

También menciona que con respecto a la cantidad de agua, todavía no se tienen datos experimentales para las distintas épocas de riego y variedades de frutales. A modo de regla se dice que en suelos profundos la humedad puede observarse perfectamente a una profundidad de 75 cm, por lo que en suelos pesados no se administrarán menos de 30 a 40 mm, duplicando esa cantidad durante los períodos de sequía. En suelos ligeros se debe tener en cuenta las pérdidas por escurrimiento cuando las dosis son muy elevadas. Por esa razón y siguiendo el curso de los métodos se suele regar más frecuentemente con dosis pequeñas.

Hasta la fecha apenas se dispone de datos experimentales sobre el momento óptimo de riego para los árboles frutales. En primavera y en la mayoría de los suelos, la humedad invernal es tan grande que la falta de agua no pone en peligro la actividad de las raíces y el brote de las hojas y las flores. Además el riego demasiado temprano impide, debido a las menores temperaturas ocasionadas por el enfriamiento, que la cantidad adicional de agua sea activa fisiológicamente para las plantas.

Los árboles frutales comienzan a necesitar mayores cantidades de agua desde finales de mayo hasta junio, al aumentar el crecimiento de las hojas, los tallos y el desarrollo de los frutos. Durante este período de tiempo suelen presentarse sequías, siendo entonces ventajoso el riego; esto resulta especialmente adecuado durante la sequías de julio y agosto, en suelos ligeros y en variedades tardías de manzana. Al momento de la maduración de los frutos, el riego ocasiona más daños que beneficios. Es conveniente para obtener una buena producción en el año siguiente, regar después de la inducción de las yemas florales de septiembre a octubre.

Alvarez, (1988). Menciona que el manzano utiliza gran cantidad de agua, como todos los vegetales de frutos carnosos, un árbol adulto necesita entre 200 y 300 litros de agua por año y kilo de fruta producido. Este consumo viene repartido a lo largo del ciclo

vegetativo, con cifras diarias desde 1 hasta 7 mm/día según los meses y zonas. El mes de máximo consumo coincide con julio, según vemos en los calendarios de riego prevalecientes.

Cuando se está regando en suelos salinos o con agua con sales, más de 0.8 g/l, debemos pensar en incrementar la dosis a fin de eliminar estas sales y evitar la degradación del suelo. Esto es importante en los riegos de dosificación exacta, como el riego por goteo, y no se debe tener en cuenta en otros sistemas, como los riegos por inundación, que por su bajo grado de eficiencia producen lavados importantes.

Desde que se inicia la vegetación no se puede distinguir períodos en los cuales se permita reducir los consumos diarios, pues todo déficit se traduce linealmente en el cuajado, desarrollo de la vegetación, fruto y la preparación de yemas de la próxima cosecha. Un déficit del 11% se traduce en una equivalente reducción del crecimiento y desarrollo del tamaño del fruto. Un déficit mayor produce daños mayores. Al iniciarse la vegetación, debemos tener agua en el suelo para que la raíz pueda desarrollarse bien. Durante la floración y cuajado se necesita agua abundante, ya que mejora la resistencia a las heladas nocturnas. El vestido de hojas, crecimiento de tallos, y formación de yemas florales del próximo año deben realizarse rápidamente para que quede tiempo suficiente en la fase de desarrollo del fruto. En todas las fases anteriores el abastecimiento de agua debe hacerse con precisión. Después de la recolección es cuando podemos recortar el riego si se encuentra en una situación de suministro limitado.

Si se tiene un suministro limitado de agua, empezar los recortes después de la recolección; en caso de mayor escasez, recortar agua y abonos después del cuajado y durante el desarrollo; y si no podemos suministrar los caudales necesarios durante el desarrollo del fruto, conviene aclarar fruta y recortar abonados.

Es importante contar con calendario de riego antes de empezar la campaña, previendo las dosis y el intervalo entre riegos. El calendario se construye mes por mes,

con los datos de evapotranspiración potencial (ET_o) y coeficientes de cultivo (K_c), con lo cual obtenemos la evapotranspiración del cultivo o dosis media neta: Etc = ET_o * k_c.

Cuadro 2.2. Valores prácticos de agua útil que el suelo retiene, expresados en litros de agua por metro cubico de suelo (Alvarez, 1988).

Tipo de suelo textura	Capacidad de campo l/m ³	Punto de marchites l/m ³	Agua útil l/m ³
Pesado	300	100	200
Semipesado	245	75	170
Medio	190	50	140
Ligera	145	35	110
Gruesa	100	20	80

Estos datos proporcionan la capacidad de almacenamiento de agua por los distintos suelos según profundidad y textura. Estas cifras son muy importantes para la decisión del tipo de riego a usar y su manejo, tanto en cantidad de agua a aplicar como en frecuencia entre riegos. Los mejores suelos son los de textura media con una profundidad superior a 1.4 m. y buen drenaje del subsuelo.

Alonso, *et al.*, (1997). Indica que el manzano inicia su floración a principios de abril, necesitando agua (de 50 a 90 mm/mes) para la brotación, el amarre de los frutos y para sostener el crecimiento subsecuente. Al llegar el verano, los árboles se cubren de hojas se forman los frutos, y las necesidades de agua se incrementan de 120 a 150 mm/mes, las lluvias que se registran en junio, julio y agosto, pueden aportar de un 15 a un 35% de la demanda evapotranspirativa, requiriendo por lo tanto la irrigación en las huertas para promover la producción. Después de la cosecha, las necesidades de agua se reducen a casi 80 mm/mes y en el otoño, la caída natural de las hojas anuncia la dormancia de los árboles y con ello la suspensión de la temporada de riego.

La profundidad de las raíces “alimentarias” en manzanos adultos se estima de 0.8 a 1.2 m, la tolerancia a sales varía de 1.7 a 8 mmhos y la evapotranspiración estacional es de 734 mm para árboles libres de malezas. En huertas con cobertura vegetal intercalada entre los árboles o sin control de malezas la evapotranspiración estacional es del orden de 843 mm.

Cuadro 2.3. Necesidades de agua (NDP) por árbol tiempos de riego para satisfacerlas considerando dos goteros por árbol de 4 lph cada uno (Alonso, *et al.*, 1997).

Radio de copa m.	Area de sombreado m ²	NDP litros/día	Goteros por árbol	Horas de riego/día.
0.5	0.78	4.46	2	0.5
1.0	3.14	17.84	2	2
1.5	7.07	32.51	2	4
2.0	12.57	71.38	2	9
2.5	19.63	11.48	2	14

El volumen de agua requerido por árbol está en función del área de sombreado y de las condiciones climáticas predominantes. En el cuadro 2.2. se puede apreciar como se incrementa la necesidad de agua al incrementarse el radio de copa de un árbol típico para uso crítico de 4.6 mm/día y eficiencia de 81%.

2.11. Aspectos de la fertirrigación

2.11.1. Fertirrigación

“La fertirrigación es una opción que permite integrar la aplicación de agroquímicos y en particular de fertilizantes con sistemas modernos de riego, procurando cultivos con niveles de rentabilidad favorables” (Guajardo, 1997).

La técnica de fertirrigación nace con el empleo del sistema de riego por goteo. Este método de aplicación del agua en forma eficiente y frecuente con los mínimos desperdicios de agua, y de los fertilizantes el ser aplicados mediante este sistema. Día a día se incrementa más la superficie irrigada por medio de este sistema y a la vez crece la necesidad de investigación sobre el rubro de la fertirrigación (Chávez, 1997).

La aplicación de nutrientes mediante el mismo tendrá los siguientes efectos:

- Ahorro de fertilizantes al hacer las aplicaciones dirigidas y fraccionadas de acuerdo a las necesidades del cultivo.
- Incremento en los rendimientos al incrementarse las eficiencias en el uso del agua y de los fertilizantes.

2.11.2. Ventajas de la fertirrigación

Las posibles ventajas de aplicar agroquímicos con el riego en lugar de aplicarlos por medio de avionetas o tractores son:

- Aplicación oportuna del agroquímico.
- Aplicación dirigida de fertilizantes.
- Fraccionamiento de los fertilizantes y por ende mayor producción y eficiencia en el uso del fertilizante.
- Fácil incorporación y activación del químico.
- Ahorro de agua.
- Reducción de la compactación del suelo y de daños a las plantas por maquinaria.
- Reducción de riesgos para el operador.
- Mayor eficiencia en el uso de químicos.
- Reducción de la contaminación ambiental.
- Menor costos de producción.
- Aplicación mas uniforme del químico.
- Concentración de raíces en el bulbo húmedo.
- Daños en la raíces de los cultivos.
- Se requiere de menos equipo para aplicar el químico.
- Se requiere de menos energía para la aplicación del químico.
- Los nutrientes pueden ser aplicados directamente en etapas donde el cultivo las necesite.
- Los nutrientes pueden ser aplicados en donde las condiciones del suelo y cultivo prohíban la entrada en el campo con equipo convencional.

