

**UNIVERSIDAD AUTÓNOMA AGRARIA
“ANTONIO NARRO”**

DIVISIÓN DE INGENIERIA



Manejo de Agua y Fertirriego en Aguacate.

Por:

ANTONIO FLORES HERNÁNDEZ

MONOGRAFIA

**Presentada como Requisito Parcial para
Obtener el Título de:**

INGENIERO AGRONOMO EN IRRIGACION

Buenavista, Saltillo, Coahuila, México.

Septiembre de 2007

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA AGRARIA

“ANTONIO NARRO”

DIVISIÓN DE INGENIERIA

Manejo de Agua y Fertirriego en Aguacate.

MONOGRAFIA

Presentada por:

ANTONIO FLORES HERNÁNDEZ

**Que se somete a consideración del H. Jurado Examinador como
Requisito Parcial para Obtener el Título de:**

INGENIERO AGRONOMO EN IRRIGACIÓN

Aprobada por:

M. C. Gregorio Briones Sánchez
Presidente del Jurado

M. C. Lindolfo Rojas Peña
Asesor

Ing. Rolando Sandino Salazar
Asesor

Dr. Raúl Rodríguez García
Coordinador de la División de Ingeniería

**Buenavista, Saltillo, Coahuila, México.
Septiembre de 2007**

AGRADECIMIENTOS

A **DIOS** por concederme la dicha de vivir y por permitirme lograr este objetivo.

A mi **ALMA TERRA MATER** por haberme acogido en su seno y porque literalmente fue mi hogar durante los últimos años. Cuna de sabiduría y de amor al campo, me brindo conocimientos para aplicarlos buscando su desarrollo y sustentabilidad.

A mi **FAMILIA** por la confianza y gran apoyo que siempre me han brindado y porque ha sido lo que me ha alentado a seguir adelante.

Al **M. C. GREGORIO BRIONES SÁNCHEZ** por su disposición y apoyo en la realización de este trabajo y los conocimientos que supo compartir.

AL **M. C. LINDOLFO ROJAS PEÑA**, por su colaboración y acertadas observaciones en este trabajo y durante mi paso como estudiante en esta universidad.

Al **ING. ROLANDO SANDINO SALAZAR** por sus acertados consejos para la realización de este trabajo y por haberme brindado su confianza y amistad.

A mis **PROFESORES** especialmente a los del Departamento de Riego y Drenaje, por haber compartido tiempo y sus conocimientos, siempre pensando en el bien de los alumnos y la carrera.

DEDICATORIAS

A MIS PADRES:

CATARINO Y TERESA

Por el apoyo y confianza incondicional que siempre me brindaron y porque este es un sueño compartido y un objetivo que logramos juntos.

A MIS HERMANOS: **JOSE ALBERTO, MA. ANGELICA, OTILIA, VICTOR, VICENTE Y LORENA.**

Que siempre estuvieron pendientes de mis pasos, demostrándome y brindándome su apoyo en todo momento.

A mis abuelos: **PEDRO (†), ARCADIA, LUCIO Y EPIFANIA** por el aliento que siempre recibí de ellos y por sus consejos sobre buscar realizar lo que uno sueña pero siempre con honradez y buscando el bien de sociedad.

A mis **TÍOS Y PRIMOS** con quienes pude contar cuando los necesite, de manera especial a **FLORENCIA Y GERMAN**, por su valioso apoyo en la etapa final de este trabajo.

A LA MEMORIA de mi tío **MARCELINO FLORES SUÁREZ**, de quien tuve el ejemplo de que las grandes obras, sin importar el área, se logran con tres ingredientes: Trabajo, trabajo y más trabajo, y quien me alentó a hacer siempre lo que quería sin importar si los demás pensarán diferente siempre disfrutando de la vida.

A MIS AMIGOS: **Jessica, Rigoberto, Eliza, Rosario, José Paulo, Arturo, Galo, Javier, Beto** y a todos los que del Equipo de Fútbol, y a todas esas personas que a pesar de la distancia y el tiempo conservo su amistad.

A **MIS AMIGOS Y COMPAÑEROS DE GENERACION**, Héctor, Eduardo, Anselmo, Enrique, Rodrigo, Elvia, Claudia, Enrique Eduardo, Francisco, Roger, Nery, Victorino, Galileo, Hílder, Teofilo, Edwin, Rubelio, Baldimir, Magin, Lucero, que fueron siempre como hermanos en la familia que tuve este tiempo y que quiero conservar en el futuro.

De manera muy especial a la **ING. ROSA MARIA AGUILAR ZAVALA,...**
Mi bella inspiración !!!.

INDICE GENERAL

| | |
|---|------|
| AGRADECIMIENTOS | iii |
| DEDICATORIAS | iv |
| ÍNDICE DE CUADROS | viii |
| ÍNDICE DE FIGURAS | ix |
| RESUMEN | xii |
| I. INTRODUCCIÓN | 1 |
| II. OBJETIVOS | 3 |
| 2.1 objetivo general..... | 3 |
| 2.2 objetivos específicos..... | 3 |
| III. REVISIÓN DE LITERATURA | 4 |
| 3.1 IMPORTANCIA ECONÓMICA Y SOCIAL | 4 |
| 3.1.1 Situación del cultivo a nivel mundial..... | 4 |
| 3.1.2 Situación del cultivo a nivel nacional..... | 5 |
| 3.1.3 Comercio nacional e internacional..... | 10 |
| 3.2. CARACTERÍSTICAS BOTANICAS Y TAXONOMICAS | 12 |
| 3.2.1. Clasificación taxonómica..... | 12 |
| 3.2.2. Morfología de la planta..... | 13 |
| 3.2.2.1. Árbol..... | 13 |
| 3.2.2.2 Raíz..... | 13 |
| 3.2.2.3 Flores..... | 14 |
| 3.2.2.4 Fruto..... | 15 |
| 3.2.2.5 Hojas..... | 15 |
| 3.3. REQUERIMIENTOS AGRO-ECOLÓGICOS | 16 |
| 3.3.1 Altitud..... | 16 |
| 3.3.2 Temperatura..... | 16 |
| 3.3.3 Precipitación..... | 17 |
| 3.3.4 Humedad relativa..... | 17 |
| 3.3.5 Suelo..... | 17 |
| 3.4 CULTIVARES Y PORTAINGERTOS | 18 |
| 3.4.1 variedades..... | 19 |
| 3.4.2 Principales variedades comerciales..... | 20 |

| | |
|---|-----------|
| 3.5 PROPAGACIÓN..... | 22 |
| 3.5.1 Semilla..... | 22 |
| 3.5.2 Injertos..... | 23 |
| 3.5.3 Enraizamiento..... | 24 |
| 3.6 ESTABLECIMIENTO DE LA PLANTACIÓN..... | 25 |
| 3.6.1 Preparación del terreno..... | 25 |
| 3.6.2 Época de plantación..... | 25 |
| 3.6.3 Trazo de plantación..... | 25 |
| 3.6.4 Densidad de plantación..... | 27 |
| 3.7 SISTEMAS DE IRRIGACIÓN EN AGUACATE..... | 27 |
| 3.7.1 Manejo de riego en frutales..... | 27 |
| 3.7.2 El riego en aguacate y sus efectos..... | 29 |
| 3.7.3 Requerimientos hídricos y su medición..... | 30 |
| 3.7.4 Respuesta a situaciones de sequía..... | 33 |
| 3.7.4.1 Riego deficitario controlado en aguacate..... | 34 |
| 3.7.4.1.1 Factores limitantes del RDC..... | 35 |
| 3.7.5 Sistemas de riego utilizados..... | 36 |
| 3.7.5.1 Riego Superficial..... | 37 |
| 3.7.5.2 Riego presurizado..... | 37 |
| 3.7.5.2.1 Microaspersión..... | 38 |
| 3.7.5.2.2 Riego por goteo..... | 38 |
| 3.7.5.2.3 Selección del riego presurizado..... | 40 |
| 3.7.6 Diseño y operación del sistema de riego..... | 41 |
| 3.7.7 Programación del riego..... | 44 |
| 3.7.8 Evaluación de la eficiencia del sistema de riego..... | 46 |
| 3.7.8.1 Eficiencia de aplicación..... | 46 |
| 3.7.8.2 Uniformidad de distribución..... | 46 |
| 3.7.8.3 Procedimiento de evaluación en campo..... | 47 |
| 3.7.9 Comparación de los métodos de riego..... | 49 |
| 3.8 NUTRICIÓN Y FERTILIZACIÓN DEL AGUACATE..... | 51 |
| 3.8.1 Requerimientos nutricionales..... | 51 |
| 3.8.2 Funciones de los nutrimentos y síntomas de deficiencia..... | 51 |
| 3.8.3 Satisfacción de requerimientos..... | 53 |
| 3.8.3.1 Uso de fertilizantes químicos..... | 53 |
| 3.8.3.2 Uso de abonos orgánicos..... | 54 |
| 3.8.3.3 Aplicación de los fertilizantes..... | 56 |
| 3.8.3.3.1 Época y métodos de aplicación..... | 57 |
| 3.8.4 Manejo de la fertilización del aguacatero..... | 58 |
| 3.8.5 Antagonismos y sinergismos..... | 58 |
| 3.8.6 Elección y cálculo del fertilizante..... | 59 |
| 3.8.7 Racionalización de la aplicación de fertilizantes..... | 61 |
| 3.8.8 Diagnostico del estado nutricional del cultivo..... | 61 |
| 3.8.8.1 Análisis químicos de la planta..... | 61 |
| 3.8.8.1.1 Análisis foliares..... | 62 |

| | |
|---|-----------|
| 3.8.8.1.2 Análisis de savia..... | 64 |
| 3.8.8.2 Análisis de la solución del suelo..... | 65 |
| 3.8.8.3 Análisis visual de la planta..... | 66 |
| 3.8.9 Fertilización y calidad del aguacate..... | 68 |
| | |
| 3.9 FERTIRRIEGO EN AGUACATE..... | 68 |
| 3.9.1 Principios básicos del fertirriego..... | 68 |
| 3.9.2 Ventajas y desventajas de la fertirrigación..... | 69 |
| 3.9.3 Factores que influyen en la aplicación del fertirriego..... | 70 |
| 3.9.3.1 Eficiencia de aplicación..... | 70 |
| 3.9.3.2 Uniformidad de distribución..... | 71 |
| 3.9.4 Equipos de inyección. | 71 |
| 3.9.5 Métodos de riego utilizados en fertirriego..... | 75 |
| 3.9.6 Fertilizantes para su uso en fertirriego..... | 76 |
| 3.9.6.1. Características..... | 76 |
| 3.9.7 Preparación de mezclas..... | 79 |
| 3.9.8 Programa de fertirrigación..... | 81 |
| | |
| IV. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES..... | 82 |
| | |
| V. LITERATURA CITADA..... | 83 |

INDICE DE CUADROS

| | | | |
|---------------|---|-------|----|
| Cuadro 3.1.1. | Principales mercados importadores en el periodo 1990-2000. | ..... | 5 |
| Cuadro 3.4.1. | Variedades de aguacate aptas para el cultivo en las diferentes altitudes. | ..... | 19 |
| Cuadro 3.7.1. | Valores de Kc para el aguacate recomendados para California, adaptados al hemisferio sur. | ..... | 31 |
| Cuadro 3.7.2. | Rendimiento del aguacate (Kg. /ha) bajo riegos por aspersión y goteo con distintas frecuencias de aplicación. | ..... | 50 |
| Cuadro 3.8.1. | Funciones de los nutrimentos y síntomas de deficiencia en el aguacate. | ..... | 52 |
| Cuadro 3.8.2. | Movilidad de nutrientes y áreas donde su deficiencia se percibe. | ..... | 53 |
| Cuadro 3.8.3. | Rangos de suficiencia generales de la concentración de nutrientes en hojas de aguacate | ..... | 64 |
| Cuadro 3.8.4. | Anomalías en la calidad del fruto de aguacate derivado de problemas nutrimentales. | ..... | 68 |
| Cuadro 3.9.1: | Fuentes Fertilizantes Para Fertirriego. | ..... | 77 |
| Cuadro 3.9.2. | Compatibilidad química de fertilizantes utilizados en fertirrigacion. | ..... | 78 |
| Cuadro 3.9.3. | Grado de corrosión relativa de metales inmersos durante 4 días en una solución con una concentración de 120 gr. / lt de producto. | ..... | 78 |

INDICE DE FIGURAS

| | | |
|--------------|--|----|
| Figura 3.1.1 | Distribución de mercados para el aguacate. | 6 |
| Figura 3.1.2 | Distribución de superficie cultivada de aguacate en México. | 7 |
| Figura 3.1.3 | Contribución del estado de Michoacán a la producción de aguacate en México | 7 |
| Figura 3.1.4 | Distribución porcentual de la producción de aguacate en México | 8 |
| Figura 3.1.5 | Evolución de las exportaciones mexicanas a Estados Unidos | 9 |
| Figura 3.1.6 | Precios reales al productor de aguacate en México. | 11 |
| Figura 3.2.1 | Planta joven de aguacate | 13 |
| Figura 3.2.2 | Distribución espacial de raíces en aguacate. | 13 |
| Figura 3.2.3 | Flores de aguacate: a) Flor en fase Masculina, b): Flor en fase femenina. | 14 |
| Figura 3.2.4 | Variedad de formas, colores y tamaños de los frutos de aguacate. | 15 |
| Figura 3.2.5 | Cambio de color de hojas según la edad de la planta, a): Planta joven, b): Planta adulta | 15 |
| Figura 3.4.1 | Aguacate la variedad Fuerte. | 20 |
| Figura 3.4.2 | Aguacate de la variedad Hass | 20 |
| Figura 3.4.3 | Aguacate de la variedad Bacon | 21 |
| Figura 3.4.4 | Aguacate de la variedad Pinkerton | 21 |
| Figura 3.4.5 | Aguacate de la variedad Zutano. | 22 |
| Figura 3.5.1 | Aguacates de semilla cultivadas en vivero próximas a ser injertadas | 23 |

| | | | |
|--------------|---|-------|----|
| Figura 3.5.2 | Injerto de variedad mejorada A sobre portainjerto B y conservación de características en el árbol | ..... | 23 |
| Figura 3.5.3 | Aguacates injertados y en proceso de crianza con tutores. | ..... | 24 |
| Figura 3.6.1 | Construcción de cepas de acuerdo a la humedad que se tiene en el suelo. | ..... | 26 |
| Figura 3.6.2 | Marcos de plantación: a) cuadrado o Marco real. b) Hexagonal o tresbolillo | ..... | 26 |
| Figura 3.7.1 | Tanque evaporímetro tipo A, el método mas usado para determinar Eto | ..... | 33 |
| Figura 3.7.2 | Microaspersores en plantas jóvenes (a) y adultas de aguacate (b). | ..... | 38 |
| Figura 3.7.3 | Sistema de riego por goteo instalado en frutales. | ..... | 39 |
| Figura 3.7.4 | Bulbo de humedad en dos emisores de baja presión en aguacate. | ..... | 40 |
| Figura 3.7.5 | Instalación de tensiómetros en la zona radical a diferentes profundidades | ..... | 45 |
| Figura 3.7.6 | a) Sensor de humedad instalado, en el área de influencia del emisor a diferentes profundidades. Verde: a 30 cm.; rojo: a 60 cm. | ..... | 45 |
| Figura 3.7.7 | Ubicación de los puntos de evaluación. | ..... | 47 |
| Figura 3.7.8 | Medición del caudal en los puntos de evaluación. | ..... | 48 |
| Figura 3.8.1 | Dispersión de residuos de malezas sobre el suelo y en la base de las plantas. | ..... | 56 |
| Figura 3.8.2 | Zona de aplicación del fertilizante alrededor de la planta. | ..... | 56 |
| Figura 3.8.3 | Formas de aplicación de fertilizantes: a) Aplicación en franjas a lo largo de la línea de árboles. b) Alrededor de cada árbol. | ..... | 57 |

| | | | |
|--------------|---|-------|----|
| Figura 3.8.4 | Antagonismo Mg – K | ..... | 59 |
| Figura 3.8.5 | Pasos para el análisis químico de tejido foliar. | ..... | 63 |
| Figura 3.8.6 | Análisis químico de iones solubles en el extracto celular de pecíolo (ECP) con ionómetros portátiles. | ..... | 65 |
| Figura 3.8.7 | Sondas de extracción o lisímetros de succión instalados a diferentes profundidades | ..... | 66 |
| Figura 3.9.1 | Equipo de inyección de agroquímicos | ..... | 74 |
| Figura 3.9.2 | Uniformidad de aplicación de equipos de inyección. | ..... | 75 |
| Figura 3.9.3 | Variación de la concentración de la solución nutritiva en el agua de riego con el tiempo de inyección | ..... | 80 |

RESUMEN

En un mercado tan activo y globalizado como es la agricultura, y dada la escasez de recursos cada vez mas aguda además de la creciente competencia por los mercados mundiales, la adopción de tecnologías de producción que permitan el uso optimo de los recursos, resulta preciso para países que como México, líder mundial en producción de aguacate, buscan mantener y expandir su presencia en los mercados nacional e internacional.

Tal vez México sea hoy por hoy líder en la producción mundial de aguacate, sin embargo, con el incremento en las superficies productivas tanto en México como en otros países competidores, se pronostica una fuerte rivalidad por apropiarse de los mercados y sus ventas comerciales. Esto obliga a la realización de inversiones tecnológicas para prevenir la pérdida de competitividad.

El uso de sistemas de riego y de la fertirrigacion son técnicas cada vez mas usadas por productores de frutales como el aguacate por las amplias ventajas que ofrece, conocer la situación actual de su manejo, su potencial productivo, lo importante que resulta la adopción de estos sistemas, son algunos de los motivos de la realización de esta obra.

No todos los sistemas de riego permiten efectuar de manera correcta la fertirrigacion, ya que la condición principal es obtener la máxima uniformidad de distribución y aplicación de los fertilizantes es el riego localizado, en sus distintas modalidades, el

mejor para la aplicación de estas técnicas. Su eficiencia y uniformidad es mucho mayor en comparación con los métodos de riego tradicionales. La selección de la variante de riego localizado depende de muchos factores por lo que siempre deben considerarse los aspectos agronómicos, hídrico, social y ambiental en su selección como también en su diseño y operación.

El uso de sistemas de riego en conjunto con la fertirrigación contribuyen en el aumento de los rendimientos debido a que permiten una mayor eficiencia en el manejo y nutrición de las plantas, mejoran el uso de los recursos agua y fertilizantes con mínimos desperdicios y propician condiciones más óptimas para su aprovechamiento por las plantas.

La aplicación correcta de estos métodos requieren del conocimiento previo de las necesidades nutricionales del cultivo, métodos de análisis y diagnóstico adecuados como el análisis de suelo, agua, tejidos vegetales, solución del suelo, etc. y que en conjunto permitan un manejo integrado del huerto y además afecten positivamente sobre la rentabilidad del sistema de producción.

I. INTRODUCCIÓN

La actividad agrícola ha sido desde el origen mismo de las civilizaciones humanas, pilar importante para mantener su crecimiento y desarrollo, mas aun hoy en día para satisfacer los requerimientos alimenticios de una población en constante crecimiento e inmerso en un mercado tan globalizado y competido. Esta situación hace que para el sector agropecuario resulte imprescindible la búsqueda y aplicación de tecnologías que permitan optimizar el uso de los recursos con que dispone (agua, suelo, fertilizantes, mano de obra, etc.) para mantener la rentabilidad de los sistemas de producción.

Dentro de las actividades agrícolas, la fruticultura tiene un importante papel como fuente generadora de alimento, así como por su aporte económico y social. El aguacate, dentro de este rubro, es un fruta con gran aceptación y que cuenta con un mercado doméstico fuerte, además cuenta con amplias oportunidades de participación en los mercados internacionales, que le pronostican una demanda creciente y sostenida tanto para su consumo en fresco como para su utilización en la industria del aceite, cosméticos, jabones, shampoos y de sus procesados, tales como guacamole, congelados y pasta.

El incremento cada vez mayor de la superficie destinada a este cultivo así como el alza de su demanda en el mercado hacen que los países productores como México, el más importante productor y exportador a nivel mundial, se vean en la necesidad de innovar constantemente sus técnicas de producción si desean mantener o mejorar su competitividad en el mercado.

El uso de sistemas de irrigación y del fertirriego son tecnologías cada vez más usados por los países productores, incluyendo México, por los beneficios que se tienen en cuanto a la eficiencia en el uso de los recursos y la calidad de la producción.

