



CENTRO DE INVESTIGACIONES  
BIOLÓGICAS DEL NOROESTE, S. C.

---

---

Programa de Estudios de Posgrado

**MANEJO SOSTENIBLE DEL AGUA Y FERTILIZACIÓN EN  
ARBOLES ADULTOS DE NARANJO (*Citrus sinensis* Osbeck)  
EN LA ZONA ÁRIDA CITRÍCOLA DE B.C.S**

**T E S I S**

Que para obtener el grado de

**Doctor en Ciencias**

Uso, Manejo y Preservación de los Recursos Naturales  
(Orientación Ecología)

P r e s e n t a

**J e s ú s N a v e j a s J i m é n e z**

La Paz, B. C. S., Octubre de 2010

## ACTA DE REVISIÓN DE TESIS

En la Ciudad de la Paz, B.C.S., siendo las 14:00 horas del día 25 del Mes de Agosto del 2010, se reunieron los miembros de la Comisión Revisora de Tesis designada por la Dirección de Estudios de Posgrado del Centro de Investigaciones Biológicas del Noroeste, S.C., para revisar la Tesis de Grado titulada:


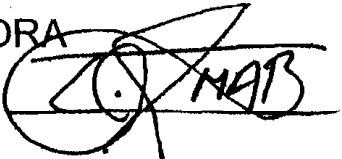
### "MANEJO SOSTENIBLE DEL AGUA Y FERTILIZACION EN ARBOLES ADULTOS DE NARANJO (*Citrus sinensis* Osbeck) EN LA ZONA ARIDA CITRÍCOLA DE BAJA CALIFORNIA SUR"

Presentada por el alumno: Jesús Naveias Jimenez

Aspirante al Grado de **DOCTOR EN CIENCIAS EN USO, MANEJO Y PRESERVACIÓN DE LOS RECURSOS NATURALES CON ORIENTACIÓN EN ECOLOGÍA**

Después de intercambiar opiniones, los miembros de la Comisión manifestaron su **APROBACIÓN DE LA TESIS**, en virtud de que satisface los requisitos señalados por las disposiciones reglamentarias vigentes.

#### LA COMISIÓN REVISORA

 _____ <b>DR. ENRIQUE TROYO DIÉGUEZ</b> DIRECTOR DE TESIS	 _____ <b>DR. BERNARDO MÚNILLO AMADOR</b> CO-TUTOR
 _____ <b>DR. EDGAR OMAR RUEOA PUENTE</b> CO-TUTOR	 _____ <b>DR. JOSÉ LUIS GARCÍA HERNÁNDEZ</b> CO-TUTOR
 _____ <b>DR. NARCISO YSAC AVILA SERRANO</b> CO-TUTOR	
 _____ <b>DRA. ELISA SERVIERE ZARAGOZA</b> DIRECTORA DE ESTUDIOS DE POSGRADO	



## RESUMEN

En el estado de Baja California Sur la agricultura desde hace tiempo es una actividad tradicional a pesar de presentar una serie de problemas. Las áreas de mayor importancia agrícola presentan problemas particulares tales como abatimiento constante del acuífero, intrusión salina y altos costos de extracción y de producción. Los suelos se caracterizan por ser de textura media la precipitación media anual es de 200 mm, irregularmente distribuidos a lo largo del año y la temperatura oscila entre los 40°C y los 0°C. Por lo tanto la mayoría de los cultivos tienen serios problemas para adaptarse a las condiciones agroclimáticas prevalecientes. Por lo anterior los requerimientos de agua y la fertilización, son interacciones complejas de un agrosistema que pueden generar conceptos basados en la respuesta puntual. Sin embargo la generación de la respuesta debe repetirse en la magnitud y proporción que la misma justificación requiera sobre la variable estudiada.

Se llevaron a cabo investigaciones sobre el cultivo del naranjo desde el 2006, incluyendo la realización de experimentos en árboles adultos de naranjo con enfoque a la evapotranspiración, manejo del agua, fertilización y a la interacción de NPK en la respuesta productiva. Se obtuvieron resultados que se relacionan preliminarmente con recomendaciones a partir del diagnóstico nutrimental y sus efectos en el rendimiento. Para el estudio del manejo sostenible del agua, se relacionó la evapotranspiración y el suministro del riego para el aprovechamiento y manejo del recurso en la producción del naranjo. Se analizó el diagnóstico y el impacto del manejo de los recursos sobre la economía y desarrollo agropecuario regional. La demanda de agua promedio por árbol se determinó en 6.8 y 5.2 mm día<sup>-1</sup>, con métodos indirectos y directos respectivamente, con una diferencia de 30.8% entre ellos. Las desviaciones estándar fueron 0.05 y 0.03, El requerimiento de agua neto por ha, por día fue de 25 y 19 m<sup>3</sup>. Se encontró que la interacción NPK 8-8-0 g m<sup>-2</sup> equivalente a 80-80-0 kg ha<sup>-1</sup>, con un rendimiento probable de 4.07 kg m<sup>-2</sup> equivalente a 40.7 t ha<sup>-1</sup>, es resultado de usar la dosis en kg ha<sup>-1</sup> en la función de respuesta obtenida como:

$$Y = 35032 - 56.29N - 0.037N^2 + 232P - 1.52P^2 - 197.5K + 0.57K^2 + 0.25NP + 0.44NK + 0.0003NPK.$$

La eficiencia de utilización de agua fue de 5.06, y 4.03 g L<sup>-1</sup> para interacciones media y alta 6-8-8 y 18-16-16 g m<sup>-2</sup>. El índice económico en 6-8-8 g m<sup>-2</sup> NPK y 6-8-4 g m<sup>-2</sup> NPK fueron de 5.19 y 5.43. Para BC, en contraste la interacción alta 18-16-16 g m<sup>-2</sup> fue inferior a 2.98. A los cultivos de maíz y alfalfa se les destina el 67% del agua extraída anualmente en la región, superan en preferencia de establecimiento al cultivo de naranjo, este último con índices monetarios de 1.04 \$/m<sup>3</sup> de agua y 2137 pesos por ha respectivamente para un rendimiento bajo de 9.6 t ha<sup>-1</sup>.

Palabras clave: naranjo, manejo del agua, fertilización.

Vo.Bo. \_\_\_\_\_  
Dr. Enrique Troyo Diéguez  
Director de Tesis

## ABSTRACT

In the Mexican State of Baja California Sur, agriculture has long been a traditional activity in spite of presenting a series of problems. The most important agricultural areas evidence particular problems such as groundwater depression and an evident saline intrusion into the aquifer, generating high costs of extraction and production. The soils are characterized as medium textured, with mean annual precipitation of 200 mm, unevenly distributed throughout the year and temperatures oscillating between 40 ° C and 0 ° C. Therefore most of the crops have serious problems adapting to the prevailing agro-climatic conditions. Because of this the requirements for water and fertilization, are complex interactions of a fallow system can generate concepts based on the timely response. However, the generation of the response should be repeated on a broader scale, but at proportion that requires an adjustment on the study variable.

Experiments were conducted out since 2006; on orange plots, with a study focus on orange evapotranspiration, fertilization and interaction of NPK in the productive stage. Preliminary results were obtained which are related to recommendations arising from nutrient diagnosis; in relation to sustainable water management, involved in the evapotranspiration process and irrigation supply for the use and management of soil and water in the production of orange, the diagnosis was analyzed on the basis of the impact of resource management on economy and regional agricultural development. The average water demand per cultivated area dedicated to Citrus was determined in 5.2 and 6.8 mm día<sup>-1</sup>, with direct and indirect methods respectively, with a difference of 30.8% between them. The standard deviations were 0.05 and 0.03, and the net water requirement per ha per day was 25 and 19 m<sup>3</sup>. It was found that the interaction NPK 8-8-0 g m<sup>-2</sup> equivalent to 80-80-0 kg ha<sup>-1</sup>, with an estimated yield of 4.07 kg m<sup>-2</sup> equivalent to 40.7 t ha<sup>-1</sup>, This is the result of using doses in kg ha<sup>-1</sup> in the response function obtained as:

$$Y = 35032 - 56.29N - 0.037N^2 + 232P - 1.52P^2 - 197.5K + 0.57K^2 + 0.25NP + 0.44NK + 0.0003NPK.$$

The water use efficiency was 5.06, and 4.03 g L<sup>-1</sup> for intermediate and upper interactions 6-8-8 and 18-16-16 g m<sup>-2</sup>. The economic index g m<sup>-2</sup> 6-8-8 and 6-8-4 NPK g m<sup>-2</sup> were 5.19 and 5.43. For BC, in contrast to high 18-16-16 interaction g m<sup>-2</sup> was less than 2.98. In the study region, 67% of groundwater extracted annually is used for corn and alfalfa agricultural crops, while a low percentage is dedicated to orange, although the last one shows an average monetary rate of \$1.04 Mex pesos / m<sup>3</sup> of water, with a land use profitability rate of \$2,137 Mex pesos per hectare, which both rates are a consequence of a low yield, estimated in 9.6 t ha<sup>-1</sup>.

Key words: orange, water management, fertilization.

## DEDICATORIA

A **CONSUELO**, mi esposa, y a **ELIZABETH** mi madre, Símbolos del amor y la gracia de Dios, gracias a su entrega cotidiana y a los años compartidos en la vida, hemos logrado consolidar el árbol abundante que ha esparcido sus frutos para el deleite de los que en el encontramos nuestro alimento, gracias por ese apoyo incondicional y por la paciencia para entender mis aspiraciones reflejadas en esta tesis.

A mis hijas, **Diana Elizabeth, Karen Ivonne y Kathia Nicolle**, fuentes inagotables que fortalecen mis anhelos, razones de mi superación constante, que este trabajo sea un motivo de alegría acorde a la posibilidad de ser simplemente mejores.

A la memoria de mi padre **SANTIAGO**, que en aras del cumplimiento del deber marginé la dicha de recibir tu abrazo y tu sonrisa, seguire por siempre el camino que me enseñaste.

A la memoria de mis hermanas **ROSARIO Y MARÍA GUADALUPE**, ángeles del cielo cubriendo con su luz las vías de mi destino.

A la memoria de **ELIZABETH**. Quien pequeña y grandiosa, aunque veloz tu sendero me diste la oportunidad de disfrutar de tu cariño y amor, me enseñaste a amar a los demás y a luchar por ideales, gracias por ser quien fuiste, gracias por disculpar mis ausencias.

A mis hermanos "**BETO, PACO, MIGUEL, CARMEN, GINA**" por su comprensión y tolerancia a los errores que he cometido, mi deuda emotiva con ustedes será saldada puntual para continuar la cadena de unión fortalecida.

A mis compañeros "**LIBORIO (q.e.p.d), GUSTAVO, JUAN MANUEL, MINERVA, MARIANA Y ELIZABETH**", por su tolerancia, apoyo y aliento en cada momento de los estudios del doctorado. Gracias colegas.

A mis colegas Profesores e Investigadores.

## AGRADECIMIENTOS

Al Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (**CONACyT**), por su apoyo para la realización de los estudios de Doctorado. Se recibió apoyo financiero del Proyecto del Fondo Sectorial SEP-CONACyT 082313 “Adecuación Metodológica para la Determinación de la Huella Hídrica y del Grado de Desertificación en el Contexto del Cambio Climático en Cuencas de Zonas Áridas”.

Al Centro de Investigaciones Biológicas del Noroeste, S.C. (**CIBNOR**) por la oportunidad de alcanzar esta meta de superación personal.

Al Instituto Nacional de Investigaciones Forestales Agrícolas y Pecuarias (**INIFAP**), por permitirme desarrollar el presente trabajo instrumento de mis estudios doctorales, así como por permitir desarrollarme profesionalmente en sus áreas e infraestructura del Sitio Experimental valle de Santo Domingo.

Al **DR. ENRIQUE TROYO DIEGUEZ**, por su profesionalismo y acertada dirección, su valiosa participación en cada etapa desarrollada y que permite alcanzar esta meta profesional.

A los miembros de mi Comité Tutorial, **Dr. Enrique Troyo Diéguez, Dr. José Luis García Hernández, Dr. Bernardo Murillo Amador, Dr. Edgar Omar Rueda Puente y Dr. Narciso Ysac Ávila Serrano**, por sus acertadas orientaciones y correcciones de los trabajos realizados.

Al **DR. LIBORIO FENECH LARIOS (q.e.p.d)**, por su apoyo en la elaboración de varios trabajos y tareas, sin esa solidaridad no hubiera sido posible cumplir en tiempo y forma. Gracias Hermano.

A la **DRA. ALEJANDRA NIETO GARIBAY**, por la dedicación a la revisión de trabajos realizados, y las aportaciones que enriquecieron los trabajos realizados.

Al **M.C. MANUEL SALVADOR TRASVIÑA CASTRO**, por su invaluable ayuda en la realización de análisis de laboratorio en las muestras de suelos, muchas gracias.

Al **DR. SERGIO ECHAVARRIA MORALES**, por su apoyo para la continuación y conclusión de esta etapa profesional.

Al **ING. ERASMO GUTIERRES PÉREZ** y **M.C. GUSTAVO CHAVEZ RUIZ**, por el apoyo otorgado que facilitaron la realización de los trabajos y experimentos, pero sobre todo por el apoyo para alcanzar la calidad necesaria de los experimentos llevados a cabo en las áreas de su responsabilidad.

Al **Personal del Programa de Posgrado del CIBNOR**, Lic. Leticia González Rubio, Lic. Osvelia Ibarra Morales, Sra. Beatriz A. Gálvez, Claudia E. Olachea, Horacio Sandoval Gómez, Diana Dorantes F., Sra. Guadalupe Sánchez Vázquez, José Melero Astorga e Ira Fogel quienes poseen características admirables, como el respeto, paciencia, y comprensión, lo cual ayudó y facilitó toda actividad y trámite con resultados alentadores. Muchas gracias.

Al **Personal de Campo del Sitio Experimental valle de Santo Domingo INIFAP**, por su ayuda en todas las actividades y labores de campo.

A todas aquellas personas que involuntariamente dejó de mencionar pero que han formado parte del proceso de mi superación personal, a todos ellos mi más sincero agradecimiento.