- Rápida actuación ante síntomas de carencias y facilidad de aplicar no sólo macroelementos, sino también elementos secundarios y microelementos.
- Posibilidades de utilizar las instalaciones para aplicar otros productos tales como herbicidas, fungicidas, etc.

2.11.3. Limitaciones ó desventajas de fertirrigación

- Problemas de contaminación de la fuente de abastecimiento.
- Gasto inicial de inversión elevado por unidad de superficie que con otros sistemas de riego.
- Posible des-uniformidad producidas por fallas en el sistema de riego.
- Necesidad de calibración.
- Obturaciones por precipitados causados por incompatibilidad de los distintos fertilizantes entre sí o con el agua de riego.
- Aumento de la salinidad del agua de riego.
- Requisitos administrativos mayores, ya que el retraso en las decisiones de operación pueden causar daños irreversibles al cultivo.
- El daño de roedores, insectos y humanos a tubos de goteo causa fugas y reparaciones.
- Las pequeñas aberturas del gotero se pueden taponar y requieren filtración cuidadosa del agua, y mantenimiento adecuado del equipo.

En la fertirrigación existe una serie de aspectos que deben tenerse en cuenta y que no siempre se tratan adecuadamente derivados de la propia esencia del método, es decir, la confección y el manejo de las soluciones de las mezclas, una gran mayoría de los autores considera como parámetros importantes las compatibilidades entre las sales, La solubilidad y acidez. Otras razones obvias, hablan de la potencialidad de la salinización de los fertilizantes. En cualquier caso parece lógico indicar que estos cuatro parámetros: compatibilidad, solubilidad, acidez y grado de salinización son los aspectos fundamentales que deben conocerse a la hora de elaborar una solución nutritiva (Maroto, 1991).

Chávez, (1997). Menciona que si los fertilizantes en la solución son incompatibles, entonces se producen insolubilizaciones y precipitaciones de elementos nutritivos, que los hacen menos efectivos y causan trastornos en las instalaciones del riego localizado. El cloruro potásico y sulfato potásico son compatibles con la mayoría de las soluciones. Además por parte del nitrato de calcio es incompatible con: sulfato potásico, Fosfato monoamónico, Sulfato biamónico, ácido fosfórico, sulfato amónico, sulfato magnésico.

Por otra parte no deben mezclarse fertilizantes que en su composición lleven fósforo, Hierro, y Calcio, ya que es seguro que se formen precipitados. Es necesario analizar el agua de riego para observar las aportaciones de calcio y magnesio y otros elementos para hacer ajustes necesarios.

El fosfato de amonio y los superfosfatos al ser empleados en el agua de riego con altas concentraciones de Calcio y Magnesio producen precipitados de Fosfatos de Calcio y de Magnesio que causan graves inconvenientes.

2.11.4. Compatibilidad de los fertilizantes.

Los problemas de compatibilidad se pueden observar solo cuando el fertilizante líquido se combina, ósea con otro fertilizante líquido en forma original, o se preparen en forma soluble con fertilizantes sólidos pero que sean solubles.

Para realizar la preparación de soluciones de fertilizantes con varios ingredientes se deben tomar en cuenta los siguientes pasos :

- La persona involucrada debe estar segura de la preparación de la solución, esto mediante la prueba de jarras que consiste en someter una solución de fertilizantes dentro de un recipiente con agua de riego y observar si se precipita o se forman natas en un tiempo de una hora a dos horas, ya que estas condiciones pueden ocasionar taponamientos en la salida del sistema.

- Del efecto del fertilizante líquido y la agregación de otro sobre la solución en el mismo recipiente.
- De la reacción del fertilizante líquido en el sistema de riego.
- El tipo de sistema de riego y susceptibilidad al problema de taponamiento (Burt *et al.*, 1995).

Figura 2.2. Compatibilidad de los productos fertilizantes utilizados en el experimento para fertirrigación enlistados en el cuadro 2.4. (Burt *et al.*, 1995; Covarrubias *et al.*, 1997).

1	■								
2	I	■							
3	I	I	■						
4	A	A	A	■					
5	A	A	C	I	■				
6	I	A	I	A	I	■			
7	A	A	C	C	C	A	■		
8	A	A	A	A	A	I	I	■	
9	t	t	t	t	t	C	t	t	■
	1	2	3	4	5	6	7	8	9

CLAVES

- C. COMPATIBLE. Debe de efectuarse la prueba de la disolución con el agua de riego de la región, que es de reacción alcalina.
- I. INCOMPATIBLE. No debe combinar estas fuentes, se recomienda aplicarlas en forma individual.
- A. PRECAUCIÓN. Es necesario realizar una evaluación previa de la mezcla al utilizar en disolución con el agua de riego y al aplicarlos requieren de agitación constante.
- t. COMPATIBLE. Compatible, con reacción calorífica y efervescente.

Nota: Algunos fertilizantes sólidos y líquidos tienen baja solubilidad al agua alcalina, formando precipitados en forma de “Nata”.
 Los fertilizantes húmicos al mezclarlos con agua y/o productos de reacción ácida precipitan.
 No se debe fertirrigar con soluciones ácidas muy frecuentes porque se destruye la materia orgánica del suelo.

Cuadro 2.4. Compatibilidad de fertilizantes utilizados en el experimento de fertirrigación y su presentación encontrados en el mercado de la región en base al elemento (Burt *et al.*, 1995; CESAL, 1997).

Fuentes de Nitrógeno.

FUENTE	CONCENTRACION	DENSIDAD (Kg/lt)	SOLUBILIDAD (gr/lt)
1) Urea.	46-0-0	-	1000
2) Nitrato de amonio	34-0-0	-	1920
3) Urea-Nitrato de amonio	32-0-0	1.329	-
4) Sulfato de amonio	21-0-0	-	706
5) Thiosulfato de amonio	12-0-0-26S	1.33	-

Fuentes de Fósforo.

FUENTE	CONCENTRACION	DENSIDAD (Kg/lt)	SOLUBILIDAD (gr/lt)
6) Ácido fosfórico	00-52-0	1.56	457
7) Polyfosfato de amonio	11-37-0	1.41	Alto

Fuente de Potasio

FUENTE	CONCENTRACION	DENSIDAD (Kg/lt)	SOLUBILIDAD (gr/lt)
8) Sulfato de potasio	0-0-50	-	120

Fuentes de Azufre

FUENTE	CONCENTRACION	DENSIDAD (Kg/lt)	SOLUBILIDAD (gr/lt)
9) Acido sulfúrico	-	1.84	-

2.11.5. Solubilidad de los fertilizantes

Para evitar que estos materiales ocasionen problemas, se debe preparar la mezcla mediante tandas o proporciones pequeñas para evitar que se depositen en el fondo o se forme nata en la superficie del recipiente. El cuadro 2.5 muestra la información de la cantidad de inyección de fertilizantes y minerales.

Otra de las condiciones es de que el líquido debe estar claro o transparente para que pueda drenar por el sistema. Este es un procedimiento que puede prevenir el problema de sedimentación y las natas (Burt *et al.*, 1995).

Cuadro 2.5. Información sobre la solución, composición de varios fertilizantes y como se usa en la preparación de soluciones para su aplicación durante la irrigación (Burt *et al.*, 1995).

