

**UNIVERSIDAD AUTÓNOMA AGRARIA  
“ANTONIO NARRO”  
UNIDAD LAGUNA**

**DIVISIÓN DE CARRERAS AGRONÓMICAS**



**EFICIENCIA EN USO DE AGUA DE LOS CULTIVOS DE NOGAL  
Y VID EN LA COMARCA LAGUNERA**

**POR**

**JORGE LUIS OROZCO RODRÍGUEZ**

**M O N O G R A F Í A**

**PRESENTADA COMO REQUISITO PARCIAL PARA OBTENER EL  
TÍTULO DE:**

**INGENIERO AGRÓNOMO EN IRRIGACIÓN**

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA AGRARIA "ANTONIO NARRO"  
UNIDAD LAGUNA

DIVISIÓN DE CARRERAS AGRONÓMICAS

EFICIENCIA EN USO DE AGUA DE LOS CULTIVOS DE NOGAL  
Y VID EN LA COMARCA LAGUNERA

POR  
JORGE LUIS OROZCO RODRÍGUEZ

MONOGRAFÍA

QUE SE SOMETE A LA CONSIDERACIÓN DEL COMITÉ ASESOR COMO REQUISITO  
PARCIAL PARA OBTENER EL TÍTULO DE:

INGENIERO AGRÓNOMO EN IRRIGACIÓN

APROBADA POR:

*Claudio Godoy Ávila*

MSc. CLAUDIO GODOY ÁVILA  
ASESOR PRINCIPAL

*Vicente de Paul Álvarez Reyna*  
Ph.D. VICENTE DE PAUL ÁLVAREZ REYNA  
ASESOR

*Federico Vega Sotelo*  
M.C. FEDERICO VEGA SOTELO  
ASESOR

*J. Guadalupe González Quirino*  
M.C. J. GUADALUPE GONZÁLEZ QUIRINO  
ASESOR

*Rolando Loza Rodríguez*  
ING. ROLANDO LOZA RODRÍGUEZ  
COORDINADOR DE LA DIVISIÓN DE CARRERAS AGRONÓMICAS  
COORDINADOR DE LA DIVISIÓN DE CARRERAS AGRONÓMICAS



UNIVERSIDAD AUTÓNOMA AGRARIA "ANTONIO NARRO"

UNIDAD LAGUNA

DIVISIÓN DE CARRERAS AGRONÓMICAS

EFICIENCIA EN USO DE AGUA DE LOS CULTIVOS DE NOGAL  
Y VID EN LA COMARCA LAGUNERA

POR  
JORGE LUIS OROZCO RODRÍGUEZ

MONOGRAFÍA

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

INGENIERO AGRÓNOMO EN IRRIGACIÓN

APROBADA POR:

PRESIDENTE:

  
MSc. CLAUDIO GODOY ÁVILA

VOCAL:

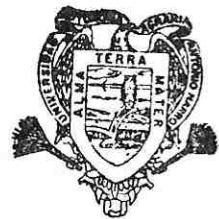
  
Ph.D. VICENTE DE PAUL ÁLVAREZ REYNA

VOCAL:

  
M.C. FEDERICO VEGA SOTELO

VOCAL SUPLENTE:

  
M.C. EMILIO DUARTE AYALA



  
ING. ROLANDO LOZA RODRÍGUEZ  
COORDINADOR DE LA DIVISIÓN DE CARRERAS AGRONÓMICAS  
COORDINACIÓN DE LA DIVISIÓN DE CARRERAS AGRONÓMICAS  
UNIDAD LAGUNA

## **AGRADECIMIENTOS**

**A mi “alma mater”,** por haberme aceptado en su seno sin pedir nada a cambio mas que cumplir con mis deberes de alumno.

**Al MSc. Claudio Godoy Ávila,** por su desinteresado apoyo al compartir sus conocimientos conmigo.

**Al Ph.D. Vicente de Paul Álvarez Reyna,** por su paciencia en la revisión de esta monografía.

**Al M.C. Federico Vega Sotelo,** por sus recomendaciones en la elaboración de este trabajo.

**Al M.C. J. Guadalupe González Quirino,** por su participación en la elaboración de este trabajo.

**Al M.C. Emilio Duarte Ayala,** por sus recomendaciones en la elaboración de este trabajo.

**Al Campo Experimental La Laguna,** por proporcionarme los apoyos requeridos en la elaboración de esta monografía.

## DEDICATORIAS

**A mis padres: el Sr. Jesús Orozco Martínez y la Sra. Vicenta Rodríguez Rodríguez,** que aún después de su existencia, sus consejos siguen vivos en mí.

**A mis hermanos: Arturo, Aurora, Enrique, Guillermo y Marisela,** que siempre me impulsaron con su ejemplo.

**A mi esposa Silvia García Medina,** por compartir conmigo los momentos difíciles y las etapas de alegría y satisfacción.

**A mis hijas Silvia Aketzali, Ingrid Ariadna y Tania Cristell,** por ser una motivación en mi superación personal.

**A mis compañeros y amigos,** por las experiencias compartidas en diferentes etapas de mi vida

# CONTENIDO

|   | Página |
|---|--------|
| • ÍNDICE  | i      |
| • ÍNDICE DE CUADROS   | ii     |
| • ÍNDICE DE FIGURAS   | iii    |
| • INTRODUCCIÓN  | 1      |
| • ANTECEDENTES  | 3      |
| • OBJETIVO GENERAL  | 6      |
| • OBJETIVOS ESPECÍFICOS   | 7      |
| • DESCRIPCIÓN DE METODOLOGÍA UTILIZADA EN LOS<br>DIFERENTES EXPERIMENTOS ANALIZADOS | 8      |
| □ Metodología utilizada en nogal pecanero   | 8      |
| - Riego superficial   | 8      |
| - Riego por goteo subsuperficial  | 9      |
| □ Metodología utilizada en vid  | 10     |
| • RESULTADOS OBTENIDOS EN LOS DIFERENTES<br>EXPERIMENTOS ANALIZADOS                 | 15     |
| □ Resultados en nogal pecanero  | 15     |
| - Nogal con riego superficial   | 15     |
| - Nogal con riego por goteo subsuperficial  | 25     |
| □ Resultados en vid   | 32     |
| • CONCLUSIONES  | 43     |
| □ Impacto socioeconómico y ambiental  | 43     |
| □ Aplicación de los resultados de la investigación                                  | 43     |
| □ Perspectivas  | 44     |
| • BIBLIOGRAFÍA  | 45     |

## ÍNDICE DE CUADROS

| Cuadro No.   | Página |
|--|--------|
| 1. Fechas de aplicación de los riegos en los tratamientos estudiados. . . . .  | 9      |
| 2. Uso de agua en diferentes meses para el nogal variedad Western con diferente diámetro de tronco. . . . .  | 16     |
| 3. Consumo mensual de agua para el nogal variedad Western con diferente diámetro de tronco. . . . .  | 17     |
| 4. Distribución de peso seco en el fruto, porcentaje de almendra y nueces germinadas en el nogal pecanero bajo cuatro tratamientos de riego. . . . . | 25     |
| 5. Volumen de agua y características de calidad de la nuez bajo riego por goteo subsuperficial e inundación. . . . .                                 | 31     |

## ÍNDICE DE FIGURAS

| Figura No.  | Página |
|---|--------|
| 1. Dinámica de acumulación de peso seco del ruezno cultivar Western con cuatro tratamientos de riego. . . . .                                 | 19     |
| 2. Dinámica de acumulación del peso seco de la almendra cultivar Western con cuatro tratamientos de riego. . . . .                            | 21     |
| 3. Dinámica de apertura del ruezno cultivar Western con cuatro tratamientos de riego. . . . .   | 23     |
| 4. Acumulación de materia seca en la almendra para cuatro tratamientos de riego en nogal pecanero. . . . .                                    | 26     |
| 5. Acumulación de materia seca en la almendra para cuatro tratamientos de riego en el nogal pecanero. . . . .                                 | 27     |
| 6. Variación en el potencial hídrico del fruto en el nogal pecanero bajo tratamientos de riego por goteo subsuperficial e inundación. . . . . | 29     |
| 7. Variación del potencial hídrico del fruto del nogal pecanero bajo tratamientos de riego por goteo subsuperficial e inundación. . . . .     | 30     |
| 8. Función de producción de la vid cultivar Grenache. . . . .   | 33     |
| 9. Uso de agua diario por vid en producción máxima a través del ciclo vegetativo. . . . .   | 37     |
| 10. Coeficiente de cultivo (Kc) para diferentes edades de la vid. . . . .   | 39     |



## INTRODUCCIÓN

En las áreas de riego del país se practica una agricultura dependiente de la disponibilidad del agua de riego, basada en la aplicación de altas cantidades de energía a los agroecosistemas; situación que hace la agricultura riesgosa y poco sustentable, teniéndose un impacto negativo en el abatimiento y sobreexplotación de agua subterránea y de presas, contaminación de suelo, agua y atmósfera por el uso excesivo de pesticidas. En zonas importantes por su producción, el abatimiento del manto acuífero como en la Comarca Lagunera, en los estados de Coahuila y Durango; en Hermosillo, Sonora; y el centro del país, ha alcanzado el orden de 1.5 a 3.0 m/año (Godoy y López, 1993). En la Comarca Lagunera, durante los últimos cinco años se aplicaron 900 toneladas de ingrediente activo de insecticidas tan solo para el control de las plagas en el algodonoero (Nava y Byerly, 1990).

Esta situación, combinada con otros aspectos de la producción, como malas prácticas de manejo, han provocado que la explotación de la agricultura sea poco eficiente y en la mayoría de los casos no rentable. Un ejemplo de lo anterior se puede mencionar que en maíz de grano, frijol, vid, nogal y algodonoero se produce solamente el 7.4, 16, 12, 20 y 23 % respectivamente de lo que se debería de obtener por cada metro cúbico de agua usada por la planta; mientras que en el sorgo y trigo estos valores son de 30 y 34 % respectivamente (Godoy, 1990; Godoy *et al.*, 1995). Los valores de transformación de cada metro cúbico de agua son bajos, debido a que los volúmenes de agua actualmente aplicados sobrepasan los requerimientos de agua de los cultivos, excediendo desde un 33 % en nogal, 67 % en maíz, frijol y forrajes, y hasta un 100 % o más en cultivos como vid, algodonoero, alfalfa y hortalizas. Además, en la mayoría de los casos los

sistemas de riego y los criterios utilizados en la programación de las aplicaciones de agua no son los más adecuados.

Lo anterior ocasiona que se obtengan rendimientos bajos, y desde el punto de vista de la utilización de los recursos, las pérdidas en producción representan un considerable incremento en los costos (Godoy *et al.*, 1995).

## ANTECEDENTES

Actualmente a nivel mundial existe preocupación por el constante deterioro de los recursos naturales relacionados con el abasto de alimentos y la erradicación del hambre. El incremento demográfico, los desequilibrios naturales (clima), la contaminación ambiental, la disminución en las reservas de agua dulce y la reducción de áreas de cultivo debido a la erosión, crecimiento urbano y sobreexplotación, hacen cada vez más difícil mantener el abasto de alimentos derivados de la actividad agrícola (Loomis y Williams, 1963; Godoy *et al.*, 1995).

México no escapa a esta situación, un ejemplo es el reciente período de sequía (1992-1998) que afectó notablemente el rendimiento y la calidad de los cultivos tanto de temporal como de riego establecidos en el norte del país. Lo anterior ha provocado que el nivel productivo de la agricultura en México, sea inferior a la de países desarrollados. Por ejemplo, en cultivos básicos como maíz, frijol y arroz el rendimiento promedio es de 1.7, 0.54 y 3.3 ton/ha, mientras que en Estados Unidos es de 7.0, 1.7 y 6.2 ton/ha respectivamente. En Canadá el rendimiento promedio para el maíz y frijol es de 6.2 y 1.885 ton/ha (Calva, 1992). El agua es un recurso esencial desde un punto de vista ecológico y económico (Rodríguez, 1989).

