

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA AGRARIA ANTONIO NARRO

UNIDAD LAGUNA

DIVISIÓN DE CARRERAS AGRONÓMICAS



**ANÁLISIS DE LA EVAPOTRANSPIRACIÓN CON FINES DE PLANEACIÓN DEL
RIEGO EN LA COMARCA LAGUNERA**

P O R

GUADALUPE GARCÍA HERRERA

MONOGRAFIA

PRESENTADA COMO REQUISITO PARCIAL PARA OBTENER EL TÍTULO DE:

INGENIERO AGRÓNOMO EN IRRIGACIÓN

TORREÓN, COAHUILA, MÉXICO.

MARZO DE 2013.

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA AGRARIA ANTONIO NARRO
UNIDAD LAGUNA

DIVISIÓN DE CARRERAS AGRONÓMICAS

ANÁLISIS DE LA EVAPOTRANSPIRACIÓN CON FINES DE PLANEACIÓN DEL
RIEGO EN LA COMARCA LAGUNERA

P O R

GUADALUPE GARCIA HERRERA

MONOGRAFÍA

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

INGENIERO AGRONOMO EN IRRIGACIÓN

COMITÉ PARTICULAR



Ph. D. VICENTE DE PAÚL ÁLVAREZ REYNA

PRESIDENTE



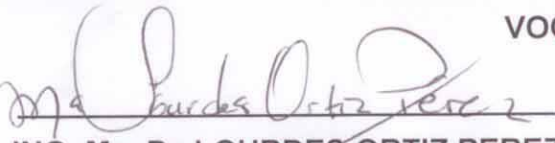
M.C. FEDERICO VEGA SOTELO

VOCAL



M.C. EDGARDO CERVANTES ÁLVAREZ

VOCAL



ING. Ma. De LOURDES ORTIZ PEREZ

VOCAL SUPLENTE



DR. FRANCISCO JAVIER SÁNCHEZ RAMOS
COORDINADOR DE CARRERAS AGRONÓMICAS



Coordinación de la División de
Carreras Agronómicas

TORREÓN, COAHUILA. MÉXICO.

MARZO DE 2013

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA AGRARIA ANTONIO NARRO
UNIDAD LAGUNA

DIVISIÓN DE CARRERAS AGRONÓMICAS

ANÁLISIS DE LA EVAPOTRANSPIRACIÓN CON FINES DE PLANEACIÓN DEL
RIEGO EN LA COMARCA LAGUNERA

P O R

GUADALUPE GARCIA HERRERA

MONOGRAFÍA

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

INGENIERO AGRÓNOMO EN IRRIGACION

REVISADO POR EL COMITÉ ASESOR

ENERO DE 2013

Ph. D. VICENTE DE PAUL ALVAREZ REYNA

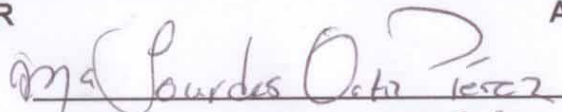
ASESOR PRINCIPAL


M.C. FEDERICO VEGA SOTELO

ASESOR


M.C. EDGARDO CERVANTES ÁLVAREZ

ASESOR


ING. Ma. De LOURDES ORTIZ PÉREZ

ASESOR

Dr. FRANCISCO JAVIER SÁNCHEZ RAMOS

COORDINADOR DE LA DIVISIÓN DE CARRERAS AGRONÓMICAS



la División de
Carreras Agronómicas

TORREÓN, COAHUILA. MÉXICO.

MARZO DE 2013

AGRADECIMIENTOS

A dios por darme la vida y no desampararme en ningún momento, y fuerza para seguir superándome.

A mi “alma Terra mater” por su generosidad de permitirme ser uno más de sus hijos pidiéndome a cambio solo mi desarrollo personal como profesional.

A mis asesores por su tiempo y paciencia en la revisión de este trabajo.

A mis profesores que durante la carrera me proporcionaron los conocimientos y herramientas necesarias para salir adelante y lograr mi formación profesional.

A mis compañeros y amigos gracias por su amistad, cariño y apoyo incondicional para terminar la carrera y realización de este trabajo.

A todos mis amigos, que sería difícil nombrarlos a cada uno de ellos que saben quiénes son y lo mucho que los aprecio.

A todas las personas que de una forma u otra han intervenido parte de mi vida...

DEDICATORIAS

A mis padres: Sr. Pedro García Quiñonez y Sra. Roció Herrera Villagrana, por la educación que me han brindado, valores que me inculcaron base de mi formación, gracias a su amor, consejos, apoyo y esfuerzos que realizaron que al final rindieron su fruto.

A mis hermanos Pedro, Roció, Benito, e Isidro, por brindarme su apoyo, depositar en mi su confianza y apoyo incondicional, que además de ser mis hermanos ser unos amigos gracias.

A mis abuelos Juan Vicente, Alicia Villagrana y Benito García por sus sabios consejos y apoyo, de igual manera a mis tíos y primos que en lapsos de mi vida fueron gran apoyo para mi familia.