NOMBRE	CONCENTRACIÓN	FORMULA	Tem. °C	Solubilidad g/100ml
NITRÓGENO (N).				
Nitrato de Amonio.	34-0-0	NH ₄ NO ₃	0.0	18.3
Polisulfato de amonio	20-0-0	(NH ₄) ₂ S ₅ O ₁₆		Alto
Sulfato de Amonio.	21-0-0	(NH ₄)SO ₄	0.0	70.6
Thiosulfato de Amonio.	12-0-0	(NH ₄) ₂ S ₂ O ₃	44	Alto
Anhídrido de Amonio.	82-0-0	NH ₃	15	38
Aquamonia	20-0-0	NH ₃ H ₂ O/NH ₄ OH	17	Alto
Nitrato de Calcio	15.5-0-0	Ca(NO ₃) ₂		121.2
Urea (U).	46-0-0	CO(NH ₂) ₂		100
U. Acido Sulfúrico	28-0-0	CO(NH ₂) ₂ .H ₂ SO ₄		Alto
U. Nitrato de Amonio.	32-0-0	CO(NH ₂) ₂ .NH ₄ NO ₃		Alto
FÓSFORO (P)				
Fosfato de Amonio	8-24-0	NH ₄ H ₂ PO ₄		Moderado
Polifosfato de Amonio	10-34-0	(NH ₄) ₅ P ₃ O ₁₀		Alto
Acido Fosfórico Verde	0-52-0	H ₃ PO ₄		45.7
Acido Fosfórico Blanco	0-54-0	H ₃ PO ₄		457.7
POTASIO (K)				
Cloruro de Potasio	0-0-60	KCl	20	34.7
Nitrato de Potasio	13-0-44	KNO ₃	0.0	13.3
Sulfato de Potasio	0-0-50	K ₂ SO ₄	25	12
Tiosulfato de Potasio	0-0-25-17S	K ₂ S ₂ O ₃		150
Fosfato (K) monobásico	0-25-34	KH ₂ PO ₄		33
MICRONUTRIENTES				
Boro	11% B	Na ₂ B ₄ O ₇ .10H ₂ O	0.0	2.10
Acido Bórico	17.5% B	H ₃ BO ₃	30	6.35
Solubor	20% B	Na ₂ B ₃ O ₁₃ .4H ₂ O	30	22
Sulfato de cobre *	25% Cu	CuSO ₄ .5H ₂ O	0.0	31.6
Cloruro cúprico *		CuCl ₂	0.0	71
Yeso	23% Ca	CaSO ₄ .2H ₂ O		0.24
Sulfato férrico *	20% Fe	FeSO ₄ .7H ₂ O		15.65
Sulfato de Magnesio	9.67% Mg	MgSO ₄ .4H ₂ O	20	71
Sulfato de Manganeso *	27% Mn	MnSO ₄ .4H ₂ O	0.0	105.3
Acido de molibdato	54% Mo	(NH ₄) ₆ Mo ₇ O ₂₄ .4H ₂ O		43
Molibdato de sodio	39% Mo	Na ₂ MoO ₄	6.8	
Sulfato de zinc	36% Zn	ZnSO ₄ .7H ₂ O	20	95.5
Quelatos de zinc	5%-14% Zn	DTPA&EDTA		Muy Soluble
Quelato de Manganeso	5%-12% Mn	DTPA&EDTA		Muy Soluble
Quelato de fierro	5%-14% Fe	DTPA&HOEDTA&EDDHA		Muy Soluble
Quelato de cobre	6% Zn	DTPA&EDTA		Muy Soluble
Lignosulfonato de zinc	5%-14% Mn	Lignosulfonato		Muy Soluble
Lignosulfonato de Mn	6% Fe	Lignosulfonato		Muy Soluble
Lignosulfonato de fierro	6% Cu	Lignosulfonato		Muy Soluble
Lignosulfonato de cobre		Lignosulfonato		Muy Soluble
Sulfato de calcio	59%	CaS ₅ -Ca ₂ SO ₃ .5H ₂ O		Alto
Acido Sulfúrico		H ₂ SO ₄		Muy Alto

* Acidificado

2.11.6. Composición y acidez de algunos fertilizantes

En teoría pueden utilizarse en el riego por goteo todo tipo de fertilizantes sin embargo por los problemas que se puedan plantear respecto a la solubilidad y compatibilidad en agua es la composición de los fertilizantes, en elementos fertilizantes principalmente los comerciales que tienen diferentes porcentajes de N-P-K así como el grado de acidez, estos son mostrados en el cuadro 2.6. (Medina, 1979).

Cuadro 2.6. Composición y acidez de algunos fertilizantes (Medina,1979; Enciso, 1995).

FERTILIZANTES	N %	P ₂ O ₅ %	K %	Ca %	S %	Equilibrio de Acidez *
Amoniaco	82					
Nitrato amónico	33.5					62
Sulfato amónico	21				24	110
Fosfato monoamonico	11	48				58
Fosfato biamónico	18	46-48				70
Nitrato cálcico	15.5			21		-20
Nitrato potasico	13		44			23
Nitrato Sódico	16					
Urea	46					71
Fosfato bicálcico		38-42				
Superfosfato simple		18-20		18-21	12	
Superfosfato triple		45-46		12-14	1	
Sulfato potásico			50-53			Neutro
Cloruro de potasio			60-62			Neutro
Aquamónia	20					36
Acido fosfórico			52			110

*Kgs. De CaCO₃ que son requeridos para neutralizar 100 Kg. De Fertilizante.

2.11.7. Índice de sal de algunos fertilizantes

El índice de sal de un fertilizante es la relación del aumento en la presión osmótica de la solución del suelo, producida por un fertilizante, comparado con el aumento producido por la misma cantidad de nitrato de sodio, basado en 100 el índice de salinidad del nitrato de sodio. Una excesiva concentración de sales solubles en la solución del suelo puede causar deshidratación en la planta, daños, y eventualmente la muerte de esta.

En términos generales, mientras menor es el índice salino de un fertilizante, menor es la posibilidad que este puede provocar daños a las semillas o a las plantas. Esto es especialmente válido si el fertilizante queda en contacto directo con la planta, tal como ocurre en fertilizaciones foliares o en bandas cerca de la semilla en la siembra.

Los principales iones que contribuyen a incrementar la salinidad del suelo son :

CLORUROS (Cl ⁻)	SODIO (Na ⁺)	SULFATOS (SO ₄ ⁻²)
BICARBONATOS (HCO ₃ ⁻)	CALCIO (Ca ⁺²)	MAGNESIO (Mg ⁺²)

Los principales efectos negativos de las sales son:

- Osmótico: Stress por sequía fisiológica.
- Nutricional: Antagonismos.
 - El sodio dificulta la absorción de calcio y potasio.
 - Los cloruros compiten con la absorción de los nitratos.
 - Los bicarbonatos inducen clorosis férrica.
- Tóxico: Toxicidad específica por cloruros, sodio y boro.

Además de las características antes señaladas, se debe considerar:

- Antagonismo entre iones en el proceso de absorción.
- La conductividad eléctrica resultante de la aplicación del fertilizante.
- El pH resultante de la aplicación del fertilizante. (Venegas, 1998).

Cuadro 2.7. Valores de los índices de sal de algunos fertilizantes (Medina, 1979).

FERTILIZANTES	INDICE DE SAL
Amoniaco	47.1
Nitrato amónico	104.7
Sulfato amónico	69.0
Fosfato monoamónico	34.2
Fosfato biamónico	24.0
Nitrato cálcico	52.5
Nitrato potásico	73.6
Nitrato Sódico	100.0
Urea	75.4
Fosfato monocálcico	15.4
Superfosfato simple	7.8
Superfosfato triple	10.1
Sulfato potásico	46.1
Cloruro Sódico	153.8
Cloruro potásico	116.3
Yeso	8.1

El abonado aporta al suelo una serie de sales, por lo que lógicamente cuando mayor es el índice de sal mayor es la cantidad de sales que el fertilizante aporta al suelo y por lo tanto mayor riesgo de salinización del terreno, por ello es que deberán vigilarse los índices para que no presenten problemas de salinización del terreno. Para poder elegir los que sean más convenientes se presentan algunos fertilizantes con su índice de sal en el Cuadro 2.7. (Medina, 1979).

2.11.8. Características de los diferentes fertilizantes

No es común que el nitrógeno provoque problemas de taponamiento en los sistemas localizados, sin embargo cuando se acumulan en las líneas pueden promover el crecimiento microbial y presentarse el taponamiento, por lo que, es importante dejar correr el agua de riego por lo menos 20 minutos a una hora después de aplicar nitrógeno (Enciso, 1995).

Las formas amoniacales producen por lo general más ácido que otras formas de nitrógeno. Como regla general no se deben mezclar con ácido sulfúrico concentrado especialmente cuando el pH es menor de 4.5 (Purdi, 1994 citado por Burt *et al.*, 1995), porque causa que el calcio e iones de magnesio en el agua se precipiten en calcio e hidróxido de magnesio y carbonatos que producen el taponamiento de los emisores de las líneas (Enciso, 1995).

Los fosfatos inyectados al sistema pueden reaccionar con el calcio y el magnesio produciendo precipitados insolubles que tapan los emisores. Para evitar estos taponamientos, se debe acidificar la solución ya sea mezclando con ácido sulfúrico o inyectando ácido sulfúrico inmediatamente después de la inyección de fósforo.