En México como en muchas partes del mundo el agua es un limitante para la producción agrícola. En el país se siembran anualmente alrededor de siete millones de hectáreas, de las cuales aproximadamente el 80 % depende de la precipitación pluvial como fuente de abastecimiento de agua y el resto depende del riego (Larque, 1989). En las zonas de temporal es normal la insuficiencia del recurso agua representada por la precipitación pluvial, la cual está clasificada como de irregular a deficiente en un 75 % del territorio nacional. En zonas de riego, esta insuficiencia se debe a que el agua almacenada en el acuífero es

extraída en una proporción de tres veces más que la recarga, y el agua de las presas ya no es suficiente, debido a la escasa precipitación presentada en los últimos cinco años (Semarnap, 1995; Palacios, 1975; Muñoz, 1980).

Los factores que influyen en la productividad de cualquier cultivo son diversos. El agua aplicada a través del riego es uno de los más relevantes, ya que es un constituyente celular que se encuentra en un porcentaje alto. Además, es un medio de reacciones bioquímicas determinantes de procesos fisiológicos y de transporte de nutrientes y asimilados que influyen en el crecimiento, desarrollo, producción y calidad de los cultivos (Rodríguez, 1989; Hsiao y Bradford, 1982).

Actualmente en la investigación en fisiología vegetal se ha enfatizado en dos aspectos importantes del crecimiento y sobrevivencia de las plantas: a) La conversión y conservación de energía radiante y b) El control de las relaciones hídricas en células, tejidos y órganos. En la última década, el problema cada vez más fuerte de nutrición en la población del mundo, ha demandado de los científicos el desarrollo de plantas que puedan sobrevivir en un rango de condiciones climáticas, particularmente en las zonas áridas y semiáridas del mundo, explicar como las plantas cultivadas ya existentes se adaptan a condiciones adversas y el qué hacer para que éstas mejoren substancialmente su producción. Un prerequisite necesario para encontrar la solución a los problemas antes mencionados es el entendimiento de las relaciones hídricas en las plantas, lo cual puede lograrse con el estudio intensivo de los procesos regulatorios y adaptativos que provocan cambios en las relaciones hídricas en una planta a cambios ambientales creados por el hombre o la naturaleza (Zimmermann y Steudle, 1978).

En México, el agua como elemento que debe agregarse a las plantas cultivadas para producir cosechas ha recibido mucha atención a través de la investigación. Esto es, no únicamente en el aspecto de ingeniería, como la

infraestructura hidráulica de presas, canales, pozos, etc., que han sido motivo de investigación, sino también el conocimiento de la respuesta de los cultivos a diferentes niveles de agua en el suelo, así como funciones de producción, etc. (Larque, 1989). Sin embargo, aún cuando la cantidad de literatura existente y la que actualmente se está desarrollando se ha incrementado exponencialmente, cuando se revisa y analiza todavía está muy lejos de resolver el problema antes mencionado. La principal razón es que en la mayoría de los trabajos de investigación realizados no se ha cuantificado como los déficit de agua del suelo cambian las relaciones hídricas de las células, tejidos u órganos (hojas y frutos) y como esto afecta el tamaño y calidad de los frutos.

En resumen, sólo se ha evaluado el efecto de déficit de agua sobre el rendimiento. Por otra parte, tampoco se cuenta con mucha información que vincule cuantitativamente las relaciones hídricas del fruto o de las hojas con el tamaño y la calidad de éstos a diferentes intensidades de riego. Los escasos estudios realizados en este aspecto se han dirigido a estudiar técnicas de medición, basados únicamente en el estado hídrico de las hojas con el propósito de asegurar un régimen adecuado de riego. Sin embargo, se desconoce por completo el grado del déficit hídrico que experimentan otros órganos importantes de las plantas como son los frutos que pueden, en un momento dado, ser mejores indicadores que las hojas para dar respuesta a los déficits aplicados en el suelo (Godoy y Huitron, 1996).

Es importante señalar que sin la cuantificación del estado hídrico en la planta, ya sea en la hoja o en frutos, es difícil extrapolar resultados de un clima (demanda evaporativa) a otro; o de una textura de suelo (capacidad de almacenamiento de agua) a otra. Lo anterior está demostrado por la variación y poca consistencia en los resultados de investigaciones en donde el efecto del riego en crecimiento vegetativo y reproductivo ha sido reportado sin cuantificar el estado hídrico de las plantas (Matthews *et al.*, 1987; Godoy, 1996). Revisando algunos de estos estudios se encontró que el efecto del riego en la producción de

vid varió de menos 17 a más de 131 % bajo el mismo nivel de agua en el suelo a través de un período de tres años (Huitron y Godoy, 1995).

Lo anterior obliga a realizar estudios para cuantificar y entender cómo un déficit de agua produce cambios en el crecimiento vegetativo, productividad y composición de los frutos, que posteriormente influye en la calidad de los mismos. De igual forma se pretende aprovechar esta información para realizar una mejor ubicación de los riegos a través de las diferentes etapas fenológicas y entre años y lograr incrementar la eficiencia en su uso, sobre todo que esta información sea totalmente extrapolable y útil en las diferentes zonas de riego y temporal del país.

Lo anterior se puede lograr utilizando metodología que considere a la planta, indicador más confiable de su propio bienestar con respecto al riego. Con relación a lo anterior y fundamentado en que la agricultura en México debe obtener el máximo beneficio posible por cada metro cúbico de agua, manteniendo la calidad de los recursos agua y suelo, para una productividad sustentable o sostenible, en el Campo Experimental La Laguna se realizó investigación en los cultivos de nogal con riego superficial y riego por goteo subsuperficial (RGS) y vid con riego por goteo.

#### **OBJETIVO GENERAL:**

Recopilar información generada sobre los requerimientos de agua en las diferentes etapas fenológicas de nogal y vid, y los índices de estrés en estos cultivos que señalen el momento óptimo de riego para alcanzar el mayor beneficio posible por metro cúbico de agua usado.

## **OBJETIVOS ESPECÍFICOS:**

Analizar la información generada de los calendarios de riego para los cultivos de nogal y vid en la Comarca Lagunera.

Analizar la metodología que utiliza como indicador del riego a la planta y que define el momento óptimo de riego.

Analizar las relaciones hídricas de frutos y hojas en estos dos cultivos en relación a su crecimiento y desarrollo.

## **DESCRIPCIÓN DE METODOLOGÍA UTILIZADA EN LOS DIFERENTES EXPERIMENTOS ANALIZADOS**

La información incluida en esta monografía es resultado del análisis de información obtenida en experimentos desarrollados durante 1997 y 2002 en terrenos del Campo Experimental La Laguna, ubicado en Matamoros, Coah. La misma se realizó analizando resultados experimentales obtenidos en los cultivos de nogal y vid. A continuación se realiza una descripción de los materiales y procedimientos utilizados en dichos experimentos.

### **METODOLOGÍA UTILIZADA EN NOGAL PECANERO**

#### **RIEGO SUPERFICIAL**

Se utilizó una plantación comercial de nogal pecanero cultivar Western. El espaciamiento entre hileras fue de 12 m y 12 m entre árboles, utilizándose un diseño completamente al azar con cuatro repeticiones. 10 árboles fueron tomados como parcela experimental por cada tratamiento. Durante la segunda y tercer semana de marzo se seleccionaron cinco árboles en base al diámetro del tronco y con características semejantes en vigor, de los que se registraron algunos datos fenológicas como fue: brotación, inicio en la receptividad del estigma, estado acuoso, endurecimiento de la cáscara, llenado de la almendra y dinámica de apertura del ruezno. Antes del inicio del llenado de almendra, se etiquetaron 25 brotes fructíferos por punto cardinal, en total 100 brotes por árbol, con longitud ( $10 \pm 3$  cm) y número de hojas similar y tres frutos por racimo. A los frutos se les quitó el ruezno para obtener su peso seco; a la nuez se le midió el peso seco a la cáscara y la almendra.

De inicio de la brotación a inicio en el llenado de la almendra (3<sup>a</sup> semana de marzo-1<sup>a</sup> semana de agosto) todo el lote experimental fue manejado con un criterio de riego uniforme que consistió en aplicar los riegos cuando el contenido



de agua en el suelo a una profundidad de 00-100 cm, alcanzaba 50 % de la humedad disponible. Durante este período, se aplicaron cuatro riegos en las fechas de marzo 22, mayo 5, junio 5 y julio 11

De inicio de llenado de almendra a inicio de apertura de ruezno (primera semana de agosto-mediados de septiembre), se aplicaron uno, dos, tres y cuatro riegos, a intervalos de 14 días entre ellos. El Cuadro 1 muestra las fechas de aplicación de los riegos al lote experimental.

Cuadro 1. Fechas de aplicación de los riegos en los tratamientos estudiados. (Godoy y López, 1997).

| Tratamientos   | Fecha de aplicación del riego |         |         |          |
|----------------|-------------------------------|---------|---------|----------|
|                | T <sub>1</sub>                | 12 Ago. |         |          |
| T <sub>2</sub> | 12 Ago.                       | 26 Ago. |         |          |
| T <sub>3</sub> | 12 Ago.                       | 26 Ago. | 9 Sept. |          |
| T <sub>4</sub> | 12 Ago.                       | 26 Ago. | 9 Sept. | 23 Sept. |

Para conocer la dinámica de acumulación de peso seco de la nuez, a 30 frutos, se les separó el pericarpio (ruezno) y a la nuez, cáscara y almendra, para luego colocarlas en una estufa de aire forzado a una temperatura de 65 °C por 72 horas, posteriormente se pesaron para obtener el peso seco. Los datos de peso seco de la almendra fueron ajustados a un modelo logístico, para establecer las diferencias en las tasas de acumulación de peso seco entre tratamientos se realizó una prueba de homogeneidad de varianzas.

## **RIEGO POR GOTEO SUBSUPERFICIAL**

Se utilizó una plantación de nogal pecanero cultivar Western de 16 años de edad. Se evaluaron siete tratamientos de riego (seis de riego por goteo y uno por inundación) en los que se aplicó el 50 % de la Evapotranspiración (ET<sub>o</sub>) en cada riego durante el período comprendido de brotación al inicio de endurecimiento de la cáscara y de 80 % de la ET<sub>o</sub> durante el llenado de la almendra. Los tratamientos estudiados fueron los siguientes:

1). Riego por inundación; 2). RGS con ocho cintas por árbol; 3). RGS con seis cintas por árbol; 4). RGS con cuatro cintas por árbol; 5). RGS con seis cintas por árbol; 6). RGS con cuatro cintas por árbol y 7). RGS con cuatro cintas por árbol. En los tratamientos 2, 3 y 4 las cintas fueron colocadas a un espaciamiento de un metro entre ellas mientras que en 5, 6 y 7 el espaciamiento fue de 1.5 metros. Cabe señalar que en el tratamiento 7 la primer distancia de cintas fue a 2.0 metros del tronco. En los tratamientos de RGS, se colocaron las laterales a una profundidad de 50 cm. La cinta utilizada fue la 15 mil, con espesor de pared de 0.3810 mm y diámetro interior de 16 mm, con emisores a 20 cm y un caudal de  $3.0 \text{ LH}^{-1}$  por metro lineal. Las relaciones hídricas de frutos y hojas fueron evaluadas mediante la determinación del potencial hídrico cada tercer día, utilizando la bomba de presión.

Para conocer la dinámica de acumulación de peso seco de la almendra, a 30 frutos, se separó el pericarpio (ruezno), cáscara y la almendra fue colocada en una estufa para obtener el peso seco. Los datos de peso seco de la almendra fueron ajustados a un modelo logístico y para establecer las diferencias en las tasas de acumulación de peso seco entre tratamientos se realizó una prueba de homogeneidad de varianzas.

## **METODOLOGÍA UTILIZADA EN VID**

Se utilizó un viñedo de 18 años de edad del cultivar Grenache, sostenido en una espaldareda de telégrafo inclinado, cuya distancia entre hileras y plantas fue de 3.0 y 2.0 m, respectivamente.