A mis compañeros de la carrera profesional (2008-2012)

ÍNDICE GENERAL

AGRADECIMIENTOS.....	iii
DEDICATORIAS.....	iv
ÍNDICE GENERAL	v
ÍNDICE DE CUADROS.....	vi
RESUMEN	vii
I. INTRODUCCIÓN	1
II. JUSTIFICACIÓN	3
III. OBJETIVOS	4
IV. META.....	4
V. REVISIÓN DE LITERATURA.....	5
5.1. Evapotranspiración	5
5.2. Determinación de la ETo	7
5.3. Métodos de medición de evapotranspiración o métodos directos	8
5.4. Métodos de estimación de evapotranspiración o métodos indirectos.....	9
5.5. Evapotranspiración real	11
VI. MÉTODOS.....	14
VII. CULTIVOS.....	15
7.1. Cultivo de sorgo.....	15
7.2. Cultivo de maíz	16
7.3. Cultivo de trigo	18
7.4. Cultivo de frijol	19
7.5. Cultivo de algodón	20
7.6. Cultivo de nogal.....	21
7.7. Cultivo de alfalfa.....	22
IX. LITERATURA CITADA.....	31

ÍNDICE DE CUADROS

Cuadro 1. Factores de conversión para expresar evapotranspiración	7
Cuadro 2. Valores de ETx, por relación y función de producción para el cultivo del sorgo.	16
Cuadro 3. Valores de ETx, por relación y función de producción cultivo del maíz.....	17
Cuadro 4. Valores de ETx, por relación y función de producción para el cultivo del trigo.	19
Cuadro 5. Valores de ETx, por relación y función de producción para el cultivo del frijol.	20
Cuadro 6. Valores de ETx, por relación y función de producción para el cultivo de algodonero.....	21
Cuadro 7. Valores de ETx, por relación y función de producción para el cultivo de nogal variedad Western para una densidad de población de 74 árboles	22
Cuadro 8. Valores de ETx, por relación y función de producción para el cultivo de alfalfa	24
Cuadro 9. Requerimientos de riego (cm) simulado en el Programa de Riego, para forrajes en la Región Lagunera.....	25

RESUMEN

Con la finalidad de recabar información de interés para la agricultura, sobre la producción de cultivos con mayor importancia en la región y su relación con el agua en función de producción; surge este proyecto de investigación realizando una búsqueda extensa con propósitos de planeación del riego en la Comarca Lagunera, con la finalidad de concentrar esta información en un documento útil para los diferentes lectores interesados en la producción de cultivos con una buena programación de riego.

Esta investigación es de utilidad ya que considera el análisis de la evapotranspiración máxima (Etx) de algunos de los principales cultivos, con propósitos de planeación del riego en las unidades de producción. Al respecto, se realizó una revisión de literatura que comprendió de 1978 al año 2001 con la finalidad de conocer los resultados de las investigaciones realizadas regionales. Se establece la posibilidad de ajustar los modelos de Evapotranspiración, tales como Priestley-Taylor, Penman, Penman- Monteith y Hargreaves, en base a la Etx. Se concluye la necesidad de definir cuidadosamente el valor de Etx, preferentemente a aquellos obtenidos a partir de funciones de producción y balances hidrológicos para cada ciclo agrícola.

Palabras clave: Riego, Evapotranspiración, Planeación, Análisis, Calendarización.

I. INTRODUCCIÓN

En los distritos y sistemas de riego, los administradores deben planear con anticipación sobre la base del volumen disponible y volumen demandado por los cultivos. Al mismo tiempo, el Patrón de Cultivos debe ser establecido con el supuesto de maximizar los ingresos netos para pequeños propietarios, bajo ciertas restricciones (Palacios y García, 1989). Así, el plan de riego, es un programa que fija la superficie de riego en función de la disponibilidad y demanda requerida por el cultivo ya sea mensual o decenal. El objetivo, es conciliar y aprovechar al máximo los recursos agua, suelo, planta, clima e infraestructura disponible (Espinoza, 1978). Es decir, suministrar al suelo la humedad en cantidad y tiempo requerido por los cultivos para la obtención del rendimiento óptimo (Lira, 1986).

Esto indica que, en la realización de un plan de riego de modelación ambiental para cultivos susceptibles en la Comarca Lagunera, es necesario primero, partir del conocimiento del intervalo de riego, duración del riego, lámina total aplicada a nivel predio que incluya pérdidas de conducción y aplicación; eficiencias de aplicación y conducción, frecuencia de riego, número de riegos, lámina requerida (afectado por abatimiento permisible), determinación del déficit de humedad y del abatimiento permisible (Lozano 1964). Así como también del conocimiento de parámetros agronómicos, tales como, profundidad radicular, duración del cultivo, fecha de siembra y capacidad de almacenamiento del suelo y lámina de evapotranspiración máxima (ETx) por cultivo. Es decir, el agua pérdida por una cubierta vegetal la cual está creciendo bajo condiciones no restrictivas

(óptimas). Sin embargo, en este proceso, la práctica más importante y difícil de realizar es la estimación de Etx. Su importancia estriba primero, en que el rendimiento de los cultivos es función de este componente, y segundo en que en proporción, la evapotranspiración representa el 50 por ciento del balance hidrológico (Hernández, 1990., Morales, 1990). Es difícil, primero, por la gran cantidad de muestreos gravimétricos requeridos y tiempo así como, por el costo del instrumental necesario en la medición de las variables de los métodos indirectos. Esto significa, tener la oportunidad de aplicar el conocimiento ya generado por los centros de investigación regionales respecto al tema.