El presente trabajo se realiza con la finalidad de explorar documentalmente el tema, conocer la situación del proceso de producción con el uso de estas tecnologías, identificar el potencial productivo de los mismos y definir acciones que permitan mantenerla o mejorarla. Además, para que quienes se encuentran inmersos en el ambiente, encuentren en este una fuente con información que les sirva de base para la toma de decisiones en campo sobre el manejo de agua y fertirriego de su cultivo.

La obra incluye aspectos sobre la importancia económica y social del cultivo, requerimientos agro-ecológicos, criterios para la selección y operación de sistemas de riego y del fertirriego, así como del manejo de la nutrición del cultivo, todos aspectos que deben ser conjugados cuando se busca llevar a cabo un manejo integrado del huerto.

II. OBJETIVOS.

2.1 Objetivo General

Desarrollar una investigación documental del tema para conocer la situación actual e identificar las estrategias que permitan mejorarlo.

2.2 Objetivos Específicos.

- Identificar las tecnologías de manejo de agua y fertirriego aplicadas en el cultivo del aguacate y su potencial productivo.
- Determinar la importancia de la producción de aguacate en México.
- Identificar el uso de estas tecnologías de producción en México y los beneficios de aumentar su aplicación.

III. REVISION DE LITERATURA

3.1. IMPORTANCIA ECONÓMICA Y SOCIAL

La importancia socioeconómica del aguacate se deriva de los beneficios que derrama entre productores, comercializadores, industrializadores y sobre consumidores. Así como por la importante entrada de divisas que por su exportación se generan. Los huertos generan empleo al demandar mano de obra para las podas, los riegos, el cuidado nutritivo y sanitario, la cosecha, la selección, el empaque, el traslado, el mercadeo y la venta.

El proceso productivo genera unos 50 mil empleos directos permanentes y 70 mil empleos estacionales, equivalentes a 10.5 millones de jornales al año, así como 187 mil empleos indirectos permanentes (Ramos, 2003).

3.1.1. Situación del Cultivo a Nivel Mundial

La importancia del aguacate en el mercado internacional ha crecido sostenidamente, dejando de ser una fruta exótica para incorporarse en la dieta de muchos países.

El aguacate tiene un gran mercado para su consumo en fresco, además de su utilización en la industria del aceite, cosméticos, jabones, shampoos y de sus procesados, tales como guacamole, congelados y pasta (Téliz, 2000).

En América, los principales países productores y exportadores son México, Estados Unidos y Chile, fuera de América, otros países productores importantes son Israel, España y Sudáfrica.

México es el principal productor mundial de aguacate y es también el más importante exportador, cuenta con una superficie cultivada mayor a 95 000 has y una producción anual cercana al 1 000 000 de toneladas, aporta con esto más de un tercio de la producción comercializada en el mundo. Después de México los exportadores más importantes de aguacate son Israel, Sudáfrica y Chile, los cuales tienen una menor producción (Ramos, 2003).

Los principales mercados importadores de aguacate (cuadro 3.1.1) son los países desarrollados del hemisferio norte, entre ellos los más importantes son Francia, Estados Unidos y Reino Unido.

Cuadro 3.1.1. Principales mercados importadores en el periodo 1990-2000.

| IMPORTACIONES DE AGUACATE EN EL MUNDO, 1990 - 2000 | | | | | | | | | | | |
|--|---------------|---------------|---------------|---------------|---------------|---------------|----------------|---------------|----------------|---------------|----------------|
| Toneladas Métricas | | | | | | | | | | | |
| País | Año | | | | | | | | | | |
| | 1990 | 1991 | 1992 | 1993 | 1994 | 1995 | 1996 | 1997 | 1998 | 1999 | 2000 |
| Mundo | 150,036 | 173,880 | 189,964 | 152,246 | 189,957 | 213,885 | 257,290 | 249,418 | 306,752 | 270,843 | 344,175 |
| Francia | 77,869 | 88,526 | 84,661 | 72,781 | 78,677 | 86,353 | 100,524 | 99,857 | 101,664 | 83,156 | 105,084 |
| E.U.A. | 13,377 | 17,036 | 24,149 | 8,229 | 23,932 | 18,576 | 25,405 | 26,685 | 60,656 | 55,185 | 78,623 |
| Reino Unido | 14,227 | 15,657 | 15,985 | 14,041 | 15,259 | 12,277 | 16,752 | 19,581 | 23,368 | 18,503 | 22,837 |
| Países Bajos | 6,150 | 6,756 | 7,957 | 9,138 | 11,695 | 12,564 | 11,419 | 13,771 | 20,632 | 17,622 | 19,352 |
| Japón | 2,163 | 2,665 | 3,559 | 4,574 | 3,741 | 4,726 | 6,455 | 6,040 | 8,605 | 7,491 | 14,070 |
| Canadá | 5,614 | 5,953 | 6,667 | 7,737 | 7,916 | 9,695 | 10,728 | 9,543 | 11,078 | 9,884 | 13,151 |
| El Salvador | 4,498 | 4,719 | 6,242 | 740 | 4,515 | 5,083 | 5,669 | 2,469 | 4,304 | 7,887 | 11,507 |
| Alemania | 8,436 | 9,405 | 10,012 | 7,963 | 9,863 | 11,235 | 15,602 | 12,718 | 15,872 | 12,877 | 10,868 |
| Los Demás | 17,702 | 23,163 | 30,732 | 27,043 | 34,359 | 53,376 | 64,736 | 58,754 | 60,573 | 58,238 | 68,683 |

3.1.2. Situación del Cultivo a Nivel Nacional

A pesar de que nuestro país es por mucho el principal país productor de aguacate del planeta, sólo parte de la producción se destina al mercado externo (figura 3.1.1) esto por su alto consumo interno (el consumo per-cápita es de aprox.10 Kg. al año) y la estabilidad de su precio en el mercado.

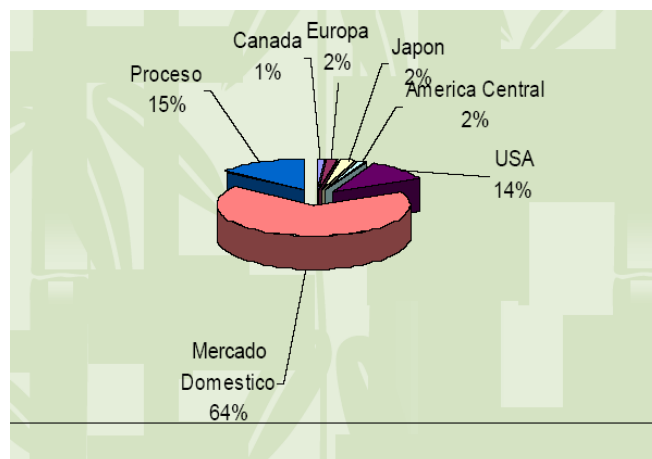


Figura 3.1.1. Distribución de mercados para el aguacate.

A nivel nacional, en aguacate es producido en casi todos los estados, sin embargo, la explotación de aguacate a nivel comercial se practica solo en estados como Michoacán, Puebla, Estado de México, Morelos, Nayarit, Jalisco, Guanajuato, Guerrero y Sinaloa.

La superficie nacional, destinada a la producción de este cultivo ha ido en aumento en las últimas décadas, más aun en estados como Michoacán, Morelos y Nayarit.

Datos de la SAGARPA indican que en México se cultivan cerca de 120 mil hectáreas de aguacate, de las cuales el 70 % se encuentran en Michoacán (Figura 3.1.3), lo que hace a esta entidad la más importante productora de aguacate en el mundo (SAGARPA 2002).

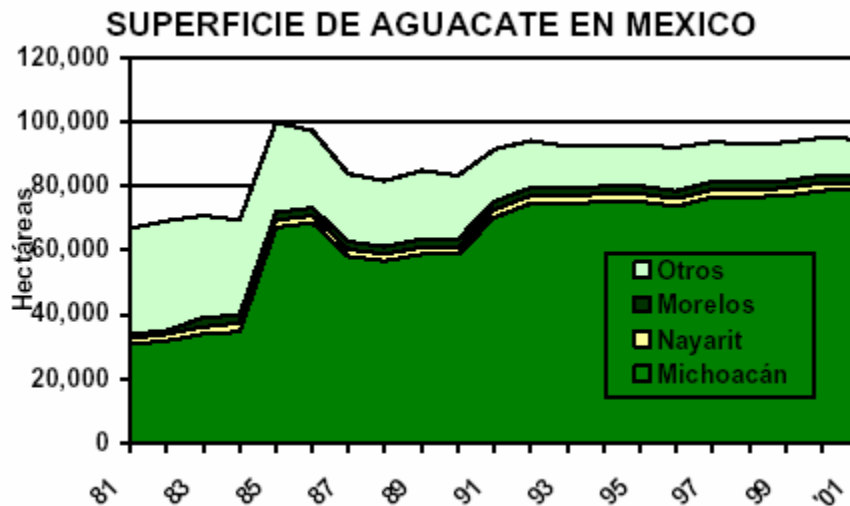


Figura 3.1.2. Distribución de superficie cultivada de aguacate en México.

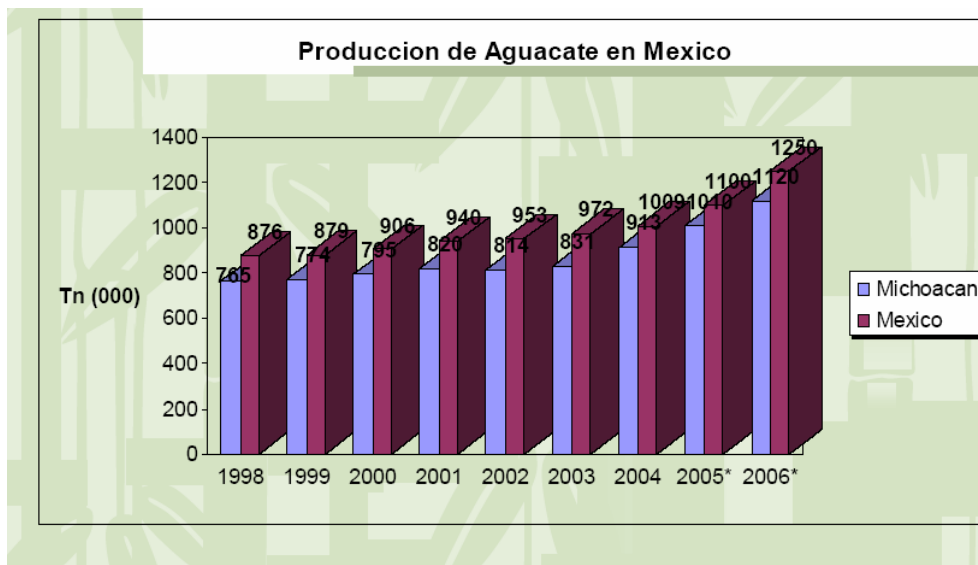


Figura 3.1.3. Contribución del estado de Michoacán a la producción de aguacate en México.

Michoacán tiene el 53 % de la superficie de riego y el 47% de temporal, obteniéndose el 60 % de la producción en condiciones de riego.

México produce durante todo el año, pero su mayor producción se concentra entre Octubre y Marzo (grafico 3.1.4) y con 50 % de la superficie del cultivo realizado bajo condiciones de riego (SAGARPA 2002).

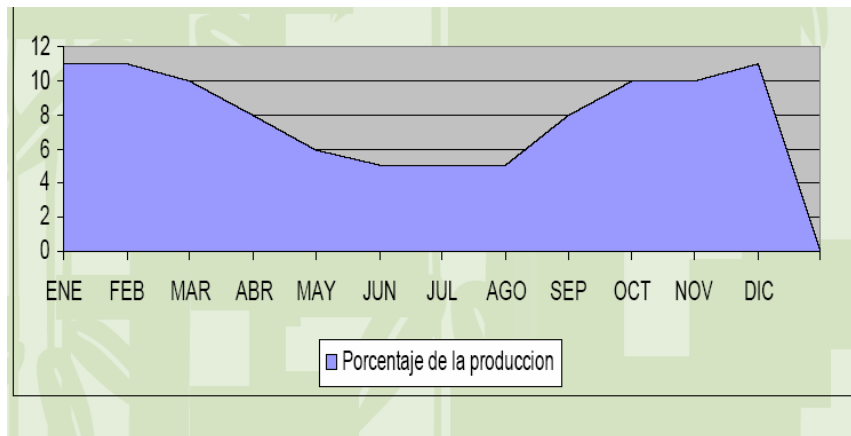


Figura 3.1.4. Distribución porcentual de la producción de aguacate en México.

Por lo general en México la cosecha se comercializa en forma individual, en el caso de Michoacán, los productores se han integrado en Asociaciones, Cooperativas y Sociedades Anónimas para realizar operaciones de exportación con lo que mejoran los precios del producto en el mercado.

Las principales agrupaciones de la industria del aguacate son:

- COMA. (Comisión Michoacana del Aguacate).
- APEAM (Asociación de Productores y Empacadores Aguacate de Michoacán).
- UDECAM (Unión de Empacadores y Comercializadores de Aguacate de Michoacán).

Las exportaciones han crecido y no sólo a Estados Unidos (grafica 3.1.5), mercado al que se tiene ya apertura total después de superar la barrera fitosanitaria que se tenía desde 1914 sino también a Europa y países como Japón (Villaseñor, 2006).

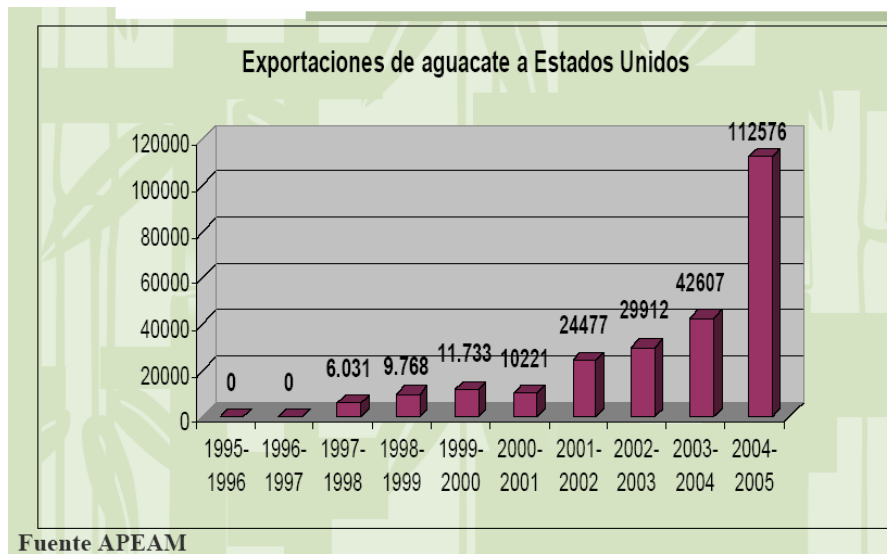


Figura 3.1.5. Evolución de las exportaciones mexicanas a Estados Unidos.

Para México la industrialización de aguacate para exportación y, el procesamiento de la pulpa de esta fruta es también una alternativa para, en los periodos de máxima cosecha, y en aquellos casos en que por restricciones fitosanitarias no se puede disponer de aguacate fresco, comercializar toda la producción, no saturar y mantener y proteger el mercado.

La situación es, pues, de un crecimiento notable, pero también de una necesidad de innovación, pues como ya se menciona, existe mercado de productos procesados de aguacate, y si se mejora la calidad de la producción, se hacen inversiones en promoción y nuevas técnicas de procesamiento, la industria del aguacate seguirá siendo para México, una importante fuente generadora de ingresos.

3.1.3. Comercio Nacional e Internacional

La producción de aguacate no termina en la cosecha, el productor genera la materia prima que debe ser empacada y/o procesada, almacenada y transportada antes de ponerla a la disposición del consumidor, por lo que la comercialización es la fase final de la producción (Paz, 1997).

Siendo el consumo per cápita de aguacate en México es el más alto en el mundo, el cual varía cerca de 10 Kg. anuales (el promedio mundial es de 350 grs. aprox.), el mercado interior del aguacate no presenta grandes dificultades, además porque el tiempo que dura desde el corte hasta su madurez óptima (que varía de 10 a 14 días), es suficiente para trasladarlo desde su origen hasta cualquier parte del país (Sánchez y Rubí, 1994).

En México, los Estados productores colocan sus cosechas en los principales centros de consumo a saber: Distrito Federal, Monterrey, Puebla, Guadalajara, Cd. Juárez y Culiacán; siendo el primero, el principal centro de acopio. Estos centros también actúan como redistribuidores hacia otras ciudades del país.

El aguacate es uno de los cultivos que presentan una buena rentabilidad, gracias a su buen precio, incluso en términos reales (gráfica 3.1.6), habiéndose mantenido en promedio por arriba de los \$ 4.00 kilo en los últimos 10 años. Esto resalta si se le compara con los precios comunes por kilo de otros frutales como la naranja (\$ 0.45-\$ 0.80), el limón (\$1.80-\$2.20) y el plátano (\$ 1.50-2.00) (Ramos, 2003).

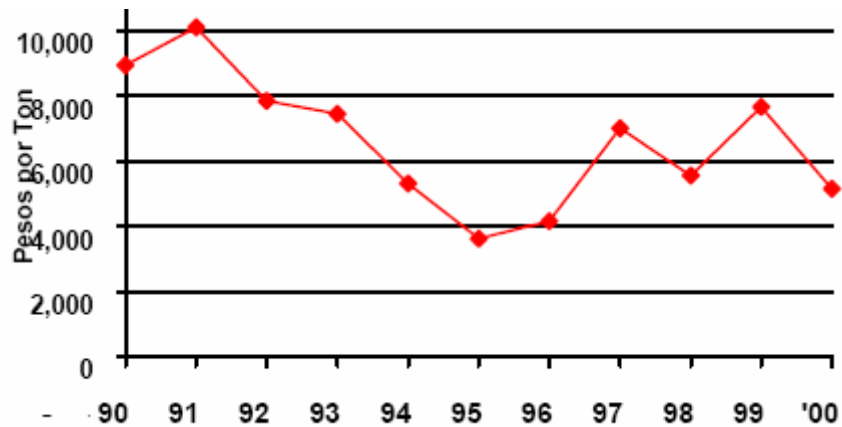


Figura 3.1.6. Precios reales al productor de aguacate en México.

Tal vez México sea hoy por hoy líder en la producción mundial de aguacate, pruebas son la entrada a la totalidad del mercado Estadounidense y las crecientes exportaciones a Europa y países como Japón, sin embargo, con el incremento en las superficies productivas tanto en México como en otros países competidores, se pronostica una fuerte rivalidad por apropiarse de los mercados y sus ventas comerciales, con la consecuente disminución de precios. Esto obliga a la realización de inversiones para prevenir la pérdida de competitividad.

Nuestro país tiene ciertas ventajas como proveedor por su disponibilidad de volumen todo el año, buena posición geográfica, organizaciones sólidas, tratados de libre comercio con muchos países (Villaseñor, 2006). Estos factores deben ser bien aprovechados por los comercializadores mexicanos a la vez que se mejora la cadena productiva y define su visión como industria para ampliar su presencia en los mercados internacionales.

3.2. CARACTERISTICAS BOTANICAS Y TAXONOMICAS

3.2.1. Clasificación Taxonómica

El aguacate pertenece al género *Persea* de la familia Lauraceae, con alrededor de 85 especies; es posible encontrar a la mayoría de ellas desde el sur de los Estados Unidos (*Persea barbonia*) hasta Chile (*Persea lingue*). Son excepciones *Persea indica*, que se encuentran en las Islas Canarias (España) y otras del sur de Asia cuya inclusión en el género *Persea* no está definida.

La información taxonómica del aguacate es:

Familia: Lauraceae

Subfamilia: Lauroideae

Tribu: Perseae

Subtribu: Perseineae

Genero: *Persea*

Especie: *Americana*

En el proceso de domesticación se dieron tipos divergentes que se desarrollaron en aislamiento geográfico y finalmente dieron lugar a tipos botánicos distintos con diferencias además, en adaptación climática. Tres de estos tipos diferentes son en la actualidad ampliamente conocidos a nivel mundial como subespecies o variedades botánicas de *P.americana*: Mexicana, Guatemalteca y Antillana (Sánchez *et al.*, 2000).

Los frutos de la especie mexicana son de pequeño tamaño y contienen un alto porcentaje en aceite, mientras que los de la Antillana, son de mayor tamaño y de menor contenido de aceite. Los frutos de la especie Guatemalteca presentan características intermedias entre ambas.