Se evaluaron tres tratamientos de riego, los cuales se iniciaron a partir de la fase III del crecimiento del fruto (tres a cuatro días después del inicio del envero o cambio de color) y consistieron en aplicar el 0, 30 y 70 % de la evapotranspiración (ET), aplicándose el agua en forma diaria a través del sistema de riego por goteo.

Los experimentos de campo fueron diseñados para someter a las plantas de vid a diferentes intensidades de riego. Los tratamientos evaluados estuvieron basados en aplicar los riegos cuando el potencial hídrico en la hoja o el fruto alcanzó valores desde  $-0.1$  Mpa hasta  $-2.0$  ó  $-2.5$  Mpa; se usaron intervalos de  $-0.4$  Mpa entre tratamientos. En todos los tratamientos se cuantificó cómo las deficiencias de agua cambiaban las relaciones hídricas de las hojas y frutos, las cuales posteriormente fueron relacionadas con parámetros de crecimiento como volumen, peso seco y calidad de los frutos, con el propósito de definir el valor de estrés que se deberá de alcanzar antes de aplicar el siguiente riego.

Las relaciones hídricas de frutos y hojas fueron evaluados mediante la determinación del potencial hídrico, medido cada tres días, usando la bomba de presión tipo Scholander (Merril Speciality Equipment, Logan, Utah). El método consiste en tomar la hoja o fruto en cuestión y colocarles al pecíolo de ambos un anillo plástico hermético; posteriormente el limbo o fruto se coloca dentro de la cámara de presión a manera de que el pecíolo quede fuera de la cámara y completamente visible. A continuación se aplica presión, utilizando nitrógeno gas, hasta observar la presencia de agua en el extremo del pecíolo, se considera que en este momento el valor del potencial hídrico de la cámara de presión y el potencial hídrico de la hoja y del fruto son iguales, por lo que la lectura expresada en Mpa será el valor del potencial hídrico de la hoja y del fruto.

Para conocer la capacidad de crecimiento de los frutos, se tomaron muestras cada tres días para evaluar el incremento en volumen, peso fresco y seco, así como algunos parámetros de calidad como lo son: sólidos solubles (grados brix) en las bayas. En estas mismas muestras y en toda la planta se realizaron observaciones para definir el inicio y fin de sus diferentes etapas fenológicas.

En cada uno de los tratamientos estudiados y en dos repeticiones, se colocaron tubos de aluminio para el acceso de la sonda de neutrones y poder medir el contenido de humedad a cuatro profundidades a intervalos de 30 cm cada

tres días; para realizar esta medición se utilizó la sonda de neutrones que fue previamente calibrada. La evapotranspiración real se calculó con la siguiente ecuación:

$$ET_r = (A_1 - A_2) (D_a) (P_r) \quad \text{donde;}$$

$ET_r$  = Evapotranspiración real (cm)

$A_1$  = Contenido de humedad anterior base peso seco (%)

$A_2$  = Contenido de humedad actual base peso seco (%)

$D_a$  = Densidad aparente ( $g/cm^3$ )

$P_r$  = Profundidad radical (cm)

La evapotranspiración potencial se obtuvo a partir de la siguiente ecuación:

$$ET_p = E_o \times K_t \quad \text{donde;}$$

$ET_p$  = Evapotranspiración potencial (cm)

$E_o$  = Evaporación en el tanque evaporímetro clase "A"

$K_t$  = Coeficiente del evaporímetro, el cual considera al medio ambiente que rodea al tanque (Doorenbos y Pruitt, 1975)

El coeficiente de cultivo ( $K_c$ ) se estimó usando la siguiente ecuación:

$$K_c = ET_r / ET_p \quad \text{donde;}$$

$K_c$  = Coeficiente de cultivo

$ET_r$  = Evapotranspiración real (cm)

$ET_p$  = Evapotranspiración potencial (cm)

En cada uno de los experimentos también se consideró la recopilación de otros parámetros como : humedad relativa y temperaturas máximas y mínimas para la determinación de las unidades calor (UC).

De la brotación a la floración, todo el lote experimental fue irrigado con un criterio uniforme, que consistió en usar el 40 % de la ET; mientras que durante las fases I y II, se usó el 60 % de la ET (Godoy, 1987). Tres días antes de iniciar con los tratamientos, se aplicaron seis horas de riego diarias, con el propósito de recargar el perfil del suelo hasta una profundidad de 00-90 cm.

El experimento se manejó bajo un diseño de bloques al azar con cuatro repeticiones, donde la parcela total fueron cuatro hileras con 16 plantas cada una y la parcela útil fueron las dos hileras del centro.

Para conocer el crecimiento y la acumulación de azúcares, se muestrearon al azar 50 frutos, con un intervalo de cada siete días durante las fases I y II, y tres veces por semana durante la fase III. La muestra en cada uno de estos períodos fue dividida en dos grupos de 25 frutos cada uno. Cada grupo fue asignado a varios tipos de medición: a) Peso fresco, que fue determinado pesando los 25 frutos en una balanza de precisión; posteriormente a estos mismos frutos se les midió su volumen, el cual se obtuvo desplazándolos en un volumen conocido de agua destilada y b) Sólidos solubles (grados brix), que se determinaron extrayendo el jugo contenido en la otra muestra y colocando unas gotas de éste en el refractómetro manual.

Los gramos de azúcar se estimaron usando la siguiente relación:

$A = °B \times P$  donde:

A = Azúcar (g)

°B = Sólidos solubles (fracción del peso de la baya)

P = Peso seco del fruto (g)

El potencial hídrico ( $\Psi$ ) al mediodía, fue medido tres veces por semana usando la bomba de presión (Merril speciality Equipment, Logan, Utah). Para realizar esta medición se seleccionaron seis racimos y su hoja opuestas; ambos ubicados en el sexto nudo del brote.

## **RESULTADOS OBTENIDOS EN LOS DIFERENTES EXPERIMENTOS ANALIZADOS**

El análisis de la información generada en dichos estudios se presenta a continuación

### **RESULTADOS EN NOGAL PECANERO**

#### **NOGAL CON RIEGO SUPERFICIAL**

Los Cuadros 2 y 3 contienen la información acerca de uso de agua por el nogal a través de sus diferentes etapas fenológicas y con diferentes tamaños de copa, expresados a través del diámetro del tronco medido a una altura de un metro encima de la superficie del suelo. El resultado de multiplicar el número de árboles por hectárea por el diámetro del tronco se localiza en los Cuadros 2 y 3, los cuáles ya están a disposición de los productores, y en éstos se especifica la cantidad de agua en forma diaria o mensual que se deberá de aplicar a través del sistema de riego utilizado para tal propósito.

Esta metodología se fundamenta en el hecho de que los requerimientos de agua del árbol, se incrementan a medida que aumentan de tamaño, debido a que el área superficial de la cubierta vegetal, que es donde la energía de luz solar es utilizada biológicamente en la energía necesaria para la transpiración y funcionamiento del árbol, crece exponencialmente.

Cuadro 2. Uso de agua diario en diferentes meses para el nogal variedad Western con diferente diámetro de tronco. (Godoy y López, 1997).

| Uso del agua (cm/día) |       |       |       |       |       |        |       |         |       |
|-----------------------|-------|-------|-------|-------|-------|--------|-------|---------|-------|
| O* x 70 <sup>1</sup>  | Marzo | Abril | Mayo  | Junio | Julio | Agosto | Sept. | Octubre | Nov.  |
| 500                   | 0.030 | 0.043 | 0.070 | 0.103 | 0.127 | 0.127  | 0.110 | 0.060   | 0.040 |
| 1000                  | 0.053 | 0.120 | 0.150 | 0.194 | 0.213 | 0.250  | 0.260 | 0.150   | 0.120 |
| 1500                  | 0.068 | 0.135 | 0.200 | 0.300 | 0.345 | 0.395  | 0.350 | 0.220   | 0.133 |
| 2000                  | 0.100 | 0.163 | 0.252 | 0.410 | 0.510 | 0.530  | 0.490 | 0.305   | 0.163 |
| 2500                  | 0.146 | 0.215 | 0.310 | 0.520 | 0.635 | 0.705  | 0.700 | 0.420   | 0.191 |
| 3000                  | 0.167 | 0.232 | 0.350 | 0.630 | 0.790 | 0.810  | 0.750 | 0.500   | 0.200 |
| 3500                  | 0.196 | 0.245 | 0.375 | 0.710 | 0.890 | 0.900  | 0.800 | 0.550   | 0.267 |
| 4000                  | 0.201 | 0.250 | 0.403 | 0.770 | 0.910 | 0.930  | 0.830 | 0.580   | 0.312 |
| 4500                  | 0.224 | 0.255 | 0.413 | 0.790 | 0.950 | 0.970  | 0.880 | 0.620   | 0.317 |
| 5000                  | 0.231 | 0.260 | 0.413 | 0.815 | 0.960 | 0.982  | 0.880 | 0.670   | 0.333 |

\* Diámetro del tronco (cm).

<sup>1</sup> Número de árboles por hectárea.



Cuadro 3. Consumo mensual de agua para el nogal variedad Western con diferente diámetro del tronco. (Godoy y López, 1997).

| Consumo de agua (cm) |       |       |       |       |       |        |       |         |       |        |
|----------------------|-------|-------|-------|-------|-------|--------|-------|---------|-------|--------|
| O* x 70 <sup>1</sup> | Marzo | Abril | Mayo  | Junio | Julio | Agosto | Sept. | Octubre | Nov.  | Total  |
| 500                  | 0.90  | 1.30  | 2.10  | 3.10  | 3.80  | 3.70   | 3.30  | 1.80    | 1.20  | 21.20  |
| 1000                 | 1,60  | 3.60  | 4.50  | 5.82  | 6.40  | 7.50   | 7.80  | 4.50    | 3.60  | 45.32  |
| 1500                 | 2.03  | 4.10  | 6.03  | 9.00  | 10.35 | 11.98  | 10.50 | 6.60    | 4.00  | 64.59  |
| 2000                 | 3.00  | 4.90  | 7.60  | 12.63 | 15.00 | 16.00  | 14.50 | 9.20    | 4.90  | 87.73  |
| 2500                 | 4.37  | 6.45  | 9.30  | 16.02 | 20.05 | 21.70  | 20.00 | 10.00   | 5.73  | 113.02 |
| 3000                 | 5.00  | 7.00  | 10.03 | 18.02 | 23.31 | 24.00  | 21.50 | 12.60   | 6.02  | 127.48 |
| 3500                 | 5.89  | 7.35  | 11.30 | 21.30 | 26.00 | 26.20  | 23.00 | 13.80   | 8.02  | 142,85 |
| 4000                 | 6.03  | 7.98  | 12.33 | 23.09 | 27.90 | 28.50  | 24.00 | 14.00   | 9.37  | 153.02 |
| 4500                 | 6.73  | 8.02  | 12.50 | 23.70 | 28.50 | 29.70  | 25.80 | 14.70   | 9.50  | 159.15 |
| 5000                 | 6.98  | 8.05  | 13.05 | 24.50 | 29.00 | 30.00  | 26.00 | 15.00   | 10.00 | 162.58 |

\* Diámetro del tronco (cm).

<sup>1</sup> Número de árboles por hectárea.

## Peso seco del ruezno

La acumulación de peso seco del ruezno se ajustó a una curva doble sigmoide, donde las Fases I y III están separadas por una Fase II, conocida como retraso del desarrollo del ruezno (Figura 1). Durante la Fase I, que abarca 79 días, la velocidad de acumulación de peso seco fue lenta. En la Fase II, que abarca un período de 14 días, la velocidad de acumulación se disminuyó significativamente. En la Fase III, que tiene una duración de 56 días, y que está comprendida de inicio del endurecimiento de la cáscara hasta la finalización de llenado de la almendra, la velocidad de acumulación de peso seco es muy rápida. El inicio de esta Fase III coincide con el inicio de llenado de la almendra, que fue precisamente cuando los tratamientos de riego se aplicaron.