II. JUSTIFICACIÓN

El plan de riego, es un programa por ciclo agrícola que fija la superficie de riego en función de la disponibilidad y demanda requerida. La planeación hidroagrícola de los ciclos agrícolas en los Distritos no se ha aprovechado en su máximo potencial. Los planes permiten analizar diferentes escenarios y prevenir conflictos bajo condiciones de baja disponibilidad.

Antes de iniciar un año agrícola, los administradores de un distrito de riego, en los diferentes niveles de operación, deben de elaborar con anticipación un plan de riego que define como se utilizará el agua disponible dada una demanda generada a partir de un plan de cultivos. La elaboración de estos planes es una tarea difícil que requiere de conocimientos básicos de estadística, operación, hidrología, e ingeniería de riego y drenaje.

Bajo condiciones de baja disponibilidad y alta competencia por agua, se requiere de una estrategia integral del manejo del agua que permita mejorar la productividad del agua, prestando atención en tecnologías adaptables a las condiciones y restricciones de cada Distrito. Una de las herramientas principales de esta estrategia es la planeación.

III. OBJETIVOS

El objetivo del presente trabajo fue realizar una investigación sobre la literatura ya existente para conocer los valores de evapotranspiración máxima de algunos de los principales cultivos en la Comarca Lagunera con propósitos de planeación del riego.

IV. META

Recopilar la información de interés e importancia sobre el manejo del riego en cultivos de mayor relevancia en el Distrito de Riego (017).

V. REVISIÓN DE LITERATURA

5.1. Evapotranspiración

Se conoce como evapotranspiración (ET) la combinación de dos procesos separados por los que el agua se pierde a través de la superficie del suelo por evaporación y por otra parte mediante transpiración del cultivo.

La evaporación y transpiración ocurren simultáneamente y no hay una manera sencilla de distinguir entre estos dos procesos. Aparte de la disponibilidad de agua en los horizontes superficiales, la evaporación de un suelo cultivado es determinada principalmente por la radiación solar que llega a la superficie del suelo.

Esta fracción disminuye a lo largo del ciclo del cultivo a medida que el follaje del cultivo proyecta más sombra sobre el suelo. En las primeras etapas del cultivo, el agua se pierde principalmente por evaporación directa del suelo, pero con el desarrollo del cultivo y finalmente cuando este cubre totalmente el suelo, la transpiración se convierte en el proceso principal. En el momento de la siembra, casi el 100% de la ET ocurre en forma de evaporación, mientras que cuando la cobertura vegetal es completa, más del 90% de la ET ocurre como transpiración.

La evapotranspiración se expresa normalmente en milímetros (mm) por unidad de tiempo. Esta unidad expresa la cantidad de agua pérdida de una superficie cultivada en unidades de altura de agua. La unidad de tiempo puede ser una hora, día, 10 días, mes o incluso un ciclo de cultivo o un año.

Como una hectárea tiene una superficie de $10\,000\text{ m}^2$ y 1 milímetro es igual a $0,001\text{ m}$, una pérdida de 1 mm de agua corresponde a una pérdida de 10 m^3 de agua por hectárea. Es decir 1 mm día^{-1} es equivalente $10\text{ m}^3\text{ ha}^{-1}\text{ día}^{-1}$.

La altura del agua se puede también expresar en términos de la energía recibida por unidad de área. Esto último se refiere a la energía al calor requerido para vaporizar el agua. Esta energía, conocida como el calor latente de vaporización (λ), es una función de la temperatura del agua. Por ejemplo, a 20°C , λ tiene un valor de cerca de $2,45\text{ MJ Kg}^{-1}$. Es decir $2,45\text{ MJ}$ son necesarios para vaporizar 1 kilogramo ó $0,001\text{ m}^3$ de agua.

Por lo tanto, un aporte de energía de 2,45 MJ por m² puede vaporizar 0,001 m ó 1 milímetro de agua, y entonces 1 milímetro de agua es equivalente a 2,45 MJ m⁻². La evapotranspiración expresada en unidades del MJ m⁻² día⁻¹ se representa por λ ET, el flujo del calor latente(FAO 2006).