Los requerimientos de las plantas de potasio muchas veces se satisfacen con acumulaciones naturales que existen en los suelos. Los fertilizantes más empleados como fuente de Potasio son los cloruros, los sulfatos y los nitratos estos no presentan problemas de taponamiento con su uso. Cuando se inyecta potasio es necesario calentar su mezcla antes de inyectarla con el fin de solubilizarla completamente .

Otros de los micronutrientes que frecuentemente se utilizan son: boro, cobre, hierro, zinc, magnesio y molibdeno. Los quelatos o sales sulfuradas que contienen estos micronutrientes deben ser predisueltas antes de inyectarlos al sistema de riego.

2.11.9. Reglas básicas para las mezclas

- Siempre llenar el recipiente a un 50 o 75% de agua para la mezcla.
- Siempre se agrega fertilizante sólido o fertilizante soluble .
- Siempre hay que agregar el ingrediente seco lentamente y manteniendo en agitación circular para prevenir la formación de masa o grumulos, por la lenta solubilidad.
- Siempre colocar o poner el ácido dentro del agua, no el agua en ácido.
- Cuando se trata de aguas cloradas, siempre se añade el cloro el en agua, y no viceversa.
- Nunca mezclar un ácido o fertilizante ácido con cloro, porque alternativamente el cloro forma gases o líquidos en forma de hipoclorito.
- No intentar mezclar anhídrido de amonio o agua amoniacal con cualquier ácido, porque la reacción es violenta e inmediata.
- No hacer o intentar hacer mezclas de soluciones de concentrado de fertilizantes directamente con otras concentraciones de fertilizantes.
- No mezclar los compuesto que contengan sulfato con otros compuesto que contengan calcio, porque se forma en la mezcla yesos insolubles .
- Siempre antes de suministrar cualquier químico checar la información sobre su solubilidad y su compatibilidad.
- Tener extrema precaución sobre las mezclas de fertilizantes de urea sulfúrica con otros compuestos.
- No mezclar fertilizantes que contengan fósforo con otros fertilizantes que contengan calcio. Sin antes hacer la prueba de la jarra.
- Las aguas extremadamente duras o sólidas. (Contienen grandes cantidades relativas de Calcio y Magnesio en combinación con fósforos, polifosfato neutral o compuestos de sulfato en forma de sustancias insolubles). (Burt, *et al* .,1995; Reuter y Robinson 1986).

Datos necesarios para realizar adecuadamente la programación de la fertirrigación:

- Análisis de suelo.- Este permitirá evaluar el nivel de fertilidad y las características físico-químicas que pueden afectar el comportamiento y eficacia de los fertirriegos.
- Composición química del agua de riego. Se deducirá la cantidad de elementos nutritivos que aporta así como la salinidad y elementos tóxicos que pudieran afectar a la productividad del cultivo.
- Rendimiento de cosecha esperado.
- Necesidades periódicas de agua.
- Necesidades totales y distribución según estado vegetativo.
- Correcciones a tener en cuenta en el suelo y agua de riego. (Rincón, 1991).

El análisis del agua es de vital importancia por los problemas de salinidad y problemas de obturaciones. En problemas de salinidad, los iones que forman parte de una molécula de cualquier sal, al disolverse en agua se une a ciertas cantidades moleculares de agua que las retienen; quedando menos agua libre para ser absorbida por las raíces de las plantas.

2.11.10. Componentes del sistema de fertirrigación

Los principales componentes de un sistema de fertirrigación son: El tanque fertilizador, el sistema de inyección, el sistema de prevención de retroflujo, y el dispositivo de calibración, (Figura 2.3), de estos el sistema de calibración es el componente más importante. Todos los componentes del sistema de fertirrigación deben ser construido de materiales que permitan resistir la acción corrosiva de los químicos inyectados. Algunos de estos materiales son: Acero inoxidable, polipropileno, polietileno, teflon, hupalon y viton (Enciso, 1995).

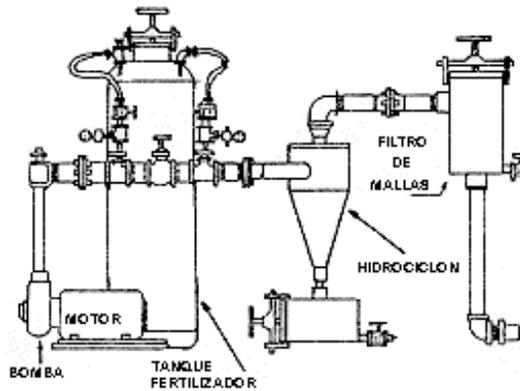


Figura 2.3. Componentes de un sistema de fertirrigación.

2.11.11. Normas practicas de fertirrigación

Frecuencia: En horticultura se recomienda abonar en cada riego. En fruticultura no se debe aplicar menos de una fertirrigación por semana, pero no hay inconveniente en que el agua de riego lleve siempre fertilizantes, salvo que se dieran las precipitaciones.

Concentración: la concentración de la solución madre en el agua no debe exceder de 700 ppm. (0.7 Lts/m^3) en ningún momento de la temporada de riego o 0.1% del volumen de riego aplicado.

Prevención de precipitados: la prevención de precipitados y obturaciones exige el filtrado del agua de riego y en ciertos casos el tratamiento con ácidos, alguisidas, etc.

Salinidad: el agua de riego después de recibir la solución madre no debe presentar una salinidad superior a la tolerada por los cultivos, por lo que se deben tomar en cuenta los demás factores que intervienen: suelo, frecuencia de riego, régimen de lluvia (Pizarro, 1990).

2.11.12. Manejo de la solución nutritiva

Chávez, (1997). Afirma que en relación al establecimiento de mezclas, una gran mayoría de investigadores consideran como parámetros importantes las compatibilidades entre las sales, su solubilidad y su acidez.

Los fundamentos que deben conocerse a la hora de preparar una solución nutritiva de fertilizantes son:

- Compatibilidad
- Solubilidad
- Acidez
- Grado de salinización

Casos concretos:

Nitrato amónico:

- Muy soluble (1920 grs/lts.)
- Acidificante.
- Elevada capacidad de salinización.

Nitrato de calcio:

- Menos soluble (1200 gr./lts a 20 °C).
- Presenta incompatibilidades con sulfato magnesico, nitrato amónico y sulfato potásico.

Fosfato tricálsico:

Con agua cálcicas y pH 6.5 existen precipitaciones ; siendo más eficientes en estos casos los fosfatos monoamónico, biamónico o ácido fosfórico concentrado.

En este sistema, se controlan las concentraciones teniendo en cuenta la Conductividad Eléctrica (C.E). de la solución en el suelo. A parte de hacerse en función del programa de nutrición desarrollado para el cultivo. Los fertilizantes potásicos no presentan este tipo de problemas.

A la hora de establecer mezclas se aconseja que se disuelvan primero los fertilizantes más solubles así como la agregación de ácidos al inicio. La adición de ácidos (Fosfórico o sulfúrico), en particular el ácido nítrico es muy recomendable, por su acción indirecta contra la formación de obturaciones en los emisores por precipitación de sales.

Es recomendable no sobrepasar la concentración de 2 gr./lts. Para especies muy sensibles el límite es de 1 gr./lt. Es esencial conocer la calidad del agua de riego, puesto que una C.E. de 1000 micromhos/cm = 0.64 gr./ lt. de sales; estaría limitando en parte la aplicación de nutrimentos. Para la C.E. a considerar en el suelo, se menciona una tolerancia máxima de 3500 micromhos/cm, que son $3500 \times 0.64 = 2.2$ gr./lt. En este sistema, se controlan las concentraciones teniendo en cuenta la C.E. de la solución en el suelo. A parte de hacerse en función del programa de nutrición desarrollado para el cultivo.

2.12. Nutrientes

Ramírez, (1993). Considera que todos los elementos del suelo son requeridos por la planta para su desarrollo, algunos son utilizados por ella en mayor cantidad que otros, sin embargo, el abonado debe ser completo, nitrógeno, fósforo, potasio y elementos menores.

2.12.1. Nitrógeno en la producción de manzana

Matt, (1972). El nitrógeno es importante para una satisfactoria iniciación y desarrollo de yemas florales y ha mostrado tener un importante efecto sobre la calidad de el amarre de flores, se sabe que incrementa la tasa de crecimiento del tubo polinizador y alarga la vida de los estilos en las partes femeninas de las flores. Cuando el nivel de reserva de nitrógeno en el árbol en primavera y otoño es bajo, esto puede resultar en un pobre amarre, especialmente si ocurren otros factores adversos como bajas temperaturas o inadecuadas coincidencias en floración con las variedades polinizadoras.