# CONTENIDO

<b>RESUMEN</b>	
<b>ABSTRACT</b>	
<b>DEDICATORIA</b>	
<b>AGRADECIMIENTOS</b>	
<b>CONTENIDO</b>	
<b>LISTA DE FIGURAS</b>	
<b>LISTA DE TABLAS</b>	
<b>INTRODUCCIÓN</b>	1
PROBLEMÁTICA DEL MANEJO INADECUADO DE LOS RECURSOS NATURALES	1
ESPECIE BAJO ESTUDIO: LA NARANJA ( <i>Citrus sinensis</i> Osbeck)	3
Atributos y requerimientos de calidad del suelo en el cultivo del naranjo	4
Los constituyentes del suelo y sus funciones	8
ANÁLISIS DE LAS ESTRATEGIAS DE PRODUCCIÓN Y MANEJO DEL AGUA EN NARANJO	11
Estrategias de producción sostenible	11
Métodos de producción sostenible	12
Criterios para una producción agrícola sostenible y selección del tipo de labranza	13
La organización en la producción sostenible	16
Vertientes que limitan el enfoque sustentable	17
Los sistemas de riego: obsolescencia tecnológica y alternativas de modernización sostenible	17
<b>HIPÓTESIS</b>	33
<b>OBJETIVOS</b>	34
Objetivo General	34
Objetivos Particulares	34
<b>MATERIALES Y MÉTODOS</b>	35
DESCRIPCIÓN DEL SITIO EXPERIMENTAL	35
ETAPA 1. DETERMINACIÓN DE LOS REQUERIMIENTOS DE AGUA	36
OBJETIVO 1. Identificar los requerimientos de agua del naranjo mediante la estimación de la evapotranspiración en sus etapas fenológico-productivas	36
OBJETIVO 2. Realizar un diagnóstico del aprovechamiento del recurso agua y obtener los índices económicos por su uso en el agrosistema naranjo	38



ETAPA 2. FERTILIZACIÓN	42
OBJETIVO 3. Evaluar la interacción de N-P-K en árboles adultos mediante ensayos experimentales modificando la disposición de macroelementos	42
<b>RESULTADOS Y DISCUSIÓN</b>	45
ETAPA 1. DETERMINACIÓN DE LOS REQUERIMIENTOS DE AGUA	45
Objetivo 1. Identificar los requerimientos de agua del naranjo mediante la estimación de la evapotranspiración en sus etapas fenológico-productivas	45
Determinación de indicadores de demanda de agua	47
Objetivo 2. Realizar un diagnóstico del aprovechamiento del recurso agua y calcular índices económicos de su uso en el agrosistema naranjo	47
Índices de aprovechamiento	47
Eficiencia monetaria del uso del agua (EMUA)	48
Eficiencia monetaria del uso de la tierra (EMUT)	49
ETAPA 2. FERTILIZACIÓN	50
Objetivo 3. Evaluar la interacción de N-P-K en árboles adultos mediante ensayos experimentales modificando la disposición de macroelementos	50
Respuesta en rendimiento a la interacción de N-P-K	50
Respuesta económica a la interacción de N-P-K	51
<b>CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES</b>	52
<b>LITERATURA CITADA</b>	56
<b>ANEXO 1. Artículos: Aceptado y Enviado</b>	59
Artículo aceptado en la Revista Tropical and Subtropical Agroecosystems	60
NAVEJAS-JIMÉNEZ J., A. NIETO-GARIBAY., H.C. FRAGA-PALOMINO., E.O. RUEDA-PUENTE Y N.Y. ÁVILA-SERRANO. 2010. MANEJO SOSTENIBLE DEL AGUA MEDIANTE LA APLICACIÓN DE MÉTODOS PARA ESTIMAR LA EVAPOTRANSPIRACIÓN EN UNA ZONA ÁRIDA CITRÍCOLA DEL NOROESTE DE MÉXICO. TROPICAL AND SUBTROPICAL AGROECOSYSTEMS. (I D 8994, NOTICE ACCEPT SUBMISSION). (REVISTA DENTRO DEL ÍNDICE DE REVISTAS DE INVESTIGACIÓN CIENTÍFICA Y TECNOLÓGICA DEL CONACYT).	61
NAVEJAS-JIMÉNEZ J., E. GUTIERRES-PÉREZ., J.L. GARCÍA-HERNÁNDEZ., B. MURILLO-AMADOR., E.O. RUEDA-PUENTE., E. SALAZAR-SOSA., N.Y. AVILA-SERRANO Y E. TROYO-DIEGUEZ. 2009. INTERACCIÓN N-P-K EN EL CULTIVO DE NARANJO ( <i>Citrus sinensis</i> ) EN UNA REGIÓN ÁRIDA DEL NOROESTE DE MÉXICO. ENVIADO A REVISIÓN (REGISTRO NÚM. CT09-010) A LA REVISTA TERRA LATINOAMERICANA (EN EL ÍNDICE DE REVISTAS CIENTÍFICAS DEL CONACYT).	

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Comportamiento mensual de la temperatura en el valle de La Paz, B.C.S.....	38
Figura 2. Relación entre la precipitación y Evaporación en el valle de La Paz, B.C.S.....	46
Figura 3. Función de respuesta NPK en árboles adultos de naranja..	50
Figura 4. Respuesta económica B/C de interacciones NPK .....	51

## LISTA DE TABLAS

Tabla 1. Efecto de las sales en la producción de cítricos .....	9
Tabla 2. Condiciones de suelo en áreas de alto y bajo rendimiento .....	10
Tabla 3. Niveles de suficiencia de NPK en árboles adultos de naranja .	22
Tabla 4. Niveles nutricionales óptimos para especies de cítricos .	23
Tabla 5. Índices de impacto estandarizados de productividad en el valle de Santo Domingo, B.C.S .	49
Tabla 6. Eficiencias de uso del agua y de la tierra en el valle de Santo Domingo, B.C.S .	49

## INTRODUCCIÓN

### PROBLEMÁTICA DEL MANEJO INADECUADO DE LOS RECURSOS NATURALES

El crecimiento económico y poblacional, así como la globalización del comercio pone en evidencia que la capacidad de carga de los agrosistemas es limitada. Todo grupo social debe estar estrechamente vinculado al desarrollo sustentable, por lo que se deben considerar los factores del medio ambiente y utilizar adecuadamente los recursos naturales. En la actualidad se pretende equidad en la distribución de la economía y la explotación de los recursos, el desarrollo rural crea consecuencias como la deforestación, la erosión del suelo y la sobreexplotación de los acuíferos, un aspecto mundial sobresaliente es la desertificación de 3,500 millones de ha cada año. Las actividades que afectan la cubierta vegetal son el monocultivo, el sobrepastoreo, la deforestación y el deficiente manejo del riego. La pérdida de fertilidad del suelo ocasiona degradación, improductividad y pobreza.

La aplicación de tecnologías inadecuadas basadas en el uso de agroquímicos a nivel nacional ha degradado los recursos naturales, entre otros la productividad del suelo y la disponibilidad del agua. La fertilización de los cultivos es una práctica que tiene el propósito de suministrar los nutrimentos que no se encuentran presentes en suficiente cantidad. Un programa de fertilización busca cada año una respuesta de máximo rendimiento, es decir conduce a la utilización más eficiente del fertilizante y otros productos absorbidos; algunos factores influyen mayormente en la proporción y colocación del fertilizante; tales como las características del suelo, el rendimiento esperado, el costo del fertilizante en relación al precio de venta del producto y las características del producto cosechado. Así las cantidades de nitrógeno, fósforo y potasio pueden variar considerablemente. Los cítricos y particularmente

el naranjo en México ocupan el primer lugar de los frutales tanto en superficie como en el valor de la producción. Mientras que la reconversión agrícola y los planes estatales de Baja California Sur, se observan cuestionados prioritariamente por la falta de infraestructura adecuada para introducir especies de cultivos con alto valor remunerativo. La tendencia tradicional de cultivos de grano ha soportado la decadencia de precios, en virtud de que el campesino comunitario no conoce canales de comercialización, ya que durante más de dos décadas se apoyó en la recepción, con almacenes nacionales y con precios de garantía concertados políticamente. En la zona árida de Baja California Sur, cuya condición agroclimática indica que la precipitación media anual es de 200 mm irregularmente distribuidos a lo largo del año donde la temperatura oscila entre 2 y 40°C, el naranjo enfrenta serios problemas para adaptarse a dichas condiciones agroclimáticas prevalecientes (Navejas y Troyo, 2006). La problemática se enfoca entonces a la escasa rentabilidad de los cultivos y a la restricción del recurso agua, 250 millares de metros cúbicos de extracción permitida por pozo. Por lo tanto, la cantidad y la calidad del agua afectan los resultados que se pueden esperar en rendimiento; mientras que la actividad económica del sector agrícola se sustenta en la participación del 33% de la población económicamente activa.

Desde el punto de vista cultural, no se cuenta con principios empresariales ni de competencia, por lo que el cambio hacia cultivos eficientes en el uso de recursos agua y suelo, y con valor agregado en su comercialización, no encuentra soporte ni aceptación por la inseguridad e inestabilidad de precios y comercialización. Todo lo anterior determina que los cítricos en esta región y particularmente el naranjo en el valle de Santo Domingo tiene un potencial amplio para su cultivo. En el Municipio de La Paz, B.C.S., se tienen cerca de 300 ha establecidas con naranjo, incluyendo las variedades Valencia y Washington Navel. Por su parte, en el Valle de

Santo Domingo con 214 productores se encuentran establecidas 1976 ha de naranjo; de estas 253 son de la variedad Washington Navel y 1723 ha de Valencia tardía, con rendimientos promedio de  $10 \text{ t ha}^{-1}$ , el cual es considerado bajo si se compara con las 50 o más ton/ha que potencialmente tiene el cultivo. La aplicación de los conceptos para que un cultivo presente sostenibilidad, es un rubro importante y prioritario. Sin embargo, la problemática de productividad se centra no solo a la capacidad intrínseca del patrón, variedad, textura del suelo, sino también a la capacidad que el agrosistema representa. El promedio bajo en rendimiento es una consecuencia del inadecuado manejo que generalmente se realiza, el control de factores determinantes del potencial productivo debe sostener una constante que evite los decrementos significativos de un año a otro; por otra parte factores limitativos en el aspecto edafológico se traducen en condiciones físicas y químicas que alteran la nutrición de los cítricos. De tal manera que no es posible generalizar recomendaciones para corregir deficiencias e interacciones que se suceden en los requerimientos de agua y la fertilización.

#### ESPECIE BAJO ESTUDIO: LA NARANJA (*Citrus sinensis* L.)

La naranja (*Citrus sinensis* L.) se ha desarrollado desde la mitad del último siglo los años cincuentas en Baja California Sur, parte del Noroeste de Mexico, zona árida donde paulatinamente se ha ido consolidando como un cultivo de fruta tradicional; en esta región se ha destinado apoyos financieros y técnicos por parte de las instituciones del gobierno federal (SARH, 1982; Gonzalez y Gonzalez, 2002). El agua es un recurso muy escaso por lo que resulta importante la estimación del consumo de agua de los cultivos. El principal propósito es obtener estimaciones en las condiciones de ambiente semiárido, la evapotranspiración potencial y actual de la naranja cv Valencia en Baja California Sur, México. El conocimiento

del consumo de agua actual del cultivo o evapotranspiración es un elemento necesario para el diseño y la construcción de sistemas de riego (Withers and Vipond, 1974). La estimación de la evapotranspiración de los cultivos a partir de la evapotranspiración de referencia estimada de datos climáticos, es de suma relevancia para una planeación agrícola mas precisa. Esto es posible cuando se cuenta con información de los coeficientes de ajuste por desarrollo de los diferentes cultivos en tales zonas agrícolas, ya que este dato se toma con cierta frecuencia de referencias de otras latitudes y en la mayoría de las veces se tiene poco éxito cuando se utilizan estos datos en México (Villalobos *et al.*, 2005).

#### Atributos y requerimientos de calidad del suelo en el cultivo del naranjo

En virtud de que los suelos son el soporte físico y alimentario de plantas y árboles, es necesario considerar los diferentes factores que conforman e impactan la naturaleza del suelo.

Los suelos se clasifican y tipifican de acuerdo con las siguientes características:

- Su origen; ejemplo: cenizas volcánicas, depósito granítico, material orgánico, etc.
- Los constituyentes minerales o inorgánicos y por la presencia de materiales orgánicos, los cuales son indicadores para la clasificación del suelo como mineral o inorgánico, suelos orgánicos, suelos de clima árido, etc.
- La reacción del suelo o pH: Suelos ácidos, neutros o alcalinos.
- Capacidad de retención de agua.
- Capacidad de Intercambio Catiónico (CIC).
- Relación del tamaño de partículas o textura.
- Estructura o forma de agregación de las partículas del suelo.

## El pH del suelo

Indiscutiblemente el pH es uno de los parámetros del suelo más importantes a tomar en cuenta para la agricultura; aquellos valores de pH que son bajos, menores de 7, indican la presencia de suelos ácidos, en tanto que los valores de pH que son elevados, mayores de 7, indican una condición de alcalinidad. El pH es una propiedad del suelo que interactúa con los siguientes factores:

- Estado nutrimental. Nutrientes que son afectados por el pH: Cu, Fe, P, K y Mg.
  
- Acidez. Para incrementar el pH puede agregarse alguno de los siguientes materiales:
  - ⇒ Calcita (mineral que aporta Ca).
  - ⇒ Dolomita (mineral que aporta Ca y Mg).
  
- Deficiencias minerales. Para corregir la falta de algún catión, pueden aplicarse los siguientes materiales, si el pH es normal:
  - ⇒ Yeso, para condiciones deficitarias en Ca.
  - ⇒ Aplicaciones al suelo de  $\text{MgSO}_4$  o  $\text{MgO}$  y aplicaciones foliares de  $\text{Mg}(\text{NO}_3)_2$ , para condiciones deficitarias en Mg.
  
- Capacidad de retención de humedad (CRH).
  - ⇒ Punto de Marchitamiento Permanente (PMP).
  - ⇒ Capacidad de Campo, su variación en el tiempo en función de la degradación.

Expertos de la Universidad de Cataluña España han destacado las funciones de los suelos e indicado que además de la función tradicional de la producción de biomasa, los suelos cumplen tareas medioambientales que deben de reconocerse y respetarse para intentar rehabilitarlo cuando estos se degradan por alguna causa. El Departamento de Agricultura de Estados Unidos de Norteamérica, considera que es necesario que a través de las universidades y centros de investigación, se desarrollen programas para determinar las diferentes aplicaciones que pueden darse a los suelos y posteriormente hacerlos llegar a instancias locales, estatales y federales que transmitan dichos conocimientos a quienes trabajan la tierra. Esta capacitación demuestra el interés que existe por la conservación del hábitat, ya que la tierra es la base de la vida y por eso quizá el recurso natural mas importante a la par con el agua, dada su importancia social y económica debe conservarse ya que un país que destruye el suelo se destruye a si mismo. El futuro de la producción alimenticia depende en gran parte del tipo de zona edafoclimática que se disponga. Los conceptos del suelo pueden ser tratados como un sistema dinámico y ecológico, entendiendo que los suelos son elementos multifuncionales dinámicos de un ecosistema ya que son la base de la vida del planeta.

Los suelos cumplen funciones que incluyen la producción de biomasa con alimentos, forrajes, fibras, energías renovables, y masas forestales. Suministran agua y nutrientes, proporcionan estabilidad a las raíces, sirven a la producción ganadera e interaccionan con el clima determinando el tipo de cultivo o el ecosistema natural. Sin embargo se tienen amenazas de degradación por la Erosión, disminución de la materia orgánica (MO), contaminación de suelos, sellado del suelo o compactación, salinidad, inundaciones y movimiento de masa. El suelo es también fuente de materiales como: grava, arena, arcilla, caliza, yeso, aluminio, hierro y turba. El objetivo que conlleva la protección del suelo se focaliza a preservar sus



funciones, prevenir la degradación, mitigar los efectos de la degradación, rehabilitar los suelos degradados e integrar cualquier otra política. El marco común para los usuarios es determinar los requerimientos del suelo para que tomen medidas preventivas cuando el uso al que se destina pueda provocar interferencias con las funciones del mismo suelo. Entre otros aspectos, debe visualizarse la prevención del sellado del suelo y el mantenimiento de su estructura, que asegure un uso más racional del territorio. Asimismo, se deben identificar áreas de riesgo de: erosión, disminución de la materia orgánica, salinidad, compactación, deslizamientos y establecer programas nacionales de medidas para llevarlo a cabo. La génesis y la pedogenética son ciencias de los suelos que revisan los procesos de formación y su relación con el perfil edáfico, de utilidad para discernir la existencia de suelos poco evolucionados y la presencia de suelos con horizonte b estructural y suelos carbonatados. Las propiedades alteradas de los suelos afectados por sales conllevan a la formación de suelos salinos, salino sódicos y sódicos, lo cual amerita su clasificación.

El clima como formador del suelo, su variabilidad, y el cambio climático como parte de los cambios globales en los suelos. La clasificación y estudio geográfico del suelo se fundamentan en cuatro herramientas: 1) la clasificación internacional de los suelos: Base de referencia mundial del recurso suelo (WRB), 2) la clasificación norteamericana de suelos: Soil taxonomy (USDA), 3) Los conceptos y leyes de geografía de suelos y 4) clasificación, geografía y cartografía de suelos de México (INEGI). Otros aspectos de la ciencia del suelo consideran la reconstrucción paleoambiental y la paleoedafología, incluyendo a la geoecología como una perspectiva de trabajo interdisciplinario, dada la importancia de los biominerales y sedimentos con la evolución y degradación ambiental.