Se encontró que la tasa de acumulación de peso seco del ruezno se afectó por los tratamientos de riego, ya que el 4, 3 y 2 fueron estadísticamente iguales entre sí y superiores a T<sub>1</sub>. La tasa de acumulación para el T<sub>4</sub>, T<sub>3</sub> y T<sub>2</sub> fué de 0.08, 0.07 y 0.08 g día<sup>-1</sup> de materia seca, valores que superaron en aproximadamente 60 % al encontrado en T<sub>1</sub>, que fue de 0.042 g día<sup>-1</sup>. Los valores finales del peso seco del ruezno para los Tratamientos 4, 3 y 2 fueron de 4.0, 3.7 y 3.8 g respectivamente, mientras que en T<sub>1</sub> fue de 3.49 g (Figura 1)

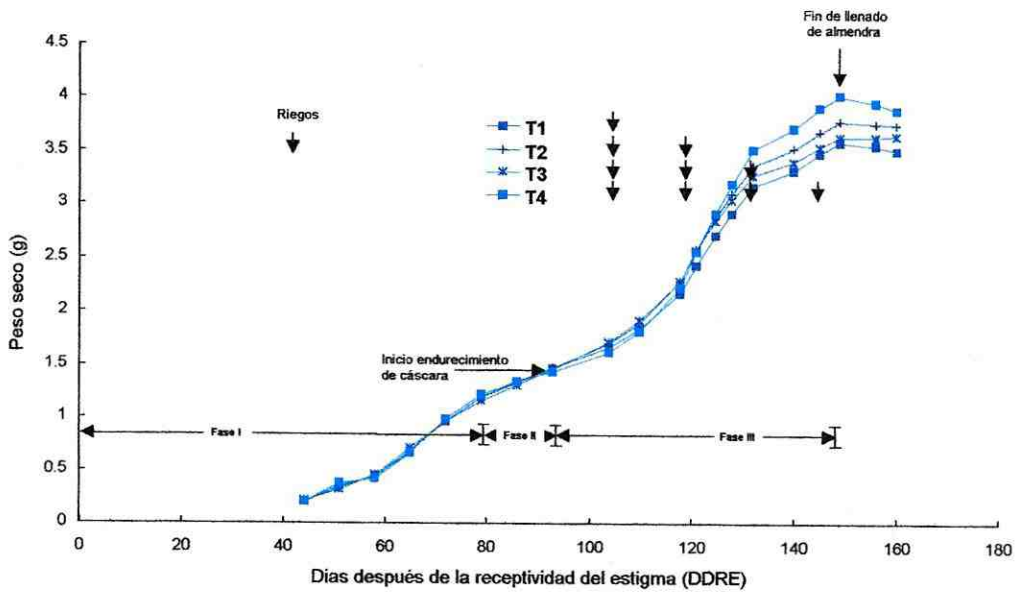


Figura 1. Dinámica de acumulación de peso seco del ruzno cultivar Western con cuatro tratamientos de riego. (Godoy y López, 1997).

## **Peso seco de la almendra**

Independientemente del tratamiento de riego, el llenado de almendra requirió de 56 días. Se inició a los 93 días después de la receptividad del estigma DDRE (agosto, 1<sup>o</sup>), y se completó a los 149 DDRE (septiembre, 26), según se observa en la Figura 2.

La tasa de acumulación de materia seca en la almendra presentó dos períodos bien definidos, cada uno de 28 días: durante el primero, que comprendió de inicio del endurecimiento de la cáscara hasta 121 DDRE, la tasa de acumulación fué lenta, ya que sólo se alcanzó a acumular 26 % del peso total de la almendra.

El segundo período, que fué de 122 DDRE hasta la fecha en que se alcanzó el valor máximo de almendra (149 DDRE), la tasa de acumulación fue rápida, ya que en este período se acumuló 74 % del peso final. Durante el primer y segundo período, los Tratamientos 4, 3 y 2 alcanzaron valores similares de peso seco de almendra, siendo éstos de 1.23 y 3.4 g respectivamente; sin embargo, estos tratamientos fueron superiores al Tratamiento 1, el cual alcanzó valores de 1.01 y 2.6 g en los dos períodos ya mencionados

Se detectaron diferencias estadísticamente significativas en el peso seco final del fruto provocadas por los tratamientos de riegos estudiados. Los Tratamientos 3 y 4 fueron estadísticamente iguales entre sí, y superiores a los Tratamientos 1 y 2; T<sub>2</sub>, a su vez, fue diferente y superior al Tratamiento 1. La tasa de acumulación para los Tratamientos 1, 2, 3 y 4 fue de 0.067, 0.113, 0.155 y 0.164 g día<sup>-1</sup> de materia seca, respectivamente. Lo anterior indica que T<sub>4</sub> y T<sub>3</sub> superaron 30 y 57 % a la tasa de acumulación del T<sub>2</sub> y T<sub>1</sub>, respectivamente. Al mismo tiempo, la tasa de acumulación de T<sub>2</sub> superó 40 % a T<sub>1</sub>. En los Tratamientos 3 y 4, el valor final de peso seco de la almendra fue de 4.8 g, mientras que en T<sub>2</sub> y T<sub>1</sub> fue de 4.6 y 3.7 g respectivamente

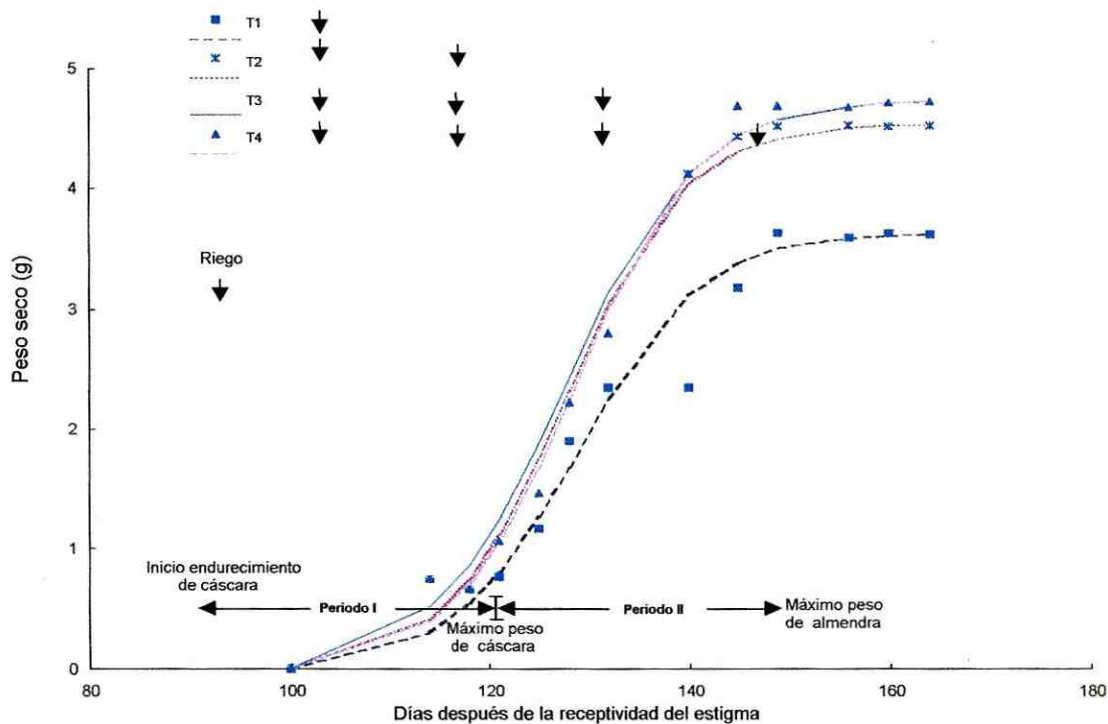


Figura 2. Dinámica de acumulación del peso seco de la almendra cultivar Western con cuatro tratamientos de riego. (Godoy y López, 1997).

Los resultados anteriores confirman lo encontrado por otros autores (Avalos, 1994; Godoy y López, 1997; Miyamoto, 1983; Sparks *et al.*, 1995) de que el crecimiento de la almendra es la fase fenológica de mayor demanda de agua, ya que en esta etapa se consume el 50 % del total anual. Así mismo, Worthington *et al.* (1992) y Godoy y Huitrón (1998) mencionan que durante esta etapa los fotoasimilados elaborados por las hojas son movilizados en solución en el agua a los frutos y otras partes de la planta para su almacenamiento, por lo que, esta etapa no solamente necesita un buen suministro de nutrimentos sino también de agua para tener condiciones favorables para su transporte, así como para la fotosíntesis. Stein, (1994) en un estudio realizado, confirma que durante el desarrollo de la almendra, el nogal requiere de suficiente agua disponible en el suelo para evitar problemas de llenado de almendra y minimizar problemas de germinación de la nuez y de ruezno pegado.

### **Apertura del ruezno**

Esta fase abarcó un período de 19 días y la primera observación de la apertura del ruezno fué el 17 de septiembre y finalizó el seis de octubre. En la primera fecha de evaluación los tratamientos 4 y 3 alcanzaron un 60 % de rueznos abiertos, mientras que en T<sub>2</sub> y T<sub>1</sub> los porcentajes fueron del 40 y 0 % respectivamente (Figura 3). Nueve días después de esta evaluación, los tratamientos con un mayor número de riegos alcanzaron el 100 % de apertura. T<sub>2</sub> y T<sub>1</sub> requirieron de 16 y 19 días más para alcanzar el valor de 100 %. En relación a lo anterior, algunos autores (Godoy, 1996; Herrera, 1990; Sparks, 1989, Sparks y Yates, 1995; Sparks *et al.*, 1995), han encontrado evidencias que coinciden con los resultados obtenidos en el presente estudio, de que una vez que el fruto ha alcanzado su madurez fisiológica, el factor principal que controla la apertura del ruezno es la disponibilidad de agua en el suelo. Ellos sugieren mantener un nivel del 50 % de la humedad aprovechable del suelo para acelerar la apertura y disminuir notablemente el número de nueces germinadas.

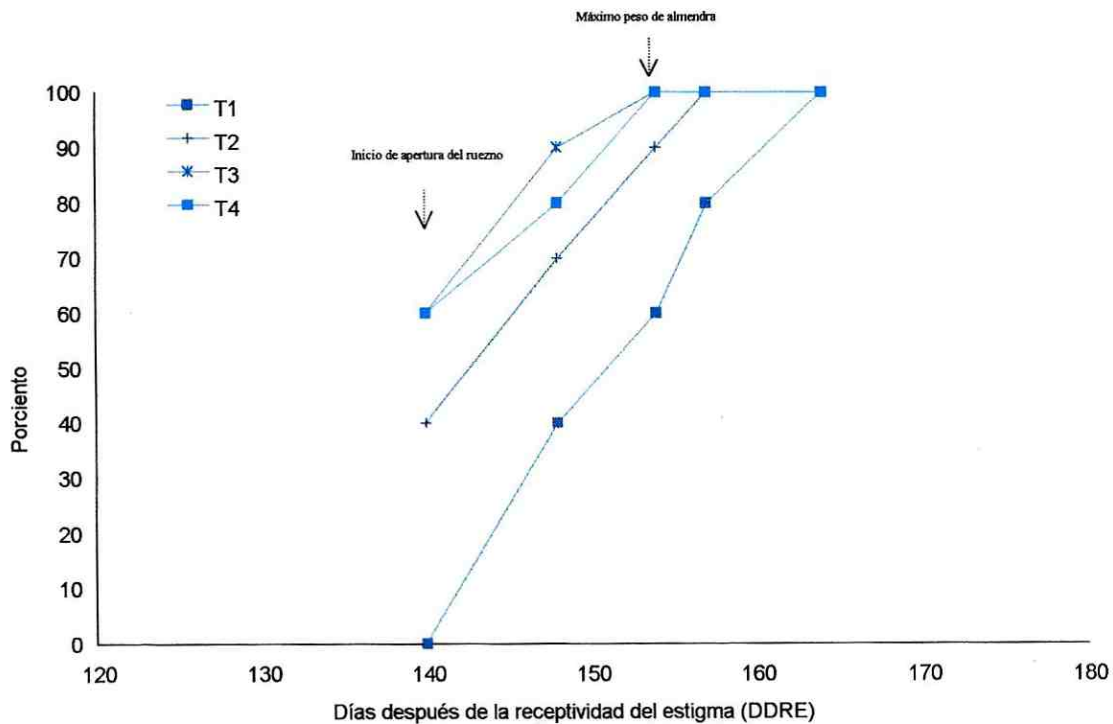


Figura3. Dinámica de apertura del ruzno cultivar Western con cuatro tratamientos de riego. (Godoy y López, 1997).