Miller y Clen, (1985). Mencionan que de los elementos esenciales, el nitrógeno es el nutriente más importante para mantener un adecuado nivel de crecimiento y producción en árboles de manzano. La mayoría de las investigaciones de este elemento, se refiere a la fertilización en huertos de baja densidad de plantación con variedades establecidas sobre portaingertos francos y con sistema de cobertura de pasto ; sin embargo, estudios recientes están enfocados hacia la obtención de información sobre el uso del nitrógeno en huertos con alta densidad de plantación y con portaingertos clonales.

Ramírez, (1993). El manzano requiere de nitrógeno en cantidades notorias, debido a que forma parte de muchos compuestos importantes, especialmente de las proteínas que ejercen influencia sobre el color del follaje y el crecimiento de la planta, además estas son básicas para el rendimiento del frutal y además factores que regulan asimilación del carbono atmosférico también favorece a la formación de yemas y brotes fructíferos.

La falta del nitrógeno en el manzano se manifiesta por el retraso del desarrollo y escaso vigor de los brotes, cuya corteza suele presentar una coloración amarillenta o rojiza; las hojas son pequeñas, de color verde pálido al principio y acaban por amarillarse; la floración es poco abundante; los frutos son pequeños de mediana calidad y sin aroma. El exceso del nitrógeno no es conveniente, pues propicia un exuberante desarrollo vegetativo y alarga el ciclo de la fructificación.

2.12.2. El fósforo en la producción de manzana

El árbol de manzano es favorecido por el fósforo durante la floración, cuajado de fruto y acumulación de reservas de los tejidos para el siguiente año, se favorece también al sistema radicular y a la maduración de los frutos. Su deficiencia se aprecia cuando las hojas, presentan un color rojizo. La carencia de este elemento se manifiesta en las hojas pequeñas con nervaduras de color púrpura por el envés. Para manzano en formación, la

época de aplicación se recomienda dos meses después de la brotación, en una dosis de 50 a 75 gr. por año de edad del árbol. Para el manzano en producción, la época de aplicación en la cosecha, a la caída del pétalo, con una dosis de 8 a 10 gr. por año de edad del árbol (Trocme, 1979).

Encontró evidencias de que la absorción de fósforo por el manzano fue severamente restringida bajo condiciones de saturación y con altos valores de densidad aparente, lo cual limita el suministro de oxígeno a las raíces (Habib, 1983).

El fósforo al igual que el nitrógeno, es necesario para formar las proteínas ; contribuye a fortalecer las raíces y las ramas principales del manzano, facilitando una buena floración y el cuajado de flor; Interviene también en la formación de semillas y en la lignificación o endurecimiento de la madera, aumenta la riqueza en almidón, azúcar y fécula, y activa la flora microbiana de los suelos (Alvarez, 1988).

Las raíces son capaces de absorber fósforo de soluciones de bajo contenido de este elemento (Lonerangan y Asher, 1983) y en contra de un gradiente de concentración muy alto, ya que se estima que las células radicales contienen de 100 a 1000 veces mayor cantidad que la solución del suelo, lo cual muestra que su absorción es activa. (Mengel y Kirky, 1982).

2.12.3. El potasio en la producción de manzana

El potasio participa en la síntesis de hidratos de carbono y proteínas, disminuye la transpiración mediante el cierre estomático al acumularse el potasio en las células grandes y al permitir una economía de agua; aseguran una resistencia a la sequía, mantiene la turgencia de las células, favorece el desarrollo de las raíces, aumenta la resistencia a las heladas; proporciona aroma, dureza, sabor y conservación a la fruta (Tamaro, 1974).

Los síntomas de carencia de potasio suelen advertirse en primavera, hacia mayo ; estos se manifiestan cuando las hojas presentan menos de 0.75% de potasio, respecto a la materia seca de las mismas. Para los manzanos en formación y en producción se recomienda una dosis de 10 gr. por año de edad del árbol; para el manzano en formación, un mes después de la brotación y para el manzano en producción, en la cosecha, en la caída de los pétalos. Para los manzanos jóvenes se recomienda la formula 5-10-15 respecto a la fertilización N-P-K (En cantidades de 225-335 Kg./ha), mientras que para el manzano con rendimiento medio la formula 12-8-18 a razón de 450 a 650 Kg./ha, cantidad que debe aumentarse hasta 800 a 1,100 Kg./ha, para árboles de gran producción.

2.12.4. El azufre en la producción de manzana

Forma parte de las proteínas, interviene en la actividad del cambio, favorece al desarrollo de las raíces. En los terrenos no suelen faltar, ya sea en forma de mineral u orgánica, puede formar parte del estiércol y de muchos abonos minerales como el superfosfato de azufre, cal (12% de azufre), sulfato de potasio (18%), Sulfato amonico (23%), etc. Las pulverizaciones con fungicidas, tales como el azufre, Zineb, Captan, etc., son buena fuente del mismo (Alvarez, 1988).

2.13. Efecto de los fertilizantes en el agua de riego

Chavez, (1997). Menciona que al disolver los fertilizantes en el agua, las características químicas de esta se ven alteradas. Estas alteraciones influyen en dos aspectos principales: 1.- Modifican la CE, ya que la adición de las distintas sales fertilizantes aumentan el contenido salino del agua. Es decir se reduce la calidad del agua desde el punto de vista osmótico, y puede repercutir en forma negativa en el cultivo.

Lo ideal es que los fertilizantes no aumenten en más de 1 mmho/cm la CE del agua cuando ocurren precipitaciones de calcio, ya que en pH alcalino, este catión es menos soluble. Por el contrario, si se baja el pH, se evitan obstrucciones y se limpia la instalación. El pH del agua de riego deberá estar comprendido entre 6.0 y 6.5, para evitar precipitaciones.

Corrección del pH: en suelos alcalinos, se efectúa mediante la adición de ácidos tales como: ácido nítrico, ácido sulfúrico y ácido fosfórico. En suelos ácidos, se efectúa por la adición de Hidróxido de Potasio y Hidróxido de Sodio.

Para corregir el pH es necesario calcular la cantidad de ácidos requerido para bajar el pH (curvas de neutralización), estos cálculos se hacen en algún laboratorio.

Para la aplicación de fertilizantes al agua de riego, lo ideal es instalar bombas inyectoras ya que se pueden introducir en el agua de riego las cantidades deseadas.

Solución fertilizante:

- Recipiente de plástico resistente a ácidos.
- Agitador manual, hidráulico o eléctrico.
- Determinada cantidad de agua.

2.14. Efectos de fertirrigación en manzano

2.14.1. Efectos del nitrógeno

El nitrógeno inyectado en forma de urea tendió a incrementar el porcentaje de nitrógeno foliar de 2.54 a 2.56%. También se observa que la asimilación de nitrógeno fue estimulada por el fósforo, pues al incrementar la dosis de 50 a 100 kg./ha. de P_2O_5 la concentración de nitrógeno se elevó de 2.54 a 2.58%; esto último se puede apreciar comparando las dosis.

El cultivo del manzano para obtener una producción de 10.9 ton/ha. extrae del suelo aproximadamente las siguientes cantidades de nutrientes: 34 kg./ha. de nitrógeno, 11 kg./ha. de P_2O_5 , 50 kg./ha. de K_2O , 9 kg./ha. de Ca, 6 kg./ha. de S y aproximadamente de 33 gr./ha. de Cu, Mn, y Zn.

La fuente de nitrógeno como sulfato contiene más materia inerte que la fuente de nitrógeno como nitratos o urea, además la solubilidad, y la efectividad de asimilación es más alta en $N-NO_3$ que en la $N-NH_4$ por lo mismo se sugiere incorporar nitrógeno de amonio o urea en los programas de fertirrigación.

Al incrementar la dosis de nitrógeno de 33 a 100 kg./ha. inyectado en forma de sulfato de amonio, la producción de manzano tendió a disminuir, donde la concentración foliar de nitrógeno encontrado en los árboles tratados con 33, 66 y 100 kg./ha. fueron de 2.54, 2.54 y 2.50%, respectivamente.

La concentración de nitrógeno encontrada en la muestra de agua del tanque fertilizador se encontró que las concentraciones son muy altas en comparación con las del suelo, en correlación con las dosis 2, 3 y 4 (33, 66 y 100 Kg./ha respectivamente) inyectados, estos valores encontrados en el tanque, no quiere decir que la planta lo va a aprovechar, las concentraciones se van perdiendo en el trayecto hasta llegar a su destino (la zona de absorción de las raíces), por diferentes factores como la volatilización, pérdidas en la dilución, encostramiento después del riego y por percolación. (Limón, 1997).