## Los constituyentes del suelo y sus funciones

El suelo, sustrato fundamental de los ecosistemas, presenta los siguientes constituyentes:

1) Mineralogía de suelos. La estructura de los minerales de arcilla son basados en la particularidad del sílice y la clasificación con grupos de arcillas 1:1 y arcillas 2:1; la presencia de óxidos de manganeso y fierro y la fertilidad del suelo en relación con la composición mineralógica.

2) La materia orgánica y sus funciones en los ecosistemas. Se analiza la existencia de reservorios de carbono en los ecosistemas, la composición y las propiedades de la materia orgánica, su dinámica, la disponibilidad y transformación química de los compuestos orgánicos, los procesos de humificación, tipos de humus y evolución regresiva de los suelos; Residuos lignocelulósicos, biodegradación y humificación de los residuos de cosecha, la transformación de los residuos, el compostaje y limitaciones en su uso agrícola.

3) La microbiología del suelo. Se observa al suelo como un sistema biológico, se destacan generalidades del hábitat que encuentran los microorganismos en la rizosfera, interacciones microbianas y la actividad enzimática como índice de la funcionalidad del suelo y propiedades de la dinámica bioquímica, se exponen las características de las rizobacterias promotoras del desarrollo vegetal y mecanismos de acción, aislamiento y selección de cepas. Los tipos de microorganismos utilizados como biofertilizantes y control biológico, y hongos del suelo.

En relación con el cultivo de naranjo se pueden realizar las consideraciones siguientes:

Las características físicas y químicas de suelos ejercen influencia en el desarrollo, rendimiento y calidad de los cítricos. La compactación, textura, fertilidad, pH, drenaje, mantos freáticos, salinidad y la presencia de iones tóxicos afectan el comportamiento de las plantas. Los cítricos se adaptan a un amplio rango de suelos pero producen mejor en suelos profundos (mayor de 2 m y de buen drenaje (mantos freáticos no más elevados de 2.5 m). Las texturas más propicias son de medias a ligeras, con pH de neutros a ligeramente ácidos como lo más favorables. Las sales solubles totales, por su parte, afectan la producción de los árboles (Tabla 1).

Tabla 1. Efecto de la salinidad expresada como CE en la producción de cítricos.

CE, dS/m	Ppm	Rendimiento %
1.25	800	100
2.30	1500	90
3.20	2000	75
4.40	2800	50
> 8.00	5000	0

Las características físicas y químicas de los suelos ejercen gran influencia en el desarrollo, rendimiento y calidad de los cítricos. Aspectos como compactación, textura, fertilidad, pH, drenaje, mantos freáticos, salinidad y la presencia de iones tóxicos afectan el comportamiento de las plantas. Se han reportado algunos índices de análisis de suelo realizados en huertas de cítricos (Durón *et al.*, 1999). Sin embargo, no se ha precisado la interrelación que existe entre cada uno de ellos, pero se observa que la concentración de iones como cloro, sodio, calcio y magnesio influyen sustancialmente sobre características como la conductividad eléctrica y el porcentaje de sodio intercambiable (Tabla 2).

Tabla 2. Condiciones de suelo en áreas de alto y bajo rendimiento.

Característica	Bajo	Alto
Porcentaje de saturación	53.0	45.0
PH	7.8	8.0
CE dS/m	3.8	1.1
Sodio meq/L	17.0	6.1
Calcio meq/L	16.0	4.3
Magnesio meq/L	2.7	1.2
Cloro meq/L	8.6	8.0
Carbonato meq/L	0.5	0.8
Bicarbonato meq/L	3.9	4.7
PSI	7.2	4.6
Resistencia del suelo, Bars	33.0	18.0

Otra de las características presentes en las zonas productoras de B.C.S. es el nivel de pH ya que se presenta comunmente con elevada alcalinidad entre 8.0 y 8.5, influyendo la presencia de carbonatos y bicarbonatos. Los suelos con 3 a 25% de contenido de carbonatos y bicarbonatos muestran incrementos en pH en el rango de 7.6 a 8.3, por encima de este nivel se establece más bien una relación con el sodio presente, la primera respuesta de los árboles de cítricos al exceso de sales en el agua de riego y en la solución del suelo es la reducción de crecimiento, los síntomas de daño generalmente no son permanentes, el efecto es más marcado en árboles jóvenes. El desarrollo de raíces es reducido, el gasto energético es mayor para disponer del agua necesaria con la consecuente disminución de brotes y rendimiento (Tucker *et al.*, 1995).

## ANÁLISIS DE LAS ESTRATEGIAS DE PRODUCCIÓN Y MANEJO DEL AGUA EN NARANJO.

### Estrategias de producción sostenible

La agricultura es una de las principales fuentes para proveer alimento a una población creciente y en ella ha basado su cultura; se ha deteriorado debido a los cambios físicos y químicos que afectan al suelo al ser sobre-explotado. La topografía y la diversidad de climas, parámetros inamovibles y con distribución desigual, limitan el establecimiento de cultivos más adecuados en el uso del suelo (Alfaro *et al.*, 1996). El rendimiento esta sustentado fundamentalmente en el suelo, principal medio de producción, el cual es el producto de la acción de los diferentes componentes y cualidades del medio natural.

El estudio agrológico facilita la comprensión del implemento de técnicas mecánicas y vegetativas recomendables para que se mantenga el suelo en los límites tolerables de degradación (Román y de Luna, 1996). Para enfrentar la problemática socioeconómica actual, la agricultura debe ser productiva, económica y no contaminante; es necesario entonces, fijar objetivos de rendimiento acordes con la aptitud del suelo y en consecuencia conocer bien la potencialidad de las tierras.

Los términos aptitud y potencialidad son empleados a menudo indistintamente, sin embargo, la aptitud indica que una tierra presenta un conjunto de cualidades y defectos que están ligados a la tierra misma y que la hacen más o menos propicia para un determinado uso. Por otro lado,

la potencialidad agrícola es la evolución de los niveles de producción y su frecuencia de obtención bajo un manejo tecnológico no limitante para un cultivo y tipo de suelo dado en función de la variabilidad geográfica e interanual del clima (Palma, 1996).

#### Métodos de producción sostenible

Método de labranza. Actualmente en el país existen limitaciones de orden económico para atender sistemas de producción que resultan rentables; en virtud de que tradicionalmente se lleva a cabo prácticas que ocasionan costos relativamente elevados, con bajos fines de retorno marginal. En consecuencia la actividad agrícola no resulta empresarial. La inversión pública se ve desmerecida, la privada se desequilibra y las organizaciones presentan retraso en sus objetivos y metas planteadas. Todo esto reduce la capacidad productiva de la comunidad y por consiguiente disminuye el empleo, se genera un costo social que se pasará posteriormente sin que los tomadores de decisiones a nivel gubernamental se interesen en el vínculo de trascendencia entre factores económicos y tecnológicos. En algunas regiones áridas de Baja California Sur como el Valle de Santo Domingo, Valle del Carrizal, Valle de San Juan Londó, y Valle de Los Planes se han observado algunas prácticas agronómicas que se pueden traducir en estrategias de producción para continuar con la disposición de diferentes sistemas con variación en el grado de preparación de terreno y/o labranza.

La tendencia hacia una agricultura sostenible como principio para una reconversión productiva se concibe como actividades del sector enlazadas a los aspectos comerciales; debe considerarse la tolerancia permitida para reactivos químicos y el manejo de productos, bajo normas de conservación ambiental. En este sentido, el primer criterio es evitar la degradación

y promover prácticas de conservación de los recursos naturales, para lo cual se dispone de paquetes tecnológicos que permitan alcanzar los rendimientos potenciales y cumplir con la demanda de calidad para un mercado globalizado. La labranza como tal, es el conjunto de características de intercambio básico, biológico y atmosférico, que disponen los nutrimentos de manera oportuna y suficiente. A partir de lo anterior, las técnicas aplicadas regionalmente pueden tener varias ventajas que hagan posible la mejora de lo que tradicionalmente se ha entendido como necesario, el paso de maquinaria e implementos, que regularmente impiden esa oportunidad y suficiencia de intercambio. Tal puede ser el caso de labranza profunda mediante arados de rejas y actividades de subsoleo o labranza convencional mediante arados de discos con cierta profundidad que posteriormente forma el denominado piso de arado. Asimismo, los rastreos, escardas y aporques mejoran las características de intercambio a nivel suelo. Los objetivos de la labranza pueden resumirse en dos partes; la primera que cumple con el sustento de la fertilidad del suelo para un nivel productivo y la segunda el sustento de la humedad disponible para las plantas, dejando la posibilidad de descanso en el período sin producción, sin que esto último se realice con el abonado de tabla o parcela productiva, entendida como parte de la rotación y/o asociación de cultivos.

#### Criterios para una producción agrícola sostenible y selección del tipo de labranza

La producción sostenible se basa en criterios simples que consisten en cubrir el suelo, descansar el suelo, humedecer óptimamente el suelo, arar el suelo y sembrar con especies diversas. Para esto último se cuenta con variantes como la labranza convencional, la labranza profunda, la labranza mínima y la labranza cero, que tiende a desarrollarse extensivamente en el estado de Baja California Sur, ya que se ha observado que el sistema de labranza en muchos

cultivos tienen poco efecto en la producción, la utilización de mantillo favorece la conservación de la humedad del suelo y la introducción de especies reguladas del suelo permitirán la rotación de cultivos y exploración de diferentes estratos del suelo. Toda vez que las prácticas de labranza intensa incrementan de manera poco significativa la producción de los cultivos, habrán de considerarse únicamente aquellas que sean indispensables para una buena configuración que permita el desempeño de las actividades necesarias en el sistema de producción, tratando de que algunas de ellas sean energéticamente eficientes. Debe hacerse énfasis en que en general la labranza requerida para la agricultura de riego conlleva un costo elevado debido a la extracción del agua de subsuelo. Avances en el mejoramiento de la eficiencia en el uso del agua se han demostrado mediante el uso de camas meloneras, surcos alternos para cultivos en hileras y la asociación de varios cultivos en el año.

Especies perennes y permacultura. La sociedad de alta demanda energética, la evolución tecnológica y la globalización de la economía transforma la conducta productiva y el quehacer en el sector agrícola del país. El estado de Baja California Sur, en su política agrícola establecida, promueve la preservación de sus recursos naturales, agua y suelo, así como toda inquietud e intento aproximado para mejorar los rendimientos de cosechas, incremento de utilidad económica marginal y el ahorro o rescate de volúmenes de agua. Por lo anterior, resulta evidente que la problemática requiere la aplicación de estrategias agronómicas y conceptos que sustenten la actividad agropecuaria y forestal. Las regiones áridas de Baja California Sur enfrentan restricciones en el aprovechamiento de suelo y agua, y económicamente carecen de infraestructura y canales de comercialización ágiles y eficientes, lo que es consecuencia evita la cristalización de la actividad con enfoque sustentable de rentabilidad y crecimiento integral.



La permacultura se refiere al diseño de un sistema para crear ambientes sostenibles para el humano la palabra indica agricultura permanente pero también el desarrollo de una cultura permanente en relación a la forma que se crea del paisaje y el uso de la tierra. La posibilidad de aplicar estos criterios en una región limitada en recursos económicos y ecológicos, puede permitir el recorte de recursos tecnológicos integrales en el que se preserva la flora y la fauna natural, se combinan las características propias del sitio y se instala una infraestructura utilizando la menor área práctica posible para la producción de alimentos para el ser humano y los animales. La energía necesaria para el sistema debe suministrarse del mismo sistema contraste con lo realizado actualmente, donde las fuentes de energía llegan externas al sitio y a la región. El consumo alto de energía ha deteriorado los recursos agua y suelo y las fuentes como combustibles, fertilizantes, electricidad, labores y semillas entre otras; son provistas sin compensar la inversión realizada. Las actividades convencionales no pagan su costo verdadero, dejando suelos empobrecidos con cosechas reducidas. La presión por la demanda de agua se incrementa con abatimientos en el nivel piezométrico del acuífero, reduciendo la calidad de la misma continuamente. El sobrepastoreo, el monocultivo, el arado excesivo y el uso continuo de agroquímicos han contribuido el consumo en exceso y al deterioro marginal.

Se vislumbran amplias posibilidades para el desarrollo de la permacultura como principio de sostenibilidad de los recursos y de la actividad agrícola regional, sin embargo, es imprescindible atender los siguientes principios fundamentales:

(a) Ubicación correcta de los cultivos y necesidades de protección/rotación, distribución adecuada de agua y de otros insumos, (b) uso de recursos biológicos más que la utilización de hidrocarburos, (c) reciclaje de materiales e insumos, como esquilmos de cultivos, estiércol,

papel, restos de comida, otros, (d) utilización de la sucesión natural de plantas para definir sitios favorables y suelos mejorados, (e) diversidad de métodos y especies benéficas para un sistema productivo: efecto de borde, interacción de plantas repelentes, plantas mejoradoras de suelo, abejas polinizadoras, plantas supresoras de malezas, arbustos para cercas vivas, cortinas protectoras.

### La organización en la producción sostenible

El deterioro del ambiente y de la calidad de vida en el sector rural motiva que a nivel nacional y particularmente en Baja California Sur algunas organizaciones no gubernamentales busquen soluciones para evitar la dependencia de los productos químicos en la agricultura. Para ello se alude a los efectos negativos de los agroquímicos sobre los recursos agua y suelo. Debido a las necesidades propias del crecimiento, existe presión por la rentabilidad de las unidades de producción, por el fomento de programas que activen de nueva cuenta la tradición de producir granos, por las condiciones laborales de grupos con carteras vencidas sin acceso a crédito y por la insuficiencia en el volumen de agua dotado. Todos estos factores originan que se retomen las prácticas convencionales y que se apoyen líneas de acción con impactos someros, en contraste con la necesidad de desarrollar tecnologías con impacto a largo plazo y sobre el sustento de los recursos naturales. Es evidente que las prioridades momentáneas y la especulación por atender programas y demandas que den imagen a una institución o encargo político, habrán de prevalecer como prueba del sentimiento humano, sin embargo el afán institucional de la investigación debe imperar en la necesidad de explotación eficiente de recursos a la par de la conservación ambiental, para la integración de la vida rural a un medio económicamente sólido, además de que sea ecológicamente inocuo y culturalmente factible.

## Vertientes que limitan el enfoque sustentable

Los paradigmas que limitan el desarrollo sostenible del medio agropecuario obedecen a:

- 1) Productores endeudados con problema de restricción en suelo, agua y tecnología costosa.
- 2) Productores de granos y hortalizas limitados por precios de referencia inciertos y carencia de contratos comerciales.

La investigación aplicada bajo este enfoque resulta limitada en virtud de la clasificación y características de productores cuya dirección se orienta a satisfacer la tecnología para cultivos establecidos actualmente, no se pronostica la integración a la explotación del recurso y la armonía de los factores. Más bien se atiende la prioridad del rendimiento y débil margen de utilidad que puede actualmente encontrar en sus actividades. Las organizaciones de productores, las instituciones gubernamentales y la comunidad científica, progresivamente pueden promover y modificar el quehacer de la investigación, si se despierta la convicción por prácticas permanentes de sustento, se podrá encontrar la estrategia tecnológica para la preservación del medio y la comunidad rural del estado y la región.

## Los sistemas de riego: obsolescencia tecnológica y alternativas de modernización

El riego superficial es el método de riego que predomina; consiste en conducir una corriente de agua desde la fuente abastecedora o pozo de bombeo, hacia la parcela compuesta por surcos, camas o melgas y permitir que fluya el agua por acción de la gravedad. Ningún cambio básico se ha otorgado al sistema de riego superficial, aunque en los campos

experimentales se han realizado evaluaciones en lotes de productores para conocer las causas de las bajas eficiencias. Cabe destacar que bajo riego superficial cerca de la mitad del agua bombeada llega hasta las plantas; solo un 1% del agua aplicada es transformada en tejidos vegetal. Por lo anteriormente descrito, queda claro que el riego superficial requiere la aplicación de criterios relacionados al suelo, planta y clima; de lo contrario, las pérdidas sujetas a la distribución del agua en la parcela seguirán obedeciendo al tipo de labranza utilizada, gastos en el surco, longitudes de surco con exceso de infiltración, erosión, encharcamientos y salinidad del suelo.