Cuadro 1. Factores de conversión para expresar evapotranspiración

	Altura de agua	volumen por unidad de área		Energía por unidad de área *
	mm dia-1	m ³ ha ⁻¹ dia-1	l s-1 ha-1	MJ m-2 dia-1
1 mm dia-1	1	10	0,116	2,45
1 m ³ ha-1 dia-1	0,1	1	0,012	0,245
1 l s-1 ha-1	8,640	86,40	1	21,17
1 MJ m-2 dia-1	0,408	4,082	0,047	1

* Para el agua con una densidad de 1 000 kilogramos m-3 y a 20 °C.(FAO 2006).

5.2. Determinación de la ETo

En la medida en que se considere simultáneamente el mayor número de factores que intervinieron, mejor será el conocimiento del funcionamiento del proceso de evapotranspiración y consecuentemente también su determinación.

Efectivamente, este aspecto permite establecer diferencias entre los métodos actualmente utilizados para determinar la evapotranspiración.

Algunos consideran las condiciones reales del ambiente y momento en que se quiere dimensionar la magnitud del proceso; otros, en cambio, sólo toman en cuenta algunas de ellas. Desde este punto de vista se puede hablar de dos

grandes grupos de métodos: por unaparte, los métodos que se pueden denominar demedición o directos, y los métodos de estimación o indirectos (FAO 2006).

5.3. Métodos de medición de evapotranspiración o métodos directos

Los métodos de *medición* o *directos* calculan la evapotranspiración a través del control de ingreso y egresosde agua en el suelo que posee una cubierta vegetal; por ello miden o cuantifican directamente la evapotranspiración en cualquier cultivo o tipo vegetal para las condiciones de suelo, clima y disponibilidad de agua del lugar en estudio. Estos métodos, aunque entregan mejores resultados más cercanos a la realidad, usualmente son costosos, engorrosos y requieren de tiempo para llegar a resultados concluyentes(Vallejos, 1972; Espíldora, *et al.*, 1975). Por otra parte, los resultados que se obtienen son puntuales y válidos sólo para los cultivos en que se desarrollan y condiciones geográficas en las cuales se han aplicado. Estos métodos sonlos que se utilizan en los estudios agronómicos y forestales.

Dadas las condiciones que requieren para su aplicación, estos métodos son utilizados en el estudio de pequeñas áreas y los cálculos se efectúan en el momento del estudio.

A pesar de sus ventajas en cuanto a precisión, para los valores obtenidos con los métodos de medición no son realmente exactos debido a las fuentes de error y las limitaciones propias de cada método.Espíldora et al,(1975) por lo tanto también pueden considerarse sólo estimaciones, aunque como tales se

consideran los métodos de estimación o indirectos que se tratarán en el siguiente apartado.

Los métodos directos son numerosos y pueden ordenarse según distintos criterios; no obstante, se mencionan aquí los grandes grupos señalados por Espíldora et al, (1975) por considerar los más frecuentemente indicados en otras referencias: (a) estanques, (b) lisímetros, (c) parcelas y superficies naturales de ensayo y (d) métodos de los volúmenes afluentes y efluentes del balance hidrológico. Especificaciones de características, condiciones de uso, evaluación de resultados y aplicaciones pueden consultarse en: Salgado (1966), Cifuentes (1971), Quezada (1972), Espíldora *et al.* (1975), Tosso (1976), Huber y Ramírez (1978), Rojas (1994), Huber y García (1999), entre otros.

5.4. Métodos de estimación de evapotranspiración o métodos indirectos

A pesar de que los métodos directos son más precisos para determinar la evapotranspiración, son difíciles de aplicar por las razones señaladas en el apartado inmediatamente anterior, por ello lo más común en estudios de grandes áreas (región o país en nuestro caso) es utilizar diversas fórmulas, ecuaciones o modelos basados en diferentes variables meteorológicas o climáticas de fácil disposición a partir de la red de estaciones meteorológicas convencionales (Cifuentes, 1971; Tosso, 1974; Rovira, 1976). Los métodos *indirectos* son los más utilizados en los estudios geográficos y medioambientales.

Se trata por lo general de simplificaciones de algunos de los métodos directos ya señalados, que a través de correlaciones entre medidas obtenidas por aquéllos y medidas de una o más variables climáticas o meteorológicas han permitido derivar ecuaciones empíricas para estimar la evaporación de un ambiente determinado. Generalmente la calibración de estos métodos se hace con mediciones realizadas con lisímetros o en parcelas experimentales (Sánchez, 1999).

Se han propuesto cientos de ecuaciones empíricas, muy variables en cuanto a complejidad, lo que determina que los datos necesarios para aplicarlas sean de disposición también variable. Los datos requeridos son habitualmente proporcionados por estaciones meteorológicas completas.

Los métodos indirectos se han empleado en todo el mundo para caracterizar grandes áreas. El período más habitual para el cual se realizan los cálculos de evapotranspiración con estos métodos ha sido tradicionalmente el anual y mensual, en estudios geográficos o de carácter climático general. Sin embargo, en la actualidad y con fines agronómicos, forestales o hidrológicos aplicados, en términos generales de uso racional del agua, están ganando importancia los métodos aplicados a períodos diarios y horarios.