2.14.2. Efectos del fósforo

Limón, (1997). El fósforo es relativamente inmóvil en el suelo y cuando se coloca en la superficie en la forma PO_4^- profundiza poco menos de 15 cm. en la extracción antes que quedar fijado en los coloides del suelo y por las raíces del cultivo, estas deben desarrollarse rápidamente, para buscarlo y tomarlo de la región del suelo fertilizado con PO_4^- ó ayudar al cultivo colocando el fertilizante fosfato lo mas próximo al sitio de consumo accesible.

Al parecer al aplicar 50 Kg. de fósforo/ha se mantuvieron altas las respuestas en el cultivo, al incrementar la dosis de P_2O_5 , donde la concentración de fósforo en las hojas fue de 0.15, 0.15 y 0.17% para las aplicaciones de 0, 50 y 100 Kg. de fósforo/ha, respectivamente.

2.14.3. Efectos del potasio

Al comparar la dosis de tratamiento 0 Kg./ha. de potasio contra la dosis de 100 Kg./ha. se noto un incremento en el potasio foliar de 1.55 a 1.58 (ambos valores adecuados para la nutrición del manzano).

En cuanto a los rendimientos del fruto el incremento fue del orden del 20% y la producción por árbol fue más consistente mientras que en los arboles sin potasio los rendimientos además de ser inferiores mostraron mas variabilidad entre ellos, el potasio fisiológicamente ayuda a las plantas en la transpiración para resistir los periodos de sequía sin reducir el potasio asimilado acumulado en los tejidos, además de que el cultivo del manzano es muy consumidor de potasio aproximadamente en relación N:P:K de 3:1:4.5 (Limón, 1997).

2.14.4. Efectos de micronutrientes

Se debe considerar los efectos de antagonismo y sinergismo que en nutrición vegetal se desencadenan por la fertilización no balanceada de los nutrientes; por ejemplo una deficiencia de hierro puede ser causada por exceso de nitrógeno, exceso de fósforo y la falta de potasio. Así mismo la concentración foliar de hierro se reduce en condiciones de calcio excesivo, en el suelo, pH alcalino, cuando los bicarbonatos son excesivos, o cuando la materia orgánica es reducida y los suelos están fríos ó húmedos.

La deficiencia de zinc en la planta puede ser causada por excesivas aplicaciones de fósforo, alta dosificación de magnesio elevada por el suelo, y cuando el subsuelo infertil es expuesto con el suelo arable y por el elevado contenido de materia orgánica si se recuerda el suelo es extremadamente rico en materia orgánica (Limón, 1997).

III. MATERIALES Y METODOS

3.1. Descripción del sitio experimental

3.1.1. Localización geográfica

El experimento fue establecido en la huerta “La Rosita”, esta se encuentra localizada en la Sierra de Arteaga, ubicada cerca del poblado de Jamé, municipio de Arteaga Coah., cuyas coordenadas geográficas son de 25° 22' latitud Norte y 100° 37' de longitud Oeste, a una altitud de 2280 msnm. (Figura 3.1).

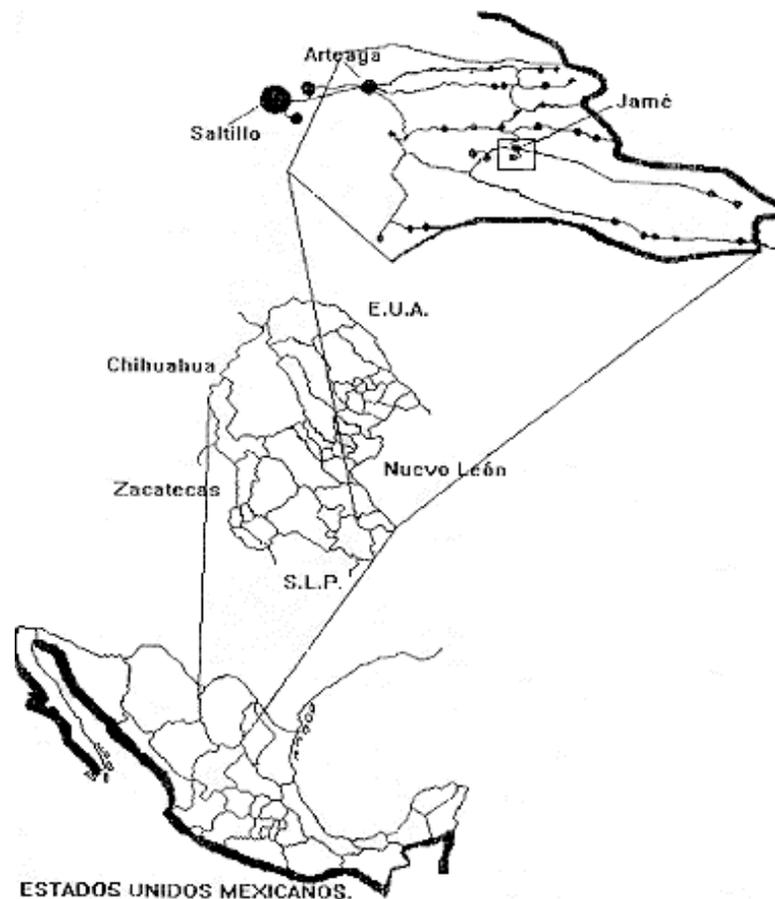


Figura 3.1. Localización geográfica del lote experimental.

3.2. Características del área de estudio

Según los registros tomados de las entidades ubicadas en la Villa de Arteaga y en las congregaciones de San Antonio de las Alazanas, indican que las condiciones ambientales que la altitud varia de 1 600 a 2 600 msnm, la temperatura media anual es de 14.4 °C, con una máxima de 36 °C y una mínima de -8.5 °C; La precipitación pluvial media anual es de 550 mm y la evaporación varia de 1 409 a 1 518 mm; se presentan en la región anualmente alrededor de 36 días lluviosos, aunque algunos años, en los meses de abril y agosto, se presentan lluvias abundantes. En los cuales de tres a cinco se registran precipitaciones de granizo; el número de días despejados es de 255 y los días en que se presenta niebla son alrededor de 25. La presencia de heladas en la región es muy común, estas inician en octubre para finalizar en abril, con registro de 34 días de heladas; En años recientes las heladas tardías se han presentado en marzo y abril, y han ocasionado pérdidas que oscilan entre el 30 y 60% de la producción de manzana. (Ramírez y Cepeda, 1993).

El cañón de Jame, se encuentra comunicado con los Lirios por la carretera que une a este a Los Chorros con la carretera federal número 57 y además se conectan con San Antonio de las Alazanas sin recurrir a la carretera Nacional. La isoterma media máxima de 21 °C en los meses de mayo-junio-julio y una mínima de 9 °C entre septiembre-octubre. De noviembre-abril, menciona una temperatura máxima de 15 °C y una mínima de 3 °C, de 1 a 8 días con heladas promedio en los meses de diciembre-enero-febrero. Con precipitación pluvial total de 250 a 325 mm entre mayo-octubre, y de 75 a 200 mm. en noviembre-abril. (INEGI, 1997).

3.2.1. Características del suelo y agua

Los análisis de suelo se tomo de la tesis profesional de (limón, 1997), los cuales se realizaron en el laboratorio de Calidad de Aguas del Departamento de riego y Drenaje de la Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro y el análisis de agua se realizo en el laboratorio del Patronato para la investigación Agrícola del Estado de Coahuila, A.C. reportándose las siguientes características.

Cuadro 3.1. Características de la calidad del agua de riego usada en el experimento de fertirrigación en manzano, (1997).

Parámetros y unidades	Concentraciones encontradas (a)	Concentración es Umbral (b)
Conductividad Eléctrica ($\mu\text{mhos/cm}$)	739 μs	750
Potencial Hidrogeno pH	7.62	7.0-8.5
Potasio K^+ (ppm)	340	Su actividad se evalúa en CSR
Calcio Ca^{++} (meq/litro)	4.0	
Magnesio Mg^{++} (meq/litro)	6.0	
Carbonatos CO_3^- (meq/litro)	2.62	Su actividad se evalúa en CSR
Bicarbonatos HCO_3^- (meq/litro)	5.25	
Cloruros Cl^- (meq/litro)	2.5	2.82
Sulfato SO_4^- (meq/litro)	22.48	4.17

a. Análisis en laboratorio del Patronato para la Investigación Agrícola del Estado de Coahuila, A.C.

b. Reglamento para la Prevención y Control de la contaminación CNA, criterios de evaluación para riego.

Cuadro 3.2. Condiciones iniciales del suelo en la huerta de manzano (Limón, 1997).