Como alternativa tecnológica desde hace tiempo se han desarrollado los sistemas de riego presurizados (riego por goteo, micro-aspersión, otros), los cuales, aunados con el uso de plásticos, representan una de las opciones factibles para elevar la eficiencia en el uso del agua.

## FERTILIZACIÓN

El naranjo en las zonas productoras del Estado de B.C.S. tiene rendimientos reducidos (alrededor de  $10 \text{ t ha}^{-1}$ ) y baja rentabilidad; de un total de 1976 ha, 1723 ha son del cultivar Valencia tardía (Navejas, 2001), cuyo potencial esperable puede alcanzar un nivel de  $50 \text{ t ha}^{-1}$ . Un adecuado programa de fertilización, permite corregir la insuficiencia de un elemento (Durón *et al.*, 1999). La fertilización de los cultivos es una práctica que tiene el propósito de suministrar los nutrientes que no se encuentran presentes en suficiente cantidad. Un programa de fertilización busca cada año una respuesta de máximo rendimiento, es decir conduce a la utilización más eficiente del fertilizante y otros productos absorbidos; algunos factores influyen mayormente en la proporción y colocación del fertilizante; tales como las

características del suelo, el rendimiento esperado, el costo del fertilizante en relación al precio de venta del producto y las características del producto cosechado. Así las cantidades de nitrógeno, fósforo y potasio pueden variar considerablemente. En una huerta o agrosistema frutal la fertilización dirigida a través de diversos métodos y múltiples formulaciones, incluyendo el fertirriego y las aspersiones foliares, lleva consigo la finalidad de incrementar la respuesta en rendimiento, aumentando el número de frutos o bien el tamaño y volumen de los mismos. Sin embargo, la fertilidad natural del suelo se encuentra sujeta a factores ecológicos, fisiológicos y genéticos.

El criterio de productividad considera el desarrollo y las características fenotípicas de la planta, el ambiente que rodea al cultivo tanto en la parte aérea como en la parte subterránea. Por lo tanto, las condiciones adecuadas de factores externos y los niveles de elementos nutritivos en el área foliar y en la solución del suelo deben facilitar la disposición y absorción de dichos elementos.

Los cítricos poseen un sistema radical superficial con limitado número de pelos por lo que su capacidad de absorción de elementos nutritivos es bastante baja. Sin embargo, las cifras de extracción de nutrimentos muestran que los frutos de los cítricos extraen del suelo considerables cantidades de nutrimentos especialmente de potasio y calcio. Aunque el calcio es el constituyente más importante de las partes vegetativas, el potasio es el elemento dominante en el fruto (Chirinos, 2003). El desarrollo radical puede estar limitado por deficiencia de nitrógeno cuando el nivel es más bajo que 112 kg N/ha. La densidad de fibra de la raíz en árboles de toronja Marsh sobre naranjo agrio; con edad de 26 años; tratados con cuatro niveles de nitrógeno 0,56, 112 y 168 kg N/ha; en un terreno con drenaje deficiente; observó significancia, ya que fue más grande en

los árboles que recibieron entre 112 o 168 kg N/ha. Del total de las raíces de los 60 cm de profundidad el 75 % estuvieron en los primeros 15 cm, del resto muchas se encuentran entre los 15 y 30 cm de profundidad. Contrasta cuando se tienen niveles bajos de nitrógeno (Zhang *et al.*, 1998). Los suelos contienen elementos y compuestos que las plantas necesitan para su desarrollo en cantidad suficiente para abastecerlas durante un tiempo prolongado. Sin embargo, estos nutrimentos en formas no aprovechables y la velocidad con que pasan a formas utilizables por la planta es lenta y generalmente insuficiente para cubrir las necesidades inmediatas del cultivo.

Por otra parte, al obtener las cosechas se realiza una extracción de los principales nutrimentos contenidos en el suelo que tiende a disminuir considerablemente la fertilidad del mismo (Troyo *et al.*, 2002). El mecanismo de absorción de nutrimentos por las raíces de los cítricos es marcadamente distinto al de varias especies, con una absorción pasiva que desempeña una función relativamente importante. De esta forma, una alta concentración de iones como el cloro y sodio en el suelo resulta una condición indeseable de dichos iones en la planta. La frecuencia de aplicación de fertilizante tiene un efecto directo en la concentración del total de sólidos disueltos en la solución del suelo. El programa de fertilización con aplicaciones frecuentes relativamente tiene menor concentración de sales que cuando se realizan solo dos o tres aplicaciones por año. Las cantidades de nutrimentos extraídos por las diferentes variedades de cítricos no difieren mayormente. De acuerdo con diversas fuentes una tonelada de naranja extraería 1.18 a 1.85 kg N, 0.17 a 0.27 kg P, 1.79 a 2.61 kg K, 0.36 a 1.04 kg Ca y 0.17 a 0.19 kg Mg. Se estima que una tonelada de limón mexicano extrae 1.86 kg N, 0.66 kg P, 2.73 kg K, 1.17 kg Ca, 0.16 kg Mg. (Maldonado *et al.*, 2001). La absorción de nitrógeno y potasio aumenta progresivamente hasta la maduración del fruto o sea que prácticamente los absorben regularmente en todo el ciclo anual de desarrollo y consecuentemente deberían ser suministrados en forma continua. El fósforo y el

magnesio aumentan durante el primer período de desarrollo del fruto, posteriormente permanecen constante. El calcio en cambio es absorbido solo durante el primer tercio del tiempo de desarrollo del fruto (Chirinos, 2003).

La apariencia en el crecimiento y desarrollo de la planta puede ser afectada y mostrar síntomas en el exterior, un reconocimiento observando e identificando deficiencias puede mostrar diferentes síntomas de la deficiencia de un solo elemento. También la diagnosis se complica por síntomas similares por la deficiencia de elementos diferentes. Por ejemplo el nitrógeno y el azufre en deficiencia pueden causar una clorosis general, la deficiencia de Zn en muchos árboles frutales presenta una condición de hoja pequeña. Individualmente los elementos muestran algunos síntomas de deficiencia pero las plantas pueden tener síntomas de dos o mas elementos lo cual resulta difícil y complicado (Epstein, 1972).

Las técnicas de diagnóstico, incluyendo la identificación de los síntomas de deficiencias mediante los análisis de los suelos y de las plantas, constituyen una gran ayuda para determinar el momento en que es necesaria la fertilización. La elección de la cantidad adecuada de suministro de los nutrimentos depende del conocimiento que se tenga de los requerimientos del cultivo y de la cantidad que se encuentre en el suelo, cuando el suelo no proporciona la cantidad adecuada es imprescindible el suministro de los elementos deficientes. El color no determina las condiciones de nitrógeno, fósforo y/o potasio. Cuando una planta presenta deficiencia puede haber ocurrido una reducción del potencial de producción. Para que los análisis químicos tengan un valor, los resultados deben relacionarse con la respuesta de la cosecha en los campos (Tisdale y Nelson, 1982).

Mediante el análisis foliar es posible conocer la concentración de los diferentes elementos en las plantas, las hojas de los árboles muestran síntomas que ayudan a la identificación de la condición insuficiente de un elemento pero puede haber confusión cuando la deficiencia es de más de un elemento, la sintomatología de deficiencia en los elementos mayores es poco común excepto nitrógeno (González *et al.*, 1983). Resulta recomendable realizar análisis de suelo y foliares de manera sistemática para el reconocimiento de la suficiencia de un elemento (Tabla 3), tratar de mantener las dosis adecuadas y niveles en suelo y planta (Navejas, 2001).

Tabla 3. Niveles de suficiencia de NPK en árboles adultos de naranja.

Elemento	Dosis kg/ha	Nivel planta %	Nivel suelo ppm
Nitrógeno	150-200	2.40 - 2.60	40 - 80
Fósforo	20-50	0.12 – 0.16	30 - 60
Potasio	150-300	0.70 – 1.09	100 – 200

El número de muestras a coleccionar en un huerto depende de la variabilidad del terreno y del huerto. Una muestra de hojas debe ser obtenida de lotes uniformes no mayores de 10 ha, evitando muestrear árboles que presenten daños de enfermedades, insectos, herbicidas, compactación, orilleros e inundados, si se aplican productos químicos al follaje debe dejarse un período de dos semanas antes de realizar el muestreo. Se toman de 20 a 25 árboles de cada lote, por árbol se coleccionan cuatro hojas terminales de cinco a siete meses de edad de brotes no fructíferos, la altura de muestreo es de 1.5 a 1.8 m sobre la periferia de la copa del árbol. Intervalos de niveles nutricionales óptimos para especies de cítricos (Tabla 4) han sido reportados para ser considerados en la interpretación de resultados de laboratorio (Durón *et al.*, 1999; Maldonado *et al.*, 2001; Troyo-Diéguez *et al.*, 2002).



Tabla 4. Niveles nutricionales óptimos para especies de cítricos.

ESPECIE	NIVELES							
	%				ppm			
	N	P	K	Ca	Mg	Zn	Mn	Fe
Naranja	2.4–2.6	0.12–0.16	0.7–1.09	3.0 – 5.5	0.26–0.69	25-100	25-100	60-120
Toronja	2.4-3.0	0.15-0.50	0.8-2.20		0.25-0.75	25-100	25-200	60-200
Mandarina	3.0-3.4	0.15-0.25	0.9-1.10		0.17-0.44	5-29		
Limón Persa	2.4-3.0	0.15-0.50	1.6-2.50		0.25-1.00	20-200	20-200	
Limón real	2.2-2.7	0.10-0.30	1.0-2.00		0.20-0.50	20-50	20-200	60-100
Limón Mexicano	2.5-3.2	0.18-0.25	1.3-1.87	3.7– 5.7	0.37-0.62	22-32	37-73	60-115

La ley de tolerancia describe la curva básica de dosis-respuesta la cual tiene tres fases o zonas, deficiencia, tolerancia y toxicidad o inhibición. Si la adición de un factor aumenta la respuesta se dice que el factor es deficiente, si no cambia la respuesta, el factor se encuentra en fase de tolerancia, el nivel mínimo que da la respuesta máxima es el óptimo y cuando la adición del factor origina menor respuesta se esta en toxicidad. Entre el óptimo y la toxicidad se dice consumo de lujo. Un elemento no esencial que llegue a la toxicidad puede ser letal (Salisbury y Ross, 1985).

Un programa de fertilización adecuado debe ser capaz de mantener una condición nutricional adecuada. La fertilización tiene como objetivo abastecer las necesidades de nutrimentos a la planta, conforme se va requiriendo durante el desarrollo. Una vez que se determina la insuficiencia de un elemento se procede a su corrección para lo cual se tomará en cuenta la dosis, la fuente, método y época de aplicación acorde a la condición de la huerta.

## DETERMINACIÓN DE LOS REQUERIMIENTOS DE AGUA.

Según la información agroclimatológica obtenida y analizada, el crecimiento vegetativo, el desarrollo del fruto y la maduración se ven limitados con pequeños crecimientos que ocurren en los órganos de los árboles (Goldshmidt, 2003). La naranja puede desarrollar y fructificar en un rango de 10 a 40°C y en forma óptima de 24 a 32°C aunque puede soportar sin daño aparente temperaturas extremas de 0 y 50°C.

### Evapotranspiración

Los recursos de agua dulce son un componente esencial de la hidrosfera de la Tierra y parte indispensable de todos los ecosistemas terrestres. El medio de agua dulce se caracteriza por el ciclo hidrológico, que incluye las inundaciones y sequías, cuyas consecuencias se han vuelto en algunas regiones más extremas y dramáticas durante los últimos años. Dentro de los procesos del ciclo hidrológico que se han intensificado por la expansión de la agricultura, destaca enfáticamente la evapotranspiración, simbolizada comúnmente como ET o Et (Rana y Katerji, 2000). En el contexto del ciclo hidrológico, se denomina evapotranspiración a la evaporación en superficies cubiertas de vegetales junto con la transpiración de dichos vegetales. La evaporación del agua por las plantas se debe a la necesidad hídrica que tienen las plantas para incorporarla a su estructura celular, además de utilizarla como elemento de transporte de alimentos, de eliminación de residuos y de estabilización térmica (enfriamiento relativo) (Casa *et al.*, 2000). La circulación del agua en la planta no es un circuito cerrado, sino que por el contrario es una circulación abierta. El agua penetra por la raíz, circula por la planta y gran parte de ella se evapora por las hojas a través de los estomas. La transpiración

depende principalmente de factores agrobiológicos, edafo-ambientales y climáticos: (a) tipo de planta, (b) ciclo de crecimiento de la planta (inicial, vegetativo, medio, maduro), (c) tipo de suelo y humedad del suelo, (d) insolación, temperatura, viento, humedad de la atmósfera, y otros (Alves *et al.*, 1998). Existe una diferencia que varía a lo largo del día, entre la cantidad de agua que la planta puede absorber del suelo  $Q_p$  y la cantidad de agua  $Q_l$  que la planta transpira.  $Q_p$  depende del tipo de suelo, de las condiciones de humedad, así como del tipo y situación de la planta; mientras que  $Q_l$  depende de las condiciones de insolación, humedad y viento, así como de las características de la propia planta. Si  $Q_l > Q_p$ , la planta se marchita o tiene que variar sus condiciones de desarrollo. Si  $Q_l = Q_p$ , la planta tiene suficiente circulación de agua y se desarrolla satisfactoriamente. Por último, los excesos de circulación de agua con  $Q_l \ll Q_p$ , pueden producir fenómenos contrarios al desarrollo (Beyazgul *et al.*, 2000).

Una forma de cuantificar la demanda de agua de los cultivos, producto de los cambios atmosféricos, es la evapotranspiración (ET), la cual se define como la cantidad de agua usada por el cultivo en la transpiración a través de las hojas y en la evaporación directa desde la superficie del suelo. Es decir, la evapotranspiración es la cantidad de agua perdida por el cultivo que debemos reponer en el riego. La ET se mide normalmente en mm/día o mm/mes (Allen *et al.*, 1989). La cuantificación de la  $E_T$  se puede realizar mediante métodos directos o indirectos. Los métodos indirectos más comunes para determinar la evapotranspiración de referencia son: Cubeta o tanque evaporímetro (Pereira *et al.*, 1995), Blanney-Criddle modificado por FAO, Hargreaves., Penman-FAO, Penman-Monteith (Allen *et al.*, 1998).

Los estudios comparativos entre los diferentes métodos llevados a cabo por FAO, se resumen de la siguiente manera (Doorenbos y Pruitt, 1977):

- a) Los métodos necesitan calibración *in situ* mediante lisímetros y técnicas de medición indirecta, así como los métodos micrometeorológicos (relación de Bowen, el método del perfil, el método del torbellino, los métodos aerodinámicos combinados, el método sensorial remoto).
- b) Los métodos de radiación muestran resultados aceptables en regiones donde el término aerodinámico es relativamente pequeño, pero la realización en condiciones áridas tiende a subestimar la evapotranspiración de referencia ETo.
- c) los métodos que utilizan la cubeta de evapotranspiración reflejan imprecisiones en la predicción de la evapotranspiración del cultivo a partir de la evaporación de agua al aire libre. Los métodos son susceptibles a las condiciones microclimáticas bajo las cuales están las cubetas y el rigor del mantenimiento de la estación (Stanhill, 2002).
- d) La precisión relativa y cumplimiento de la aproximación de Penman-Monteith tanto en climas áridos y húmedos ha sido indicado en los estudios de la American Society of Civil Engineers (A.S.C.E.) y en estudios europeos.

El análisis de métodos de cálculo revela la necesidad de formular un método estándar para el cómputo de ETo. En el cálculo de la evapotranspiración de referencia, frecuentemente se aplica el método de Penman-Monteith debido al rigor en su planteamiento, a pesar de varias simplificaciones de su planteamiento teórico. Es un método con alta probabilidad de predecir con precisión ETo, en una amplia gama de localidades y climas, sin embargo, presenta una evidente escasa factibilidad de aplicación en situaciones de escasez o ausencia de datos, por lo

que será el método utilizado para el cálculo de la evapotranspiración de referencia. Además el tipo de estaciones con el que contamos nos ofrecen los datos necesarios para aplicar este método.