3.2.2. Morfología De La Planta

3.2.2.1. Árbol

Es una planta perenne de tallo aéreo con características leñosas y follaje siempre verde, de gran crecimiento vegetativo, llegando en su hábitat natural a una altura de 10 a 12 metros.

El hábitat corresponde a las características ecológicas de las especies tropicales y subtropicales, su tallo leñoso alcanza un diámetro de 0.8 a 1 m en 25 a 30 años.



Figura 3.2.1. Planta joven de aguacate.

3.2. 2.2. Raíz

Las raíces son superficiales, dependiendo de la variedad, suelo y otras condiciones de producción. La raíz del aguacate se caracteriza por tener pocos pelos radicales por lo que estas absorben agua y nutrientes principalmente en las puntas a través de los tejidos primarios; esto determina la susceptibilidad del árbol al exceso de humedad que induce a ataques de hongos y pudriciones vasculares (Rodríguez, 1982).

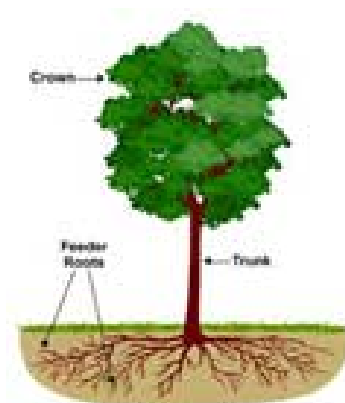


Figura 3.2.2. Distribución espacial de raíces en aguacate.

3.2.2.3. Flores

Son flores perfectas en racimos subterminales; sin embargo, cada flor abre en dos momentos distintos y separados, es decir los órganos femeninos y masculinos son funcionales en diferentes tiempos, lo que evita la autofecundación. Por esta razón, las variedades se clasifican con base en el comportamiento de la inflorescencia en dos tipos A y B (por ejemplo la variedad Hass es de tipo A mientras que la Fuerte es B). En ambos tipos, las flores abren primero como femeninas, cierran por un período fijo y luego abren como masculinas en su segunda apertura. Esta característica de las flores de aguacate es muy importante en una plantación, ya que para que la producción sea la esperada es muy conveniente mezclar variedades adaptadas a la misma altitud, con tipo de floración A y B y con la misma época de floración en una proporción 4:1, donde la mayor población será de la variedad deseada. Cada árbol puede llegar a producir hasta un millón de flores y sólo el 0,1 % se transforman en fruto, por la abscisión de numerosas flores y frutitos en desarrollo.



a)



b)

Figuras 3.2.3. Flores de aguacate: a) Flor en fase Masculina, b): Flor en fase femenina.

3.2.2.4. Fruto

El fruto del aguacate es una drupa carnosa, de forma periforme, ovoide, globular ó elíptica alargada; Su color varía del verde claro al verde oscuro, y del violeta al negro. La forma, el color, la estructura y consistencia de la cáscara es diferente con la variedad.

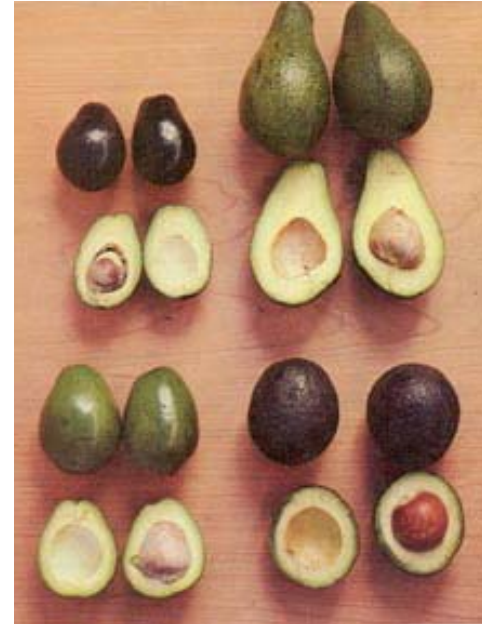


Figura 3.2.4. Variedad de formas, colores y tamaños de los frutos de aguacate.

3.2.2.5. Hojas

Las hojas son simples enteras, alternas, pedunculadas, presentan un color rojizo y al llegar a la madurez se tornan lisas, y de un color verde intenso y muy brillantes.



a)



b)

Figura 3.2.5. Cambio de color de hojas según la edad de la planta, a): Planta joven, b): Planta adulta.

3.3. REQUERIMIENTOS AGRO-ECOLÓGICOS

3.3.1. Altitud

El aguacate tiene un amplio rango de adaptación dependiendo de la raza, la Antillana prospera bien a nivel del mar, la raza Guatemalteca hasta los 1200 msnm. y la raza Mexicana de 900 a mas de 2200 msnm, esto de manera general, a través del tiempo el aguacate se ha introducido a ambientes diferentes a los de su habitat natural, adaptándose en general bien (Sánchez, *et al.*, 2000).

3.3.2. Temperatura

La temperatura es uno de los factores de mayor incidencia en el desarrollo del cultivo. Según sea la temperatura, las variedades tienen un comportamiento diferente de acuerdo a la raza. La raza antillana es poco resistente al frío, requiere una temperatura optimas entre 24 a 26 °C, y una mínima invernal no menor de 0°C; mientras que las variedades de la raza guatemalteca son más resistentes desarrollándose en un rango de temperaturas de 22 a 25 °C y mientras la temperatura invernal no descienda de los -2 °C; las mexicanas son las que presentan la mayor tolerancia al frío al ser 20°C su temperatura media optima y una mínima invernal no menor de -4 °C.

De manera general el aguacate se desarrolla en rangos de temperatura de 10° a 33° C, temperaturas inferiores a 10 °C retardan la floración y fructificación. Se requieren temperaturas mínimas de 12 a 17 °C y máximas de 28 a 30 °C para una adecuada floración y fructificación (Sánchez *et al.*, 2000).

3.3.3. Precipitación

En cuanto a precipitación, se considera que 1 200 mm. anuales bien distribuidos son suficientes. Sequías prolongadas provocan la caída de las hojas, lo que reduce el rendimiento; el exceso de precipitación durante la floración y la fructificación, reduce la producción y provoca la caída del fruto.

De acuerdo a la raza y origen de la misma, los requerimientos de lluvia para la antillana son de 1 100 a 3350 mm., para la Guatemalteca de 800 a 3 400 mm., y para la Mexicana de 650 a 2 200 mm. En general se puede decir que el aguacate de manera natural no prospera en ambientes con isoyetas menores a 650 mm, por lo que al introducirlo en ambientes mas secos necesariamente se requerirá de irrigación (Sánchez *et al.*, 2000).

3.3.4. Humedad Relativa

El exceso de humedad relativa puede ocasionar el desarrollo de algas o líquenes sobre el tallo, ramas y hojas o enfermedades fúngicas que afectan el follaje, la floración, la polinización y el desarrollo de los frutos. Una humedad relativa de 50 - 60% es adecuado pues la planta no tolera encharcamientos de agua. Un ambiente muy seco provoca la muerte del polen con efectos negativos sobre la fecundación y con ello la formación de menor número de frutos.

3.3.5. Suelo

Los mejores son los de textura media, suelos francos arcillo arenosos, profundos (0.80 a 1.50 metros), con buen drenaje interno y superficial, de 3 a 5% de materia orgánica, No es aconsejable plantar árboles de este cultivo en suelos salinos,

arcillosos o con capas duras que impidan el buen desarrollo radicular. Se adapta mejor a suelos con un máximo de 30% de pendiente.

Los suelos más recomendados son los profundos, bien drenados con un pH neutro o ligeramente ácido (5.5 a 7), pero puede cultivarse en suelos arcillosos o franco arcillosos siempre que exista un buen drenaje, pues el exceso de humedad propicia un medio adecuado para el desarrollo de enfermedades de la raíz, fisiológicas como la asfixia radical y fúngicas como fitoptora.

El aguacate es susceptible a vientos fuertes. El terreno destinado al cultivo debe contar con buena protección natural contra el viento o en su ausencia, establecer una barrera cortavientos preferentemente un año antes del establecimiento de la plantación. El viento produce daño, rotura de ramas, caída del fruto, especialmente cuando están pequeños. También, cuando el viento es muy seco durante la floración, reduce el número de flores polinizadas y por consiguiente de frutos.

3.4. CULTIVARES Y PORTAINGERTOS

Los cultivares explotados actualmente en forma comercial han sido el resultado de un largo proceso de selección, tanto por su capacidad para generar frutos como por sus atributos como su forma, color, peso, dimensiones y propiedades internas como su contenido de grasa, el tiempo de oscurecimiento de pulpa y la cantidad relativa al peso de la fruta que es aprovechable. Según su origen, se tienen cuatro razas: La Mexicana, Guatemalteca, Antillana, y las Híbridas las cuales sirven como pies o

patrones y son muy cultivadas en plantaciones de California, Florida, Israel y en Sudáfrica.

Las plantas que han de usarse como patrón deben provenir de árboles nativos o locales, que hayan mostrado los mejores resultados por su rusticidad y adaptabilidad al medio (Infoagro, 2007). De manera general los porta injertos mexicanos son los más resistentes al frío y a ciertas enfermedades. Los guatemaltecos son muy sensibles a los suelos calizos y a ciertas plagas y enfermedades, por lo que no son muy utilizados. Los antillanos, aunque sensibles al frío, aceptan bien la caliza del suelo (Asocoa, 2007).

3.4.1. Variedades

Son más de 500 las variedades de aguacate existentes dado su cultivo, adaptación (se tienen variedades aptas para un amplio rango de altura sobre el nivel del mar, cuadro 3.4.1), y su rápida internacionalización y aceptación en todo el mundo, sin embargo dentro de las variedades cultivadas para fines comerciales se incluyen solo algunas como el Hass, Bacon, Fuerte, Pinkerton y otros.

Cuadro 3.4.1. Variedades de aguacate aptas para el cultivo en las diferentes altitudes.

| ALTURA | | |
|--|---|---|
| De 0-1.000 msnm (raza antillana) | 1.000-1.500 msnm (raza guatemalteca) | 1.500-2.500 msnm (raza mexicana) |
| Simmonds Catalina Booth 8 Booth 7 Masutomi Kahalú | Choquete Kahalú Hall Simpson Booth 8 Guatemala Itzama | Nabal (G) Azteca Fuerte Hass Ettinger Wurstz |

3.4.2. Principales Variedades Comerciales

- **Variedad Fuerte.**

Originaria de México, ha conseguido permanecer en el mercado gracias a su gran calidad.

Descripción: Forma de pera, semilla mediana, fácil de pelar, gran sabor, tamaño de mediano a grande, de 150 a 400 grs. Piel lisa verde, consistente, suave y delgada, de pulpa cremosa. La piel se mantiene verde y cede a una suave presión cuando esta madura.



Figura 3.4.1. Aguacate la variedad Fuerte.

- **Variedad Hass.**

Es la más conocida y comercializada, la variedad “Reina” de los aguacates. Es ampliamente cultivada en México y el mundo. Esta variedad tiene una larga vida de anaquel y está disponible todo el año.

Descripción: Fruta de forma oval, semilla de pequeña a mediana, buen sabor, tamaño en rango desde el promedio hasta el grande, de 130 a 250 grs. piel gruesa pero plegable, su pulpa es verde pálido con textura cremosa. La piel se oscurece al madurar, la fruta cede a una suave presión cuando está madura.



Figura 3.4.2. Aguacate de la variedad Hass.

- **Variedad Bacon.**

Una variedad de piel verde de buena calidad.

Descripción: Fruta ovalada, semilla de mediana a grande, fácil de pelar. De tamaño mediano, su peso en un rango de 150 a 300 grs. Piel verde suave, brillante y delgada, pulpa amarilla verdosa es de gran calidad y no demasiado rica en grasa. La pulpa permanece verde y apenas se oscurece al madurar, sede a presión suave cuando esta madura.

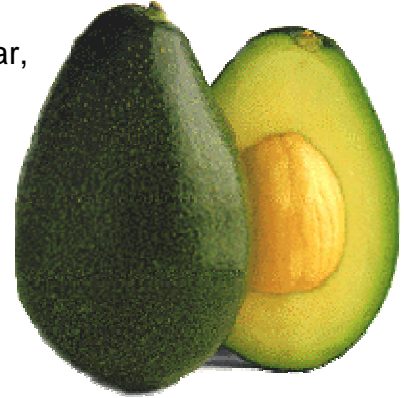


Figura 3.4.3. Aguacate de la variedad Bacon.

- **Variedad Pinkerton.**

Es una variedad originaria de Israel.

Descripción: Fruta alargada en forma de pera (más largo que el Hass), de semilla pequeña, fácil de pelar, buen sabor. Tamaño grande, de entre 220 a 500 grs. Piel verde, rugosa, de pulpa cremosa de color verde pálido. El color de su piel se hace más intensa al madurar sin ponerse negro. La fruta cede a la presión suave cuando está maduro.



Figura 3.4.4. Aguacate de la variedad Pinkerton.

- **Variedad Zutano.**

Esta variedad es fácilmente reconocida por su piel brillante, amarilla-verdosa.

Descripción: Fruta con forma de pera moderadamente fácil de pelar, sabor suave, fruta grande, en un rango de 280 a 400 grs., piel brillante de color amarillo verdoso, pulpa verde pálido con una suave textura, la piel mantiene el color cuando madura, cede a una suave presión cuando esta madura (Fresh California avocados, 2007).

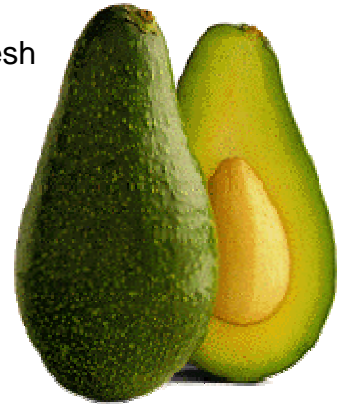


Figura 3.4.5. Aguacate de la variedad Zutano.

3.5. PROPAGACIÓN

3.5.1. Semilla

Es la forma natural de su reproducción, este método presenta un inconveniente fundamental: la gran variabilidad que ocurre en producción y calidad de fruto por lo que no es recomendable para plantaciones comerciales. Cuando la propagación se hace por semilla, (generalmente se hace solo para usarlos como portainjertos), éstas deben provenir de frutas sanas, de buen tamaño, cosechadas directamente del árbol, su viabilidad dura hasta tres semanas después de extraída de la fruta.

Se puede sembrar en bolsas o en semillero previamente preparado. Las semillas empiezan a brotar aproximadamente treinta días después de sembradas.

Generalmente las plantas están listas para ser trasplantadas al vivero a los treinta días después de la germinación.

Figura 3.5.1. Aguacates de semilla cultivadas en vivero próximas a ser injertadas.



3.5.2 Injerto

La propagación por injerto es el método más apropiado para reproducir las variedades seleccionadas de cultivo comercial, ya que los árboles injertados son uniformes en cuanto a la calidad, forma y tamaño de la fruta.

La operación de injertar consiste en unir un organismo o parte de él con otro o parte de otro, de tal forma que haya intercambiado de materiales (savia) entre ambos. Se trata, pues, de una «simbiosis» o asociación, creada artificialmente.

El injerto lateral, el de yema y el de hendidura son los principales tipos de injerto utilizados en aguacate. Los principios básicos del injerto son los mismos sin importar en método utilizado, de este modo, no se tiene información concluyente sobre cual es el mejor método en términos de procedimiento o crecimiento del injerto. El estado de desarrollo y las características del portainjerto temporal, las condiciones ambientales, la habilidad del injertador y las características de madurez y sanidad de la vareta portayemas suelen ser los factores mas determinantes que el método de injerto utilizado (Infoagro, 2007).

Figura 3.5.2. Injerto de variedad mejorada A sobre portainjerto B y conservación de características en el árbol.

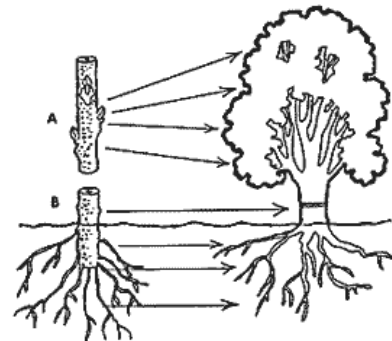




Figura 3.5.3. Aguacates injertados y en proceso de crianza con tutores.

3.5.3 Enraizamiento

Es una estrategia utilizada para uniformizar el comportamiento y productividad de los huertos en el que el cultivar de interés es injertado sobre portainjertos clonales de buenas características. Un portainjerto clonal es aquel que no nace de semilla, sino que proviene del enraizamiento de material vegetal, tales como segmentos de tallo o raíz, estacas, yemas, etc. utilizando hormonas para inducir la formación de raíces. De esta manera cada planta producida es genéticamente igual a la planta que le dio origen, por lo que mantiene sus características.

La información que se tiene actualmente no es suficiente para hacer recomendaciones sobre el tipo de portainjerto mas adecuado para cada zona, región o condición de cultivo, esto explica porque se siguen usando árboles provenientes de semillas de árboles con supuesta adaptación, los llamados criollos (Salazar, 2002).

3.6. ESTABLECIMIENTO DE LA PLANTACIÓN

3.6.1. Preparación del Terreno

Ésta es una actividad fundamental para lograr un crecimiento y desarrollo de los árboles de aguacate; se excavan sitios de observación del subsuelo para conocer la profundidad y perfil del suelo. Además del subsoleo, se deben dar los pasos de rastra que sean necesarios para dejar bien mullido el suelo y faciliten el crecimiento de las raíces del árbol (Sánchez *et al*, 2000).

3.6.2 Época de Plantación

El sitio de plantación debe estar libre de heladas, cuando es así, la plantación puede efectuarse en cualquier época del año, siempre y cuando se disponga de riego, los árboles plantados en primavera requerirán riegos frecuentes hasta que se establezca el temporal de lluvias, alcancen un buen desarrollo para tolerar el siguiente invierno y sea posible obtener una buena floración.

3.6.3 Trazo de la Plantación

Los sistemas de trazo más comunes son el cuadrado o marco real, y el hexagonal o tresbolillo. La plantación en suelos de buena calidad se hace en cepas excavadas con dimensiones de 40x40x40 cm.; en suelos con características no optimas, las sepas pueden ser de 60x60x60 cm. (Sánchez *et al*, 2000).

Es aconsejable rellenar el hoyo con una mezcla de tierra superficial (flor de tierra o tierra negra), materia orgánica (estiércol totalmente descompuesto) y arena en una proporción de 2:1:1, tratando de hacer un macetero.

Figura 3.6.1. Construcción de cepas de acuerdo a la humedad que se tiene en el suelo.

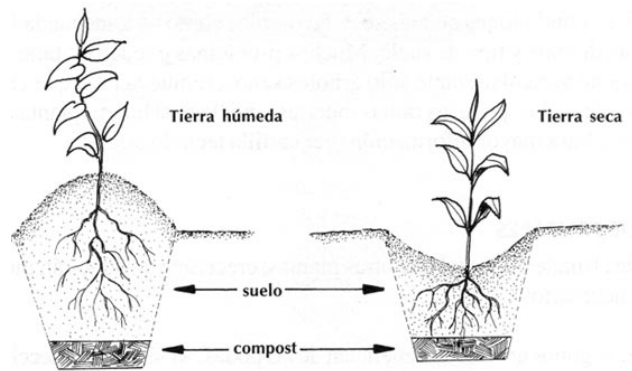


Figura 3.6.2. Marcos de plantación: a) cuadrado o Marco real.

b) Hexagonal o tresbolillo



3.6.4 Densidad de Plantación

La distancia de plantación varían de 7X7 metros hasta 12x12 metros, según una serie de factores tales como el clima, la variedad, tipo de patrón, topografía y de los recursos técnico-económicos disponibles.

El numero de árboles por hectárea varia según la densidad manejada. La separación entre árboles en huertos con altas densidades es de 4 a 5 metros; en huertos con densidad media de 7 a 9 metros y en huertos con bajas densidades puede ser de 10 a 12 metros.

En densidades altas en marco real 5 x 5 m. se puede tener una densidad de 400 árboles / ha y en tresbolillo 462 árboles/ha. En densidades medias de 7x7 m la densidad en marco real es de 204 árboles / ha y en tresbolillo 237 árboles / ha; mientras que una densidad bajas de 10 x 10 m será de 100 árboles / ha en marco real y en tresbolillo de 115 árboles / ha (Sánchez *et al*, 2000).