Los métodos de estimación son empleados para determinar la evapotranspiración en su límite máximo, tal como es determinado por los conceptos de ETP o ETo, antes definidos, pero también entregan una aproximación sobre la magnitud efectiva o real del proceso, lo cual es considerado

por el concepto de ETC. Para determinar la ETC con estos métodos, las características propias del cultivo y humedad del suelo quedan incorporadas a través de la aplicación de coeficientes de cultivo (K_c) con los cuales se ponderan los valores de ETC obtenidos.

La determinación de una u otra acepción del proceso de evapotranspiración, sea ETP, E_{To} o ETR, constituye un criterio de clasificación de los métodos. No obstante lo anterior, ellos se pueden dividir en función de las variables que utilizan para estimar la evapotranspiración.

5.5. Evapotranspiración real

La evapotranspiración real es la cantidad de agua, expresada en mm/día, que es efectivamente evaporada desde la superficie del suelo y transpirada por la cubierta vegetal. En general cuando se aborda el punto de la evapotranspiración real se hace referencia a la que se obtiene en un balance de humedad en el suelo.

En un balance hídrico, la evapotranspiración de referencia sólo se lleva a cabo cuando el suelo dispone de bastante agua para suplirla, de modo que en los períodos de poca humedad en el suelo el valor de la pérdida de humedad puede ser menor que el calculado, para un mes en concreto sería la suma de la precipitación en ese periodo y la reserva de agua del suelo al inicio del mismo. Solo cuando el valor anterior supera a la evaporación de referencia, puede satisfacerse ésta y, en este caso, coincide con la real, el exceso de agua permanece como reserva del suelo. En los períodos más húmedos, dicho exceso,

puede superar la capacidad de reserva y existirá una evacuación de la sobrante por drenaje o escorrentía superficial si la permeabilidad del suelo es inferior a la intensidad de la precipitación.

Cuanto mayor es la evapotranspiración real de una zona mayor es la formación de biomasa vegetal en la misma, si bien existe una limitación en función de la fertilidad del suelo, que podría constituirse en el factor limitante del crecimiento.

Son muchos los autores que (principalmente en agroclimatología, e ingeniería del riego) que considera el concepto de evapotranspiración real (ETreal) y de evapotranspiración del cultivo (ETc). Así el concepto de Etc hace referencia al agua que es evaporada desde el suelo y transpirada por la planta. Desde el punto de vista de la programación del riego, la ETreal es fundamental, tanto en lo que se refiere a la frecuencia de la aplicación, como la cantidad de agua a aplicar. Por otro lado, estimaciones adecuadas de la ETreal de un cultivo permiten cuantificar la disponibilidad del recurso y determinar el dimensionamiento de las obras hidráulicas. En agricultura, la ETreal se calcula indirectamente usando la de referencia (ETr), la cual es corregida por un coeficiente de cultivo específico para cada especie agrícola.

Además, la ETreal se puede medir directamente usando los métodos micrometeorológicos (Sistemas Bowen y flujos turbulentos) y del balance hídrico (lísímetro de pesada). Estos instrumentos son utilizados en centros de investigación, para desarrollar coeficientes de cultivo y realizar calibraciones de modelos empíricos que relacionan la ETreal con una o más variables meteorológicas (Rovira, 1976).

VI. MÉTODOS

En la evapotranspiración máxima (ETx), se realizó una revisión de literatura sobre algunos de los cultivos más importantes en la Comarca Lagunera en diferentes instituciones de investigación y en diferentes proyectos de titulación. Los cultivos que se investigaron fueron: alfalfa, algodón, avena, ballico, frijol, maíz grano y forrajero., nogal, sorgo forrajero, trigo.

Se obtuvieron en total 44 valores de ETx (cm) para los diversos cultivos. Se encontró una variedad para referirse a la evapotranspiración, tales como, evapotranspiración real, evapotranspiración, lámina consumida, lámina total consumida, evapotranspiración actual, requerimientos hídricos, requerimientos por etapa. El nombre con mayor frecuencia fue el de evapotranspiración real (Etr). Igualmente se encontró en la mayoría de los casos, que la estrategia en la obtención de la Etr fue mediante la generación de funciones de producción, es decir, producción de materia seca (ton/ha) vs evapotranspiración real (cm), así como la estimación mediante el uso del lisímetros. Algunos valores fueron obtenidos a través de simulación y otros mediante balances hidrológicos. Finalmente, algunos autores únicamente mencionan el valor de Etr sin describir la forma en que lo obtuvieron.