#### Evapotranspiración potencial

Con objeto de valorar la capacidad máxima de evaporación y transpiración de un suelo, con determinadas condiciones atmosféricas y de radiación, se define el concepto de evapotranspiración potencial como la cantidad de agua transpirada por unidad de tiempo, teniendo el suelo un cultivo herbáceo uniforme de 30-50 cm. de altura (alfalfa) y siempre con suficiente agua. En esas condiciones se produce el máximo de transpiración y coincide con las óptimas condiciones de crecimiento de las plantas (García, 2002; FAO, 1990). Las diferencias en evaporación y transpiración entre los cultivos sembrados y la evapotranspiración de referencia, pueden ser integradas en un coeficiente único del cultivo ( $K_c$ ) o separadas en dos coeficientes: un coeficiente basal del cultivo ( $K_{cb}$ ) y un coeficiente de evaporación del suelo ( $K_e$ ), por lo que  $K_c = K_{cb} + K_e$ . El procedimiento a seguir dependerá del propósito de los cálculos, la exactitud requerida y la información disponible.

El cálculo de la evapotranspiración de un cultivo supone que no existen limitaciones de ningún tipo en el desarrollo de los mismos. Que no existe ninguna limitación debida a estrés hídrico o salino, densidad del cultivo, plagas y enfermedades, presencia de malezas o baja fertilidad (Cohen *et al.*, 2002). Debido a las variaciones en las características propias del cultivo durante las diferentes etapas de crecimiento,  $K_c$  cambia desde la siembra hasta la cosecha. Los efectos combinados, tanto de la transpiración del cultivo, como de la evaporación del suelo se integran en este coeficiente único del cultivo. Así El coeficiente  $K_c$

incorpora las características del cultivo y los efectos promedios de la evaporación en el suelo, constituyendo una excelente herramienta para la planificación del riego y la programación de calendarios básicos de riego en periodos mayores a un día.

Para determinar la evapotranspiración potencial en una zona árida es posible emplear modelos convencionales, el método de Blanney-Criddle y el del evaporímetro de tanque y definir un modelo alternativo de estimación de la evapotranspiración potencial en función de la temperatura máxima y radiación solar neta, aplicado al cultivo del naranjo en la zona árida productora de Baja California Sur, cultivo que requiere de una planeación precisa en relación con el manejo del agua y con su diagnóstico nutricional, para lograr la optimización de su potencial productivo (Ruiz *et al.*, 1997).

#### Cálculo de la evapotranspiración potencial

Entre los métodos más utilizados destaca el Método de Blanney-Criddle, cuya fórmula es ampliamente utilizable en zonas áridas (FAO, 1990):

$$ET_p = p \cdot (0.46 \cdot T + 8.13)$$

Donde:  $p = 100 \cdot (\text{n}^\circ \text{ horas luz al día} / \text{n}^\circ \text{ horas luz al año})$ ;  $T$  es la temperatura en  $^\circ\text{C}$ ; y  $ET_p$  es la evaporación diaria en mm.

El cálculo de la evapotranspiración a partir de la evaporación libre (datos de evaporímetro de tanque), constituye otro método sencillo y práctico, siempre y cuando se utilice el adecuado coeficiente de ajuste (Malek, 1987).

### Evapotranspiración de Referencia

La ET de referencia (ET<sub>o</sub>) se define como la ET de una pradera de gramíneas en cobertura total con una altura entre 8 y 15 cm y un buen suministro de agua y nutrientes. El concepto de ET<sub>o</sub> substituye al término "ET potencial" que se utilizó frecuentemente en el pasado pero que carecía de una definición clara. Se han propuesto numerosos métodos de cálculo de la ET<sub>o</sub>. La elección de un método depende sobre todo de los datos disponibles. En algunos casos se dispone de datos medidos de ET<sub>o</sub> en un lisímetro de hierba o matorral. En otros se dispone de tanque de evaporación y/o datos meteorológicos que permiten utilizar alguna fórmula empírica. Por lo común la ET de referencia (mm día<sup>-1</sup>) se calcula mediante la ecuación FAO-56 Penman-Monteith adaptada a una pradera de gramíneas (Allen *et al.*, 1998):

$$ET_o = \frac{0.408\Delta (R_n - G) + \gamma \frac{900}{T+273} U_2 (e_o - e_a)}{\Delta + \gamma (1 + 0.34 U_2)}$$

Donde: ET<sub>o</sub> es la tasa hipotética de evapotranspiración de referencia del cultivo en mm día<sup>-1</sup>, T es la temperatura media del aire en °C y U<sub>2</sub> es la velocidad del viento en m s<sup>-1</sup> a 2 m de altura sobre la superficie del terreno (de igual forma se asume que la HR o el punto de rocío y la temperatura del aire son medidos a 2 m de altura sobre la superficie del terreno). Allen *et al.* (1998) brindan los procedimientos para estimar los parámetros de manera consistente con Allen *et al.* (1989) y Jensen *et al.* (1990) para un cultivo de referencia bajo o de tipo pasto, con las características hipotéticas definidas.

### *Evapotranspiración del cultivo*

La ET en ausencia de déficit hídrico se estima habitualmente como el producto de la evapotranspiración de referencia por la constante  $K_c$  del cultivo (FAO, 1998):

$$ET = K_c * E_{To}$$

Donde:  $K_c$  es el llamado coeficiente de cultivo, que depende de factores relacionados con el cultivo (área foliar, rugosidad) y  $E_{To}$  es la ET de referencia, que es función de variables climáticas (radiación, temperatura, humedad y velocidad del viento). Esta expresión sólo es válida mientras no se produce un estrés hídrico suficiente como para reducir la ET, lo que ocurre normalmente cuando se agotado el 70-80% del agua extraíble del suelo. Para el caso del naranjo  $K_c = 0.9$ , para la mayoría de las etapas de crecimiento, incluyendo la etapa como árbol adulto (Cuadro 1) (UC-Davis, 2007; Yang *et al.*, 2003).

El método habitual de cálculo de la ET consiste en calcular la  $E_{To}$  en función de datos meteorológicos y aplicar un  $K_c$  variable con el estado de desarrollo del cultivo (Villanueva-Díaz *et al.*, 2001). Los factores climáticos son el principal componente del complejo clima-suelo-manejo que provoca los diferentes comportamientos de la naranja entre las regiones cítricas, no solo en crecimiento y rendimiento de los árboles, sino también en las características físicas y químicas de los frutos. También hay marcadas diferencias en el período de floración a cosecha y en el tiempo que la fruta puede ser almacenada en el árbol. De todos los elementos del clima, la temperatura durante el desarrollo del fruto es el la que mas influye en la calidad de la fruta (Reuther, 2003).



El incremento de temperaturas máximas por arriba de los 40° C coincide con la última fase del crecimiento del fruto en este período es importante mantener condiciones favorables de suministro de fertilizante y agua, se incrementan las actividades metabólicas, el crecimiento vegetativo y el desarrollo reproductivo. Por lo anterior, la respuesta del fruto en las diferentes etapas de desarrollo varía considerablemente con la temperatura, la diferencia entre fechas de maduración temprana y tardía entre cultivares va a reflejar diferentes requerimientos de unidades calor (Goldshmidt, 2003).

#### Consideraciones sobre el manejo sustentable del agua y suelo en agroecosistemas

El inadecuado manejo de los recursos naturales crea desertificación en millones de hectáreas, con deficiente distribución económica. Por otra parte el uso excesivo de agroquímicos representa un riesgo ambiental sobre los recursos suelo y agua, observándose limitado el desarrollo rural sustentable. Algunas prácticas como la fertilización en cítricos han sido impactadas por el incremento en el costo del fertilizante. Por lo tanto, la aplicación balanceada de elementos como nitrógeno, fósforo y potasio; debe maximizar la respuesta en rendimiento. El cuestionamiento que se percibe sobre las dificultades que debe enfrentar el programa de reconversión agrícola con especies de cítricos para elevar el índice productivo, que actualmente es alrededor de 10 t ha<sup>-1</sup>, se aclara al reconocer que es posible mejorar las capacidades del agrosistema, con el control de factores determinantes del potencial productivo de 50 t ha<sup>-1</sup>, como la evapotranspiración ET o demanda de agua y la nutrición vegetal basada en consideraciones de principios edafológicos y de irrigación. Lo anterior incluye las características físicas, químicas y biológicas del sistema agua-suelo, las características

genéticas y de adaptación de patrones, así como de variedades y nuevos genotipos. Para lograr el uso sostenible del suelo, debe clasificarse y valorarse adecuadamente por su origen, constitución, reacción, retención, intercambio, tamaño y agregación.

Para enfrentar la problemática socioeconómica, la agricultura debe ser productiva, económica y no contaminante. Por lo que, la búsqueda de métodos de producción sostenible se justifica en la demanda de calidad para un mercado globalizado. Sin embargo, los sistemas de riego prevalecen en obsolescencia tecnológica, requieren de alternativas que incrementen sus índices de eficiencia, entre otros; la determinación de necesidades de agua en una huerta o agrosistema frutal. La fertilización dirigida representa solo una parcialidad de la respuesta; ya que, la fertilidad natural del suelo se sujeta a factores ecológicos, fisiológicos y genéticos. La ley de tolerancia describe la curva básica de dosis- respuesta, en este sentido las técnicas de diagnóstico en suelos y plantas, incluyendo la identificación de los síntomas de deficiencia, constituyen una gran ayuda para cumplir el objetivo de la fertilización. Se reconoce que el agua es un recurso escaso por lo que resulta importante la estimación del consumo de agua de los cultivos, para la planeación agrícola estratégica. La demanda de agua de los cultivos, producto de los cambios atmosféricos es también conocida como ET, la cual se cuantifica mediante métodos directos e indirectos que requieren calibración in situ. El método habitual de cálculo de la ET consiste en estimar la  $E_{To}$  en función de datos meteorológicos y aplicar un  $K_c$  variable con el estado de desarrollo del cultivo. Los factores climáticos son el principal componente del complejo clima-suelo-manejo que provoca los diferentes comportamientos de la naranja entre las regiones cítricas, no solo en crecimiento y rendimiento de los árboles, sino también en las características físicas y químicas de los frutos.

Por lo anteriormente expuesto, el presente trabajo conlleva el análisis y demostración de hipótesis focalizadas al análisis y determinación de los factores que influyen en el manejo del agua y fertilización en el cultivo del naranjo, bajo condiciones de aridez.

## **HIPÓTESIS**

### **HIPÓTESIS GENERAL DE TRABAJO**

La determinación de la evapotranspiración del cultivo permite un criterio para la mejor operación y disposición del recurso agua impactando la producción y la sostenibilidad de la cadena productiva. Los árboles adultos de naranjo pueden adaptarse y responder sobre la base del análisis y el diagnóstico nutrimental. A partir del principio de que el manejo de los recursos agua y suelo forman parte de los insumos estratégicos para la productividad y desarrollo del agrosistema de naranjo.

### **HIPÓTESIS ESPECÍFICAS**

Mediante la realización de experimentos dirigidos se espera que:

1. El uso del nivel óptimo referenciado a una condición específica de los requerimientos de agua y de la fertilización se traduce en una respuesta favorable a la absorción de agua y nutrimentos, reflejado en un mayor rendimiento de biomasa útil (frutos) y un balance entre la disposición de riego-fertilizante y la capacidad del agrosistema.
2. Existe una respuesta diferencial positiva en la acumulación adecuada de N-P-K-Ca-Mg, y la capacidad productiva expresada en rendimiento.
3. El cultivo de naranjo permite obtener mejores índices productivos que otros cultivos convencionales, como el maíz y trigo, mediante el uso y manejo sostenible del agua.

## OBJETIVOS

### OBJETIVO GENERAL

Desarrollar métodos que permitan lograr un uso y manejo apropiado de los recursos naturales, es decir; uso y manejo del suelo sin degradarlo, uso y manejo del agua sin abatir y contaminar los acuíferos al conducir, usar y manejar la biodiversidad, preservando las especies disponibles. Destacando el impacto del manejo de los recursos naturales en el agrosistema naranjo.

### OBJETIVOS PARTICULARES

Realizar ensayos experimentales con la finalidad de:

1. Identificar los requerimientos de agua del naranjo mediante la estimación de la evapotranspiración en sus etapas fenológico-productivas.
2. Realizar un diagnóstico del aprovechamiento del recurso agua y obtener los índices económicos por su uso en el agrosistema naranjo.
3. Evaluar la interacción de N-P-K en árboles adultos mediante ensayos experimentales modificando la disposición de macronutrientes.

## MATERIALES Y MÉTODOS

### DESCRIPCIÓN DEL SITIO EXPERIMENTAL

Los experimentos de fertilización del presente trabajo de investigación se realizaron en el Campo Experimental Valle de Santo Domingo del Instituto Nacional de Investigaciones Forestales Agrícolas y Pecuarias (INIFAP), en Ciudad Constitución, Baja California Sur (BCS), en el noroeste de México, durante los años 2006 y 2007. Se localiza en las coordenadas 25° 00' 50" LN y 111° 39' 35" LW, a 47 m sobre el nivel del mar. El suelo en el sitio de estudio presenta textura areno-migajosa (75, 15 y 10% de arena, limo y arcilla), en tanto que el contenido promedio de materia orgánica oscila alrededor de 0.22, aún menor que el reportado para otras zonas productoras del estado 0.4% (Beltrán-Morales *et al.*, 2005). El análisis de suelo inicial de la huerta de naranjo en estudio mostró ser ligeramente alcalino (pH 7.73), con magnitud de salinidad dentro del límite aceptable ( $CE = 2.55 \text{ dS m}^{-1}$ ), pobre en N disponible ( $31 \text{ kg ha}^{-1}$ ), bajo en P ( $122 \text{ kg ha}^{-1}$ ) y contenido medio en K ( $0.48 \text{ meq } 100\text{g}^{-1}$ ).

El clima en la zona de estudio es de tipo BW(h')hw(e), seco desértico cálido, con temperatura media anual de 24.°C, lluvias predominantes en verano y precipitación promedio anual de 184 mm (Ríos, 1985). El suelo del sitio experimental se clasifica como Yermosol háplico (INEGI, 2005), típico de las zonas áridas. Los datos climatológicos relacionados a las necesidades hídricas del cultivo de naranjo fueron tomados de estaciones automatizadas pertenecientes a INIFAP en Cd Constitución y Centro de Investigaciones Biológicas del Noroeste S.C. (CIBNOR) en La Paz, localizado en las coordenadas 24°08' N y 110°25' W, en la localidad de El Comitán, B.C.S. El área de la Paz se encuentra ubicada en un graven costero que forma parte del Istmo de La Paz, que es la parte más estrecha de la Península de Baja California.

## **ETAPA 1. DETERMINACIÓN DE LOS REQUERIMIENTOS DE AGUA.**

*OBJETIVO 1. Identificar los requerimientos de agua del naranjo mediante la estimación de la evapotranspiración en sus etapas fenológico-productivas.*

En una parcela de árboles adultos se realizaron las siguientes actividades:

- a) Registros de datos climatológicos, diarios de los años 2006 y 2007, con promedios mensuales de la temperatura, horas luz, velocidad del viento y evaporación (Figura 1).
- b) Mediciones directas semanales de la humedad del suelo mediante el método gravimétrico (toma de muestras de suelo directo), para calcular el contenido en base a peso y volumen; los datos fueron integrados en la aplicación de los métodos directos de evapotranspiración.
- c) Mediciones directas de la fluorescencia de la clorofila, como indicador asociado a la eficiencia fotosintética y funcionalidad estomática. Se tomaron en promedio 10 hojas con medidor SPAD portátil, en dos condiciones de disponibilidad de humedad en el suelo, restrictivas y no restrictivas.
- d) Se observó la respuesta de la relación agua suelo planta atmósfera en sus etapas fenológico-productivas, considerando el tamaño del árbol.