3.7. SISTEMAS DE IRRIGACION EN AGUACATE

3.7.1. Manejo de Riego en Frutales

La práctica del riego es efectuada para reponer el consumo de humedad que en conjunto pierde el suelo por evaporación directa y por transpiración del cultivo (García y Briones, 1989).

La disponibilidad de agua es uno de los factores que más estrecha y directamente condicionan el crecimiento y desarrollo, la productividad y la calidad de la producción de las plantas cultivadas.

En la mayoría de los frutales, dicha disponibilidad afecta además de la cosecha del año, a otros procesos fisiológicos, que sin ser visibles y aparentes determinan en alguna medida los parámetros de producción de la temporada siguiente. Un ejemplo de lo anterior es la inducción floral, que dimensionará la capacidad productiva del próximo período (Salgado, 1990).

Cuando se analiza el problema del riego en cualquier especie cultivada, y en particular en frutales, aparecen a lo menos 3 grandes interrogantes, que a su vez plantean numerosas incógnitas que el agricultor y/o el profesional deben resolver atendiendo a algunas premisas básicas, como las siguientes:

1.- La práctica del riego debe maximizar los beneficios netos. Es decir, que los costos de establecer un sistema de riego o, de mejorarlo, deben producir aumentos en las utilidades de la empresa.

2. El riego debe estar sujeto a un diseño técnico tal, que promueva la conservación de los recursos agua y suelo; evitando desperdicios de agua, pérdidas de suelo por erosión, diseminación de enfermedades, factores que además de antieconómicos puede provocar problemas como los de drenaje y salinización.

Bajo estas premisas, diseñar un sistema de riego es complejo, pero que en general requiere dar respuesta a al menos tres aspectos globales, aplicables al riego en aguacate, estas son: ¿Cuánto?, ¿Cuándo?, y ¿Como regar? (Salgado, 1990).

Conocer las necesidades de agua de los cultivos, es el primer paso para determinar el cuánto y cuándo regar y la respuesta al cómo regar, queda supeditada al nivel de infraestructura y al capital del productor.

3.7.2. Riego en Aguacate y sus Efectos

El aguacate, al igual que cualquier ser vivo, recibe el efecto de las condiciones ambientales en que se desarrolla, y aunque su fenología difiera según el área de cultivo, un indicador específico es el requerimiento de agua, que ya sea en forma de lluvia o de riego, es más alto durante el periodo de floración y formación de fruto hasta la madurez del mismo; de acuerdo a Rodríguez (1982), deficiencias de agua en estos periodos, originan baja producción y aborto de fruto.

La productividad del cultivo del aguacate, mediante el suministro de riego es definitivamente superior a los huertos de temporal, tanto en producción y calidad de la fruta como en vigor y aspecto del árbol; sin embargo, un mal manejo del riego perjudica al cultivo, al suelo y disminuye los beneficios económicos para el productor.

El requerimiento de riego del cultivo depende de factores como la variedad, la cuantía de lluvia durante el año, del tipo de suelo y de la capacidad que este tenga para conservar el agua, por lo que es fundamental hacer un buen diagnóstico de las condiciones ambientales en que se desarrolla una huerta en particular que considere factores importantes como:

- **Suelo:** El aguacate es susceptible a condiciones como: suelos duros arcillosos, lenta permeabilidad, sales, PH>7 y tepetate muy superficial (Álvarez, 1981).
- **Agua:** Aunque generalmente buenas para riego, debe analizarse su contenido de sales minerales. No es aconsejable cultivar el aguacate cuando las lecturas de conductividad exceden 1.3 dS/m de CE (Bob, 2005).

- **Clima:** Considerar las variables climáticas que norman el criterio de riego, como la temperatura, precipitación, humedad relativa y la evaporación de una superficie libre de agua (Tanque evaporímetro tipo “A”).

El cultivo del aguacate es un cultivo sensible a la disponibilidad de agua, los excesos de agua pueden afectar la calidad de la producción, así como también la sanidad del árbol, pues condiciones de saturación de humedad lo hacen susceptible al ataque de *Phytophthora cinnamomi*, agente causal de la tristeza del aguacate. Por otra parte la aplicación de volúmenes reducidos de riego tiene como consecuencia crecimientos vegetativos restringidos y una menor producción, debido al menor número y calibre de frutos (Tello, 1991). Las etapas de cuaja y crecimiento temprano de fruto han sido identificados como críticos, por lo que debe evitarse el estrés hídrico en estos periodos.

Por lo anterior, el manejo del riego en el aguacate es un aspecto muy importante ya que su mal manejo perjudica al cultivo, al suelo y disminuye los beneficios económicos para el productor.

3.7.3. Requerimientos Hídricos y su Medición

El aguacate es un cultivo que por ser de hoja perene, transpira todo el año (Lovatt, 1990). Sin embargo, la cantidad de agua requerida para satisfacer la transpiración depende de las condiciones ambientales, del tipo de suelo y las características particulares de las plantas como son el tamaño, la edad, los niveles de producción y la estructura y distribución de las raíces. Así, en el periodo invernal de semiactividad, estos requerimientos son mínimos (Whiley *et al*, 1990, citado por Saavedra, 2000),

mientras que en primavera, los requerimientos incrementan producto del crecimiento vegetativo y de la floración.

Determinar los requerimientos hídricos del aguacate, equivale a responder cuánto regar para reponer la humedad que se pierde en la evapotranspiración, siendo esta última fundamental para la estimación de las necesidades de agua del cultivo y la consiguiente programación de los riegos. Los factores que afectan la evapotranspiración pueden dividirse en dos, factores climáticos: radiación solar, temperatura, viento, y los factores de suelo y cultivo: humedad del suelo con o sin cobertura vegetal, área foliar del cultivo en crecimiento y la transpiración al momento de la madurez del cultivo (Fuentes, 1996).

La evapotranspiración potencial del cultivo es igual a:

$$ETP \text{ cultivo} = ET \text{ ref} * Kc \quad (\text{mm} / \text{día}).$$

Donde ET_{ref} es la evapotranspiración que ocurre en un cultivo usado como referencia (pasto generalmente), sano y sin limitación de agua ni nutrientes, de cobertura completa y que representa la demanda del clima; Kc por su parte es un coeficiente del cultivo, que describe las variaciones de la cantidad de agua que las plantas extraen del suelo a medida que se van desarrollando, desde la siembra hasta la recolección y varía con la especie, variedad y etapa fenológica.

| Cuadro 3.7.1. Valores de Kc para el aguacate recomendados (Meyer et al, 1990, citados por Gardiazabal, 2003) para California, adaptados al hemisferio sur. | | | | | | | | | | | | |
|--|------|------|------|------|------|------|------|--------|------|------|------|------|
| Mes | Ene | Feb | Mzo | Abr | May | Jun | Jul | Agosto | Sept | Oct | Nov | Dic |
| KC | 0.55 | 0.50 | 0.45 | 0.45 | 0.45 | 0.40 | 0.35 | 0.40 | 0.45 | 0.45 | 0.50 | 0.55 |

La única forma de medir la ET ref directamente es con lisímetros, los cuales son escasos y costosos, por lo que se usan otros métodos de estimación a partir de ecuaciones como la de Blaney y Criddle, la de Jansen-Haise, Penman-Monteith (aunque con el inconveniente de que requieren para su utilización, de datos climáticos de medición compleja propios de estaciones meteorológicas sofisticadas), así como métodos indirectos como el del tanque evaporímetro tipo A que por su simplicidad es de uso muy extendido (Quiñones, 1997). Esta última engloba todos los factores que intervienen en la evapotranspiración de un cultivo, como son: radiación solar, temperatura, viento y humedad relativa (Ortiz, 1982).

Por la sencillez de operación, su bajo costo y la utilidad de los datos que entrega, el método del tanque evaporímetro tipo A, es el más usado para determinar los requerimientos hídricos de los cultivos. Este es un recipiente cilíndrico metálico apoyado en una plataforma que lo eleva sobre el nivel del suelo. Llenada con agua, su nivel es medido con un limnómetro, la diferencia entre dos lecturas consecutivas es la evaporación en el periodo. Para los cálculos se usan los valores promedio de lecturas de una semana, al menos. El valor de evaporación es multiplicado por un factor K_p propio del tanque, para obtener así el valor de ET_o .

Este coeficiente depende de las condiciones de humedad, viento y del medio que rodea el evaporímetro, sus valores oscilan entre 0.4 y 0.85 si esta al aire libre y rodeado de cubierta baja. Para tanques situados en invernadero sin sombrear y rodeado de cubierta verde, los valores son próximos a 1 (Cadahia, 2000).



Figura 3.7.1. Tanque evaporímetro tipo A, el método mas usado para determinar Eto.

3.7.4. Respuesta Frente a Situaciones de Sequía

El balance hídrico dentro de una planta está determinado por los procesos de absorción y transpiración. Cuando la cantidad de agua absorbida por las raíces es menor que aquella que se pierde por transpiración, se genera una condición de déficit (HSIAO, 1990; citado por Saavedra 2000).

Las plantas poseen mecanismos de defensa que evitan que éstas alcancen un estado crítico de marchites. De acuerdo a Taiz y Zeiger (1998), el cierre estomático (ajuste osmótico) es una respuesta que la planta manifiesta frente a condiciones de déficit hídrico, este mecanismo consiste en el aumento de ciertos solutos al interior de las células de los tejidos, los cuales permiten mantener su turgencia a bajos niveles de potencial hídrico. Cuando este cierre es insuficiente, se inducen procesos de defoliación para disminuir las pérdidas de agua por transpiración. Cuando ocurre

un estrés natural en el suelo señalan que otra de las respuestas adaptativas es el desarrollo de raíces en profundidad hacia zonas de suelo húmedo. Montedónico (2001) señala que el palto aumenta su eficiencia productiva al disminuir el aporte hídrico.

3.7.4.1. Riego deficitario controlado (RDC) en aguacate

El crecimiento de la planta está directamente relacionado con la transpiración. Por lo tanto, buenas producciones, implican aumentar el consumo de agua. Sin embargo, en ocasiones no se cuenta con la cantidad y calidad de agua suficiente para satisfacer los requerimientos del aguacate.

El RDC es una forma de riego desarrollado con el fin de optimizar el uso del recurso hídrico (al reducir la lámina riego); que consiste en someter a estrés hídrico al árbol en un período determinado a un nivel de restricción que no cause perjuicios a la producción total, a la vez que se consiguen ahorros de agua.

El RDC difiere de un estrés hídrico natural, ya que una estrategia de RDC busca llevar al árbol a un ligero estrés en un estado fenológico en el cual la producción no sea afectada.

Trabajos realizados por Saavedra (2000) en huertos de Hass en Quillota, Chile, señalan que la aplicación de un 75% de las necesidades diarias durante todo el periodo de riego, en un huerto regado por micro-aspersión, permite aumentar la eficiencia del agua, sin alterar el crecimiento vegetativo como tampoco la producción, evaluada en cantidad y calidad. También que la aplicación de un 50% de las

necesidades durante todo el periodo, mediante riegos diarios, no reduce el tamaño de los árboles, tampoco la producción total, pero sí la distribución de calibres.

Por su parte Montedónico (2001) en un huerto regado por goteo establece que la época de restricción hídrica de menor perjuicio sobre el calibre es, de febrero a abril, con un nivel restrictivo del 50% de la lámina de riego total. Mientras que regando por micro aspersión, con el 100% de la lámina de riego todo el año se produjo el menor perjuicio sobre el peso del fruto.

La disminución del tamaño de los árboles de palto al reducir los volúmenes hídricos, resulta conveniente, sin embargo, en la disminución de la tasa de riego a través del aumento del intervalo entre riegos, junto con la restricción del crecimiento vegetativo se liga una disminución de la producción por el menor número y menor calibre de la fruta producida (Lovatt, 1990).

El RDC es un área en desarrollo para éste cultivo, y son necesarios trabajos para definir para cada región productora, sus efectos sobre el crecimiento vegetativo y las épocas y niveles de restricción con los menores perjuicios en la producción.

3.7.4.1.1. Factores Limitantes del RDC.

Para aplicar correctamente esta técnica es necesario considerar una serie de factores que limitan o regulan este tipo de riego; éstos son: períodos críticos, características de suelo, clima de la zona (pluviometría baja), sistema de riego, fenofases y resistencia a la sequía (Sánchez-Blanco y Torrecillas, 1995).

Lovatt (1990) establece que la floración es un período crítico del aguacate, por lo tanto cualquier exceso de estrés impuesto en estas fenofases puede provocar daños irreversibles a los órganos florales, una inadecuada fructificación y una producción deficiente.

Existe la necesidad de tener un fácil manejo de la humedad del suelo, para poder controlar el nivel de estrés del cultivo, se recomiendan suelos poco profundos y con baja capacidad de retención de agua y dotados de sistemas de riego localizado.

3.7.5. Sistemas de Riego Utilizados

Conocer los usos consuntivos de los cultivos, es el primer paso para determinar el cuánto y cuándo regar y la respuesta al cómo regar, queda supeditada al nivel de infraestructura y al capital del productor. La selección del método de riego a utilizar depende en gran medida de muchos factores, entre los que destacan:

- **Factores agronómicos:** Edad de la huerta, topografía, posición respecto al sol, tipo, profundidad, textura y velocidad de infiltración del suelo, lluvia y ETP, nivel freático, drenaje interno, riesgo de inundación, salinidad del suelo, erosionabilidad, edad y desarrollo del árbol.
- **Factor hídrico:** Gasto disponible, calidad del agua, energía potencial, fuente de energía para su distribución interna, calendarización, horario, seguridad, duración temporal y costo.
- **Factor Social:** Capital del productor, competencia con otras fuentes de demanda de agua como agricultores y núcleos urbanos.

- **Factor ambiental:** Sustentabilidad de los recursos agua y suelo, contaminación de acuíferos, arroyos y vasos de almacenamiento entre otros.

3.7.5.1. Riego Superficial

Dentro de estos sistemas tenemos el riego por surcos, sifones así como el riego con manguera. Estos sistemas requieren de grandes volúmenes de agua y mucha mano de obra. Sistemas de este tipo son aun practicados en muchas regiones productoras por su bajo requerimiento de capital (su principal ventaja) aunque no es aconsejable dada la falta de uniformidad en la distribución y las pérdidas que por precolación profunda se generan. Además, su uso para aplicar el fertirriego hace del sistema poco eficiente ya que en éste último las eficiencias de aplicación y uniformidad son de vital importancia.

3.7.5.2. Riego Presurizado

Son sistemas de riego localizados, de alta frecuencia y gasto pequeño. Estos sistemas presentan ventajas como su mayor ahorro de agua y uniformidad cuando se han diseñado de manera adecuada. Según el gasto que conducen, se tiene el riego localizado de bajo caudal de hasta 10 lph y los de alto caudal que con hasta 150 lph. Los de bajo caudal comprenden al riego por goteo, las cintas de riego y a las cintas de exudación. Las de alto caudal por su parte incluyen a la microaspersión y la microdifusión.

Sus altos costos, se compensan con sus ventajas como optimizar el uso del agua disponible, de mano de obra, su uso en terrenos pendiente pronunciada o con microrelieve en los que las obras de nivelación sean muy costosas.

Estos métodos de riego permiten en promedio ahorrar entre un 30% y un 50% de agua, respecto de los de tipo superficial. En cuanto a los requerimientos de mano de obra, en la mayoría de los casos es mínima. La alta uniformidad de aplicación y distribución hacen de estos métodos los mas adecuados para fertirrigar.

3.7.5.2.1. Microaspersión:

Es un sistema que se caracteriza por aplicar el agua en un punto específico en forma de lluvia fina o de niebla, permite obtener uniformidades altas de riego, es excelente para usarse en sistemas de fertirrigación, también es usado para combate de heladas. Su uso es muy extendido en aguacate y en general en frutales.

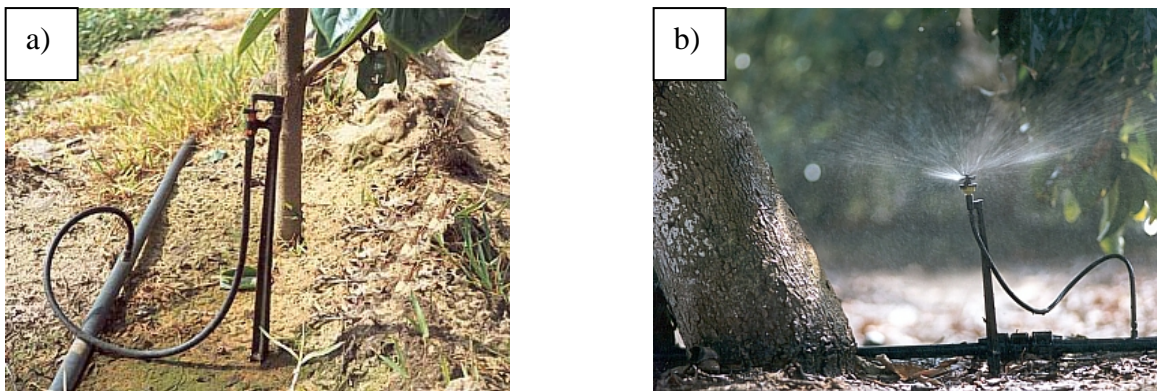


Figura 3.7.2. Microaspersores en plantas jóvenes (a) y adultas de aguacate (b).

3.7.5.2.2. Riego por goteo.

Es un sistema que permite la aplicación localizada y con alta frecuencia del agua, recibe el nombre por el tipo de emisor, incluye una gran variedad de dispositivos como: orificios, microtubo, helicoidales, de laberinto, autocompensados, etc. es ideal para cultivos en hilera y recomendado en sistemas de fertirrigación.

Este sistema es ampliamente usado en frutales como el manzano, los cítricos, la vid, así como en aguacate. En este sistema, para proporcionar el gasto que el árbol necesita, se suelen colocar varios emisores por árbol que se reparten alrededor de la planta, según sea el tamaño del ejemplar y para que humedezca la mayor parte de la zona de raíces, no sólo junto al tronco. Según Medina (1988), el riego por goteo es uno de los sistemas más importante en posibilitar el uso de aguas salinas o, al menos, con un contenido en sales superior a las que pueden emplearse con cualquier otro sistema de riego, sin implicar una disminución en los rendimientos.



Figura 3.7.3. Sistema de riego por goteo instalado en frutales.

Las condiciones ambientales en que se desarrolla el aguacate en México son muy buenas, así lo demuestran la productividad del cultivo en cantidad y calidad. El buen manejo del agua de riego es una condición que se requiere para mantener el cultivo en condiciones óptimas de desarrollo y producción.

En la franja aguacatera de Michoacán y en general en todas las zonas productoras del país, generalmente no se dispone de grandes volúmenes de agua para regar, por ello el uso de estructuras de almacenamiento y distribución es una práctica común y extendida. El uso de sistemas de riego presurizado es cada vez mas frecuente, sin

embargo, a pesar de su diseño y modernidad, aun no se ha tenido máximos beneficios ya que no existe una adecuada operación de los sistemas.

3.7.5.2.3. Selección Del Riego Presurizado

En suelos con baja capacidad de absorción de agua (suelos arenosos), es más adecuado utilizar goteo, ya que si se usara microaspersión el agua podría percolarse con cierta facilidad. En suelos de textura media, probablemente es donde mejor se adapta el riego por microaspersión, ya que un emisor moja uniformemente una superficie significativa en torno a la planta. En este sistema debe evitarse que el tronco se moje ya que bajo ciertas circunstancias podría dar origen al desarrollo de enfermedades en el cuello de la planta y además al mojar un área más extensa, promueve el desarrollo de malezas.

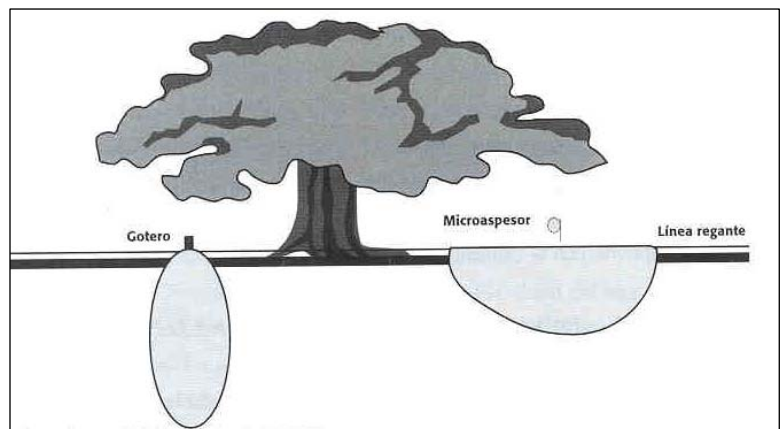


Figura 3.7.4. Bulbo de humedad en dos emisores de baja presión en aguacate.