VII. CULTIVOS

7.1. Cultivo de sorgo

En el Cuadro 2, se exponen los valores de ETx, por relación y función de Producción para el cultivo del sorgo. De los cuatro valores mostrados en el, las relaciones 1 y 2 corresponden al sorgo grano con 68 y 61 cm, respectivamente. Valores propuestos por Godoy (1990), con base en funciones de producción, considerando la materia seca del producto económico por m³ de evapotranspiración real. El mismo autor reporta un r² de 0.87 y C.V. de 14.46 % para la segunda relación y una Eficiencia en el Uso del Agua de 1.5 (kg/m³). Sin embargo, Morales (1999) reporta la relación 3 y 4 con 72.79 y 73.19 cm respectivamente. Estos valores son referenciados al sorgo forrajero de primavera. Calculados por el método gravimétrico con muestreos continuos durante todo el ciclo vegetativo con un enfoque de balance hidrológico. En contraste, Cantú (2001), reporta en el Cuadro 9, valores de ETx¹, ETx², ETx³ de 65, 54.81 y 70 cm y 55 y 49.77 cm correspondientes a primavera y verano de sorgo forrajero (relaciones 37 y 39). ETx¹, indica, que los valores reportados por el autor fueron obtenidas a partir de simulaciones con el Programa Riegos, tomando información de investigaciones realizadas en el CIAN y CENID-RASPA. Semejantemente, ETx², corresponde a valores promedio de 20 años (1976 a 1998), simulados con el mismo programa. Finalmente, ETx³, presenta, los valores obtenidos a partir de la funciones de producción. Esto quiere decir, que el valor de ETx es cuando la función alcanza la máxima EUA.

Cuadro 2. Valores de ETx, por relación y función de producción para el cultivo del sorgo.

Modelo	Et _x (cm)	No. Relación	Fuente
M.S.= 601 +145 (Etr)	68	1	Godoy, 1990
M.S.= -28.609 + 1.126618 (Etr) -0.00856 (Etr) ²	61	2	Godoy, 1990
Et _x = 72.79	72.79	3	Morales, 1999
Et _x = 73.19	73.19	4	Morales, 1999

7.2. Cultivo de maíz

En el Cuadro 3 se muestran los valores de ET_x, por relación y función de producción, para el cultivo del maíz. En el caso del cultivo de maíz, se encontraron 10 valores de ET_x. Las relaciones del 5 al 8 fueron obtenidas en base a funciones de producción.

Por otra parte la relación 9, fue obtenida con enfoque de balance hidrológico., y las relaciones 10 y 11 fueron obtenidas a partir de mediciones hechas en lisímetros. Godoy (1990) reporta para este cultivo un valor de 70 cm con una EUA de 2.3 kg de producto económico/ m³. Faz *et al.* (1999) reportan el mismo valor en híbridos de maíz forrajero., obteniendo un r² de 0.9512. Inzunza (1993) obtuvo tres valores; el primer con 79.19 cm, a partir del rendimiento de grano vs. lamina consumida., para obtener 6.54 ton /ha, con un r² de 0.44 y un C.V. de 24.03%. El segundo de 93.3 cm, a partir de rendimiento de materia seca (RMS) vs. lamina total consumida, con un r² de 0.82 y un C.V. de 7.45%. El tercer valor reportado por el mismo autor fue de 79.4 cm a partir de rendimiento de grano vs. lamina consumida con un r² de 0.66 y un C.V. de 19.5% .

Morales, (1999) encontró el valor de 68.69 cm para maíz forrajero de primavera. Realizando muestreos gravimétricos continuos durante el desarrollo del cultivo. Posteriormente, el valor 72.4 corresponde a Inzunza (1986) citado por Tijerina (1986). Estos autores no proporcionan mayor información.

La cantidad de 49.07 cm, fue reportada por García (1978). Finalmente, los siguientes valores 70, 69.50 y 65 cm simulados para maíz forrajero de primavera y 60.0 y 57.11 cm para verano correspondientes a ETx^1 , ETx^2 , ETx^3 respectivamente. Estos mismos valores son reportados por Cantú (2001) en el Cuadro 9 para las relaciones 36 y 38.

Cuadro 3. Valores de ETx , por relación y función de producción cultivo del maíz.

Modelo	Et_x (cm)	No. Relación	Fuente
M.S.=-3109 +231 (Etr)	70	5	Godoy 1990
M.S.=0.2912 (Etr)-2.3572	70	6	Faz, et al 1999
M.S.=-8.5094+0.3801 (Etr)-0.0024(Etr) ²	79.19	7	Inzunza, 1993
RMS=3.3519+0.0766 (Etr)	93.3	7	Inzunza, 1993
M.S.= -8.923+0.413 (Etr)-0.0026(Etr) ²	79.4	8	Inzunza, 1993
ET _x =68.69	68.69	9	Morales, 1999
ET _x =72.4	72.4	10	Inzunza, 1986
ET _x = 49.07	49.07	11	García, 1978

7.3. Cultivo de trigo

En el Cuadro 4, se exponen los valores de ETx, por relación y función de producción para el cultivo del trigo. Se encontró la relación 12 con valor de 72 cm, reportada por Godoy (1990) y obtenida a partir de la función de producción de kilogramos de materia seca de producto económico vs agua real evapotranspirada (m^3) con una EUA de 0.9 (kg/m^3).