## Germinación y calidad de la nuez

El Cuadro 4, muestra el peso, porcentaje de almendra y de nueces germinadas bajo los cuatro tratamientos de riego.

Con relación al peso y porcentaje de almendra, se encontró que los tratamientos 4, 3 y 2, fueron estadísticamente iguales y superiores a T<sub>1</sub>, es decir, a medida que se incrementa el número de riegos durante este período se aumenta la calidad de ésta. Estos resultados coinciden con los obtenidos por otros investigadores (Godoy *et al.*, 1999; Herrera, 1990; Sparks *et al.*, 1995; Worthington *et al.* 1992), quienes señalan que durante el engrosamiento de los cotiledones (llenado de la almendra) se debe de aplicar cuando menos tres riegos para la formación de una almendra bien llena. Los valores de porcentaje de almendra que se obtuvieron en los tres tratamientos ya señalados, son excelentes ya que a nivel comercial el valor mínimo requerido es de 53 a 55 %.

En Cuadro 4, se muestra que la germinación de nuez fue afectada por los tratamientos de riego estudiados. Uno y dos riegos promueven un mayor porcentaje de nueces germinadas que la aplicación de tres y cuatro riegos. T<sub>1</sub> fue estadísticamente diferente y superior a T<sub>2</sub> que, a su vez, fue diferente y superior a T<sub>3</sub> y T<sub>4</sub>, los cuales, fueron iguales entre sí. Estos resultados demuestran que una vez que el fruto ha alcanzado su madurez fisiológica, el factor que controla la apertura del pericarpio, es la disponibilidad de agua en el suelo. Se han encontrado evidencias (Sparks, 1993; Sparks *et al.*, 1995; Godoy *et al.*, 1999), que cuando se mantiene un alto nivel de humedad disponible en el suelo, se acelera la apertura del pericarpio y se disminuye notablemente el número de nueces germinadas, tal y como sucedió en los Tratamientos 4 y 3 del presente estudio.



Cuadro 4. Distribución de peso seco en el fruto, porcentaje de almendra y nueces germinadas en el nogal pecanero bajo cuatro tratamientos de riego. (Godoy y López, 1997).

| Tratamiento    | Peso seco<br>almendra | Almendra      | Nueces<br>germinadas |
|----------------|-----------------------|---------------|----------------------|
|                | g                     | ----- % ----- |                      |
| T <sub>1</sub> | 3.7b*                 | 51b           | 19a                  |
| T <sub>2</sub> | 4.6a                  | 56a           | 12b                  |
| T <sub>3</sub> | 4.8a                  | 58a           | 4c                   |
| T <sub>4</sub> | 4.8a                  | 58a           | 4c                   |

\* Prueba de media Tukey  $P < 0.05$

### NOGAL CON RIEGO POR GOTEO SUBSUPERFICIAL

En las Figuras 4 y 5 se muestra la dinámica de acumulación de peso de almendra. No se detectaron diferencias en la tasa de acumulación del peso seco de almendra provocadas por los tratamientos de riegos. La tasa de acumulación para los tratamientos 2, 3, 4, 5 y 6 fue de  $0.14 \text{ g día}^{-1}$ , mientras que para los tratamientos 1 y 7 fue de  $0.13 \text{ g día}^{-1}$ . En el tratamiento 2 el valor final de peso seco de almendra fue de 4.2 g, en el 3, 4 y 5 fue de 3.7 g, mientras que en el 6 y 7 fue de 3.5 g. En el tratamiento de riego por inundación se alcanzó el valor más bajo, siendo éste de 2.96 g. Los resultados anteriores confirman lo encontrado por Godoy y Huitrón (1998) y Stein *et al.*, en (1989) quienes encontraron que durante el desarrollo de la almendra, el nogal requiere de suficiente agua disponible en el suelo para evitar problemas de llenado de la almendra y minimizar problemas de germinación de la nuez y de ruezno pegado.

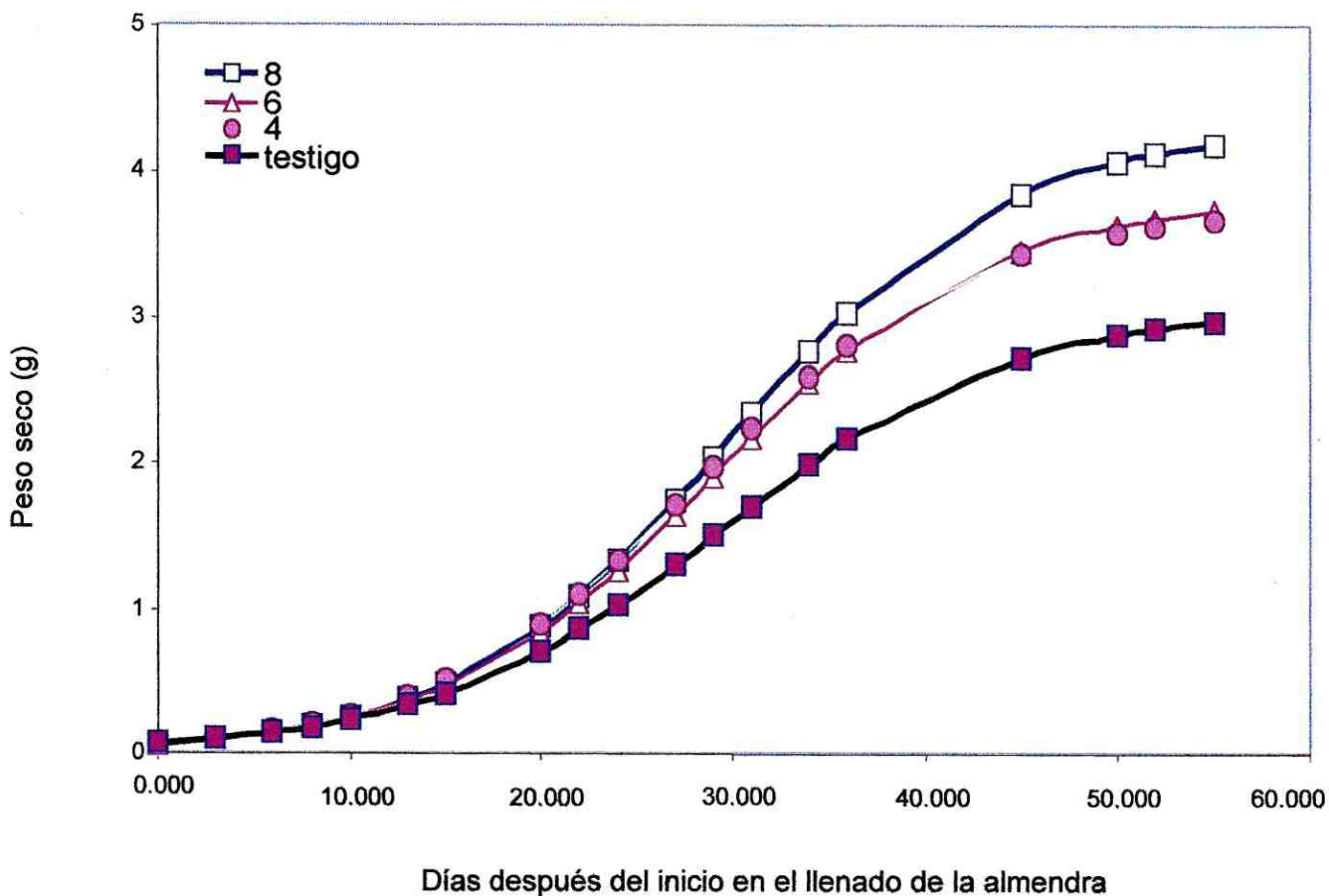


Figura 4. Acumulación de materia seca en la almendra para cuatro tratamientos de riego en nogal pecanero (Callejas, 2002)

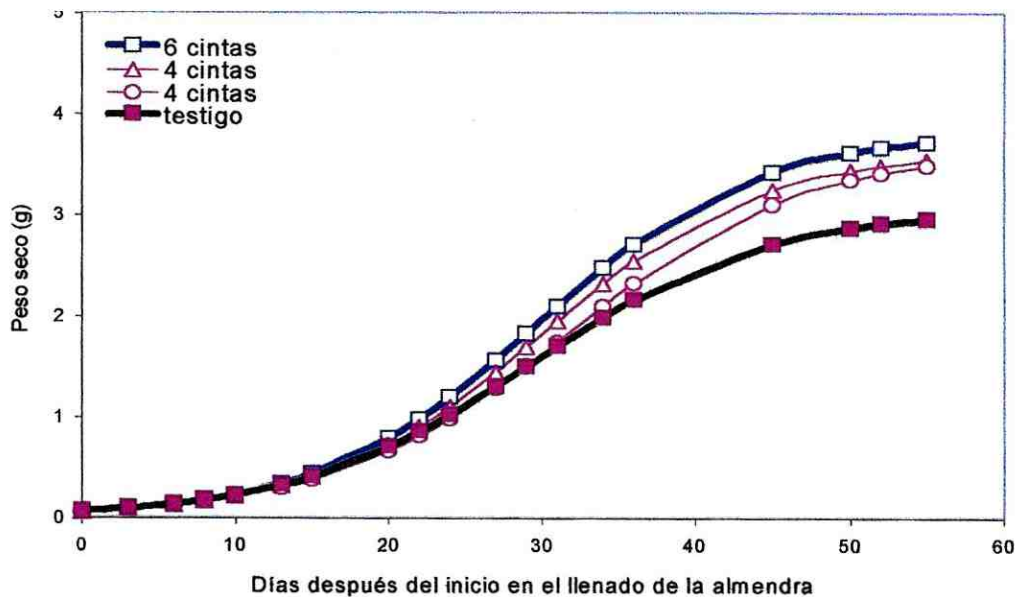


Figura 5. Acumulación de materia seca en la almendra para cuatro tratamientos de riego en el nogal pecanero. (Callejas, 2002).

Las Figuras 6 y 7 muestran la variación en potencial hídrico del fruto para los tratamientos estudiados. En estas Figuras se observa que la condición hídrica del fruto correlacionó adecuadamente con el número y espaciado de las cintas instaladas en cada uno de los tratamientos, es decir, frutos en árboles donde se colocaron ocho y seis cintas con espaciado de 1.0 y 1.5 m respectivamente los valores del potencial hídrico del fruto ( $\Psi_f$ ) fueron menos negativos que en los frutos de los árboles en donde se instalaron seis y cuatro cintas en donde los valores del  $\Psi_f$  fueron similares, más negativos y más variables. En árboles regados por inundación, los valores del  $\Psi_f$  siempre fueron más negativos y más variables que en los tratamientos con RGS. Lo anterior, coincide con trabajos realizados (Stricevic y Caki, 1997) en donde se encontró que la producción óptima del cultivo correlaciona directamente con la disponibilidad del agua en el suelo. Al mismo tiempo, la mejor condición hídrica de la planta esta relacionada a una mejor condición de humedad del suelo. En el presente estudio, los tratamientos con RGS presentaron la mejor condición hídrica logrando también la más alta producción de materia seca en almendra.