3.7.6. Diseño y Operación del Sistema de Riego

Una vez conjuntados y analizados los factores agronómicos, hídrico, ambiental, y social, y conocido el parámetro evapotranspiración potencial diaria del mes de máxima demanda es posible iniciar el diseño del sistema de riego.

Los diseños de sistemas de riego se realizan para satisfacer las máximas demandas hídricas del cultivo, es decir, que el sistema de riego a elegir debe ser capaz de suministrar la demanda máxima del cultivo en el mes más seco y caliente (mm/día).

Al momento de realizar el diseño es importante considerar la eficiencia de aplicación y uniformidad de distribución de los sistemas, parámetros importantes además por afectar de manera directa la eficiencia de los sistemas de fertirrigación.

Para asegurar el éxito en la fertirrigación se deben alcanzar eficiencias de aplicación iguales o mayores a las que se indican:

- Riego por superficie: 80 %
- Riego por aspersión: 90 %
- Riego por microaspersión o goteo: 95 %.

Al lograr eficiencias similares, es posible evitar pérdidas significativas de fertilizantes por precolación, escurrimiento y/o problemas por contaminación de acuíferos.

Muchas veces las máximas eficiencias y ventajas del riego localizado no son alcanzadas siendo la operación y no el diseño la causa, pueden estar los sistemas muy bien diseñados hidráulicamente pero si no son bien operados o los criterios agronómicos de manejo considerados no son adecuados, el sistema resultara poco rentable.

Durante el diseño del sistema de riego, muchos factores afectan el sistema a obtener; el criterio de optimización que el diseñador tenga, el capital disponible, disponibilidad del agua en el año, etc. Por lo que dos diseños raramente son iguales para dos huertos de producción.

De manera general, los cálculos de diseño que se realizan incluyen los siguientes:

- **El volumen de agua que el suelo puede retener (Vs) a capacidad de campo (CC)**, se obtiene con la expresión:

$$V_s = (CC - PMP) \cdot D_a \cdot P_r \cdot A_r \quad (m^3)$$

Donde: CC: capacidad de campo (%).

PMP: punto de marchites permanente (%).

D_a : densidad aparente (ton/m^3)

P_r : profundidad radicular (m).

A_r : área radicular (m^2).

Es importante aclarar que la formula anterior implica que el cultivo se regara cuando la humedad del suelo se reduzca al máximo, o cual no se aplica en la realidad, sino mas bien se maneja un factor permisible de déficit de humedad, el cual significa no permitir que la humedad del suelo disminuya mas de cierto porcentaje para no someter al cultivo a un estrés hídrico.

- **El volumen de agua (Vr), necesario para satisfacer la máxima demanda para un árbol es:**

$$V_r = A_r \cdot ETP_d \quad (m^3/día)$$

Donde: ETPd: evapotranspiración diaria del mes más caliente.

A_r : Área radicular.

- **El número de días que (Nd), como máximo, que el suelo puede suministrar agua al cultivo:**

$Nd = V_s / V_r$ Donde $V_s =$ Volumen suministrado.

- **El tiempo de riego:**

De acuerdo a las necesidades hídricas del cultivo, el tiempo de riego depende del gasto del emisor (Q_e), en cualquier caso (se trate de manguera, emisor, etc.) el tiempo de riego (T_r), debe ser:

$T_r = V_r / Q_e$ o Q_m . Donde $Q_e =$ Gasto del emisor. $Q_m =$ Gasto de manguera.

- **El número de árboles (Na) que pueden ser simultáneamente regados se obtiene con la relación:**

$N_a = Q_d / Q_e$ ó Q_m

Donde: $Q_d =$ gasto disponible en la huerta ($m^3 / \text{seg.}$).

Q_e o $Q_m =$ gasto del emisor o de la manguera. ($m^3 / \text{seg.}$).

La ecuación anterior calcula el número de árboles que pueden ser regados simultáneamente de acuerdo al gasto disponible. Si para comparar la cobertura que ofrecen diferentes métodos de riego (manguera, goteo, micro-aspersores, etc.) asumimos un gasto disponible $Q_d = 22$ LPS, entonces cada método tiene las siguientes cantidades:

a) Manguera 3 LPS*, $N_a = (0.022 \text{ m}^3/\text{seg.}) / (0.003 \text{ m}^3 / \text{seg.}) = \mathbf{7 \text{ árboles.}}$

b) Goteros 4 LPH, $N_a = (0.022 \text{ m}^3/\text{seg.}) / (0.000 \text{ 001 } 1 \text{ m}^3 / \text{seg.}) = \mathbf{9 \text{ 800 árboles.}}$

c) Goteros 8 LPH $N_a = (0.022 \text{ m}^3/\text{seg.}) / (0.000 \text{ 002 } 2 \text{ m}^3/\text{seg.}) = \mathbf{9 \text{ 900 árboles.}}$

d) Microaspersores 40 LPH, $N_a = (0.022 \text{ m}^3/\text{seg.}) / (0.000 \text{ 011}) = \mathbf{1 \text{ 980 árboles.}}$

*3 LPS= 10 800 LPH

De donde podemos observar que resalta la mejor cobertura de los riegos localizados, es decir, podemos regar más árboles al mismo tiempo cuando el gasto es pequeño y aunque los tiempos de riego se incrementen requiere de menor cantidad de mano de obra y además es mas practico (Téliz, 2000).

3.7.7. Programación del Riego.

La programación del riego tiene como objetivos:

- Abastecer oportunamente la cantidad correcta de agua.
- Que el agua esté disponible cuando el árbol la necesite.
- Maximizar la eficiencia al reducir perdidas por escurrimientos y precolación.
- Optimizar uso de agua y energía.

Para llevar a cabo la programación del riego es necesario:

- Analizar el agua (su calidad) y suelo (textura, retención de humedad).
- Instalar sensores o tensiometros (figura 3.7.5) y registrar las lecturas.
- Registro diario de evaporación y lluvia o uso de registros históricos.
- Calculo de las necesidades de agua.
- Realizar mediciones de campo: Separación entre árboles, número de goteros por árbol, gasto del gotero, diámetro de copa del árbol (sombra), etc.

La calendarización del riego es una técnica que permite prever con cierto grado de confianza, la fecha y la cantidad de agua de los riegos. De esta forma, pueden planearse mejor las actividades de la huerta y optimizar los recursos.

La medida del contenido de humedad del suelo puede emplearse para la programación del riego mediante diferentes instrumentos como el dispersor de neutrones o mediante el método gravimétrico, por ser el primero relativamente caro y de uso complejo y el segundo muy laborioso, su uso se limita a trabajos experimentales. Pasa lo mismo con las técnicas de reflectometría (TDR; time-domain-reflectometry) que resulta poco operativa y costosa.

La medida de la tensión de la humedad en el suelo es un procedimiento más asequible, el empleo de bloques de yeso se ha difundido poco, por requerir de una buena calibración según el tipo de suelo. Los tensiómetros, de uso más extenso, que miden la tensión con que el suelo retiene el agua son también instrumento útil para la programación del riego en aguacate.

Figura 3.7.5. Instalación de tensiómetros en la zona radical a diferentes profundidades.

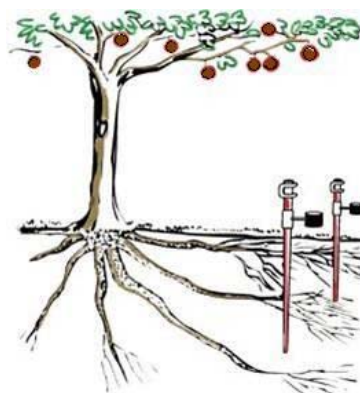


Figura 3.7.6. a) Sensor de humedad instalado, en el área de influencia del emisor a diferentes profundidades. Verde: a 30 cm.; rojo: a 60 cm.

3.7.8. Evaluación de la Eficiencia del Sistema de Riego.

La eficiencia y la uniformidad de los sistemas de riego son aspectos muy importantes que se tienen que considerar tanto durante el diseño del sistema como al tenerlo en funcionamiento, más aun cuando se busca fertirrigar, pues afectan el patrón de dosificación del agua y de los nutrimentos requeridos por el cultivo. Monitorear estos parámetros durante su funcionamiento permite detectar fallas y aplicar medidas correctivas a tiempo, antes que los efectos de los bajos niveles de eficiencia se muestren en el cultivo.

3.7.8.1. Eficiencia de Aplicación:

Es la relación que existe entre la lámina de riego proyectada a aplicar y la lámina de riego aplicada en el riego.

$$\text{Eficiencia de aplicación (Ea)} = (\text{Lr CC} / \text{Lr t}) * 100$$

Donde: LCR = lámina de riego a capacidad de campo proyectada.

Lr t = lamina de riego total aplicada.

3.7.8.2. Uniformidad de Distribución

Es considerado como la relación que existe entre los emisores que dan menos caudal y el caudal medio de toda la instalación o dentro de una sección de riego, en un sistema depende de:

- Las diferencias de presión producidas en la red (perdidas de carga).
- La respuesta del emisor a la temperatura y presión del agua.
- La variación de manufactura de los reguladores de presión.
- La presencia o no de fugas y de su tamaño.
- La calidad del agua utilizada y de la homogeneidad de la mezcla fertilizante aplicada, entre otros.

Para lograr buenos resultados con la fertirrigación, esta eficiencia debe ser mayor al 90 % en cualquier método de riego para que las plantas puedan recibir cantidades prácticamente iguales de agua y de nutrientes.

El cálculo de la eficiencia de distribución se determina con la relación:

$$\text{Eficiencia de distribución (Ed)} = (\text{Lr min.} / \text{Lr media}) * 100$$

Donde:

Lr min. = lamina de riego del cuartil (25 %) de emisores con caudal mas bajo

Lr media = lamina de riego media de la sección.

3.7.8.3. Procedimiento de Evaluación en Campo

Luego de haber seleccionado la sección de riego a evaluar:

- Se pone a operar el sistema y se deja funcionando a la presión de diseño el tiempo suficiente para remover el aire de las líneas.
- Se seleccionan cuatro hileras de árboles de la sección a evaluar.
- En cada hilera se seleccionan cuatro puntos de evaluación, uno al inicio, el final y dos intermedios; uno a 1/3 en la línea, otro a 2/3 respectivamente como lo muestra la figura 3.7.7. De este modo se tendrán al final 16 puntos de evaluación distribuidos en la sección de riego.

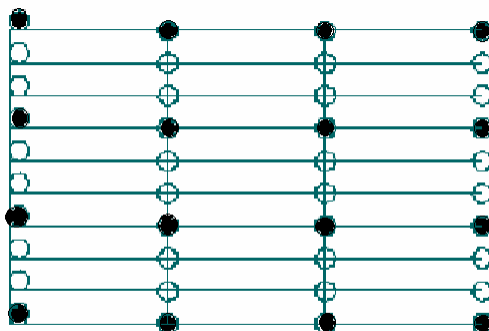


Figura 3.7.7. Ubicación de los puntos de evaluación.

- Se mide el caudal que reciben las 16 plantas, Figura 3.7.8. (suministrado por todos los emisores que abastecen a esa planta) por unos 5 minutos y se aplica la formula para determinar la uniformidad de distribución.



Figura 3.7.8. Medición del caudal en los puntos de evaluación.

Cuadro de concentración de datos (caudales obtenidos).

| LINEA | POSICIÓN DEL PUNTO DE EVALUACIÓN | | | |
|-------|----------------------------------|---------|--------|---------|
| | Inicio | 1/3 | 2/3 | Final |
| 1 | *350 ml | 393 ml | 380 ml | 379 ml |
| 2 | 384 ml | 396 ml | 377 ml | *338 ml |
| 3 | 400 ml | 393 ml | 388 ml | *334 ml |
| 4 | 400 ml | *184 ml | 388 ml | 392 ml |

* Emisores de cuartil de menor caudal.

Caudal medio del cuartil (25 % de los datos) con caudal mas bajo:

$$= (350 + 184 + 338 + 334) / 4 = \mathbf{301.5 \text{ ml.}}$$

Caudal medio de la sección de riego evaluada:

$$= (350 + 384 + 400 + \dots + 334 + 392) / 16 = \mathbf{367.25 \text{ ml.}}$$

Coeficiente de uniformidad = $(301.5 \text{ ml.} / 367.25 \text{ ml.}) * 100 = \mathbf{82 \%}$

Como para lograr buenos resultados con el cultivo y con la fertirrigación, esta eficiencia debe ser mayor al 90 % en cualquier método de riego para que las plantas puedan recibir cantidades prácticamente iguales de agua y de nutrientes, en este ejemplo son necesarios trabajos para incrementar el coeficiente de uniformidad como son:

- Limpieza de filtros, líneas y goteros.
- Reparación y limpieza de líneas rotas.
- Revisión del diseño y corrección de fallas.
- Colocar reguladores de presión en lugares estratégicos, etc.

3.7.9. Comparación de los Métodos de Riego

Dado que la escasez de agua se está transformando en un factor habitual en muchas partes del mundo, la relación de kilos cosechados por unidad de agua aplicada tiene cada vez más importancia. Por ello es importante, al momento de elegir un sistema de riego, considerar las ventajas y desventajas que tienen, siempre buscando un uso óptimo de los recursos, en éste caso el agua.

Aun cuando no se cuenta con información suficiente respecto de efectos específicos del método de riego sobre la productividad del aguacate, el riego ha sido identificado como un factor fundamental para el éxito de su producción ya que afecta de manera directa la aireación del suelo, la densidad radicular, los niveles y percolación de agua/nutrientes (El riego por goteo aumenta las concentraciones de Cl y Mn) y en general las funciones vitales de la planta.

Roncagliolo (2001) al evaluar el efecto del riego presurizado por goteo y micro-aspersión sobre el lavado de sales, crecimiento vegetativo y reproductivo del palto

hass, encontró que no hubo diferencias en la variación de la conductividad eléctrica, contenido de cloruros, sodio y sulfatos de la solución del suelo medida a los 30 y 60 cm. de profundidad entre los sistemas de riego, tampoco en daño foliar y contenido de cloruros y sodio en hojas de nuevos brotes, ni en el incremento del perímetro de tronco, largo final de brotes, ni en la retención de frutos.

El siguiente cuadro presenta una comparación de la producción obtenida con el riego por aspersión y goteo, éste último aplicado con diferentes frecuencias de riego, resultados de un experimento de dos años, en Israel.

Cuadro 3.7.2 Rendimiento del aguacate (Kg. /ha) bajo riegos por aspersión y goteo con distintas frecuencias de aplicación (Salgado 1990).

| Tratamiento | Frecuencia días | Variedades | |
|-------------|-----------------|------------|--------|
| | | Hass | Navel |
| Aspersión | 10 | 5 450 | 13 150 |
| Goteo | Diario | 10 250 | 10 150 |
| Goteo | 5 | 4 600 | 16 400 |
| Goteo | 10 | 8 650 | 20 200 |

En el cuadro se aprecia que el goteo produce mejores rendimientos que el riego por aspersión aplicado cada 10 días, en todos los casos. Sin embargo, mientras que para el Hass la mejor frecuencia es el riego diario, en el cultivar Navel el mejor es cada 10 días. Un sistema de riego afecta de manera diferente y conjunta muchos factores como la variedad, fertilización, manejo sanitario, etc, lo que se refleja en la producción final. La elección del método de riego a utilizar en aguacate es una cuestión multifactorial, lo que limita poder hacer recomendaciones generales de riego en el cultivo. Las consideraciones y principios de funcionamiento son, sin embargo, los mismos y dependen en gran medida de los criterios que se usen en su diseño.

3.8. NUTRICION Y FERTILIZACION DEL AGUACATE

3.8.1. Requerimientos Nutricionales

Para calcular la cantidad de nutrimentos que deben aplicarse a los huertos de aguacate, ya sea en forma orgánica o inorgánica, es necesario conocer la cantidad de nutrimentos removidos por el fruto. Estos nutrimentos son retirados definitivamente del suelo del huerto (Salazar, 2002).

Los árboles tienen una relativa baja demanda nutrimental, pocos nutrimentos son removidos del suelo. La extracción de N, P y K en una tonelada de fruta es del orden de 11, 2 y 20 Kg. de N, P y K respectivamente (Lahav, 1999, citado por Teliz 2000).

Los requerimientos nutrimentales del aguacatero son variables durante su desarrollo y esto depende de la edad del árbol, fonología y la variedad, así por ejemplo, un árbol de aguacate de la variedad Fuerte extrae del suelo en promedio 3.2 Kg. de nitrógeno por tonelada de pulpa, 1.2 Kg. de fósforo y 4.2 Kg. de potasio y la variedad Hass 7.0 Kg. de N, 1.7 de P y 19.1 Kg. de K (Sánchez, 1996).

3.8.2. Funciones de los Nutrimentos y Síntomas de Deficiencia

De acuerdo a criterios de esencialidad se ha determinado que las plantas en general requieren de 16 elementos: 3 orgánicos (C, H, O) y 13 minerales, que según el requerimiento cuantitativo pueden ser macronutrientes primarios (N, P, K), macronutrientes secundarios (Ca, Mg, S) o micronutrientes (B, Mn, Mo, Cl, Zn, Fe, Cu).

Estos criterios de esencialidad son:

- Son elementos necesarios e indispensables.
- No pueden ser sustituidos por otros en sus funciones.

En general las funciones que realizan los elementos son estructurales, de crecimiento, activación enzimática, catalizadores, y otros. (Cuadro 3.8.1).

Cuadro 3.8.1. Funciones de los nutrimentos y síntomas de deficiencia en el aguacate (Sánchez y Ramírez, 2000).

| ELEMENTO | FUNCIONES | SINTOMAS DE DEFICIENCIA |
|-----------------|---|---|
| Nitrógeno | Forma parte de todas las proteínas y es parte estructural de la clorofila. | Restricción del crecimiento, amarillamiento y caída prematura de hojas, frutos pequeños, plantas sensibles a heladas. |
| Fósforo | Fotosíntesis, almacenamiento y transferencia de energía, formación de la semilla. | Reducción del crecimiento, del tamaño de hojas con caída prematura y marchitamiento con quemadura. |
| Potasio | Activación de enzimas, fotosíntesis, calidad de fruto. | Coloración café en el envés de las hojas y manchas cloróticas entre las venas. |
| Calcio | Crecimiento y resistencia a enfermedades | Quemaduras en ápice de la hoja y rigidez en las células. |
| Magnesio | Activador enzimático, forma parte de la clorofila, respiración. | Restricción del crecimiento, amarillamiento de las hojas con manchas café en los márgenes. |
| Azufre | Síntesis de aminoácidos y proteínas, fotosíntesis. | Amarillamiento de las hojas y necrosis en los márgenes. |
| Zinc | Activación enzimática. | Amarillamiento internerval en hojas jóvenes, hojas pequeñas, arrojamiento de brotes, frutos pequeños y redondos. |
| Hierro | Fotosíntesis, síntesis de proteínas, respiración, transferencia de energía. | Hojas jóvenes amarillas con las nervaduras verdes. |
| Cobre | Fotosíntesis | Coloración café-rojiza de nervaduras, defoliación prematura y brotación anormal. |
| Manganeso | Crecimiento (activación enzimática), reproducción. | Clorosis internerval, manchas necroticas en las hojas y amarillamiento internerval. |
| Boro | Crecimiento, reproducción, floración y desarrollo del fruto. | Caída de hojas, hojas nuevas secas, enrolladas y quebradizas. |
| Cloro | Fotólisis del agua en la fotosíntesis. | Se presenta como una clorosis generalizada en hojas. |
| Molibdeno | Reducción de nitratos. | Sin evidencias sobre sus deficiencias. |

El grado de movilidad de los nutrimentos en la planta es un aspecto importante de conocer ya que es la forma más rápida de determinar los requerimientos de algunos de ellos. El grado de movilidad se indica en el cuadro 3.8.2.