Propiedades de fertilidad		Condiciones de salinidad	
pH	7.8	C.E. (Ds/m)	1.123
Materia Orgánica(%)	4.7	Na^+ (meq/l)	0.9
Nitrógeno total (%)	0.235	K^+ (meq/l)	----
Potasio (Kg./ha.)	1125	Ca^{++} (meq/l)	6.3
Fósforo (Kg./ha.)	27.9	Mg^{++} (meq/l)	5.4
Carbonatos Tot. (%)	15.1	Cl^- (meq/l)	3.5
Textura	Arcilla	HCO_3^- (meq/l)	3.0
Arcilla (%)	53.2	CO_3^- (meq/l)	0.5
		SO_4^- (meq/l)	5.99

De las muestras de suelo tomadas por Limón, (1997). Se obtuvieron las siguientes características: textura arcillosa, humedad a capacidad de campo (C.C.) de 23.1%, humedad a punto de marchitez permanente (P.M.P.) de 12.6% y densidad aparente de 1.26 gr./cc.

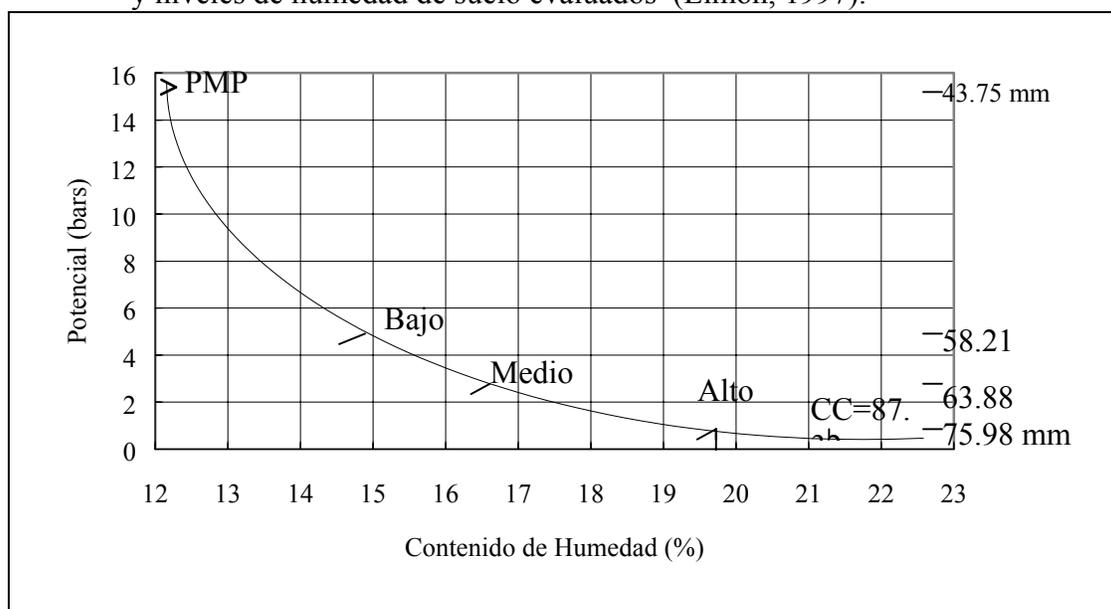
3.3. Diseño experimental

3.3.1. Diseño de tratamientos

El diseño experimental de tratamientos se desarrollo en una parcela con arreglo de bloques al azar, 10 tratamientos de fertilización y 3 niveles de humedad en el suelo con treinta tratamientos factoriales de 3X10, cada unidad consto de diez arboles, con una parcela útil de 8 arboles centrales donde cada dos arboles fue una repetición.

Los regímenes de humedad que se probaron fueron 1, 3 y 5 bar que se designaron como alto, medio y bajo respectivamente, se obtuvieron de la curva de retención de humedad, característica del sitio experimental, ver figura 3.2. El muestreo de la humedad se efectúo en el estrato 5-35 cm. de profundidad como estrato de control y se realizo con un dispersor de neutrones, previamente calibrado por el Covarrubias *et al.*, 1997.

Figura 3.2. Curva característica de humedad del lote experimental, a profundidad 0-30 cm. y niveles de humedad de suelo evaluados (Limón, 1997).



La relación de los tratamientos programados de fertilización se presenta en el cuadro No. 3.3 y en el 3.4 las dosis de fertilización aplicadas semanalmente. Para la selección de las fuentes y rangos de exploración se tomaron en cuenta los resultados experimentales, obtenidos en la Sierra de Artega, Coah., por Limón (1997) y otras regiones productoras de manzana en el mundo y también las sugerencias hechas por (Burt *et al.*, 1995).

Cuadro 3.4. Tratamientos programados de fertilización (cada uno de los tratamientos de fertilización fue repetido bajo 3 niveles de humedad del suelo, Bajo, Medio y Alto) Covarrubias *et al.*, 1997.

No. Trat	NUTRIENTES				FUENTES
	N	P ₂ O ₅	K ₂ O	S	
1	0	40	0	0	H ₃ PO ₄
2	20	40	0	6.6	(NH ₄) ₂ S ₂ O ₃ + (NH ₄) ₇ P ₅ O ₁₆ + H ₂ SO ₄
3	40	40	0	6.6	(NH ₄) ₂ S ₂ O ₃ + (NH ₄) ₇ P ₅ O ₁₆ + H ₂ SO ₄
4	20	40	0	0	NH ₄ NO ₃ + H ₃ PO ₄
5	20	40	0	6.6	CO(NH ₂) ₂ ; NH ₄ NO ₃ + (NH ₄) ₇ P ₅ O ₁₆ + H ₂ SO ₄
6	20	0	0	26.6	(NH ₄) ₂ SO ₄ + H ₂ SO ₄
7	20	40	0	26.6	(NH ₄) ₂ SO ₄ + H ₃ PO ₄ + H ₂ SO ₄
8	20	80	0	26.6	(NH ₄) ₂ SO ₄ + H ₃ PO ₄ + H ₂ SO ₄
9	20	40	0	0	CO(NH ₂) ₂ + H ₃ PO ₄
10	20	40	69	6.6	(NH ₄) ₂ SO ₄ + (NH ₄) ₇ P ₅ O ₁₆ + K ₂ SO ₄ + H ₂ SO ₄

Cuadro 3.4. Dosis de las fuentes de fertilizantes utilizadas para fertirrigación semanalmente (CESAL, 1997).

No. Trat	Sulfato de amonio (gr)	Nitrato de amonio (gr)	Urea (gr)	Urea-Nitrato de (ml)	Thiosulfato de amonio (ml)	Polifosfato de amonio (ml)	Acido fosfórico (ml)	Acido sulfúrico (ml)	Sulfato de Potasio (gr)
1							130		
2					100	182		20	
3					500	182		20	
4		142					130		
5				38		182		20	
6	228							80	
7	228						130	80	
8	228						260	80	
9			104				130		
10			26			182		20	300

3.3. 2. Arreglo en campo

La parcela experimental fue de seis líneas de árboles de manzano en 100 metros de largo tomando dos líneas para probar cada régimen de humedad; la separación de árbol en la línea fue de dos metros y la separación entre líneas fue de 4 metros lo que representa una área experimental aproximadamente de 2400 metros cuadrados y con una densidad de 300 árboles.

Figura 3.3. Distribución de los tratamientos en el lote experimental con 10 tratamientos de fertilización y 3 regímenes de humedad del suelo.

		100 m.					
5 Bar	xxxxxxxxxx						24
(Bajo)	10	3	7	5	1		
	4	8	6	2	9		
3 bar							
(Medio)	3	2	9	8	10		
	7	5	1	4	6		
1 bar							
(Alto)	9	6	10	6	5		
	8	4	1	5	2		
<p>*Bomba inyectora</p> <p>x = Representa a un árbol, y cada número a la distribución de los tratamientos.</p>							

3.3.3. Modelo experimental

El modelo experimental fue con treinta tratamientos en factorial de 3X10 .

El modelo factorial experimental fue $Y_{ijk} = \mu + R_k + \alpha_i + \beta_j + (\alpha\beta)_{ij} + \varepsilon_{ijk}$

Donde : Y_{ijk} = Respuesta al efecto de los tratamientos de la i-esima regímenes de humedad del j-esimo, dosis de fertilización.

μ = Es el efecto de las medias.

R_k = Es el efecto de las repeticiones.

α = Es el efecto de los regímenes de humedad.

β = Es el efecto de fertilización..

$\alpha\beta$ = Es la interacción humedad fertilización.

ε = Es el error.