Para el cálculo de la evapotranspiración y demanda de agua, los factores climáticos son el principal componente del complejo clima-suelo-manejo que provoca diferentes respuestas de la naranja entre las regiones cítricas, no solo en crecimiento y rendimiento de los árboles, sino también en las características físicas y químicas de los frutos. Para el naranjo se

observaron marcadas diferencias en el período de floración a cosecha y en el tiempo que la fruta puede ser almacenada en el árbol, lo cual se refleja en las diferentes condiciones de asimilación fotosintética y tasas de transpiración. De los elementos del clima, la temperatura ejerce un marcado control en la transpiración y durante el desarrollo del fruto es el que mas influye en la calidad de la fruta (Reuther, 2003).

En el valle de la Paz. La temperatura media mensual varía de 17.5 en el mes de enero hasta 31.3 en el mes de agosto, el comportamiento permite un desarrollo favorable en la etapa de crecimiento del fruto principalmente del cultivar valencia, ya que su madurez es mas retardada que en los cultivares como Hamlin y Marrs. El incremento de temperaturas máximas por arriba de los 40° C coincide con la última fase del crecimiento del fruto en este período es importante mantener condiciones favorables de suministro de fertilizante y agua, se incrementan las actividades metabólicas, el crecimiento vegetativo y el desarrollo reproductivo. Debido a lo anterior, la respuesta del fruto en las diferentes etapas de desarrollo varía considerablemente con la temperatura, la diferencia entre fechas de maduración temprana y tardía entre cultivares va a reflejar diferentes requerimientos de unidades calor (Goldshmidt, 2003).

Las temperaturas mínimas varían de 2.0 en el mes de enero hasta 13 en el mes de agosto. Las temperaturas frescas en las noches del período de noviembre hasta abril influyen sobre la calidad de naranja Valencia en lo referente a la cáscara y el color, resulta mas lisa y anaranjada, mientras que en las variedades tempranas como Hamlin y Marrs no son favorecidas con tal efecto, resultando menos lisas y color amarillo. En la Figura 1 se observa la tendencia de la temperatura en la región productora de La Paz, B.C.S.

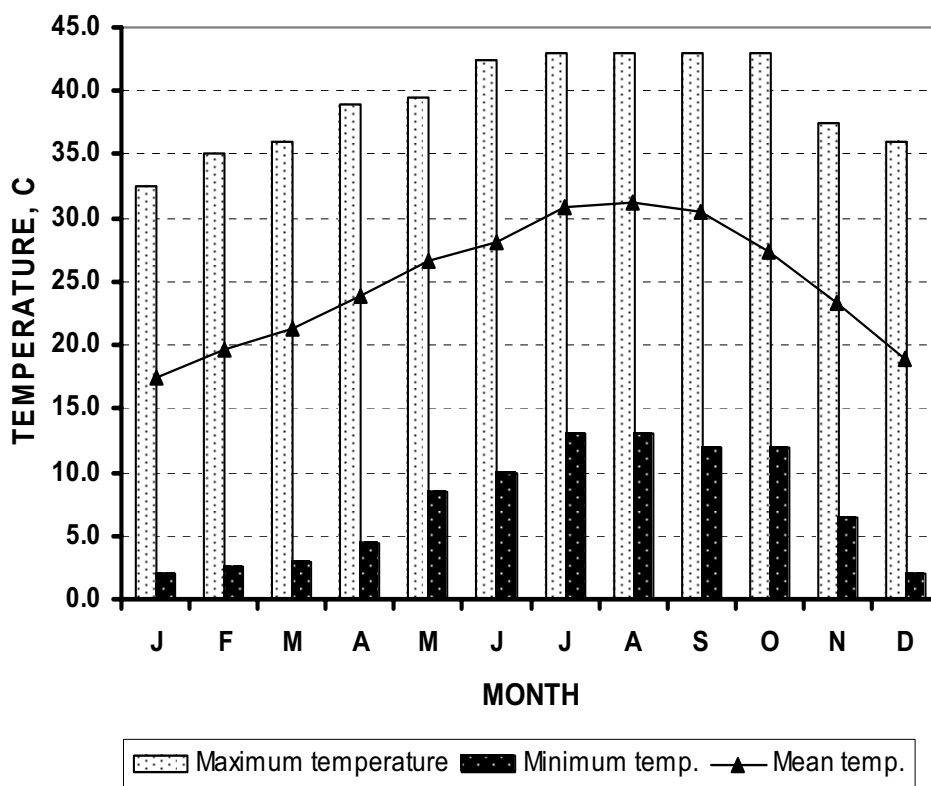


Figura 1. Comportamiento mensual de la temperatura en el valle de La Paz, B.C.S.

*OBJETIVO 2. Realizar un diagnóstico del aprovechamiento del recurso agua y obtener los índices económicos por su uso en el agrosistema naranjo*

Para el Municipio de La Paz, BCS, los huertos establecidos de naranjo abarcan una superficie de aproximadamente 300 ha, de las cuales 220 se riegan mediante métodos superficiales y 180 mediante sistemas presurizados, principalmente riego por micro-aspersión. En el caso del Valle de Santo Domingo, en el DR 066, se cuentan con sistemas de riego por goteo en 4275 ha, micro-aspersión 1406 ha, aspersión 1050 ha, pivote central 900 ha y por último, sistema de



multicompuertas 15,450 ha, en un total de 23,251 ha. Con una distribución de superficie tecnificada con sistema de riego presurizado en 7631 ha y una superficie por tecnificar de 15,620 ha. También cuenta con maquinaria e implementos.

Para el área productora se reportan 888 tractores, 46 trilladoras, 13 tractores de oruga, 33 motores estacionarios, 5 niveladoras y 14 otros equipos automáticos. El equipo que se registró en el ciclo pv 2002-2003 correspondió a 549 solicitudes sometidas y procesadas en el programa diesel agropecuario. La superficie promedio anual sembrada en los últimos 10 años es de 32,690 ha, el 54% se destina a la producción de granos, principalmente trigo y maíz; el 24% a la producción de industriales como el garbanzo; el 5% a la producción de hortalizas como chile y tomate, el 6% a frutales principalmente la naranja y el 9% de alfalfa y forrajes perennes.

Dentro de los factores que afectan la producción, la salinidad afecta el rendimiento de la producción agrícola y la reduce entre el 10 y 25% o más en algunos casos. El ingreso promedio por ha es de 2,160 pesos. Los cultivos perennes principalmente espárragos, y alfalfa obtienen ingresos importantes del orden de 27 a 57 millones de pesos y las hortalizas con 48 millones de pesos, mientras que los granos mantienen un estandar de 3 millones de pesos con pérdidas económicas en siembras de frijol y maiz en el ciclo o-i y maiz de p-v.

#### CÁLCULO DE ÍNDICES DE APROVECHAMIENTO.

Se utilizó modelación numérica para obtener los índices de aprovechamiento, de acuerdo a la naturaleza de las variables de rendimiento y productividad analizadas.

### RENDIMIENTO RELATIVO EN FUNCIÓN DEL USO DEL AGUA

La estandarización de la producción en una entidad, distrito de riego u otro nivel de organización para la producción, consiste en estimar los posibles rendimientos de los cultivos involucrados o de interés bajo la referencia de un rendimiento equivalente al cultivo de estudio en el área de interés. Para obtener el resultado correspondiente, se aplica la siguiente expresión:

$$RE = REC \times \frac{Pc}{Pcb} \quad 1$$

Donde: *RE* es el rendimiento estandarizado, *Pc* es el precio del cultivo a estandarizar y *Pcb* es el precio del cultivo base. Este último se refiere al cultivo que más se siembra en la localidad o el de mayor preferencia por los usuarios.

### VALOR BRUTO ESTANDARIZADO DE LA PRODUCCIÓN (VBEP)

Este índice, en su más simple expresión, describe el entorno agro económico en que están funcionando los distritos de riego y constituye la base para el cálculo de otros índices. El valor bruto estandarizado de la producción hace posible comparar la operatividad de sistemas productivos sin importar que tan diferentes son ni donde se encuentren. También, éste índice captura las preferencias locales y el valor de los cultivos considerando que algunos de estos pudieran tener bajo valor internacional pro un alto valor local. El valor del VBEP se estima aplicando la siguiente expresión:

$$VBEP = \left( \sum_{i=1}^n A_i REC_i \frac{Pc_i}{Pcb} \right) Pm \quad 2$$

Donde  $\Sigma$  es la sumatoria para los cultivos considerados ( $i = 1, n$ )  $A_i$  es el área del cultivo  $i$ ,  $P_c$ ,  $P_{cb}$  y  $REC$  como se definieron anteriormente y  $P_m$  es el precio del cultivo base en los mercados internacionales. De la ecuación 2 si el cultivo no se exporta ( $P_m = 1$ ) y el cálculo se desarrolla por hectárea ( $A = 1$ ) de manera individual por cultivo.

#### EFICIENCIA MONETARIA DEL USO DEL AGUA (EMUA)

El índice EMUA relaciona el valor monetario del sistema acorde a la cantidad de agua utilizada para el propósito de la producción registrada. Su utilidad estriba en conocer que tan eficiente utiliza el sistema productivo los recursos en términos comparativos. La EMUA se obtiene a partir de la siguiente expresión:

$$EMUA = \frac{VBEP}{Et} \quad 3$$

Donde:  $Et$  es el volumen de agua consumido por el cultivo durante su ciclo vegetativo.

#### EFICIENCIA MONETARIA DEL USO DE LA TIERRA (EMUT)

La EMUT relaciona el  $VBEP$  con la superficie irrigada en el área considerada ( $AI$ ). Este índice es útil para conocer la productividad del distrito de riego; se estima aplicando la siguiente ecuación:

$$EMUT = \frac{VBEP}{AI} \quad 4$$

Donde:  $VBEP$  es el valor bruto estandarizado de la producción;  $AI$  es el área irrigada.

## **ETAPA 2. FERTILIZACION.**

*OBJETIVO 3. Evaluar la interacción de N-P-K en árboles adultos mediante ensayos experimentales modificando la disposición de macroelementos.*

El naranjo en las zonas productoras del Estado de B.C.S. tiene rendimientos reducidos (10 t ha<sup>-1</sup>) y baja rentabilidad; de un total de 1976 ha, 1723 ha son del cultivar Valencia tardía (Navejas, 2001), cuyo potencial esperable puede alcanzar un nivel de 50 t ha<sup>-1</sup>. Un adecuado programa de fertilización, permite corregir la insuficiencia de un elemento (Durón *et al.*, 1999). La fertilización de los cultivos es una práctica que tiene el propósito de suministrar los nutrimentos que no se encuentran presentes en suficiente cantidad. Un programa de fertilización busca cada año una respuesta de máximo rendimiento, es decir conduce a la utilización más eficiente del fertilizante y otros productos absorbidos; algunos factores influyen mayormente en la proporción y colocación del fertilizante; tales como las características del suelo, el rendimiento esperado, el costo del fertilizante en relación al precio de venta del producto y las características del producto cosechado. En consecuencia, las cantidades de nitrógeno, fósforo y potasio pueden variar considerablemente.

En una huerta o agrosistema frutal la fertilización dirigida a través de diversos métodos y múltiples formulaciones, incluyendo el fertirriego y las aspersiones foliares, lleva consigo la finalidad de incrementar la respuesta en rendimiento, aumentando el número de frutos o bien el tamaño y volumen de los mismos. Sin embargo, la fertilidad natural del suelo se encuentra sujeta a factores ecológicos, fisiológicos y genéticos. El criterio de productividad considera el desarrollo y las características fenotípicas de la planta, el ambiente que rodea al cultivo tanto

en la parte aérea como en la parte subterránea. Por lo tanto, las condiciones adecuadas de factores externos y los niveles de elementos nutritivos en el área foliar y en la solución del suelo deben facilitar la disposición y absorción de dichos elementos. Los cítricos poseen un sistema radical superficial con limitado número de pelos por lo que su capacidad de absorción de elementos nutritivos es bastante baja. Sin embargo, las cifras de extracción de nutrimentos muestran que los frutos de los cítricos extraen del suelo considerables cantidades de nutrimentos especialmente de potasio y calcio. Aunque el calcio es el constituyente más importante de las partes vegetativas, el potasio es el elemento dominante en el fruto (Chirinos, 2003).

El desarrollo radical puede estar limitado por deficiencia de nitrógeno cuando el nivel es más bajo que 112 kg N/ha. La densidad de fibra de la raíz en árboles de toronja Marsh sobre naranjo agrio; con edad de 26 años; tratados con cuatro niveles de nitrógeno 0,56,112 y 168 kg N/ha; en un terreno con drenaje deficiente; observó significancia, ya que fue más grande en los árboles que recibieron entre 112 o 168 kg N/ha. Del total de las raíces de los 60 cm de profundidad el 75 % estuvieron en los primeros 15 cm, del resto muchas se encuentran entre los 15 y 30 cm de profundidad. Contrasta cuando se tienen niveles bajos de nitrógeno (Zhang *et al.*, 1998). Los suelos contienen elementos y compuestos que las plantas necesitan para su desarrollo en cantidad suficiente para abastecerlas durante un tiempo prolongado. Sin embargo, estos nutrimentos en formas no aprovechables y la velocidad con que pasan a formas utilizables por la planta es lenta y generalmente insuficiente para cubrir las necesidades inmediatas del cultivo.

Por otra parte al obtener las cosechas se realiza una extracción de los principales nutrimentos contenidos en el suelo que tiende a disminuir considerablemente la fertilidad del mismo (Troyo *et al.*, 2002). El mecanismo de absorción de nutrimentos por las raíces de los cítricos es

marcadamente distinto del de varias especies, con la absorción pasiva jugando un rol relativamente más importante. De esta forma una alta concentración de iones como cloro y sodio en el suelo resulta una condición indeseable de estos iones en la planta.

Por las consideraciones anteriores, la presente sección de este trabajo de investigación se realizó con el objetivo de evaluar la respuesta de producción a la interacción N·P·K, cuantificar el incremento del rendimiento (R) y niveles de concentración de Ca, y Mg, y su relación con elementos menores (Mn, Co, Zn). La relación beneficio-costos (BC) y la productividad en relación al agua (PRA). El diseño experimental se detalla a continuación.

Diseño de una función objetivo para la fertilización basado en tres factores.

Factor A. Niveles de Nitrógeno: 4 (0, 60, 120, y 180, Kg N Ha<sup>-1</sup>)

Factor B. Niveles de Fósforo: 4 (0, 40, 80, y 120 Kg P Ha<sup>-1</sup> )

Factor C. Niveles de Potasio: 4 (0, 60, 120, y 180 Kg K Ha<sup>-1</sup> )

Para la conducción del experimento, se utilizaron cuatro repeticiones; se planteó un diseño experimental Tri-factorial, distribuido en una matriz mixta con arreglo factorial de 4 x 4 x 4 x 4, equivalente a 256 Unidades experimentales. Sin embargo, al ser un número alto de unidades experimentales, estratégicamente se dispuso de una matriz con arreglo combinatorio para el mejor control de tratamientos, resultaron solo 27 tratamientos y un comparable como testigo absoluto. En el análisis estadístico y gráfico de resultados, se utilizaron los programas SAS ver. 9.1, Statgraphics ver. 6.0 (STSC, 2000) y Minitab ver. 14.

## RESULTADOS Y DISCUSIÓN

### ETAPA 1. DETERMINACIÓN DE LOS REQUERIMIENTOS DE AGUA.

*OBJETIVO 1. Identificar los requerimientos de agua del naranjo mediante la estimación de la evapotranspiración en sus etapas fenológico-productivas.*

Según la información agroclimatológica registrada en los años 2006 y 2007, obtenida de las estaciones de CONAGUA (Estación La Paz, B.C.S.) y CIBNOR (Estación El Comitán, B.C.S.) y analizada para la estimación de la ETo en el área de La Paz, BCS, el crecimiento vegetativo, el desarrollo del fruto y la maduración se ven limitados con pequeños crecimientos que ocurren en los órganos de los árboles (Goldshmidt, 2003). La naranja puede desarrollar y fructificar en un intervalo de 10 a 40°C y en forma óptima de 24 a 32°C aunque puede soportar sin daño aparente temperaturas extremas de 0 y 50°C, siempre y cuando éstas últimas ocurran en un período breve menor a 24 h.