Cuadro 3.8.2. Movilidad de nutrientes y áreas donde su deficiencia se percibe.

| Movilidad | Elementos | Deficiencia |
|------------------|--|----------------------|
| Móviles | Nitrógeno, Fósforo, Potasio, Magnesio. | En hojas inferiores |
| Poco móviles | Azufre, Hierro, Cobre, Zinc, Manganeso | En hojas superiores. |
| Inmóviles | Calcio, Boro | En toda la planta |

3.8.3. Satisfacción de Requerimientos

La fertilización constituye una de las prácticas más eficientes para asegurar a la planta la posibilidad de expresar su potencial genético al producir frutos abundantes y de excelente calidad. En efecto, la finalidad de la fertilización es poner a disposición de las plantas las cantidades adecuadas de aquellos elementos esenciales, presentes en el suelo a niveles deficitarios, para que éstas puedan realizar sus funciones fisiológicas vitales (Avilán, 1989).

3.8.3.1. Uso de Fertilizantes Químicos

En la actualidad, se usan ampliamente para suministrar los nutrimentos necesarios a la mayoría de los cultivos. Todavía existe mucha confusión respecto a que si la fertilización inorgánica, basada en fertilizantes producidos sintéticamente, es mejor que la orgánica. Sin embargo, los nutrimentos siempre son absorbidos por las raíces de las plantas en las mismas formas iónicas, independientemente de si provienen de fuentes orgánicas o inorgánicas. Por otra parte, después de que los iones han sido

absorbidos por las raíces, las rutas y procesos metabólicos son los mismos, no siendo posible de distinguir la fuente que aportó los nutrimentos.

Las principales ventajas de la fertilización mineral son:

- Alta concentración: la elevada concentración de nutrimentos hace bajo el costo por unidad de nutrimento aplicado.
- Contenido específico: se puede aplicar para cubrir la necesidad de un nutrimento en particular.
- Alta disponibilidad: están disponibles más rápidamente para la planta.
- Fácil manejo: se pueden aplicar en las etapas requeridas por la planta.
- Versatilidad: es posible preparar mezclar con el balance necesario para un buen crecimiento de la planta.

Algunas de sus desventajas son:

- Peligro de usar más fertilizante del requerido. Esto puede causar toxicidad a la planta y contaminación de suelos y aguas subterráneas.
- Es necesario conocimiento técnico para usarlos efectivamente.

3.8.3.2. Uso de Abonos Orgánicos

La utilización de abonos orgánicos, para mantener la fertilidad de los suelos cultivados, es una práctica que ha sido realizada de manera tradicional en diversas zonas productoras de México. La aparición en el mercado de los fertilizantes inorgánicos causó que durante varios años disminuyera el uso de los abonos orgánicos. Sin embargo, recientemente han vuelto a tomar importancia, sobre todo para el mejoramiento de las características fisicoquímicas de los suelos, el

incremento en la eficiencia del uso del agua, así como para la producción de aguacate sin fertilización inorgánica.

Las principales características positivas de los abonos orgánicos son:

- Mejoran la estructura del suelo al aplicarlos en cantidad suficiente.
- Son fertilizantes de liberación lenta.
- Algunos son fuente de N, P y K y elementos menores.
- Incrementan la capacidad del suelo para almacenar nutrientes.
- Ayudan a la conservación de la humedad del suelo.
- Reducen las fluctuaciones diarias en la temperatura del suelo.
- Algunos tipos, como la alfalfa o el estiércol vacuno, pueden ser útiles para controlar patógenos del suelo, como la enfermedad "tristeza del aguacate".

Entre sus principales desventajas están las siguientes:

- Bajo contenido nutrimental por unidad de peso o volumen. Costo elevado de transporte y aplicación. Pueden contener altas concentraciones de Cl^- y Na^+ .
- Los nutrientes que tiene no se liberan tan rápido como lo requiere el árbol.
- Si no es incorporado al suelo hasta el 50% del N se pierde como gas amoniacado (NH_3).
- Algunos no son tan buena fuente de micro-nutrientes como se cree.
- El uso continuo puede causar la acumulación de iones específicos.
- Si el abono no ha sido compostado adecuadamente puede introducir semillas viables de maleza al huerto.

En aguacate pueden utilizarse diferentes tipos de abonos orgánicos, su elección esta determinada por la disponibilidad local, el precio y la facilidad de transporte y aplicación. Las malezas que crecen entre los árboles pueden podarse y dejar dispersos sobre el suelo (Figura 3.8.1) o recogerse para hacer composta y aplicarse como cubierta (Salazar, 2002).



Figura 3.8.1. Dispersión de residuos de malezas sobre el suelo y en la base de las plantas.

3.8.3.3. Aplicación de los Fertilizantes

Los fertilizantes deben aplicarse alrededor de la planta donde esta la mayor concentración de raíces activas, generalmente entre la mitad del radio de la copa de la planta y la proyección externa de la misma (figura 3.8.2). Esta es la zona donde debe localizarse el fertilizante para su mejor aprovechamiento por parte de la planta (Avilán et al, 1986).

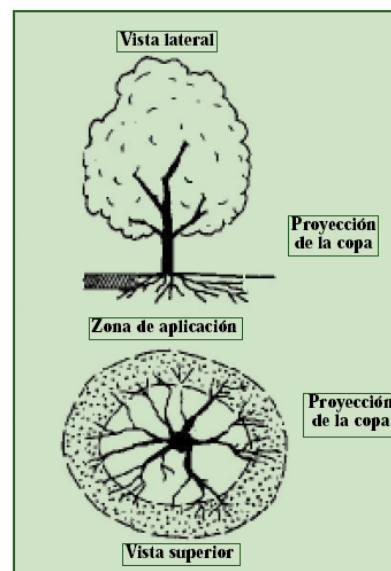


Figura 3.8.2. Zona de aplicación del fertilizante alrededor de la planta.

Tomando en consideración la disponibilidad de agua en la aplicación del fertilizante, esta puede hacerse una vez iniciado el período de las lluvias o cuando se dispone de riego uno o dos meses antes de la época normal de floración del cultivo, y el resto del abono durante la fase inicial e intermedia del desarrollo de los frutos (Avilán, 1989).

3.8.3.3.1. Época y métodos de aplicación

Según la función del nutrimento y la etapa fenológica del aguacatero, los fertilizantes deben aplicarse en forma parcial, con el propósito de evitar pérdidas por fijación del N, P y K, lixiviación (lavado) y volatilización, etc. (Téliz, 2000).

Los fertilizantes pueden aplicarse mediante alguno de los siguientes métodos:

- Aplicación superficial en banda.
- Aplicación en hoyos o en zanjas.
- Aplicación foliar de fertilizantes líquidos.
- Aplicación con el agua de riego (fertirriego).

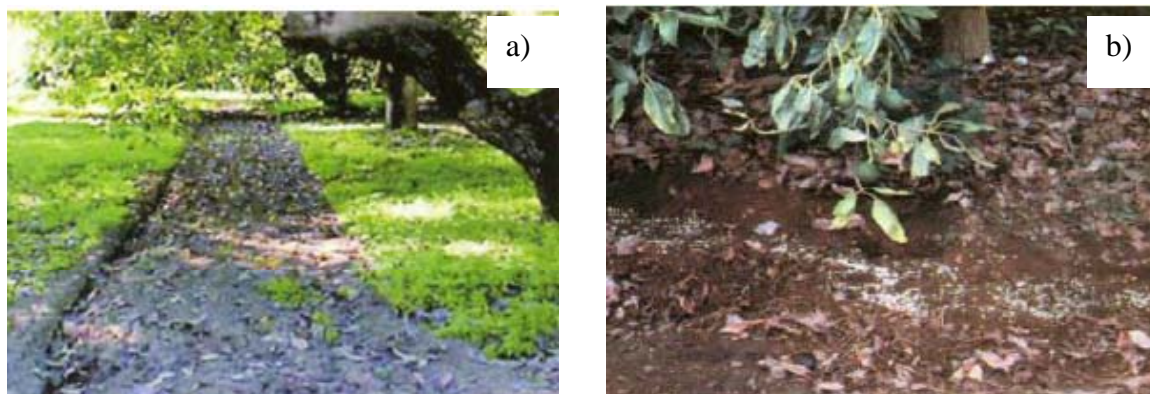


Figura 3.8.3. Formas de aplicación de fertilizantes: a) Aplicación en franjas a lo largo de la línea de árboles. b) Alrededor de cada árbol.

3.8.4. Manejo de la Fertilización del Aguacatero

Son diversos los factores que influyen sobre el rendimiento y la calidad del aguacate, entre ellos los edáficos o relativos al suelo, los climáticos, los bióticos (variedad, portainjerto, etc.) y los de manejo del cultivo como la plantación, control sanitario, riego, fertilización).

La fertilización es, por tanto, una práctica importante de manejo ya que su efecto es directo sobre el aspecto económico y sobre la calidad de la producción.

En relación con la fertilización del aguacate, es importante considerar que nada sustituye un buen diagnóstico que considere aspectos de suelo, planta, clima y manejo del huerto. También, es necesario considerar que es arriesgado tratar de dar recomendaciones de fertilización válidas para cualquier condición de cultivo.

La variación en los tipos de suelo y su fertilidad justifica por sí sola la necesidad de disponer de recomendaciones de fertilización por sitio específico para cada zona o región.

El objetivo fundamental de la fertilización debe ser el de evitar desequilibrios nutrimentales para lograr y mantener la máxima productividad del huerto, sin deterioro del medio ambiente (Salazar, 2002).

3.8.5. Antagonismos y Sinergismos

Aunado al efecto benéfico de los fertilizantes, es común observar interacciones cónicas, es decir, la influencia sobre la intensificación o depresión de un ion en un tejido. En aguacate, ejemplos de interacción entre nutrientes con relaciones antagónicas o sinérgicas, son las siguientes:

- La aplicación de grandes cantidades de N induce deficiencias de K, Cu, Zn y B. (Loupassaki 1997, citado por Sánchez y Ramírez, 2000) y reducen la concentración de Mg e incrementan las de Fe y Mn en hojas. En cambio, aplicaciones altas de P incrementan la concentración de N, Mg y Mn, y disminuyen la de K, Zn, Cu y B (Sánchez y Ramírez, 2000).
- Ejemplo 1: Antagonismo P---Zn: El exceso de P impide la absorción y la capacidad de la planta de absorber Zn.
- Ejemplo 2. Sinergismo Ca---B: El boro mejora la capacidad de la planta para usar el calcio. Si el nivel de boro en planta es bajo, la planta no podrá utilizar completamente el calcio y por tanto aplicaciones adicionales de calcio estarán desperdiciadas, a si mismo los excesos puede inducir deficiencias de K, Fe y Mn en las hojas.

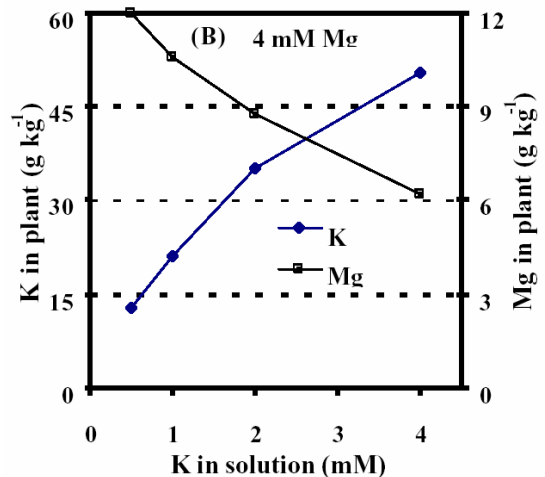


Figura 3.8.4. Antagonismo Mg -- K

3.8.6. Elección y Cálculo del Fertilizante

La cantidad de fertilizante que se necesita aplicar, depende de la cantidad del nutrimento requerido (dosis) y del contenido de este en el fertilizante. Por ejemplo, si se requiere aplicar la dosis 2-2-2 (de N, P, K) podemos usar el fertilizante compuesto triple 17 (17-17-17) en la cantidad que genera la siguiente igualdad:

$$\text{Cantidad de fertilizante por aplicar} = \frac{\text{Dosis (kg/ha)}}{\text{Contenido fertilizante (\%) en el fertilizante}} * 100$$

De esta manera, para aplicar la dosis recomendada, se necesitan distribuir 11.76 Kg. / árbol / año del fertilizante triple 17.

Si consideramos una densidad de 100 árboles por hectárea y un peso de 50 Kg. por bulto de fertilizante, se requieren (11.76 Kg./árbol/año * 100 árboles) / 50 Kg. por bulto = 23.6 bultos de fertilizante

En el caso de las dosis recomendadas con cantidades de elementos diferentes, por ejemplo 3-1-2, se puede recurrir a los siguientes fertilizantes.

- Triple 17 (17% N, 17% P, 17% K).
- Nitrato de potasio (13% N, 44 % K).
- Urea (46 % N).

De esta manera, para calcular la cantidad de fertilizante a utilizar, iniciamos con el que aporta más elementos, en este caso el triple 17. Adicionando homogéneamente $(1 / 17) * 100 = 5.88$ Kg./árbol/año, restarían 2 Kg. de N y 1 de K por lo que se procede a aplicar el elemento faltante: $(1 / 44) * 100 = 2.27$ Kg./árbol/año de nitrato de potasio. Con esta cantidad se adiciona el Kg. de K faltante y también 0.3 Kg. de N, $(2.27 * 13 / 100)$, restando ya solo 1.7 Kg. de N que se satisfacen con 3.7 Kg./árbol/año de urea. Dicho de otra manera, $5.88 * 100 / 50 = 12$ bultos/ha de triple 17, 4.5 bultos/ha de nitrato de amonio y 7.4 bulto/ha de urea.

3.8.7. Racionalización de la Aplicación de Fertilizantes

Para realizar aplicaciones dirigidas y eficientes de los fertilizantes es necesario contar con asesoramiento técnico, además del análisis de factores que definen el estado nutrimental del cultivo como son el suelo, planta y la solución fertilizante.

Conocer la situación nutricional del cultivo a través de un diagnóstico es el primer paso para poder racionalizar la aplicación de fertilizantes y por ende la optimización en uso de los recursos.

Actualmente existen varias herramientas que técnicos y agricultores pueden aplicar para llevar a cabo un diagnóstico del estado nutrimental del cultivo entre las que tenemos los análisis químicos de las plantas, el análisis de la solución del suelo y el análisis visual de las plantas.

3.8.8. Diagnóstico del Estado Nutrimental del Cultivo

El diagnóstico del estado nutrimental de un cultivo comprende diferentes métodos, entre ellos en análisis de suelo, el análisis químico de la planta y su análisis visual. Al conocer la situación es posible aplicar medidas preventivas y/o correctivas sobre el plan de fertilización a manera de optimizar el uso de los recursos.

3.8.8.1. Análisis Químicos de la Planta

Es el análisis del contenido nutrimental en los tejidos vegetales, estos análisis tienen tres variantes, que son: El análisis de toda la parte aérea de la planta (haciendo un análisis único o secuencial), el análisis de hojas u otros órganos de referencia, y el análisis de savia (Rojas, 2000).

3.8.8.1.1. Análisis Foliare

El análisis de suelo es una herramienta útil para identificar el estado general de fertilidad del suelo; en frutales, sin embargo, no una guía satisfactoria para generar recomendaciones de fertilización, pues no representa el estado nutrimental real del cultivo ya que la absorción de nutrientes está sujeta a varios factores y no es posible determinar con precisión el volumen de suelo explorado por las raíces, ni la cantidad de nutrimentos disponibles en esa zona para cada estación de crecimiento (Mora, 1994), además, puede ser que el cultivo no este absorbiendo de manera adecuada los nutrientes que necesita aunque estén presentes en la zona de absorción radical, por lo anterior, el análisis de suelo debe conjuntarse con el análisis foliar, para realizar un diagnostico completo del estado nutrimental del huerto y sus necesidades, de esta forma podremos recomendar una fertilización balanceada, en función del rendimiento esperado.

Los principales usos del análisis químico de hojas incluyen:

- a).- Diagnostico de deficiencias, toxicidades o desbalances nutricionales.
- b).- Recomendaciones de fertilización.
- c).- Monitoreo de la respuesta a la aplicación de fertilizantes.
- d).- Calculo de la cantidad de nutrimentos removidos por cosecha, con el propósito de restituirlos y mantener la fertilidad del suelo.
- e).- Diagnostico del estado nutrimental de un cultivo por regiones, zonas y tipos de suelo (Salazar, 2002).

Para realizar el muestreo de hojas a analizar deben tomarse hojas maduras completas de 5 a 7 meses de edad del año actual, completas (peciolo mas limbo),

mismas que deben ser seleccionadas de ramas sin frutos, no sombreadas por otras partes de la copa y distribuidas alrededor de la copa del árbol para eliminar el efecto de la sombra, a una altura del suelo entre 1.3 y 2.0 m (Embleton and Jones, 1996; Marchall, 1986; Plessis *et al.*, 1997).

Los principales pasos que implica el análisis foliar comprende la toma de muestras y su preparación, el secado, pulverización, análisis, pasos que son mostrados en la figura siguiente:



Figura 3.8.5. Pasos para el análisis químico de tejido foliar.

Para el diagnóstico de los resultados del análisis foliar generalmente se compara la concentración nutrimental con valores de referencia para el cultivo, o para un órgano o época específica. En el aguacatero, para la interpretación de los resultados del análisis foliar, Goodall *et al.*, (1981, citados por Marchall, 1986) propusieron usar como rangos de comparación las concentraciones de nutrimentos en las hojas indicadas en el cuadro 3.8.3.

Cuadro 3.8.3. Rangos de suficiencia generales de la concentración de nutrientes en hojas de aguacate.

| ELEMENTO | | DEFICIENTE | OPTIMO | EXCESO |
|----------|-----|------------|-----------|--------|
| N | % | < 1.6 | 1.6-2.0 | >2.0 |
| P | % | < 0.08 | 0.08-0.25 | >0.3 |
| K | % | < 0.75 | 0.75-2.0 | >2.0 |
| Ca | % | 0.5 | 1.0 | >1.0 |
| Mg | % | < 0.25 | 0.25-0.80 | >1.0 |
| S | % | < 0.20 | 0.20-0.60 | >1.0 |
| Na | % | - | - | >0.25 |
| Cl | % | - | - | >0.25 |
| Fe | ppm | 20-40 | 50-200 | >200 |
| Mn | ppm | 10-15 | 30-500 | >1000 |
| Zn | ppm | 10-20 | 30-150 | >300 |
| Cu | ppm | 2-3 | 5-15 | >25 |
| B | ppm | 10-20 | 50-100 | >100 |
| Mo | ppm | 0.01 | 0.05-1.0 | >1.0 |

3.8.8.1.2. Análisis de Savia

El análisis de extracto celular de pecíolo (savia) es una técnica usada para conocer el estado nutricional de la planta en un momento de su desarrollo, permitiendo hacer balances de las concentraciones de macro y micro elementos y las correcciones necesarias para optimizar la nutrición durante el ciclo de cultivo. El análisis de savia consiste en extraer líquido de la planta o en algún órgano de referencia (el órgano de referencia comúnmente utilizado es la hoja, por ser la más fácil de muestrear y determinar su nivel o posición sobre la planta) para determinar en él los elementos minerales y sustancias orgánicas de interés para la nutrición de la planta, a diferencia del análisis foliar y de la planta entera, el análisis de savia refleja la situación

nutricional en tiempo real, es recomendable realizar un análisis de savia cada quince días desde el inicio de la floración hasta la fase de producción (Rojas, 2000).



Figura 3.8.6. Análisis químico de iones solubles en el extracto celular de pecíolo (ECP) con ionómetros portátiles.

3.8.8.2. Análisis de la Solución del Suelo

Los análisis de solución del suelo nos ayudan a conocer la interacción entre la disolución de nutrimentos aplicados y el suelo, verificando pH, C.E. y elementos minerales de interés en general. La proporción o equilibrio químico adecuado en la solución del suelo puede influir en el crecimiento y desarrollo de los cultivos (Navarro, 2002).

La solución del suelo es el intermediario nutritivo entre el complejo absorbente del suelo y la planta, la composición de la solución del suelo es variable según el tipo de suelo, la riqueza en elementos nutritivos (fertilización), la estación, y el grado de humedad del suelo. El contenido de elementos minerales en la solución del suelo es de particular interés, puesto que la planta absorbe dichos elementos de ahí, dependiendo esto en gran parte de su concentración.

La cantidad de elementos disponibles para las plantas dependerá del desplazamiento en masa de la solución, y de la difusión mantenida en las cercanías de las raíces por el gradiente de concentración producido por su funcionamiento (Navarro, 2002).