$i = 1, \dots, 3$ regímenes de humedad.

$j = 1, \dots, 10$ dosis de fertilización.

$k = 1, \dots, 3$ repeticiones.

3.4. Manejo del cultivo

Preparación del terreno: el área del experimento se realizo en una huerta joven de manzano (4 años de edad) de la variedad Golden (estándar) injertada sobre el portainjerto MM106. La distancia de plantación es de 4X2 m., que cuenta con un sistema de riego por goteo.

Practicas del cultivo: se efectuaron rastreos entre líneas de arboles para la eliminación de maleza, así como la aplicación de herbicida para el control entre los arboles, se raleo a una manzana por brote y se amarraron todos los arboles del experimento para la formación del árbol.

Aplicación de los tratamientos: las dosis totales de cada tratamiento fueron fraccionadas en aplicaciones semanales. Para nitrógeno 10 aplicaciones de la 1ª semana de abril a la 1ª de junio, para fósforo 18 aplicaciones de la 1ª semana de abril a la 4º de julio, para potasio 14 aplicaciones de la ultima semana de abril a la 1ª de julio, el azufre durante

todas las aplicaciones para acidificar a un pH de 6.0 aproximadamente. Cada mezclas de fertilizantes fueron aplicadas consecutivamente una tras otra, con un intervalo de lavado entre cada aplicación.

En los arboles se tomaran muestras foliares en las que se determinaran todos los macronutrientes. El crecimiento vegetativo como diámetro de tronco, y producción en calidad y rendimientos de fruto.

Riegos: los riegos se aplicaron mediante un sistema de riego por goteo ya establecido en la huerta, el cual esta calibrado para distribuir un gasto de 4.1 lph., cuenta con reguladores de presión para operar a 15 psi, en líneas de manguera Rex de 16mm con goteros insertados a cada metro. Los riegos fueron programados en base a la humedad del suelo determinada semanalmente con un dispersor de neutrones.

Cosecha: se realizo manualmente recolectando en cajas de madera y clasificando para su peso por categorías. Posteriormente se metió la fruta a los refrigeradores que funcionan a una temperatura de 2 °C sin que cuenten con sensores de humedad, por lo que se aplico agua en el piso del refrigerador para mantener una humedad alta. En el refrigerador se clasificaron las manzanas por tamaño, apariencia, azúcar y consistencia de pulpa, esto en cajas de 42 libras con las medidas de 80, 88,100, 113, 125, 138, 163 y granel/ manzanas por caja y los valores fueron en: sin presencia de daño físico en la piel, grados brix y libras de resistencia a la penetración de la pulpa.

3.5. Variables de análisis

Rendimiento: se recolectaron los frutos por repetición en cada tratamiento pesándose en una báscula en campo para posteriormente obtener el rendimiento en kg./ha. y calidad del fruto por categorías comercial, que involucra los tamaños de 80, 88, 100, 113, 125 manzanas por caja de 42 libras y semicomercial con tamaños de 138, 150, 163 y granel junto con la dañada por clasificarse como jugo.

Análisis foliar: se muestrearon los arboles de cada tratamiento en los que se determinaron los macronutrientes Nitrógeno, Fósforo, y Potasio.

Diámetro de tronco: se midió el diámetro de tronco de los manzanos con un vernier para medir el efecto de las dosis de fertirrigación y los tres niveles de humedad del suelo en el incremento del tronco de los frutales en cm.

Humedad: se probaron 3 regímenes de humedad a 1, 3 y 5 bar en la producción del manzano, el muestreo de la humedad se realizó en el estrato 5-35 cm como estrato de control con un dispersor de neutrones.

3.6. Materiales utilizados

- Huerta joven de manzano (4 años de establecida en el campo) de la variedad Golden Delicious en portainjertos MM 106. La distancia de plantación es de 4X2 m.
- Químicos fertilizantes:
 - Sulfato de Amonio - $(\text{NH}_4)_2\text{S}_2\text{O}_4$ - 21-0-0.
 - Sulfato de Potasio - K_2SO_4 - 0-0-50.
 - Acido Fosfórico - H_3PO_4 - 0-52-0
 - Acido Sulfúrico - H_2SO_4
 - Urea - $\text{CO}(\text{NH}_2)_2$ - 46-0-0.
 - Urea Nitrato de Amonio - $\text{CO}(\text{NH}_2)_2 \cdot \text{NH}_4 \text{NO}_3$ - 32-0-0.
 - Nitrato de Amonio - NH_4NO_3 - 34-0-0.
 - Thiosulfato de Amonio - $(\text{NH}_4)_2\text{S}_2\text{O}_3$ - 12-0-026S.
 - Polifosfato de Amonio - $(\text{NH}_4)_7\text{P}_5\text{O}_{16}$ - 11-37-0.
- Tanque fertilizador de 200 lts.
- 10 envases de plástico de 20 lts.
- Probeta graduada de 250 mm de capacidad.
- Barrena Veihmeyer.

- Tubos de aluminio de 2" de diámetro.
- Cubeta de plástico de 20 lts.
- Frascos y bolsas de plásticos .
- Cronómetro o reloj normal.
- Libreta de campo.
- Rejas de madera.
- Etiquetas

3.7. Equipo utilizado

- Sistema de riego por goteo con manguera Rex de 16mm. y goteros insertados a cada metro.
- Bomba inyectora
- Manómetro de 0 a 60 PSI (de 0 a 4 kg./cm²) adaptados a tee de inserción para conectar en laterales.
- Nivel topográfico, tripié y estadal.
- Refrigerador.
- Dispensador de neutrones.

3.8. Análisis estadístico

El análisis estadístico de la información recabada se utilizó el paquete computacional SAS y se complementó con paquetes para gráficos. Mediante este método estadístico se evaluó la existencia de diferencias significativas o altamente significativas entre los niveles de humedad del suelo, El efecto de los tratamientos de fertilización en la producción, el incremento en el diámetro de tronco, así como la concentración foliar de N,P,K; este análisis estadístico permitió medir y discutir las variables consideradas en el experimento. En la Figura A-6 se puede concluir con los ANVA'S esta es una prueba estadística en la cual se observa si existen diferencias o no en la producción y nos indica cual es el mejor tratamiento, mediante la prueba de rango múltiple de Duncan.

3.9. Balance de humedad del suelo

El balance de humedad del suelo se realizó del mes de marzo a noviembre, utilizando los datos climáticos de la estación de Jamé, Arteaga, Coah., utilizados para estimar la evapotranspiración potencial diaria (Etp), con la siguiente fórmula:

$$E_{pt} = E_v * 0.75$$

Donde: Etp = Evapotranspiración potencial (mm/día).

E_v = Evaporación de la zona (mm/día).

0.75 = Coeficiente del tanque evaporímetro.

Posteriormente se calculó la evapotranspiración real o uso consultivo (Etr), durante el ciclo vegetativo, mediante la fórmula:

$$E_{tr} = E_{tp} * K_c$$

Donde: Etr = Evapotranspiración real o uso consultivo (mm/día).

Etp = Evapotranspiración potencial (mm/día).

K_c = Constante del cultivo.

El contenido de humedad del suelo (θ) se midió con un dispersor de neutrones semanalmente para mantener los abatimientos a 1, 3 y 5 bar.

El método del dispersor de neutrones se basa en una fuente de neutrones rápidos, constituida por materiales radioactivos y localizada en la sonda del dispersor de neutrones, que al ser emitidos pueden chocar contra los átomos de hidrógeno del agua y rebotar, perdiendo velocidad. Parte de los neutrones rebotados chocan contra un sensor colocado en la misma sonda, son detectados y generan una señal que es ampliada como impulso eléctrico y enviada a un contador en donde se registra el número de golpes como cuentas por minuto (cpm), que es directamente proporcional al contenido de humedad del suelo (Narro, 1994).

El consumo de humedad se estimó con la fórmula siguiente:

$$\theta = Pp + Ri - Etr$$

Donde: θ = Contenido de humedad (mm/día).

Pp = Precipitación (mm/día).

Ri = Riego (mm).

Etr = Evapotranspiración real o uso consultivo (mm/día).

El abatimiento se obtuvo para 1, 3 y 5 bar, los valores del contenido de humedad (%) se tomaron de la curva característica de humedad de Limon, 1997. Cuyos valores fueron 20.1, 16.9 y 15.4 respectivamente, para esto se utilizó la fórmula:

$$Abat = Pw * Da * Zr$$

Donde: Abat = Abatimiento (mm).

Pw = Contenido de humedad (%).

Da = Densidad aparente (gr/cc).

Zr = Profundidad radicular (cm).