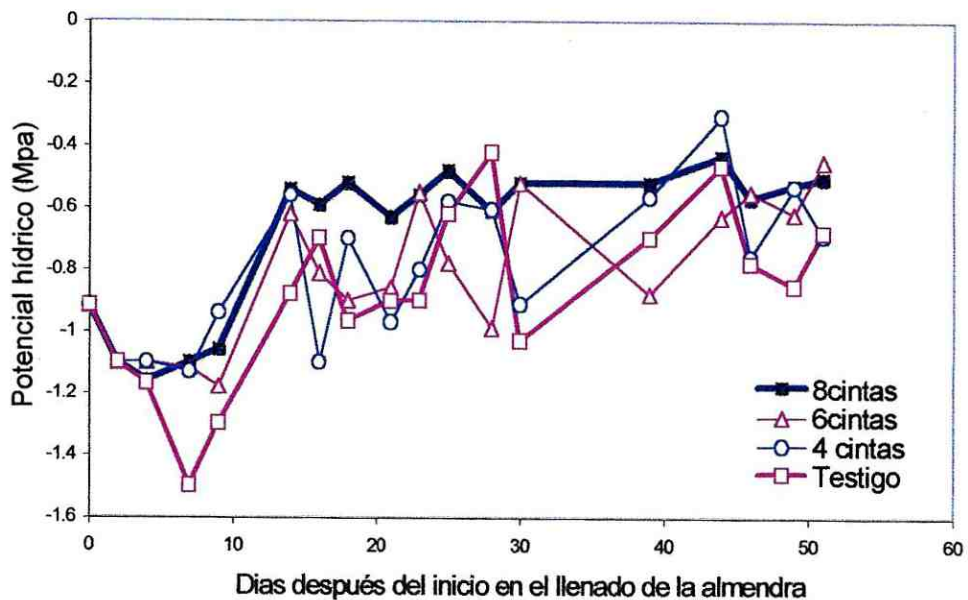


Figura 6. Variación en el potencial hídrico del fruto en el nogal pecanero bajo tratamientos de riego por goteo subsuperficial e inundación. (Callejas,2002).

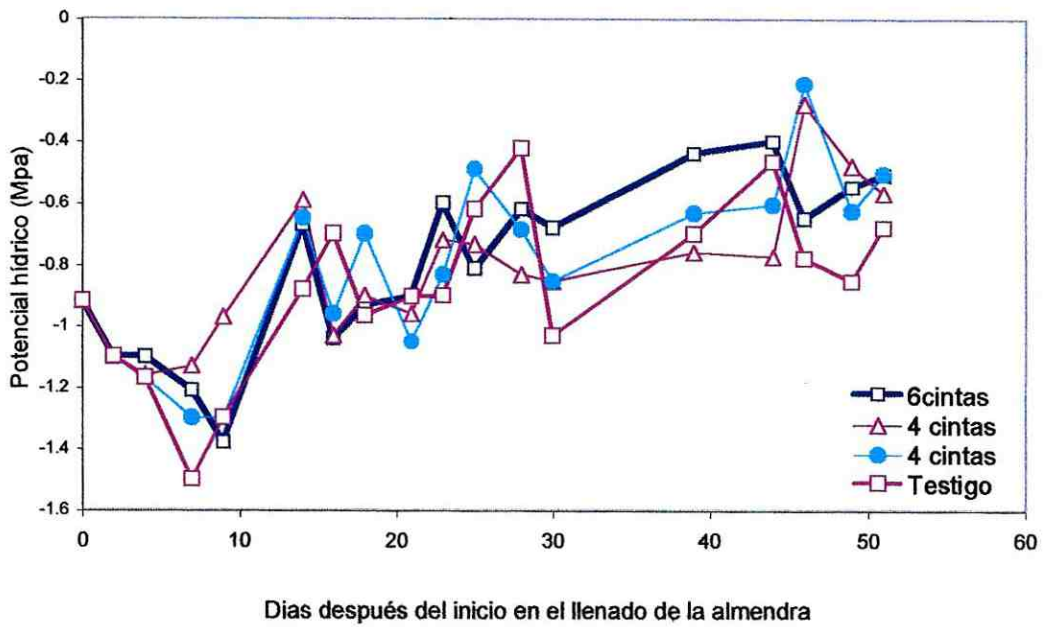


Figura 7. Variación del potencial hídrico del fruto del nogal pecanero bajo tratamientos de riego por goteo subsuperficial e inundación. (Callejas,2002).

El Cuadro 5 muestra los volúmenes de agua consumida y los porcentajes de almendra y nueces germinadas para los tratamientos estudiados. En el tratamiento con riego por inundación el volumen de agua aplicado durante el desarrollo de la almendra fue el más alto siendo de  $5000 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1}$ , mientras que en los tratamientos con RGS, los volúmenes de agua aplicados fueron 50 hasta 75% menores al aplicado por inundación; a pesar de esto, los frutos en los tratamientos con RGS alcanzaron la mejor condición hídrica (Figuras 6 y 7) lo que se reflejó en un incremento en el porcentaje de almendra con relación al alcanzado con el riego por inundación (Cuadro 5). El porcentaje de nueces germinadas fue muy bajo en todos los tratamientos, sin definirse una tendencia clara por efecto de los tratamientos estudiados.

Cuadro 5. Volumen de agua y características de calidad de la nuez bajo riego por goteo subsuperficial e inundación. (Callejas,2002).

| Nº de cintas         | Volumen de agua<br>(Ago. 8-oct. 30 <sup>1</sup> )<br>( $\text{m}^3 \text{ ha}^{-1}$ ) | Almendra<br>(%) | Nueces<br>germinadas<br>(%) |
|----------------------|---|-----------------|-----------------------------|
| Espaciamiento 1.0 m  |   |                 |                             |
| 8                    | 2540  | 59.3            | 0.58                        |
| 6                    | 1905  | 57.7            | 1.32                        |
| 4                    | 1270  | 57.3            | 1.44                        |
| Espaciamiento 1.5 m  |   |                 |                             |
| 6                    | 2671  | 57.7            | 2.11                        |
| 4                    | 1752  | 57.5            | 0.96                        |
| 4                    | 1752  | 57.9            | 1.00                        |
| Riego por inundación | 5000  | 54.8            | 1.00                        |

<sup>1</sup> Evaporación durante este período 365 mm

## RESULTADOS EN VID.

En la Figura 8 se presenta la función de producción para la vid cultivar Grenache; observándose que a medida que se incrementa el volumen de agua aplicada, también se incrementa la producción. Sin embargo, cuando la producción alcanza su máximo, un incremento en la cantidad de agua disminuye la producción. La Figura 1 muestra que la cantidad mínima de agua para alcanzar la producción máxima de 17 ton/ha fué de 6500 m<sup>3</sup> por hectárea, con valores de productividad de 2.8 kg/m<sup>3</sup> de uva.

Una alta eficiencia de conversión de cada m<sup>3</sup> de agua a kilos de uva, se obtuvo al aplicar 3000 m<sup>3</sup> de agua, que es menos de la mitad que se necesitó para la máxima producción por hectárea. Con éste volumen de agua se obtuvo una producción de uva de 11.8 ton/ha, y se alcanza una productividad de 3.93 kg de uva por m<sup>3</sup> de agua aplicada. Cabe destacar que no todos los frutales responden de la misma forma a la falta de agua. De este modo, si bien con la mitad del suministro óptimo de agua la vid obtiene cerca de un 69.4 % del total de uva que puede alcanzarse, es posible que algunas especies lleguen a morir al aportarles solo la mitad del agua requerida para su óptima producción.



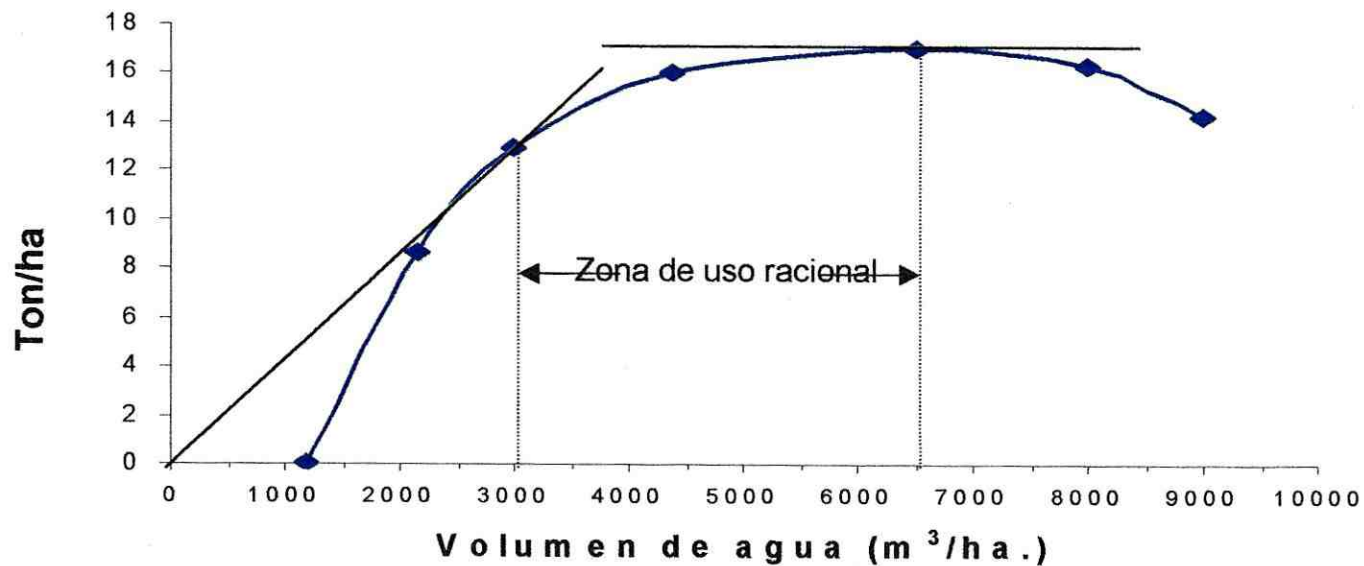


Figura 8. Función de producción de la vid cultivar Grenache. (Godoy y Huitrón, 1995).

Los valores de evapotranspiración (ET) de la vid que se mencionan a continuación, son valores promedio obtenidos de los resultados de varios experimentos realizados en varios años.

Durante el año de establecimiento la cantidad de agua que utilizan las plantas, en el período comprendido de la plantación hasta finales de septiembre es de  $2,800 \text{ m}^3 / \text{ha}$ , lo cual corresponde a un consumo de  $1,680 \text{ L/planta}$  o bien a una lámina de  $28 \text{ cm/ha}$ . Durante ese primer año, gran parte del agua consumida no la utiliza la planta, sino que se pierde principalmente por evaporación directa del suelo. En el segundo año, en el período comprendido de inicio de brotación hasta un poco antes de la caída de las hojas, el uso de agua es de  $3,900 \text{ m}^3 / \text{ha}$ , lo cual corresponde a un consumo de  $2340 \text{ L/planta}$  y de  $39 \text{ cm}$  de lámina, estos valores representan un incremento de un  $40 \%$  con relación al primer año. Del tercer año en adelante, el uso de agua se incrementa de un  $50$  a  $60 \%$  con relación al segundo año, siendo este del orden de  $6,000$  a  $6,500 \text{ m}^3 / \text{ha}$ , el cual equivale al volumen de agua necesario para alcanzar la máxima producción.

## **CUANDO Y CUANTA AGUA APLICAR EN LA VID**

Una vez conocidos los requerimientos totales de agua para la vid, existen dos aspectos importantes a considerar para obtener los máximos rendimientos: a). Cuánta agua aplicar, y b). Cuándo aplicar los riegos.

## CUANTA AGUA APLICAR EN LA VID

Los valores de evapotranspiración (ET) de la vid que se mencionan a continuación (Cuadro 6), son valores promedio obtenidos de los resultados de varios experimentos realizados en varios años (Godoy, 1987; Godoy, 1988; Godoy y Huitrón, 1995; Godoy y López, 1990; Salazar, 1997). En Cuadro 6 se muestra el uso de agua para la vid durante el año de establecimiento, formación (2º año), formación y ensayo (3º año) y producción (4º año en adelante).