En el mismo cuadro, Inzunza (1989) aunque no presenta valor de ETx en la relación 13, si presenta una función de producción en base a evapotranspiración por etapas., donde Etr1; es el consumo de agua en la etapa vegetativa y Etr2; es el consumo en la etapa reproductiva. El r^2 obtenido para la función fue de 0.82. Por otra parte, el valor de 60 cm reportado por Faz y Reta (1990) en la relación 14, fue derivado igualmente de una función de producción del rendimiento de grano vs. Etr. El coeficiente de determinación (r^2) logrado fue de 0.94. Posteriormente, Jasso y Luna (1993) reportan el valor 40.1 cm. Ellos utilizaron los modelos de Inzunza (1989), para predecir el rendimiento de grano, considerando la etapa vegetativa y reproductiva.

Las relaciones 16 y 17 fueron obtenidas a partir de modelos de simulación, con valores de 49.8 y 52.7 cm, finalmente, fueron derivados de 3 y 4 riegos, con el Modelo de Reddy, con un r^2 de 0.918. Semejantemente los valores de 53.8 y 63.2 cms, son los obtenidos con el Modelo de Palacios con un r^2 de 0.546. Finalmente, García (1986), presenta el valor de 87.78 cm., obtenido en lisímetro en el año de 1983.

Cuadro 4. Valores de ETx, por relación y función de producción para el cultivo del trigo.

Modelo	Et_x (cm)	No. Relación	Fuente
M.S.= -2234+207 (Etr)-1.1 (Etr) ²	92	12	Godoy, 1990
M.S.= -1.3587+0.1969(Etr ₁)-0.00245(Etr ₁) +0.08293(Etr ₂)-0.0004(Etr ₂)- 0.00007(Etr ₁)(Etr ₂)		13	Inzunza, 1989
M.S.=-5165+0.18873(Etr)-0.001202(Etr) ²	60	14	Faz y Reta 1990
Et _x = 40.1	40.1	15	Jasso y Luna, 1993
M.S.= (Modelo de Reddy)	49.8 y 52.1	16	Jasso, 1993
M.S.= (Modelo de Palacios)	53.8 y 63.2	17	Jasso, 1993
Et _x = 87.78, (Lisímetro)	87.78	18	García, 1986

7.4. Cultivo de frijol

En el Cuadro 5, se presentan los valores de ET_x, por relación y función de producción para el cultivo del frijol. Godoy (1990) reporta el valor de 50 cm con un a EUA de 0.5 kg de producto económico por m³ de agua real evapotranspirada.

En el mismo cuadro la relación 20 no reporta valor de ET_x, sin embargo, presenta una función de producción desarrollada por Catalán (1983). Finalmente Catalán (1993) reporta en la relación 21 el valor de 50.5 cm de ET_x, con un r² de 0.7252 y un C.V 10.1 por ciento., obteniendo 2.76 ton de grano /ha.

Cuadro 5. Valores de ETx, por relación y función de producción para el cultivo del frijol.

Modelo	Et _x (cm)	No. Relación	Fuente
M.S.=-371+109.7 (Etr) -1.1 (Etr) ²	50	19	Godoy, 1990
M.S.=-0.7245+0.1135(Etr)-0.0010(Etr) ²		20	Catalán, 1986
M.S.= -0.8823+0.1188(Etr)-0.0010(Etr) ²	50.5	21	Catalán, 1993

7.5. Cultivo de algodón

En el

Cuadro 6, se presenta los valores de ET_x, por relación y función de producción para el cultivo del algodón. Godoy (1990) reporta 86 cm, en la relación 22, con una EUA., de 0.3 kilos de producto económico /m³ de agua real evapotranspirada.

Jasso y Luna (1990) reportan tres valores en la relación 23, 65, 50, y 55 cm, posteriormente para una densidad de población de 55, 90 120 mil pl/ha. 4, 3, 3 riegos, con un rendimiento (ton/ha) de 3.14, 3.35 y 3.11 respectivamente.

Finalmente en la relación 24 del mismo cuadro, García (1986), reporta un valor de ET_x de 98.85 cm. Estimada por lisímetro de pesada con 6 riegos a intervalos de 0-57-22-12-12-15 en 1979.

Cuadro 6. Valores de ETx, por relación y función de producción para el cultivo de algodónero.

Modelo	Et _x (cm)	No. Relación	Fuente
M.S.= $-584 + 47.5 (Etr) - 0.27 (Etr)^2$	86	22	Godoy, 1990
M.S.= (65, 50, 50)	65, 50, 50	23	Jasso y Luna, 1990
Et _x = 98.85 (Lisímetro)	98.85	24	García, 1986

7.6. Cultivo de nogal

En el Cuadro 7 se exponen los valores de ET_x, por relación para el cultivo del nogal variedad Western. Godoy *et al.* (2000), reportan una matriz de datos de doble entrada que relaciona el consumo de agua (cm) con el diámetro del tronco (cm) a un metro de altura a partir del suelo, para una población de 70 árboles /ha.