La relación entre la precipitación y evaporación es muy alta en el período de marzo a junio por lo que la demanda de agua es mayor en esta época, los riegos deben de ser más frecuentes, la evaporación varía de 151 mm en marzo a 226 mm en junio, aunque en el mes de julio la evaporación es de 232 mm superior al mes de junio, la demanda de agua se ve disminuida por la presencia de precipitaciones, en el período de julio, agosto y septiembre con la influencia de la época de aparición de huracanes en la costa del pacífico. Para la zona de estudio, en la época de enero y febrero se manifiestan precipitaciones que disminuyen la demanda de agua,

en consecuencia, la evapotranspiración y el índice de aridez en el cultivo de naranjo puede ser representada en forma similar al radio E/P, el cual varía de 0.12 en el mes de septiembre a 18.86 en el mes de junio. Conforme aumenta la relación a partir de uno, la evapotranspiración se incrementa el número de veces en la evaporación que supera a la precipitación (Figura 2).

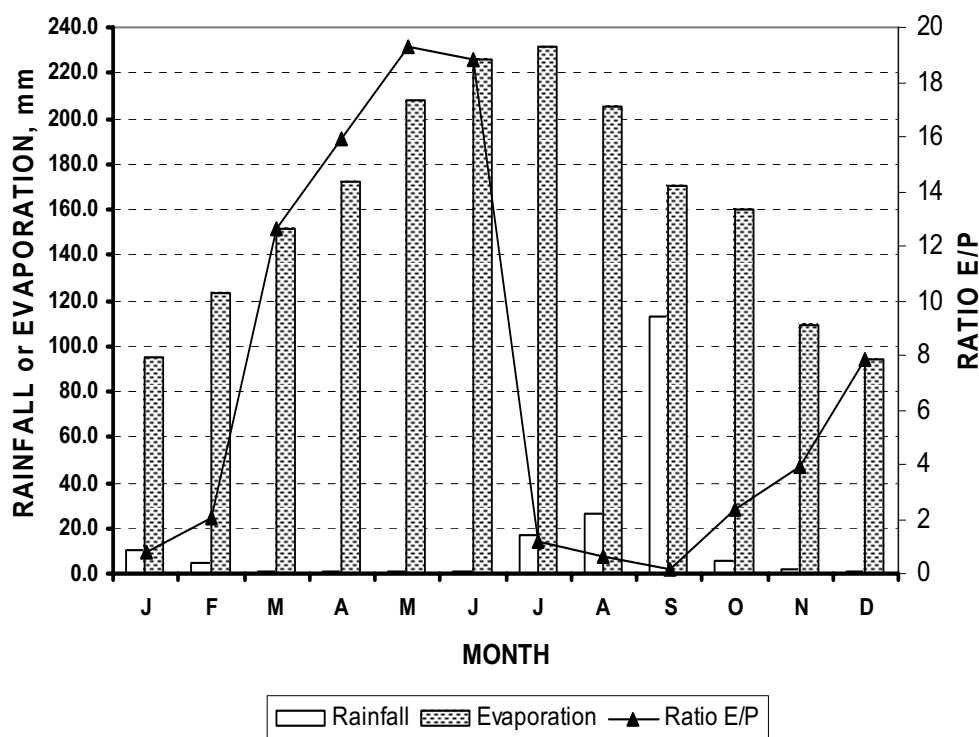


Figura 2. Relación entre la precipitación y Evaporación en el valle de La Paz, B.C.S.

Bajo las condiciones descritas, el déficit hidrológico debe ser superado mediante la práctica del riego proporcionalmente a la demanda de agua. Cambios en la disminución de la acidez de la fruta de naranja tardía es un efecto de la temperatura más alta, esto no es tan claro cuando las lluvias del período influyen sobre esta declinación, por la absorción de agua en el período con mayor humedad (Albrigo, 2002). Se encontró que la evapotranspiración potencial estimada es mayor que la evapotranspiración real o consumo de agua, por lo que excede en aproximadamente 1.6 veces el consumo de agua real.



### Determinación de indicadores de demanda de agua

Para cada árbol la demanda de agua promedio por día fue de 6.8 y 5.2 mm, para los métodos indirectos y directos respectivamente, con una diferencia de 30.8% entre ellos. Las desviaciones estándar observadas fueron 0.05 y 0.03, y los coeficientes de variación 7.35 y 5.77 %, en el mismo orden, sobre las observaciones realizadas en cada tipo de método. El requerimiento de agua neto por ha, por día fue de 250 y 191 m<sup>3</sup>; por semana fue de 1,753 y 1,340 m<sup>3</sup>; y mensual de 7,512 y 5,745 m<sup>3</sup>, para los métodos indirectos y directos respectivamente. Los métodos que consideran los parámetros climatológicos, además de las características del suelo y de la respuesta de la planta, pueden ser definidos como modelos integradores, además de que son más representativos del agrosistema (Fanjul y Barradas, 1987).

*OBJETIVO 2. Realizar un diagnóstico del aprovechamiento del recurso agua y calcular índices económicos de su uso en el agrosistema naranjo.*

### Índices de aprovechamiento

El rendimiento relativo consiste en llevar los rendimientos de algunos cultivos involucrados en la problemática del valle de Santo Domingo a un rendimiento equivalente del naranjo. Se observó que la alfalfa mantiene una relación igual de 1:1, y solo los pastos requieren de una relación mayor al rendimiento equivalente de naranjo ya que resultó de 1.3 veces. Relaciones menores se observaron en los cultivos de maíz y trigo de 0.82 y 0.78 veces, la relación mínima 0.19 se observó en el cultivo de frijol equivalente a solo 190 kg del producto por tonelada métrica de naranja. El mayor rendimiento a nivel distrito equivalente a la producción de naranjo, se proyecta en el cultivo de maíz con 67 mil toneladas, y el menor rendimiento se

proyectó en pastos con apenas 3500 toneladas, en total los cultivos incluidos obtuvieron una sumatoria de 173486 toneladas, lo cual con el rendimiento actual de naranjo demandaría una superficie de alrededor de 18 mil hectáreas, lo cual representa el 82% de la superficie establecida en promedio de los últimos 10 años con los cultivos involucrados en este estudio.

El Valor bruto estandarizado de la producción (VBEP) describe el entorno agro económico y captura las preferencias locales, considerando que algunos cultivos pueden tener bajo valor internacional y alto valor local. Se encontró que los cultivos de maíz, alfalfa y trigo han obtenido una mayor atracción localmente en virtud probablemente de sus canales de comercialización y disposiciones de mercado desarrollados. Se observaron valores de 87, 58 y 31 millones de pesos para los cultivos referidos, superando los casi 25 millones índice correspondiente al cultivo de naranjo.

#### Eficiencia monetaria del uso del agua (EMUA)

Es el índice que relaciona el valor monetario del sistema acorde a la cantidad de agua utilizada, su utilidad estriba en conocer que tan eficiente utiliza los recursos el sistema en términos comparativos. El volumen de agua destinado ha sido dedicado principalmente a los cultivos de maíz y alfalfa con 87 y 51 millones de  $m^3$ , equivalente al 42% y 25% del volumen anual total extraído regionalmente, ambos suman el 67%. Sin embargo los índices de eficiencia monetaria EMUA son de apenas 1.00 y 1.15  $\$/m^3$  de agua utilizada, superando alfalfa el índice de 1.04  $\$/m^3$  de agua correspondiente a naranjo, en este sentido es importante resaltar el rendimiento bajo de apenas 9.6 ton/Ha que obtiene la producción de naranjo.

### Eficiencia monetaria del uso de la tierra (EMUT)

Es útil para conocer la productividad regional, el índice promedio es de 2112 pesos por ha; se destacan los cultivos de alfalfa y trigo con 5009 y 2682 pesos por ha, mientras que naranjo obtiene 2137 pesos por ha, esto significa menos de la mitad de lo que se obtiene en alfalfa pero este índice también es resultado del bajo rendimiento en naranjo (Tablas 5 y 6).

Tabla 5. Índices de impacto estandarizados de productividad en el valle de Santo Domingo, B.C.S.

CULTIVOS	AREA SEMBRADA (A)	RENDIMIENTO MEDIO DEL DISTRITO (RC) t ha <sup>-1</sup>	Vol. cosechado (AxRC)	PRECIO \$/ t (Pi)	PRECIO BASE Naranjo \$1300.00	RE= (AxRCxPi/Pb)	Tons que corresponden a una ton de Naranjo **	VBEP*
Maiz	10,600	5.2	55120	1,582	1,300	67077	0.82	87199840
Trigo	3600	5.2	18720	1,673	1,300	24091	0.78	31318560
Frijol	2100	1.3	2730	6,961	1,300	14618	0.19	19003530
Alfalfa	2500	18.0	45000	1,300	1,300	45000	1.00	58500000
Pastos	500	9.1	4550	1,000	1,300	3500	1.30	4550000
Naranjo	2000	9.6	19200	1300	1,300	19200	1.00	24960000
<b>TOTAL</b>	<b>21300</b>					<b>173486</b>		<b>225531930</b>

Tabla 6. Eficiencias de uso del agua y de la tierra en el valle de Santo Domingo, B.C.S.

ULTIVOS	VBEP*	Et (mm)	Vo. Destinado millares m3	EMUA = VBEP/Et*A \$/m3	Costo de Producción \$/Ha	EMUT=(VBEP/ Ai )- Cp \$/Ha
Maiz	87199840	820	86,920	1.00	7401	825
Trigo	31318560	750	27,000	1.16	5882	2682
Frijol	19003530	570	11,970	1.59	6268	1627
Alfalfa	58500000	2040	51,000	1.15	14587	5009
Pastos	4550000	1050	5,250	0.87	7121	390
Naranjo	24960000	1200	24,000	1.04	11861	2137
<b>TOTAL</b>	<b>225531930</b>	<b>6430</b>	<b>206140</b>	<b>1.13</b>		<b>2112</b>

## ETAPA 2. FERTILIZACIÓN.

**OBJETIVO 3. Evaluar la interacción de N-P-K en árboles adultos mediante ensayos experimentales modificando la disposición de macronutrientes**

Respuesta en rendimiento a la interacción de N-P-K

La interacción NPK 8-8-0 g m<sup>-2</sup> equivalente a 80-80-0 kg ha<sup>-1</sup>, con un rendimiento probable de 4.07 kg m<sup>-2</sup> equivalente a 40.7 t ha<sup>-1</sup>, es resultado de usar la dosis en kg ha<sup>-1</sup> en la función de respuesta (Figura 3); de acuerdo a los resultados se expresa mediante la siguiente ecuación:

$$Y = 35032 - 56.29N - 0.037N^2 + 232P - 1.52P^2 - 197.5K + 0.57K^2 + 0.25NP + 0.44NK + 0.0003NPK$$

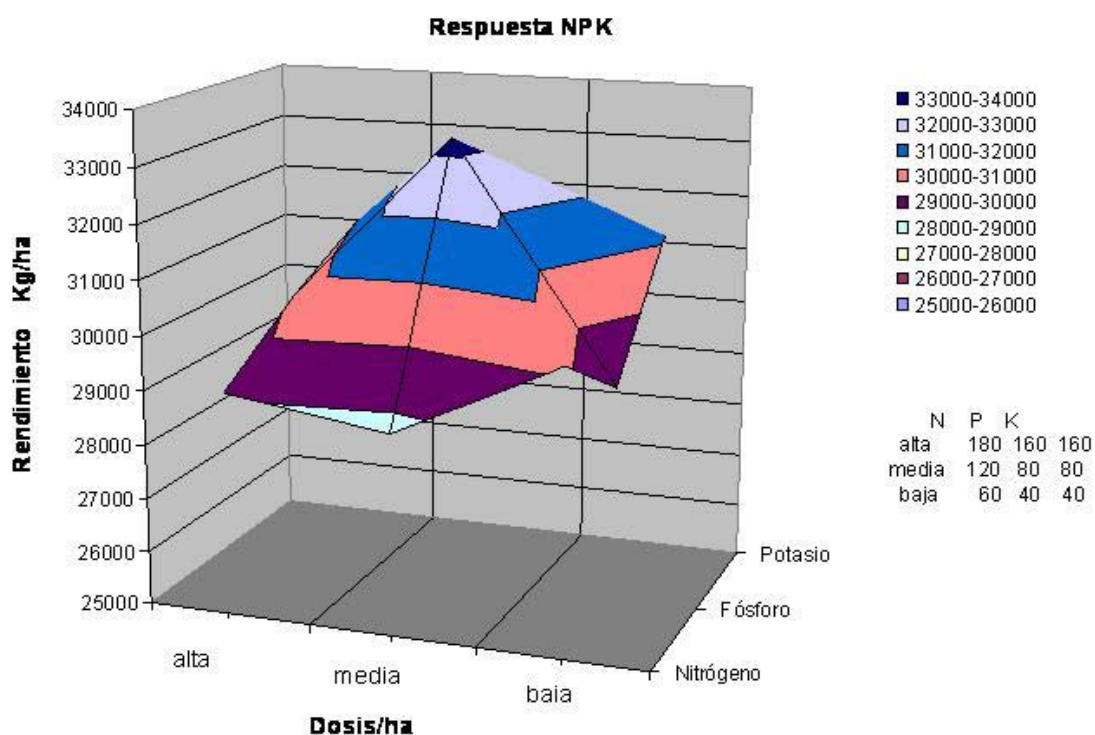


Figura 3. Función de respuesta NPK en árboles adultos de naranja.

De acuerdo con los análisis de laboratorio, los niveles iniciales de NK en la solución del suelo fueron 13 y 25 mg L<sup>-1</sup>. La concentración final de N en el suelo fue 42 mg L<sup>-1</sup> (regular) y de K fue superior a 150 mg L<sup>-1</sup> (alta) en todas las interacciones NPK. La concentración foliar final de P fue 1040 mg L<sup>-1</sup> (aceptable) en la interacción 6-8-8 g m<sup>-2</sup>, en tanto que para la interacción más alta 18-16-16 g m<sup>-2</sup> (NPK) fue 1127 mg L<sup>-1</sup>. La concentración foliar de K fue de 1330 mg L<sup>-1</sup> para la interacción 6-8-8 g m<sup>-2</sup> NPK, mayor que la estimada para la combinación 18-16-16 g m<sup>-2</sup>, con 1010 mg L<sup>-1</sup>. La concentración de Zn y Mn fue aceptable para la interacción media, con 9 y 12 mg L<sup>-1</sup>, similar a la interacción alta con 11 y 12 mg L<sup>-1</sup>. La eficiencia de utilización de agua fue de 5.06, y 4.03 g L<sup>-1</sup> para las interacciones media y alta 6-8-8 y 18-16-16 g m<sup>-2</sup>.

Respuesta económica a la interacción de N-P-K

El índice económico para 6-8-8 g m<sup>-2</sup> y 6-8-4 g m<sup>-2</sup> (NPK) fue de 5.19 y 5.43. En contraste, BC para la interacción alta 18-16-16 g m<sup>-2</sup> fue inferior a 2.98 (Figura 4).