Cuadro 6. Uso de agua de la vid durante sus primeros años y en su etapa de máxima producción, Godoy y Huitrón (1995), Williams (1991)

| Edad            | Agua consumida por ciclo |                    |          |
|-----------------|--------------------------|--------------------|----------|
|                 | cm                       | m <sup>3</sup> /ha | L/planta |
| 1 <sup>er</sup> | 28                       | 2,800              | 1680     |
| 2º              | 39                       | 3,900              | 2340     |
| 3 <sup>er</sup> | 60                       | 6,000              | 3600     |
| 4º              | 65                       | 6,500              | 3900     |

Durante el año de establecimiento la cantidad de agua que utilizan las plantas, de plantación hasta finales de septiembre es de 2,800 m<sup>3</sup> /ha, lo que corresponde a un consumo de 1,680 L/planta o bien a una lámina de 28 cm/ha. Durante el primer año, gran parte del agua consumida no la utiliza la planta, sino que se pierde principalmente por evaporación directa del suelo.

En el segundo año, de inicio de brotación hasta antes de la caída de las hojas, el uso de agua es de  $3,900 \text{ m}^3 / \text{ha}$ , que corresponde a un consumo de  $2340 \text{ L/planta}$  y de  $39 \text{ cm}$  de lámina, valores que representan un incremento de un  $40 \%$  con relación al primer año.

En el tercero, cuarto y demás años, el uso de agua se incrementa de un  $50$  a  $60 \%$  con relación al segundo año, siendo este del orden de  $6,000$  a  $6,500 \text{ m}^3 / \text{ha}$ , equivalente al volumen de agua necesario para alcanzar la máxima producción señalada en la función de producción de la Figura 8.

Del cuarto año en adelante el uso de agua por la planta a través de su ciclo se muestra en la Figura 9. De inicio de brotación a inicio de floración, el agua usada diariamente es baja, variando su valor de  $5$  a  $8 \text{ L/día}$ . A partir de inicio de floración hasta maduración fisiológica, el uso de agua se incrementa de manera significativa, alcanzando valores hasta de  $40 \text{ L/planta/día}$ , valor considerado como el máximo de uso de agua por día de la vida. Después de cosecha, hasta caída de las hojas los valores disminuyen dramáticamente.

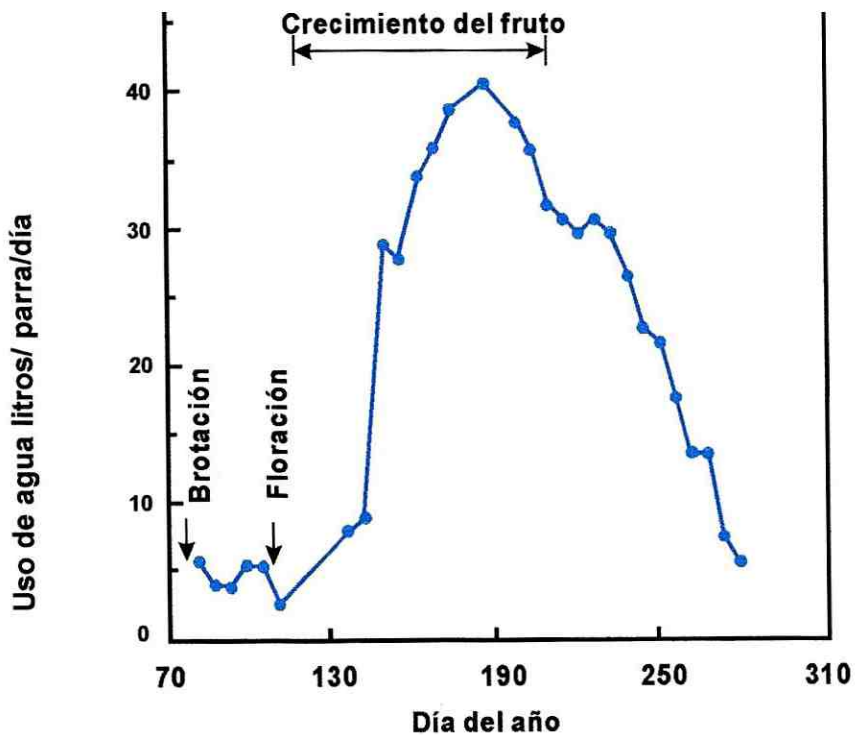


Figura 9. Uso de agua diario por vid en producción máxima a través del ciclo vegetativo. Williams (1991).

El uso de agua en el cultivo, en su ciclo y entre ciclos, depende principalmente de la evapotranspiración potencial o demanda ambiental. Por esta razón, los valores mostrados en el Cuadro 4 y Figura 9 deben ajustarse a las condiciones de clima prevalecientes en el ciclo. El ajuste se realiza utilizando la siguiente formula:

$$ET_c = ET_p \times K_c$$

$ET_c$  = Evapotranspiración o uso de agua por el cultivo (cm)

$ET_p$  = Evapotranspiración potencial (cm)

$K_c$  = Coeficiente de cultivo

De acuerdo a la formula anterior, para ajustar el uso de agua para la vid en cualquier etapa de su ciclo vegetativo, se multiplica la evapotranspiración potencial, la cual puede ser determinada con la evaporación registrada en un tanque evaporímetro clase "A", por el coeficiente de cultivo ( $K_c$ ). Los valores de  $K_c$  se obtienen a través de experimentación, ya que éstos dependen principalmente del crecimiento y desarrollo que la vid alcanza en la región donde se cultiva, razón por la que su valor varía de día a día. En la Figura 10, se muestran los valores de  $K_c$  obtenidos para las diferentes etapas de la vid, presentando éstos la forma de una campana en donde después de la floración hay una etapa ascendente que culmina en el inicio del envero, posteriormente existe una disminución de los valores en la etapa de cosecha y postcosecha (Godoy, 1987; Godoy, 1988; Godoy y López, 1986).

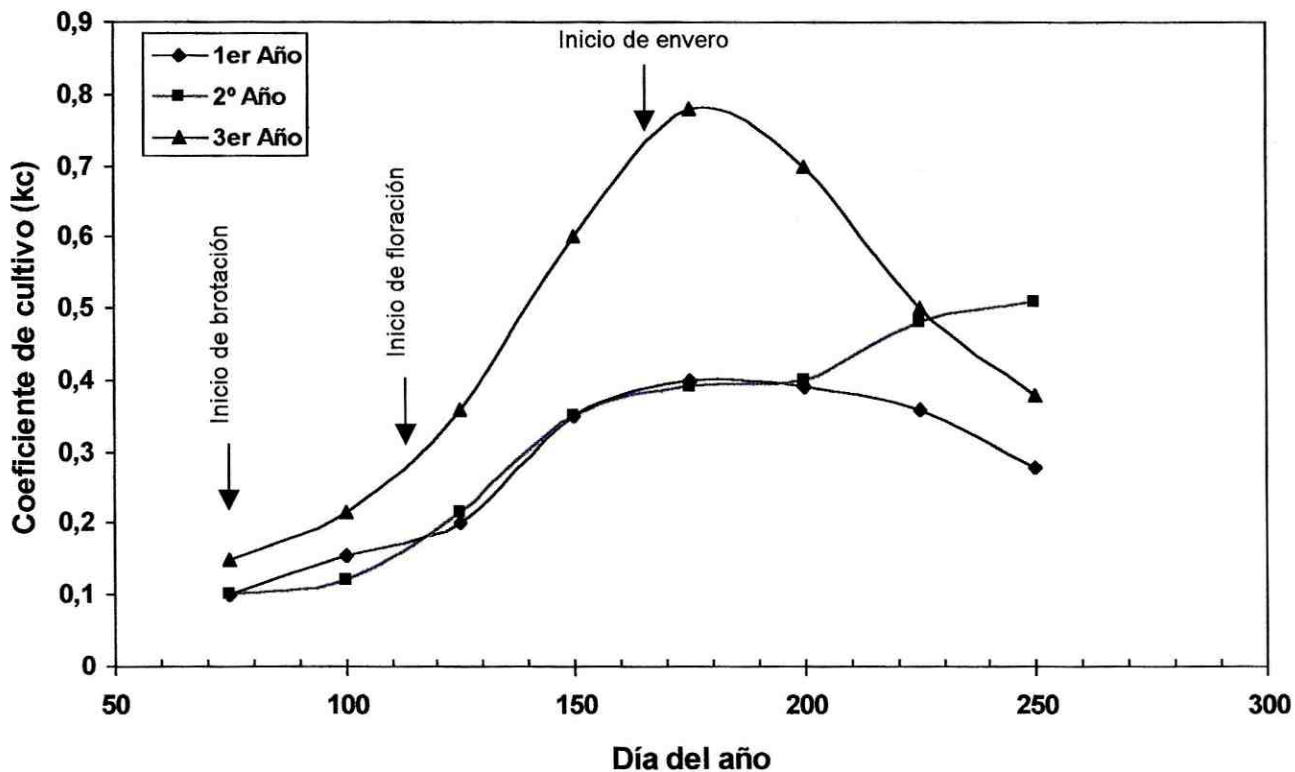


Figura 10. Coeficiente de cultivo ( $K_c$ ) para diferentes edades de la vid. Godoy y López (1991), Williams (1991).

## **REQUERIMIENTO DE AGUA Y CALENDARIZACIÓN DEL RIEGO EN VID CON RIEGO POR INUNDACIÓN.**

En el requerimiento total de agua durante el crecimiento de la vid, se ha encontrado que a inicio de brotación sus necesidades son mínimas, 1.5 por ciento del total; en floración tampoco exceden del 1.5 por ciento. De floración a amarre del fruto, consume el 10 por ciento. De amarre de fruto a envero (cambio de color), el 43 por ciento y de envero a maduración del fruto, cerca del 44 por ciento de sus necesidades totales.

La recomendación de riego basada en un calendario fijo o una determinada etapa fenológica de la vid, no es suficientemente dinámica para detectar variaciones en clima y suelo que se presentan en un ciclo y entre ciclos, los cuales modifican sus necesidades de agua. En relación a lo anterior, existe una metodología que permite pronosticar con buena exactitud la fecha y número de riegos, sin considerar los riegos de brotación y floración que es obligada su aplicación, utilizando como indicador la evapotranspiración (ET), calculada como el producto de la evaporación registrada en un tanque evaporímetro clase "A" y el coeficiente de cultivo ( $K_c$ ) cuyo valor refleja la respuesta de la planta al estrés de agua durante el desarrollo de brote, floración, crecimiento y maduración del fruto. Esta metodología también considera como parte fundamental la cantidad de lluvia y la capacidad de retención de humedad del suelo.

En base a esta metodología y tomando en cuenta los resultados encontrados en vid con riego por goteo, se puede recomendar la siguiente calendarización de riegos por inundación:



El ciclo de riego se inicia con la aplicación del primer riego antes de la brotación. Entre el primer riego y la floración se debe suministrar otro riego obligado, afectando la evaporación con un  $K_c$  de 0.4, aplicando el riego (s) cuando el producto del  $K_c$  por la evaporación es de 95 mm.

Después del riego de floración hasta la maduración del fruto, se aplica el método de pronóstico, utilizando un  $K_c$  de 0.7, aplicándose los riegos siguientes cuando el producto del  $K_c$  por la evaporación es de 115 mm. A continuación se mencionan la fecha y el número de riegos que resultan de aplicar este método de pronóstico:

El primer riego en el año se debe aplicar un poco antes de la brotación en plantas débiles y se puede retrasar de una a dos semanas después de ocurrida la brotación en parras que hayan tenido buena capacidad de crecimiento en el ciclo productivo anterior. Durante y después de la brotación la extracción de humedad del suelo es muy baja, ya que este proceso y el crecimiento del brote en sus primeros 25 cm, son sostenidos principalmente por las reservas de carbohidratos almacenados en el ciclo anterior. Este primer riego también soporta el 1<sup>er</sup> crecimiento de raíces el cuál comienza al momento de la brotación y a partir de ahí se incrementa de una manera significativa.