La extracción de muestras de la solución del suelo para su posterior análisis se hace utilizando tubos de acceso conocidos como sondas de extracción o lisímetros de succión (chupatubos). Con ellas es posible obtener muestras de agua del suelo a varias profundidades en la zona de la raíz de los cultivos. Cuando se utiliza junto con un equipo de análisis de nutrientes portátil se puede conocer su concentración de nutrientes en la misma huerta sin necesidad de llevar las muestras a un laboratorio.



Figura 3.8.7. Sondas de extracción o lisímetros de succión instalados a diferentes profundidades.

3.8.8.3. Análisis Visual de la Planta

Es una técnica muy útil para establecer un juicio preliminar sobre el estado nutricional, por lo general, la única herramienta disponible para la toma inmediata de decisiones en el campo. Sus principales ventajas son su rapidez, simplicidad y economía, además no se requiere de equipo y siempre está disponible.

Los principios de la técnica del diagnóstico visual son:

- Cada nutrimento tiene una función específica en el metabolismo de la planta. Su deficiencia puede resultar en alteraciones iniciales a nivel microscópico y macroscópico (visual), si la condición anormal continúa.

- Los síntomas presentan un patrón característico asociado con la función y movilidad del nutrimento en la planta.
- Los órganos o partes de la planta que resultan afectados son característicos para la mayoría de los nutrimentos.

Los principales usos del diagnóstico visual incluyen:

- Obtención de diagnósticos preliminares si no hay laboratorios cercanos.
- Para delimitar zonas con problemas nutrimentales.
- Monitoreo de las prácticas de fertilización.
- Evaluación de daños causados por factores no nutricionales.

Las limitaciones más importantes son:

- Escaso valor de predicción. Cuando los síntomas aparecen es probable que ya hayan ocurrido alteraciones en el rendimiento, tamaño o calidad del fruto.
- Especificidad limitada. Cuando suceden deficiencias simultáneas de nutrimentos es difícil separar los síntomas de cada uno. Distintos nutrimentos pueden presentar síntomas similares.
- Oportunidad limitada. La observación de síntomas debe efectuarse en la época apropiada de desarrollo del órgano.

Una forma de superar las limitaciones del diagnóstico visual y de hacerlo más eficiente es hacer visitas frecuentes a los huertos (Salazar, 2000). Si se cuenta con experiencia suficiente, esta técnica ayuda mucho en el manejo nutrimental del cultivo ya que no implica grandes inversiones pero si pueden redituar grandes beneficios.

3.8.9. Fertilización y Calidad del Aguacate

El comportamiento fisiológico del aguacate en postcosecha frecuentemente se encuentra asociado a deficiencias o excesos de los nutrimentos (Cuadro 3.8.4). La calidad comercial y organoléptica del aguacate está relacionada con el manejo del huerto, es decir con los contenidos nutrimentales del aguacate y la cantidad de fertilizante aplicado.

Cuadro 3.8.4. Anomalías en la calidad del fruto de aguacate derivado de problemas nutrimentales.

| ANOMALIAS EN LA CALIDAD DEL FRUTO | PROBLEMAS NUTRIMENTALES |
|---|---|
| <ul style="list-style-type: none">• Mesocarpio (pulpa) de color gris.• Daños por frío en anaquel.• Manchado de la fruta.• Heterogeneidad al madurar. • Frutos pequeños, de texturas harinosas y sensibles a bajas temperaturas.• Frutos puntiagudos.• Frutos pequeños y redondos. | <ul style="list-style-type: none">• Bajos contenidos de calcio.• Altos contenidos de nitrógeno.• Bajos contenidos de calcio y zinc.• Diferencias en los contenidos de calcio.• Deficiencias de fósforo. • Deficiencias de potasio.• Deficiencias de zinc. |

3.9. FERTIRRIEGO EN AGUACATE

3.9.1. Principios Básicos del Fertirriego.

La fertirrigación o fertirriego es la aplicación de los fertilizantes solubles o elementos nutritivos que requieren los cultivos para su desarrollo simultáneamente con el agua de riego, de una forma continua e intermitente y en la concentración adecuada para que sea aprovechada en menos tiempo, esto porque los fertilizantes son disueltos más rápidamente y pueden alcanzar la profundidad de las raíces (Moya, 2002).

Esta práctica incrementa la eficiencia de la aplicación de los fertilizantes minimizando los desperdicios y permite obtener mayores rendimientos y mejor calidad con una

mínima polución del medio ambiente. No es recomendable aplicar la fertirrigación en todos los sistemas de riego, ya que la principal exigencia es obtener la mayor uniformidad en la distribución de los fertilizantes, por eso esta práctica es generalmente asociada a los sistemas de riego localizado (goteo y microaspersión) aunque también se puede aplicar al riego por aspersión (Fuentes, 2003).

3.9.2. Ventajas y Desventajas de la Fertirrigación

Algunas de las ventajas más importantes de este sistema respecto al tradicional son:

- Incremento de rendimientos y calidad de la producción: ya que las cantidades y concentraciones de nutrientes son proporcionadas de acuerdo con los requerimientos del cultivo, además porque los fertilizantes en forma soluble, se asimilan más rápidamente por las raíces del cultivo.
- Ahorro de agua y fertilizantes ya que se riega con alta eficiencia y uniformidad de distribución, con esto se reducen las pérdidas por lavado y volatilización de fertilizantes.
- Optimización de recursos y reducción del potencial de contaminación de agua subterránea debido al lixiviado de fertilizantes.
- Se utiliza menos personal ahorrándose mano de obra.
- Reduce significativamente la contaminación de acuíferos y aguas superficiales ya que al regar uniformemente el escurrimiento de agua con fertilizantes es mínimo lo mismo que la lixiviación de sales.
- Mediante esta tecnología también es posible la aplicación de agroquímicos al cultivo mediante la técnica denominada quimigación (Rojas, 2000).

La mayoría de las limitaciones no se deben en si al método, sino a un manejo inadecuado o a la ignorancia que existe sobre aspectos relacionados con la nutrición del cultivo; algunas de las limitaciones de esta técnica son:

- Se requiere una mayor inversión inicial ya que el equipo y accesorios así como los fertilizantes para fertirrigación son caros.
- En sistemas mal diseñados, operados o con desperfectos, puede haber desperdicio de fertilizantes, problemas de contaminación de la fuente y problemas de salinidad del suelo.
- Necesidad de capacitar al personal para seleccionar, manejar y dosificar fertilizantes, así como para operar el sistema.
- Peligros al utilizar mezclas de fertilizantes que no sean compatibles entre si o en el agua ya que pueden presentarse reacciones violentas.

3.9.3. Factores que Influyen en la Aplicación del Fertirriego.

Los parámetros más importantes a considerar en los sistemas de fertirrigación son la eficiencia de aplicación y la uniformidad de distribución del sistema de riego, pues solo cubriendo estos aspectos será posible dosificar de forma adecuada el agua y los nutrimentos requeridos por el cultivo.

3.9.3.1. Eficiencia de Aplicación

Considerada como la relación que existe entre la lámina de riego proyectada a aplicar y la lámina de riego aplicada en el riego se calcula con la relación:

$$\text{Eficiencia de aplicación (Ea)} = (\text{Lr CC} / \text{Lr t}) * 100$$

Donde: LCR = lamina de riego a capacidad de campo proyectada.

$L_r t$ = lamina de riego total aplicada.

Para asegurar el éxito de la fertirrigación se deben alcanzar eficiencias mayores a 80 % para riego por superficie, de 90 % para aspersión y de 95 % para microaspersión y goteo ya que se evitan pérdidas de fertilizantes por precolación, escurrimiento y/o problemas de contaminación.

3.9.3.2. Uniformidad de Distribución

Este parámetro permite conocer las diferencias de aplicación en las láminas de riego dentro de una sección. Para lograr buenos resultados con el cultivo y con la fertirrigación, esta eficiencia debe ser mayor al 90 % en cualquier método de riego para que las plantas puedan recibir cantidades prácticamente iguales de agua y de nutrientes.

Cuando después de evaluar la uniformidad de distribución (Procedimiento descrito en la sección 3.7.8: Evaluación del sistema de riego) se obtienen valores inferiores, deben efectuarse acciones correctivas como limpieza de filtros y líneas de riego, reparación y limpieza de líneas rotas o la colocación de reguladores de presión en lugares estratégicos.

3.9.4. Equipos de Inyección

Básicamente, los métodos de inyección de agroquímicos al sistema de riego son: bombas, venturís, tanques de diferencial de presión, hidroneumáticos y gravedad (*figura 3.9.1*). Cada sistema de riego puede utilizar un diferente método o combinación de métodos adecuados para cada situación.

- **Bombas de Inyección de Agroquímicos**

Existen numerosos modelos de bombas en el mercado, por lo que para una buena selección es necesario considerar si es adecuada para aplicaciones de agroquímicos por la compatibilidad con los materiales de la bomba y por la precisión en la dosis de aplicación.

La energía que las bombas necesitan para funcionar generalmente es la eléctrica, en áreas remotas donde no existe se utilizan motores de gasolina. Las bombas de pistón y diafragma pueden ser accionadas por la energía del agua.

- **Inyectores Tipo Venturi**

El venturi es un tubo con una garganta restringida la cual desarrolla una presión negativa (vacío) en su puerto de succión el cual provoca un arrastre de la solución química a través del puerto donde se mezcla con el agua que pasa y es introducida al sistema. Si la velocidad del agua y la viscosidad de la solución química se mantienen constantes, la dosis de aplicación es constante. El venturi normalmente se instala al sistema de riego cerca del rebombeo o de una válvula restrictiva, para crear un diferencial de presión de un extremo a otro del venturi. Debido a que el venturi utiliza un principio de vacío en lugar de uno de presión, el material manejado nunca se encuentra bajo alta presión en forma concentrada. Esto reduce la posibilidad de que algunos materiales cáusticos sean asperjados al aire a través de ranuras o roturas en la tubería.

Los inyectores venturi son muy utilizados en fertirrigación por su simplicidad y por que no requieren de energía adicional para su funcionamiento que la del propio

sistema, son fabricados con materiales especiales para la inyección, no tienen partes móviles y son fáciles de adaptar a la red principal de riego.

- **Tanque de Diferencial de Presión.**

Son un método simplificado para aplicar agroquímicos al sistema de riego. Un pequeño diferencial de presión creado utilizando una válvula restrictiva logra un flujo paralelo a través del tanque. El agua que pasa por el tanque disuelve y/o se mezcla con el material y lo acarrea al sistema. El único inconveniente es la imprecisa concentración que se inyecta pues la solución es más concentrada al principio y después se va diluyendo.

- **Aplicación por Gravedad**

Cuando el sistema de aplicación por gravedad se combina con un dispositivo de carga constante, es una buena manera de aplicar agroquímicos a un sistema abierto. El sistema de carga constante es solamente un contenedor con una válvula flotante dentro de ella. La válvula flotante mantiene un constante nivel del agroquímico que gotea por el fondo con una válvula calibrada previamente.

- **Tanque Hidroneumático**

El tanque hidroneumático, llamado comúnmente tanque proporcionador, es capaz de inyectar material líquido más consistentemente que un tanque de diferencial de presión. El tanque hidroneumático es un recipiente presurizado con una abertura de entrada y otra de salida. Dentro del tanque, unida a la salida hay una bolsa o vejiga

de hule, esta bolsa se llena con el líquido que se va a inyectar. Se introduce agua del sistema por la entrada la cual presiona a la bolsa forzando el líquido hacia afuera por el puerto de salida.

Un aspecto importante a considerar para elegir el equipo de inyección es la uniformidad de aplicación del equipo (figura 3.9.2), el cual define la homogeneidad de distribución de la solución nutritiva en el sistema de riego, aspecto necesario para que cada planta reciba la misma cantidad de agua y nutrientes.

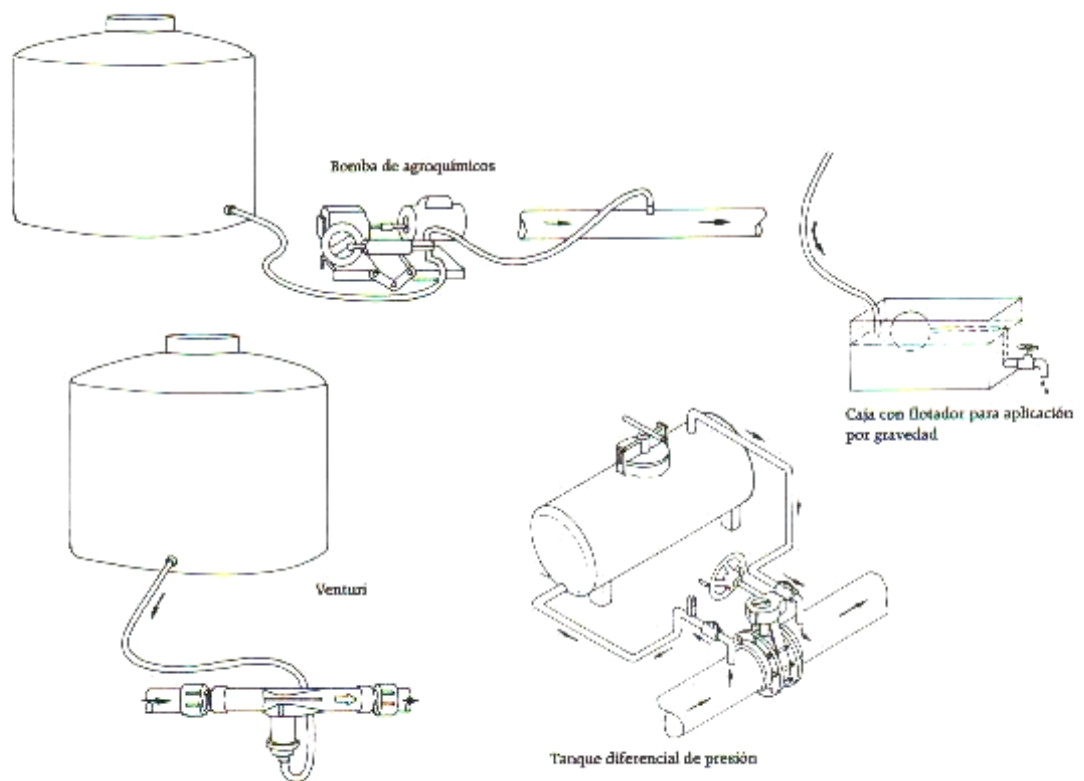


Figura 3.9.1. Equipo de inyección de agroquímicos.

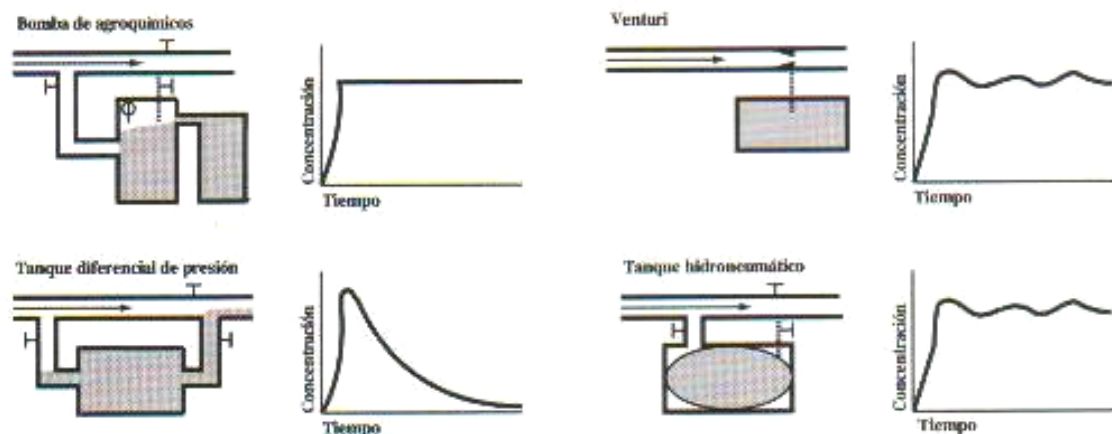


Figura 3.9.2. Uniformidad de aplicación de equipos de inyección (T-tape, 2000).

3.9.5. Métodos de Riego Utilizados en la Fertirrigacion.

En teoría el fertirriego puede aplicarse a cualquier sistema de riego, siempre y cuando el sistema este bien diseñado y sea operado adecuadamente para obtener altas eficiencias de aplicación y uniformidad de distribución de agua y nutrientes a la vez que se optimiza el uso de recursos materiales, económicos y humanos.

El uso de sistemas de riego superficial o gravitacional para fertirrigar en aguacate es poco practicado y además poco recomendado, ya que estos sistemas requieren de grandes volúmenes de agua, mucha mano de obra y las eficiencias de aplicación y uniformidad que ofrecen son muy bajas, siendo estas ultimas de vital importancia en el fertirriego.

En los sistemas de fertirrigacion la principal exigencia es obtener la máxima uniformidad de distribución de los fertilizantes, por eso esta practica se asocia básicamente a los sistemas de riego localizados que a pesar de sus altos costos de

adquisición, ofrecen alta uniformidad de aplicación y distribución del agua y fertilizantes (Fuentes, 2003).

El tipo de sistema de riego localizado utilizado influye también en el rendimiento, en algunos casos el riego por goteo ha superado al riego por microaspersión, produciendo un mayor incremento en el diámetro del tronco y frutos más grandes. (Rodríguez, 1992) probablemente porque el riego por microaspersión produce un patrón mas grande de humedecimiento pero poco profundo sobre suelos arenosos en comparación con el riego por goteo, y que, sin embargo, podría ser ventajoso para árboles recién plantados que tienen un sistema radical pequeño.

3.9.6. Fertilizantes para su uso en Fertirriego

3.9.6.1. Características

Para el uso de los fertilizantes adecuados debemos considerar las siguientes características pues pueden influir sobre el suelo, el cultivo o el manejo de la instalación.

- **Solubilidad:** Deben ser solubles en agua para evitar obturaciones al sistema de riego. La solubilidad del fertilizante permite saber la cantidad máxima que se puede añadir a una determinada cantidad de agua. La solubilidad depende de la temperatura: a mayor temperatura mayor solubilidad.
- **Salinidad:** Al disolver los fertilizantes en el agua de riego se modifica su contenido salino y, por tanto, su conductividad eléctrica, empeorando su calidad desde el punto de vista osmótico ya que el esfuerzo que la planta tiene que ejercer para absorber el agua se incrementa. La mezcla de agua y fertilizantes no

debe superar 3 mmhos/cm. de C.E. para evitar problemas de salinidad. (Moya, 2002).

- **Acidez:** los fertilizantes usados no deben provocar variaciones bruscas del pH del agua de riego ($3.5 < \text{pH} < 9$). Lo mas conveniente es mantener una reacción acida, para facilitar la solubilidad de los compuestos de calcio y evitar sus precipitados en las conducciones.
- **Grado de pureza:** Deben tener un alto grado de pureza, para evitar sedimentos o precipitaciones que obstruyan la instalación.

Cuadro 3.9.1: Fuentes Fertilizantes Para Fertirriego

| Fertilizante | Solubilidad PS | Composición media de nutrientes (%) | | | | Indice de salinidad |
|------------------------|-------------------|-------------------------------------|-------------------------------|------------------|------------|---------------------|
| | | N | P ₂ O ₅ | K ₂ O | Otros | |
| Macronutrientes | | | | | | |
| Nitrato de amonio | 118 | 27.0 | - | - | - | 105 |
| Sulfato de amonio | 71 | 20.0 | - | - | 24 S | 69 |
| Nitrato de calcio | 102 | 15.5 | - | - | 28 Ca | 61 |
| DAP | 43 | 17.0 | 40.0 | - | - | 34 |
| MAP | 23 | 11.0 | 44.0 | - | - | 30 |
| Cloruro de potasio | 34 | - | - | 60 | 48 Cl | 115 |
| Nitrato de potasio | 32 | 14.0 | - | 44 | - | 31 |
| Sulfato de potasio | 11 | - | - | 52 | 17 S | 46 |
| Nitrato de sodio | 73 | 16.0 | - | - | - | 100 |
| Urea | 78 | 46.0 | - | - | - | 75 |
| K-Mag | - | - | - | - | 22 S/18 Mg | 43 |
| Acido fosfórico | - | - | 46.0 | - | - | - |
| Micronutrientes | | | | | | |
| Sulfato de cobre | 22 | - | - | - | 25 Cu | - |
| Sulfato de manganeso | 105 | - | - | - | 28 Mn | - |
| Molibdato de sodio | 56 | - | - | - | 39 Mo | - |
| Sulfato de zinc | 75 | - | - | - | 22 Zn | - |
| Acido bórico | 5 | - | - | - | 16 B | - |
| Sulfato ferroso | 75 | - | - | - | 20 Fe | - |

PS - Partes solubles en 100 partes de agua

- **Interacción entre los Fertilizantes (Compatibilidad).**

Es importante considerar esta característica de los fertilizantes para evitar reacciones químicas en donde se originen sólidos insolubles o precipitados que los hacen menos efectivos o puedan causar obturación o corrosividad en los accesorios metálicos del cabezal y del sistema de riego. Las características de compatibilidad de algunos fertilizantes usados en fertirrigación se muestran en el cuadro 3.9.2.