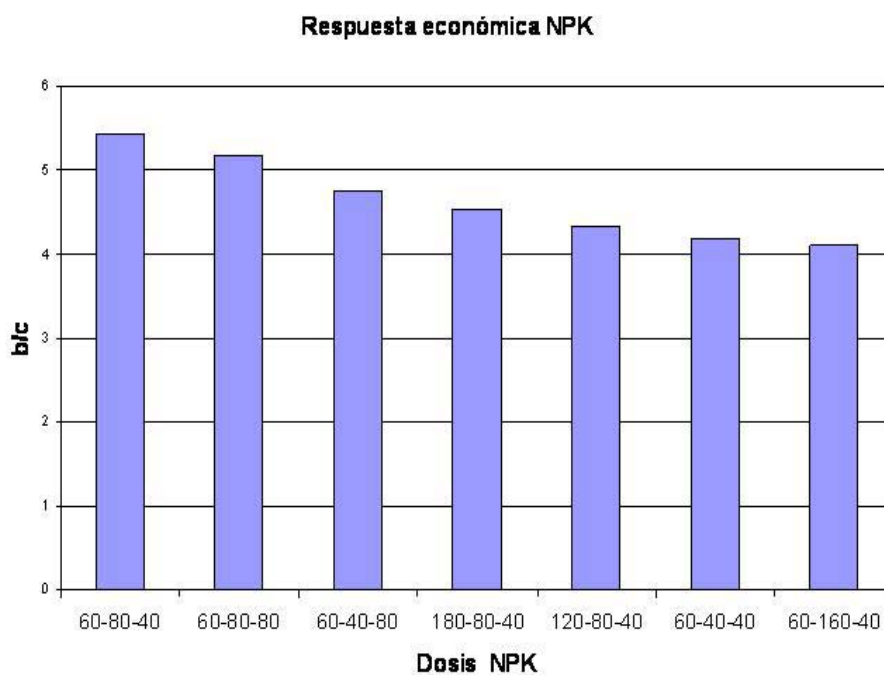


Figura 4. Respuesta económica B/C de interacciones NPK

## CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

El promedio de la demanda diaria de agua por árbol fue de 6.8 y 5.2 mm, para los métodos indirectos y directos respectivamente, con una diferencia de 30.8% entre ellos. La eficiencia de utilización de agua fue de 5.06, y 4.03 g L<sup>-1</sup> para interacciones media y alta 6-8-8 y 18-16-16 g m<sup>-2</sup>. El índice económico en 6-8-8 g m<sup>-2</sup> NPK y 6-8-4 g m<sup>-2</sup> NPK fueron de 5.19 y 5.43. Para BC.

La interacción NPK 8-8-0 (80-80-0 kg ha<sup>-1</sup>) resultó el punto óptimo en la función de respuesta, en tanto que la interacción NPK media incrementó en 80% el índice económico. La promoción del establecimiento de naranjo y el desarrollo de la citricultura proyecta una reducción de la superficie irrigada, lo cual en el proyecto de gran visión desde hace una década (fines del Siglo XX) se ha mostrado como uno de los principales objetivos. Solo los pastos requieren de una relación mayor al rendimiento equivalente de naranjo, resultó una magnitud de 1.3 veces mayor.

El maíz y alfalfa son los cultivos que superan en preferencia de establecimiento al cultivo de naranjo debido a las condiciones de mercado local. El 67% del agua extraída anualmente en la región, se ha dedicado a los cultivos de maíz y alfalfa, este último cultivo supera el índice EMUA en naranjo en virtud del bajo rendimiento en la producción del naranjo. La EMUT es superior en alfalfa y trigo en relación al índice de naranjo, por lo que es necesario el incremento sustancial del rendimiento de este cultivo.

La productividad del agua en los cultivos del DR 066 Santo Domingo no ha evidenciado una alta utilidad, por lo que se debe implementar una tecnología más avanzada para incrementar la rentabilidad. En diferentes estudios y experiencias se ha encontrado y demostrado que las hortalizas producen un mayor ingreso con ahorro substancial de agua, en tanto que los cultivos forrajeros y los dedicados a producción de grano muestran un alto consumo de agua, con un consecuente alto costo de energía eléctrica.

Se estima que por cada millar de  $m^3$  que se extrae del subsuelo mediante una bomba rehabilitada se eroga un monto por 210 pesos; bajo dicha relación 'extracción-gasto' el reto mayor es obtener incrementos en rendimiento y beneficio neto, así como una mayor eficiencia del agua, incluyendo el bombeo eficiente. Los cultivos perennes (histórico de 10 años) extraen 62 millones de  $m^3$  mientras que los básicos (maíz trigo y frijol) 69 millones, con ingresos generados de 105 a 3370 pesos por los primeros y de 78 a 110 pesos por cada millar de  $m^3$  de agua, por parte de los cultivos básicos. Es evidente que la producción y las utilidades deben incrementarse al menos hasta un nivel en que los productores alcancen un mejor nivel de vida.

Las estrategias de producción sostenible para las regiones áridas de Baja California Sur deben enfocarse hacia los factores económicos y a los factores ecológicos, la vocación por el cuidado de los recursos agua y suelo trascenderá a la culturización por un desarrollo agropecuario integral, en donde los aspectos pecuarios y forestales se ligen al potencial disponible tanto en la infraestructura rural como en la diversidad tecnológica. La difusión y aplicación de los avances y logros en los trabajos de investigación resultan una necesidad, ya que en repetidas ocasiones se asientan metas sin embargo la estrategia final debe repercutir en la adopción final.

Las experiencias logradas a través de la experimentación en el Estado y el País, deberán conocerse y practicarse por los agricultores que tienen un mismo problema, un clima parecido ó un factor común que se presenta en un plazo inmediato. Los suelos son elementos multifuncionales dinámicos de un ecosistema ya que son la base de la vida del planeta. Los suelos cumplen funciones como: la producción de biomasa con alimentos, forrajes, fibras, energías renovables, y masas forestales. Suministran agua y nutrientes, proporcionan estabilidad a las raíces, sirven a la producción ganadera e interaccionan con el clima determinando el tipo de cultivo o el ecosistema natural. Sin embargo se tienen amenazas de degradación por la Erosión, disminución de la materia orgánica (MO), contaminación de suelos, sellado del suelo o compactación, disminución de la biodiversidad, salinidad, inundaciones y movimiento de masa.

El suelo es también fuente de materiales como grava, arena, arcilla, caliza, yeso, aluminio, hierro y turba. El marco común para proteger el suelo incluye: preservar sus funciones, prevenir la degradación, mitigar los efectos de la degradación, rehabilitar los suelos degradados e integrar cualquier otra política.

Las técnicas de análisis y diagnóstico, incluyendo la identificación de los síntomas de deficiencias mediante análisis en laboratorio de muestras de suelos y de tejido foliar de las plantas, constituyen una ayuda importante para determinar el momento en que es necesaria la fertilización. La elección de la cantidad adecuada de suministro de los nutrimentos depende del conocimiento que se tenga de los requerimientos del cultivo y de la cantidad que se encuentre en el suelo.



Cuando el suelo no posee los tributos y propiedades que sean capaces de proporcionar la cantidad adecuada de nutrimentos es imprescindible el suministro de los elementos deficientes. El color es indicativo del posible origen geológico del suelo y es de utilidad para la comparación de las unidades de suelo en distintas áreas geográficas, aunque no determina las condiciones de nitrógeno, fósforo y/o potasio. Por su parte, cuando una planta presenta deficiencia puede ocurrir en consecuencia una reducción del potencial de producción. Para que los análisis químicos tengan un valor utilitario, los resultados deben relacionarse con la respuesta de la cosecha en los campos.

Un programa de fertilización fundamentado científicamente debe ser capaz de mantener una condición nutricional adecuada y debe abastecer de manera oportuna las necesidades de nutrimentos a la planta, conforme se van requiriendo durante el desarrollo y alcance de las diferentes etapas fenológicas. Una vez que se determina la insuficiencia de un elemento se procede a su corrección para lo cual se debe tomar en cuenta la dosis, fuente, método y época de aplicación, acorde a la condición de la huerta.

## LITERATURA CITADA

- Albrigo, L.G. 2002. Influence of climate on pounds solids and acid production under florida conditions. Fuente de consulta. [www.fcprac.ifas.ufl.edu/UF%20IFAS%20Short%20Course%20Proceedings/factors/CitrusFlowering-duplex/citrusflowering98-99high.pdf](http://www.fcprac.ifas.ufl.edu/UF%20IFAS%20Short%20Course%20Proceedings/factors/CitrusFlowering-duplex/citrusflowering98-99high.pdf) pp.98-99. 09-30-09-2002.
- Alfaro-C., M.; Vazquez-F., G.; Zulbaran-R., J.R. 1996. Evaluación de las tierras para determinar el uso potencial agropecuario y forestal de Quechulac, Puebla. Resumen. Memorias XXVII Congreso Nacional de la Ciencia del Suelo. CD. Obregón Son. SMCS. Mex. P.14.
- Allen, R.G.; Jensen, M.E.; Wright, J.L.; Burman, R.D.. 1989. Operational estimates of evapotranspiration. *Agronomy Journal*, 81:650-662.
- Allen, R.G.; Pereira, L.S.; Raes, D.; Smith, M. 1998. Crop evapotranspiration, guidelines for computing crop water requirements. FAO Irrig. and Drain. Paper 56, Food and Agric. Orgn. of the United Nations, Rome, Italy. 300 pp.
- Chirinos-U., H. 2003. Fertilización de cítricos. *Tecnoagro*. Año 4. No 9. 6-8 pp.
- Durón-N., L.; Valdéz-G., B; Nuñez-M., J.; Martínez-D., G. 1999. Cítricos para el Noroeste de México. Sonora, Mex. 155 p.
- Epstein, E. 1972. Mineral nutrition of plants, principles and perspectives. Wiley. N.Y. USA. 412 p.
- Fanjul, L.; Barradas-M., V. 1987. Diurnal and seasonal variation in the water relations of some deciduous and evergreen trees of a deciduous dry forest of the western coast of Mexico. *Journal of Applied Ecology*, 24:289-303.
- FAO. 1998. Crop evapotranspiration - Guidelines for computing crop water requirements. Series title: FAO Irrigation and Drainage Papers - 56. Viale delle Terme di Caracalla, 00100 Roma, Italia.
- García-H., J.L; Valdez -C., R; Avila-S., N.Y; Murillo-A., B.; Nieto-G., A.; Magallanes-Q., R.; Larrinaga-M., J.A.; Troyo-D., E. 2005. Preliminary compositional nutrient norms for cowpea (*Vigna unguiculata* (L.) Walp.) grown on desert calcareous soil. *Plant and soil* 271: 297-307.
- Goldschmidt, E.E. 2003. Effect of climate on fruit development and maturation. [www.fcprac.ifas.ufl.edu/UF%20IFAS%20Short%20Course%20Proceedings/CitrusFlowering-duplex/citrusflowering93-97high.pdf](http://www.fcprac.ifas.ufl.edu/UF%20IFAS%20Short%20Course%20Proceedings/CitrusFlowering-duplex/citrusflowering93-97high.pdf) - 2003-08-27 pp. 93-97.

- Gonzalez-G., R.; Padrón-Ch., J.E.; Ramírez-D., J.M.; Sanchez-S., J.A.; Vazquez-P., L.; Villareal-E., H. 1983. Guía para el cultivo de los cítricos en Nuevo León. Folleto técnico núm. 1. SARH. INIA. General Terán N. L. Mex. 86 p.
- Gonzalez-L., P.; Gonzalez, L. 2002. Diagnóstico para el desarrollo integral de la citricultura en el estado de Baja California Sur. Integra, S.A. Gobierno del Estado de BCS. 59 p.
- INEGI. 2005. Conjunto de Datos Geográficos de la Carta Edafológica La Paz, 1:1 000 000. Cuaderno Estadístico Municipal de La Paz, Baja California Sur. Edición 2005. 13 p.
- Maldonado-T., R.; Etchevers-B., J.D.; Alcantar-G., G.; Rodríguez-A., J; Colinas-L., M.T. 2001. Estado nutrimental del limón mexicano en suelos calcimorficos Terra No 19. 163-174 pp.
- Murillo-A., B.; Troyo-D., E.; García-H., J. L.; Landa-H., L.; Larrinaga-M., J.A. 2000. El frijol Yurimón Leguminosa tolerante a sequía y salinidad. Publicación de transferencia y divulgación No. 2. CIBNOR.
- Navejas-J., J. 2001. Fertirrigación para la producción de naranjo. Desplegable técnica No 3. INIFAP. CD. Constitución B.C.S. México.
- Navejas-J., J.; Troyo-D., E. 2006. Relaciones hídricas y nutrimentales en arboles adultos de naranjo (*Citrus sinensis* Osbeck) en la zona árida citrícola de B.C.S. Resumen 6ª semana del posgrado en Baja California Sur. La Paz B.C.S.
- Palma-L., D.J. 1996. Propuesta de una metodología para determinar la potencialidad agrícola de los suelos. Resumen. Memorias XXVII Congreso Nacional de la Ciencia del Suelo. CD. Obregón Son.SMCS. Mex. P.4.
- Reuther, W. 2003. Climate and fruit quality. Fuente de consulta: [www.fcprac.ifas.ufl.edu/UF%20IFAS%20Short%20Course%20Proceedings/factors/climate.pdf](http://www.fcprac.ifas.ufl.edu/UF%20IFAS%20Short%20Course%20Proceedings/factors/climate.pdf). 2003-08-27. PP 9-23.
- Román-F., B.; De Luna-J., A. 1996. Estudio agrológico detallado en la zona de riego "El Niagara". Memorias XXVII Congreso Nacional de la Ciencia del Suelo SMCS. Cd. Obregón Son.
- Salisbury, F.B.; Ross, C.W. 1982. Plant Physiology. Third ed. Wadsworth publishing Co, Inc. Belmont, Cal. 540 p.
- SARH. 1982. Plan de desarrollo agropecuario y forestal de Baja California Sur. SARH. Mexico. pp 49-154.
- STSC. 2000. Statgraphics 5.0. Stat. Graph. Syst., Plus-Ware. Product Help Line. Statgraphics Software Manual. STSC, Inc. Software Publishing Group, Manugistics, Inc. Rockville, Maryland, USA.

- Tisdale, S.L.; Nelson, W.L. 1982. Fertilidad de los suelos y fertilizantes. UTEHA. Mex. 760 p.
- Troyo-D., E.; Garcia-H., J.L.; Navejas-J., J.; Murillo-A., B.; Fraga-P., H.C.; Nieto-G., A. 2002. Análisis y corrección de factores nutrimentales en naranjo. CIBNOR. S. C. 8 p.
- Tucker, D.P.H.; Alva, A.K.; Jackson, L.K.; Weahnton, T.A. 1995. Nutrition of Florida Citrus Trees. University of Florida. USA. 61 p.
- Villalobos-R., S.; Castellanos-R., J.Z.; Tijerina-C., L.; Crespo-P., G. 2005. Coeficientes de desarrollo del cultivo de brócoli con riego por goteo. Terra Latinoamericana. 23: 329-333.
- Zhang, M.; Alva, A.K.; Li, Y.C. 1998. Fertilizer rates change root distribution of grapefruit on a poorly drained soil. Journal of Plant Nutrition 21(1): 1-11.

**Anexo 1. Artículos: Aceptado y sometido**

**ARTÍCULO ACEPTADO EN LA REVISTA TROPICAL AND  
SUBTROPICAL AGROECOSYSTEMS**

# Tropical and Subtropical Agroecosystems

## Submission

Submission > [#425](#)

## Authors

Jesus Navejas-Jimenez<sup>✉</sup>, Alejandra Nieto-Garibay, Hector Cirilo Fraga-Palomino,  
Edgar Omar Rueda-Puente, Narciso Ysac Avila-Serrano

Title	MANEJO SOSTENIBLE DEL AGUA MEDIANTE LA APLICACIÓN DE MÉTODOS PARA ESTIMAR LA EVAPOTRANSPIRACIÓN EN UNA ZONA ÁRIDA CITRÍCOLA DEL NOROESTE DE MEXICO
Section	Research Papers

## Event Log

ID	8994
Date	August 20, 2010 - 01:12 PM
Level	Notice
Type	Editor
Event	<b>Editor decision submitted</b>

An editor decision (**Accept Submission**) for article 425 was recorded.

**ARTÍCULO SOMETIDO A LA REVISTA**

**Terra Latinoamericana**