El segundo riego debe ser aplicado días antes de floración (inicio de la tercera semana de abril) con el propósito de no afectar la cantidad y distribución del polen y evitar que el raquis del racimo se marchite prematuramente. Este riego permite sostener el crecimiento de raíces ya que durante la floración alcanza sus máximos valores.

El tercer riego de auxilio es el más importante , y se debe aplicar al amarre del fruto. Este permite que no se afecte la división y elongación de las células del fruto, ni la movilización de reservas hacia los frutos y otras partes de la planta para su almacenamiento y utilización en el siguiente ciclo.

El cuarto riego se debe de aplicar a los 20 días después del 3º, ya que permitirá mantener en forma adecuada el crecimiento del fruto y acumulación de reservas.

El quinto riego de auxilio se debe aplicar al inicio del envero (mediados de junio), para sostener el segundo crecimiento de la baya, acumulación de azúcares, reservas y el segundo crecimiento de raíces que se inician junto con el envero.

El sexto y último riego se debe aplicar a los 20 días después de la aplicación del quinto riego, para que se completen en forma adecuada los procesos mencionados en el quinto riego. Después de cosecha no se debe aplicar agua con el propósito de someter a estrés a la planta para inducir y mantener la dormancia de yemas y así mejorar la brotación temprana e incrementar el por ciento de yemas brotadas en el siguiente ciclo.

## **CONCLUSIONES**

De acuerdo a la información analizada en los diferentes experimentos realizados en estos cultivos en la Comarca Lagunera, podemos concluir lo siguiente:

### **IMPACTO SOCIOECONOMICO Y AMBIENTAL**

Los resultados obtenidos de investigación, proponen criterios y estrategias de cuándo regar y cantidad de agua a aplicar en las diferentes etapas fenológicas, y a través de los años en los diferentes cultivos. Si la información generada es complementada con tecnologías de manejo de los cultivos, se puede ahorrar cuando menos de 30 a 40 % del volumen de agua aplicado y se incrementa en más de un 50 % la producción y calidad de los cultivos.

Lo anterior, permitirá al productor obtener un beneficio económico doble al gastar menos energía en la extracción del agua del subsuelo y obtener una mayor rentabilidad y sostenibilidad de estos cultivos. La reducción del volumen de agua que se extrae del acuífero, también tiene impacto en disminuir significativamente su abatimiento.

### **APLICACIÓN DE LOS RESULTADOS DE LA INVESTIGACIÓN**

Los resultados obtenidos en estos estudios sobre el riego, aportan conocimiento de cómo usar de manera más eficiente el agua en cultivos de importancia económica. Estos resultados obtenidos en el área que ocupa la Comarca Lagunera, pueden ser relevantes a nivel estatal y nacional en los sectores Agrícola y Pecuario.

En la Comarca Lagunera, la tecnología de cómo regar nogal y vid se está aplicando en un 60 % de la superficie ocupada por estos cultivos.

Para que esta información sea aplicada en 100 % de la superficie, es importante organizar talleres y días de demostración complementados con diferentes tipos de publicaciones, para dar a conocer la información generada a través de la investigación en el uso eficiente del agua.

## **PERSPECTIVAS**

La problemática que plantea la contaminación y el descenso drástico del nivel freático del acuífero aunado a la crisis de baja disponibilidad de agua en las presas, indican que a futuro se llegará a un punto de insuficiencia del vital líquido aún para las actividades más básicas. Es importante que las autoridades gubernamentales a nivel municipal, estatal y nacional como la Comisión Nacional del Agua (CONAGUA), regulen la extracción de agua del acuífero para evitar la degradación del mismo.

En futuros experimentos, se deberá utilizar a la planta como indicador de cuándo regar, por su confiabilidad. Además de que las metodologías que utilicen a la planta como indicador, deberán permitir que la información que generen sea extrapolable a otras regiones.

## BIBLIOGRAFÍA

- Avalos M, A. 1994. Uso del agua durante la brotación y crecimiento inicial del brote en el nogal (*Carya illinoensis* K.) a diferentes inicios de riego. Tesis de Postgrado. Centro de Investigación y Graduados Agropecuarios. ITA No. 10: 80 p.
- Calva T, J.L. 1992. Efectos de un tratado trilateral de libre comercio en el sector agropecuario mexicano. En: Calva et al., 1992. La agricultura mexicana frente al tratado de libre comercio. pag. 9-31.
- Callejas J, M. 2002. Utilización del riego subsuperficial en el nogal pecanero para incrementar la producción y calidad y disminuir la lámina de agua utilizada. Tesis de Maestría. Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro. 60 p.
- Doorenbos, J. and W.O. Pruitt. 1975. Guidelines for predicting crop water requirements. Irrigation and Drainage Paper 24. FAO. Rome, Italy.
- Godoy A, C. 1987. Aplicación del riego por goteo en vid y nogal. INIFAP. Campo Agrícola Experimental de la Laguna. Folleto Técnico N° 3. 17p.
- Godoy A, C. 1988. Alternativas y estrategias para eficientar el uso y aprovechamiento del agua para la vid en la Comarca Lagunera. 1er Ciclo Internacional de Conferencias sobre Viticultura. SARH. INIFAP. CIFAP. Torreón, Coah. México. pp: 1-15.

- Godoy A, C. 1990. Funciones de producción del agua y sus usos en la agricultura. Taller en metodología de investigación y diagnóstico en relación agua-suelo-planta atmósfera. SARH. INIFAP. pag. 225-242.
- Godoy A, C. 1996. Crecimiento y desarrollo del pecanero (*Carya illinoensis* K) cv. Western y su relación con unidades calor, evapotranspiración y días. ITEA. 92: 49 – 57.
- Godoy A, C., E.C.A. Torres., J.I. Reyes y D.M.A. Martínez. 1995. Sistemas de irrigación y eficiencia en el uso del agua. Proyecto de Investigación. Fundación Produce. Coahuila. 53 pag.
- Godoy A., C y I. López M. 1986. Riego en la Vid. Resúmenes 18º Día del viticultor. Centro de Investigaciones Agrícolas del Norte. Campo Agrícola Experimental de la Laguna. Publicación Especial No. 20. pp: 19-24.
- Godoy A., C y I. López M. 1990. Relación entre la producción y consumo de agua en combinaciones de 24 portainjertos y dos cultivares de vid (*Vitis vinifera* L.). ITEA. 86: 25-35.
- Godoy A, C. y I. Lopez M. 1993. Los portainjertos de vid para eficientar el uso de agua en condiciones de filoxera, nemátodos y pudrición texana en la Comarca Lagunera. Memorias del II Ciclo Internacional de Conferencias sobre Viticultura. Hermosillo, Sonora. pag. 26-30.
- Godoy A, C., I. Reyes J., C.A. Torres E., M.V. Huitrón R., J. C. López Ch, y J. Morales V. 1999. Tecnología de riego en nogal pecanero. Libro Científico No. 1. Primera Edición. SAGAR. INIFAP. CIFAP-Comarca Lagunera. 116p (En prensa).

- Godoy A, C. y J. C. López Ch. 1997. Patrón de extracción y requerimientos de agua en diferentes etapas fenológicas en el nogal. *Terra*. 15(19) : 1 – 6.
- Godoy A., C. y M. V. Huitrón R. 1995. Uso de agua en cultivares de vid durante la brotación y crecimiento inicial del brote. *TERRA*. 13: 255-263.
- Godoy A, C. y M.V. Huitrón R. 1996. Relaciones hídricas de hojas y frutos del pecanero (*Carya illinoensis* K) durante su crecimiento y desarrollo. *Agrociencia*. (En revisión).
- Godoy A, C. y M.V. Huitrón R. 1998. Relaciones hídricas de hojas y frutos de nogal pecanero durante el crecimiento y desarrollo de la nuez. *Agrociencia*. 32: 331-337.
- Herrera, E. 1990. Fruit growth and development of Ideal and Western pecans. *J. Amer. Soc. Hort. Sci.* 115: 915 – 923.
- Hsiao T.C. and K.J. Bradford. 1982. Physiological consequences in cellular water deficits. In: H.M. Taylor, W.R. Jordan and T.R. Sinclair (Eds.). *Efficient water use in crop production*. Agr. Soc. Am., Madison, Wisconsin. pag. 227-266.
- Huitrón R, M.V. y A.C. Godoy. 1995. Función de producción y eficiencia en el uso del agua para ocho cultivares de vid en la Comarca Lagunera. *TERRA*. 13 (2): 156-165.
- Larque S, A. 1989. Incremento en la eficiencia de uso de agua por trasplante. Experiencias con maíz frijol en condiciones de temporal. Colegio de Postgraduados. Centro de Botánica, Chapingo, México. pag. 105-117.

- Loomis, R.S. and W.A. Williams. 1963. Maximum crop productivity. An estimate. Crop Sci. vol 3: 67-72.
- Matthews, M.A., M.M. Anderson and H.R. Schultz. 1987. Phenologic and growth responses to early and late season water deficits in Cabernet franc. Vitis. 26: 147-160.
- Miyamoto, S. 1983. Consumptive water use of irrigated pecans. J. Amer. Hort. Sci. 108: 676 - 681
- Muñoz O, A. 1980. Resistencia a la sequía y mejoramiento genético. Ciencia y Desarrollo. N° 33: 26-27.
- Nava C, U. and M.K.F. Byerly. 1990. Análisis del uso de insecticidas en el cultivo del algodón en la Comarca Lagunera. Resúmenes de Día del Algodonero. SARH. INIFAP. pag. 9-13.
- Palacios V, E. 1975. Productividad, ingreso y eficiencia en el uso del agua en los distritos de riego en México. C.P. ENA. Rama de Riego y Drenaje, Chapingo, México. pag. 11-15.
- Rodríguez Z, C. 1989. La tasa de uso de agua y del nutriente. El agua en las plantas cultivadas. Colegio de Postgraduados. Centro de Botánica, Chapingo, México. pag. 81-94.
- Salazar M., J.M. 1997. Evaluación de cuatro portainjertos de vid (*Vitis vinifera* L.) sometidos a cuatro niveles de evapotranspiración. Tesis de maestría. Centro de Investigación y Graduados Agropecuarios. Inst. Tec. Agropecuario # 10. 55 p.



- Semarnap. 1995. Programa hidráulico 1995-2000. Poder ejecutivo federal. Secretaría de Medio Ambiente, Recursos Naturales y Pesca. 54 pag.
- Sparks, D. 1989. Predicting nut maturity of the pecan from heat units. Hortscience 24: 454 – 455.
- Sparks, D. 1993. Manejo de huertas de nogal en climas cálidos: con énfasis en problemas de apertura del ruzno. Memorias XII Conferencias Internacionales Sobre el Cultivo del Nogal. Hermosillo, Son. Pag. 66 – 79.
- Sparks, D. 1995. Water, water, water, especially in September. Pecan South 28: 4 – 5.
- Sparks, D. and I. E. Yates. 1995. Anatomy of Schuck Abscission in Desirable Pecan. J. Amer. Soc. Hort. Sci. 120: 790- 797.
- Sparks, D., W. Reid, I.E. Yates, M.W. Smith and T.G. Stevenson. 1995. Fruiting estrés induces schuck decline and premature germination in pecan. J. Amer. Soc. Hort. Sci. 120: 43-53.
- Stein, A.S. 1994. Manejo de agua en nogales. Memorias de las Conferencias Internacionales sobre el cultivo del Nogal. Piedras Negras, Coah., pag. 13 – 18.
- Stein, L. A., G. A. Mc Eachern and J.B. Storey. 1989. Summer and fall moisture stress and irrigation scheduling influence pecan growth and production. Hortscience 24: 607 – 611.

## FÉ DE ERRATAS

*pág.*

*Dice*

*Debe decir*

38

Por esta razón, los valores  
mostrados en el Cuadro 4...

Por esta razón, los valores  
mostrados en el Cuadro 6...