Cuadro 3.9.2. Compatibilidad química de fertilizantes utilizados en fertirrigación.

| NO_3NH_4 | | | | | | | | |
|------------|------|----------------|-----------------|---------------|-----|-----------|---------|-------------------------|
| C | UREA | | | | | | | <i>I = Incompatible</i> |
| C | C | $(NH_4)_2SO_4$ | | | | | | <i>C = Compatible</i> |
| C | C | C | $(NH_4)_2HPO_4$ | | | | | |
| C | C | C | C | $NH_4H_2PO_4$ | | | | |
| C | C | C | C | C | KCl | | | |
| C | C | C | C | C | C | K_2SO_4 | | |
| C | C | C | C | C | C | C | KNO_3 | |
| C | C | I | I | I | C | I | C | $Ca(NO_3)_2$ |

Cuadro 3.9.3. Grado de corrosión relativa de metales inmersos durante 4 días en una solución con una concentración de 120 gr. /l de producto (Sánchez, 2001.)

| Material | Nitrato de calcio | Nitrato de amonio | Sulfato de amonio | Urea | Acido fosfórico | Fosfato diamónico | 17-17-10 |
|--------------------|-------------------|-------------------|-------------------|------|-----------------|-------------------|----------|
| Fierro galvanizado | 2 | 4 | 3 | 1 | 4 | 1 | 2 |
| Aluminio | 0 | 1 | 1 | 0 | 2 | 2 | 1 |
| Acero inoxidable | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 0 | 0 |
| Bronce | 1 | 3 | 3 | 0 | 2 | 4 | 4 |
| Latón | 1 | 3 | 2 | 0 | 2 | 4 | 4 |
| pH de la solución* | 5.6 | 5.9 | 5.0 | 7.6 | 0.4 | 8.0 | 7.3 |

Escala: 0= sin daño; 1= baja; 2=moderada; 3=severa; 4=muy alta
** solución: Mezcla comercial hecha con sulfato de amonio, fosfato diamónico y sulfato de potasio*

3.9.7. Preparación de Mezclas

La preparación de la solución nutritiva incluye, de manera general, los siguientes pasos (INIFAP, 2003):

1er Paso: Definir las necesidades de nutrientes por aplicación.

2º Paso: Determinar la disponibilidad de fertilizantes.

3er Paso: Determinar la cantidad de fertilizante a utilizar.

$$\begin{array}{r} \text{Kg. de} \\ \text{nutriente por} \\ \text{ha} \end{array} \times \frac{100 \%}{\begin{array}{l} \% \text{ de concentración} \\ \text{del nutriente en el} \\ \text{fertilizante} \end{array}} = \begin{array}{l} \text{Kg. de fertilizante} \\ \text{por ha} \end{array}$$

La cantidad de agua para solubilizar el fertilizante se obtiene con la relación:

$$\begin{array}{l} \text{Kg. / ha de} \\ \text{fertilizante} \end{array} \times \frac{1 \text{ litro de agua}}{\begin{array}{l} \text{Solubilidad del} \\ \text{fertilizante en Kg.} \end{array}} = \begin{array}{l} \text{Litros de agua} \\ \text{por ha} \end{array}$$

Para cuando se usan fertilizantes líquidos:

$$\begin{array}{l} \text{Kg. de} \\ \text{fertilizante por} \\ \text{ha.} \end{array} \times \frac{1 \text{ Litro de} \\ \text{fertilizante}}{\begin{array}{l} \text{Densidad del} \\ \text{fertilizante} \end{array}} = \begin{array}{l} \text{Litros de} \\ \text{fertilizante por ha} \end{array}$$

4º Paso: Determinar la cantidad de fertilizante a utilizar en la superficie de fertirrigación.

$$\begin{array}{l} \text{Kg. de} \\ \text{fertilizante por} \\ \text{ha} \end{array} \times \begin{array}{l} \text{Numero de} \\ \text{has. de la} \\ \text{unidad de riego} \end{array} = \begin{array}{l} \text{Kilogramos de} \\ \text{fertilizante a utilizar} \\ \text{por unidad de fertirriego} \end{array}$$

$$\begin{array}{l} \text{Litros de agua} \\ \text{por ha} \end{array} \times \begin{array}{l} \text{Numero de} \\ \text{has. de la} \\ \text{unidad de riego} \end{array} = \begin{array}{l} \text{Litros de agua} \\ \text{necesarios para} \\ \text{solubilizar el fertilizante} \\ \text{sólido.} \end{array}$$

$$\begin{array}{l} \text{Litros de} \\ \text{fertilizante por} \\ \text{ha.} \end{array} \times \begin{array}{l} \text{Numero de} \\ \text{has. de la} \\ \text{unidad de riego} \end{array} = \begin{array}{l} \text{Litros de fertilizante a} \\ \text{utilizar por unidad de} \\ \text{fertirriego.} \end{array}$$

5º Paso: Verificar la compatibilidad y condición de manejo de las mezclas de fertilizantes

6º Paso: Determinar la taza y tiempo de inyección.

$$\frac{\text{Volumen de solución}}{\text{Tiempo de inyección}} = \text{Taza de inyección para calibrar el inyector}$$

$$\text{Tiempo de inyección} = \frac{3}{5} \text{ Tiempo de riego}$$

La secuencia adecuada de inyección es: Agua --- (fertilizante + agua) --- agua.

Esto para uniformizar la distribución de la solución nutritiva; al inicio solo agua mientras el riego empieza operar, fertilizante y agua cuando el sistema trabaja correctamente y solo agua al final para lavar el sistema de riego.

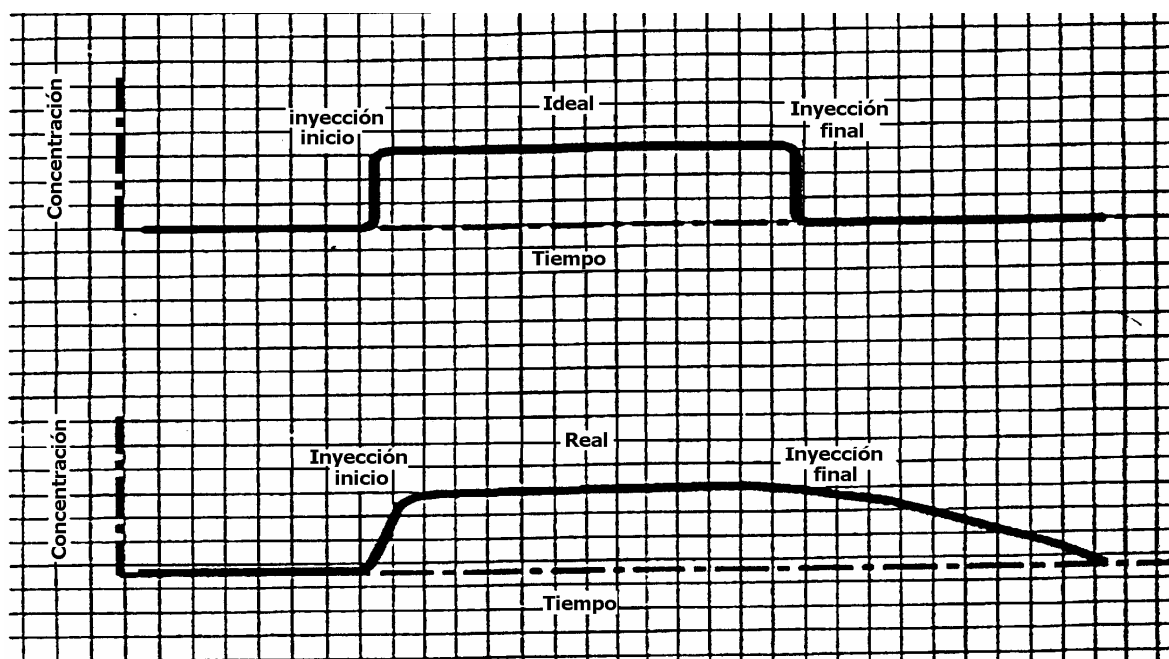


Figura 3.9.3. Variación de la concentración de la solución nutritiva en el agua de riego con el tiempo de inyección.

7º Paso: Verificar la concentración en la fertirrigación.

$$\text{Salinidad Máx. Riego.} = [\text{Csal Máx.} - (\text{Csal H}_2\text{O} + \text{Csal Sol.})]$$

Donde:

Csal Máx es la salinidad máxima que tolera el cultivo.

Csal H₂O es la concentración salina de agua de riego.

Csal Sol es la concentración salina de la solución del suelo.

Si al aplicar la formula el valor obtenido es menor que la que tolera el cultivo sera factible seguir con el programa de fertirriego bajo estas características. En caso contrario es necesario hacer los ajustes necesarios usando otras fuentes fertilizantes o modificando los tiempos y frecuencia de aplicación.

3.9.8. Programa de Fertirrigación

La elaboración de los programas de fertirrigacion esta fundamentada en que el agua es el principal alimento y medio de transporte de los nutrimentos, por lo tanto, cada vez que riega debe fertilizarse para poder dosificar fraccionadamente el nutrimento de acuerdo con las demandas anuales de la planta en cada etapa fenológica; las demandas parciales deben sumar las demandas anuales o por ciclo del cultivo. Para elaborar los programas de fertirrigacion es necesario conocer las características físicas y químicas del suelo, características químicas del agua, las necesidades de elementos nutritivos de la planta así como sus requerimientos de agua.

Para realizar los programas de fertirriego es necesario preparar previamente el calendario de riegos para el ciclo debiéndose ajustar de acuerdo con el desarrollo del cultivo y del tiempo bajo condiciones reales (Rojas, 2000).

IV. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

Mexico es el principal productor y exportador de aguacate en el mundo. Su producción es muy importante por el impacto económico que tiene sobre su población.

El uso de sistemas de riego presurizado y fertirrigación son cada vez más usados en Mexico y el mundo porque permiten un uso eficiente de los recursos, mayores rendimientos y mejor calidad.

La operación es un aspecto importante en el manejo de estas tecnologías para maximizar los beneficios obtenidos por su aplicación. Que estén bien diseñados no es suficiente.

La variedad Hass es la más producida y comercializada a nivel mundial. Otras variedades importantes son el Fuerte y el Bacon.

Los sistemas de riego localizados como el goteo y la microaspersión son los mejores para su aplicación en la producción de aguacate.

Mediante buenas estrategias de publicidad, innovación de técnicas de producción y definiendo la visión industrial es posible ampliar la presencia del aguacate mexicano en los mercados internacionales.

V. LITERATURA CITADA

- Asocoa, 2007. *El aguacate*. [En línea]. Consultado el 15 de agosto. Disponible en: <http://www.asocoa.com/arboles/aguacate.asp>
- Avilán, L., C. Rengifo y F. Leal. 1986. *El cultivo del aguacate*. Fundación servicio para el agricultor FUSAGRI. Caracas Venezuela.
- Avilán, R. L. 1989. *La Fertilización del Aguacatero*. FONAIAP-CENIAP. Instituto de Investigaciones Agronómicas. Maracay. Venezuela. [En línea]. Consultado el 22 de agosto de 2007. Disponible en: <http://www.ceniap.gov.ve/pbd/RevistasTecnicas/FonaiapDivulga/fd31/texto/fertilizacion.htm>
- Bob P., F. 42/Julio 2005, *Las Exigencias de Irrigación de Aguacate*, Departamento de Agricultura, Australia Occidental.
- Cadahia, C. 2000, *Fertirrigacion: Cultivos horticolas y ornamentales*. Ed. Mundiprensa. México. Pp: 273.
- Embleton, T. W. and w. w. Jones. 1966. *Avocado and mango nutrition: Temperate o tropical fruit nutrition*. Childers Ed. New Jersey, USA.Pp.51-76.
- Fresh California avocados. 2007. *Variedades*. [En línea]. Consultado el 15 de agosto de 2007. Disponible en: <http://www.avocado.org/espanol/variedades.php>
- Fuentes, J. L. 1996. *Manual de riego para regantes*. Madrid. Mundiprensa.157p.
- Fuentes Y. J. L. 2003. *Técnicas de Riego*. Ministerio de agricultura pesca y alimentación. Ed. Mundiprensa. 4ta Edición. Madrid. España. Pp. 343-346
- García C. I. y Briones S. G. 1989. *Diseño y evaluación de sistemas de riego por aspersión y goteo*. UAAAN. Saltillo, Coah. México.
- Infoagro, 2007. *El cultivo del aguacate*. [En línea]. Consultado el 15 de agosto de 2007...Disponible..en: http://www.infoagro.com/frutas/frutas_tropicales/aguacate.htm
- Infoagro, 2007: *Propagación de frutas tropicales*. [En línea]. Consultado el 6 de Agosto, de 2007. Disponible en: http://www.infoagro.com/frutas/frutas_tropicales/aguacate.htm#4.4.%20PROPGACI%20ON

- INIFAP, 2003. Folleto técnico: *Guía Para Preparar Mezclas De Fertilizantes En Sistemas De Fertirrigación*. Centro De Investigación Regional Del Noreste. Campo Experimental Saltillo. México.
- Lovatt, C. 1990. *Factor affecting fruit set/early fruit drop in avocado*. California Avocado Society Yearbook 95: 193-199
- Marchal, J. 1986. Avocado. In: Martin-Prevel, P.J., J. Gagnar and P. Gautier (Eds.) *Plant analysis as a guide to the nutrient requirements of temperate and tropical crops*. Pp. 366-376.
- Medina, J. 1988. *Riego por goteo*. Madrid. Ediciones Mundi-Prensa. 256 p.
- Montedonico, R. J. P. 2001. Taller de Licenciatura. *Riego Deficitario Controlado En Palto (Cv. Hass) Para La Zona De Quillota*. Quillota Chile. Universidad Católica De Valparaíso. [En línea]. Consultado el 15 de agosto, 2007. http://www.avocadosource.com/papers/Chile_Papers_A-Z/M-N-O-/MontedonicoJuan2001.pdf
- Mora A., J. A. 1994. *Validación de tecnología para el manejo integrado del Aguacate (Persea americana Mill.) en Huaquechula, Puebla*. Tesis Maestro en Ciencias. Colegio de Postgraduados. Montecillo, México. 92 p.
- Moya, T. J. A. 2002. *Riego Localizado y Fertirrigacion*. Ed. Mundi-prensa. 3ra Edición. Madrid. España. Pp. 365.
- Navarro G. M. 2002. *Nutrición vegetal balanceada y riego por goteo en cultivos hortícolas*. Buenavista saltillo, Coah.
- Ortiz, S. C. 1982. *Agrometeorología*. Chapingo. México. 162 p.
- Paz V., R. 1997. *Situación actual de la comercialización del aguacate michoacano* In: Memoria del VI Curso de aprobación Fitosanitaria en el manejo del aguacate. Facultad de Agrobiología Uruapan Michoacán.
- Plessis, S.F, T.J. Koen and R.A. Abercrombie. 1995. *Nutritional requeriments of Fuerte Avocado: summary of 21 years research in South Africa*. 111 *World Avocado Congress*. Program and book of abstracts. Tel Aviv, Israel. October 22-27. Pp. 112
- Quiñones, 1997.IMTA. *Manual para el diseño de zonas de riego pequeñas*. p:14-18
- Ramos, J. A. 2003. *Perspectivas de la red aguacate 2003*. FIRA, Banco de México. [En línea]. Consultado el 3 de febrero de 2007. Disponible en: www.fira.gob.mx/publicaciones/perspectivas/perspectivasaguacate2003.pdf

- Rodríguez S. F. 1982. *El Aguacate*. AGT editor. Buenos Aires, Arg. 152 p.
- Rodríguez, S. F. 1992. *Riego por goteo*. AGT. Editor, S.A. México. 157 p.
- Rojas P. L. 2000. *El fertirriego y la Plasticultura*. Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro. Buenavista Saltillo, Coah. México. P. 48-51
- Roncagliolo I. J. M. 2001, *Efecto De Dos Sistemas De Riego Presurizado, Goteo Y Microchorro, Sobre El Lavado De Sales, Crecimiento Vegetativo Y Reproductivo Del Palto (Persea americana Mill) cv. Hass, En La Zona De Mallarauco*. Quillota Chile. [En línea]. Consultado el 20 de agosto de 2007. Disponible en: www.avocadosource.com/papers/Chile_Papers_A-Z/P-Q-R/RoncaglioloMaria2001.pdf
- Saavedra, P. F. A. 2000. *Ensayo De Riego Deficitario Controlado En Palto (Persea americana Mill), cv. Hass En La Localidad De Quillota*. Universidad Católica De Valparaíso..Quillota..Chile. [En línea]. Consultado el 17 de agosto de 2007. Disponible en: http://www.avocadosource.com/papers/Chile_Papers_A-Z/S-T-U/SaavedraFreddy2000.pdf
- SAGARPA 2002, “*Análisis de mercado en aguacate*” [En línea]. Consultado en abril de 2007. Disponible en: <http://www.siap.sagarpa.gob.mx/InfOMer/analisis/avocado.html#dddd>
- Salazar G. S. 2002. *Producción de portaingertos clonales de aguacate mediante enraizamiento de tallos y raíces*. Publicación técnica 1. INIFAP, Santiago Ixcuintla, Nay. Mayo 2002.
- Salazar. G., S. 2002. *Nutrición del aguacate, principios y aplicaciones*. INPOFOS, INIFAP. Querétaro, México.
- Salgado. 1990. *Manejo del riego*. Curso internacional producción, postcosecha y comercialización de paltas. UCV, Viña del Mar, 2-3-4-5 de Octubre. [En línea]. Consultado el 15 de agosto de 2007. Disponible en: http://www.avocadosource.com/Journals/CIVDMCHILE_1990/CIVDMCHILE_1990_PG_10.pdf
- Sánchez-Blanco, M.J. y Torrecillas, A. 1995. *Aspectos Relacionados con la Utilización de Estrategias de Riego deficitario controlado en cultivos Leñosos* In. Madrid. Mundiprensa. Pp 43-63.
- Sánchez C., S. y M. Rubí A. 1994. *Situación actual del aguacate en México*. Calif. Avocado Soc.Yrbk. 78:61-74.
- Sánchez, G. P. 1996. *Seminario sobre nutrición y fertilización del aguacatero*. Periban, Michoacán.

- Sanchez G. P., Ramirez M. P. 2000. *Fertilización y nutrición del aguacatero*. Ed. Mundi-prensa. México
- Sánchez, G. P. 2001. *Fertirrigacion del aguacate en Michoacán*. 1er congreso mexicano y 1er congreso latinoamericano del aguacate. Uruapan, Mich.
- Sanchez, G., Ramírez, P., Coria V. 2000. *Tecnología para la Producción de Aguacate en México*. INIFAP. México
- Taiz, L. y Zeiger, E. 1998. *Plant Physiology*. Massachusett. Sinauer Associates, Inc.
- Téliz O. D. 2000. *El aguacate y su manejo integrado*. Ed. Mundi-prensa. México.
- Tello, C. C. A.1991. *Efecto de volúmenes diferenciados de riego en el desarrollo vegetativo, producción y calidad de frutos de palto cv. Hass*. Tesis Ing. Agr. Quillota, Universidad Católica de Valparaíso, Facultad de Agronomía. [En línea]. Consultado el 9 de agosto de 2007. Disponible en: http://www.avocadosource.com/papers/Chile_Papers_A-Z/S-T-U/TelloCarlos1991.pdf
- T-tape, 2000. *Introducción al riego por goteo*. T-Systems Internacional, Inc.
- Villaseñor Z. A. 2006. *“México un proveedor relevante”*. [En línea]. Consultado el 16..de..agosto..de..2007...Disponible..en: intranet.asoex.c/archivos%5cBajar.asp?Archivo=Villaseñor.pdf&Directorio=Archivos%5cSeminarario%5c