Al mismo tiempo, se reportan los consumos a partir del mes de marzo y finaliza en el mes de noviembre. Esto es, porque durante los primeros meses del año hasta antes de la brotación de los árboles se ha encontrado que el consumo del agua y pérdida por evaporación directa del suelo es bastante bajo. En base a ello se utilizó la matriz de datos y se realizó una regresión lineal simple, con el propósito de conocer la ET_x en función del diámetro del tronco (cm).

Obteniendo, un r^2 de 0.9535. En base a ello, el valor de 132.2 cm., reportado en el Cuadro 6, se derivó para un diámetro de tronco de 50 cm.

Además, los autores recomiendan variar la frecuencia de riego a partir de la receptividad del estigma e inicio de estado acuoso, máximo estado acuoso y crecimiento de almendra a razón de 50% 65-70%, y 80-85% de H. A. respectivamente.

Cuadro 7. Valores de ETx, por relación y función de producción para el cultivo de nogal variedad Western para una densidad de población de 74 árboles

Modelo	Et _x (cm)	No. Relación	Fuente
Et _x = 18.06733333+2.28295879 (diámetro) 132.2	132.2	25	Godoy <i>et al.</i> , 2000

7.7. Cultivo de alfalfa

En el

Cuadro 8 se exponen los valores de ET_x, por relación y función de producción para el cultivo alfalfa. Moreno *et al.* (2000) presentan una ET_x de 181.2 cm., 170 cm Inzunza (1989) expone los requerimiento hídricos con un riego entre cortes. Además presenta el valor de 218 cm de ET_x con 4 riegos entre cortes pero el rendimiento no es significativo.

Jasso (1989) encontró el valor de 160 cm de requerimientos en el establecimiento del cultivo. Rodríguez (1989) reporto, 165 cm de lamina de riego

obtenidos por aspersión, con 119 ton/ha de forraje verde al 50% de abatimiento de humedad., así como también, 188 cm obtenido por riego por superficie, con 92 ton/ha de forraje verde al 70% de humedad aprovechable. Inzunza (1993) presenta cuatro relaciones. Todas ellas obtenidas a partir de la generación de funciones de producción. La primera de ellas corresponde a 175 cm de evapotranspiración vs. rendimiento de forraje verde en el segundo año (RMV^2), con un r^2 de 0.81 y un C. V. de 14.9%. Al mismo tiempo, menciona que al aplicar una cantidad mayor de 175 cm no es conveniente, ya que el incremento en producción de forraje verde anual no es significativo.

En la relación 31 el mismo autor reporta 175 cm con un r^2 de 0.98 y un C. V. de 11.6%, correspondiente al rendimiento de forraje seco para el segundo año, menciona que con 261 cm se obtiene 33.3 ton/ha, pero el rendimiento no es significativo. Igualmente, reporta el valor de 185 de evapotranspiración con r^2 de 0.89 correspondiente al rendimiento de forraje verde en el tercer año. Sin embargo, al aplicar una cantidad mayor de 185 cm no es conveniente, ya que el incremento en producción de forraje verde anual (RMV_3) tampoco es significativo. Valor también citado por Catalán (1993). Finalmente, el cuarto valor presentada por el mismo autor corresponde a 175 cm, con un r^2 de 0.72 y C.V de 16.3% para rendimiento de forraje seco en el tercer año (RMS_3). Igualmente señala, que no es conveniente aplicar una lamina mayor de 175 cm ya que el incremento en la producción de forraje seco anual no es significativo. Por otra parte, Núñez *et al*(1999) citado por Cantú (2001) expone la cantidad de 180 cm de ETx.

Cuadro 8. Valores de ETx, por relación y función de producción para el cultivo de alfalfa

Modelo	Et _x (cm)	No. Relación	Fuente
Et _x = 181.2	181.2	26	Moreno et al 2000
Et _x = 170.0	170	27	Inzunza, 1989
Et _x = 160.0	160	28	Jasso, 1989
Et _x = 165.0	165	29	Rodríguez, 1989
Et _x = 188.0	188	30	Rodríguez, 1989
$RMV_2 = -44.661 + 1.527(Etr) - 0.0029(Etr)^2$	175	31	Inzunza, 1993
$RMS_2 = 0.2556(Etr) - 0.0005(Etr)^2$	175	32	Inzunza, 1993
$RMV_3 = -64.01476 + 1.2299(Etr) - 0.0021(Etr)^2$	185	33	Inzunza, 1993
$RMS_3 = 11.83 + 0.28(Etr) - 0.00052(Etr)^2$	175	34	Inzunza, 1993
Et _x = 180	180	35	Núñez, 1999, citado por Cantú 2001

Finalmente, en el en el Cuadro 9, se presentan, los requerimientos de riego (cm) simulados en el Programa Riegos, para ballico anual con 121.81 y 120 cm para ET_x² y ET_x³, respectivamente. En el mismo cuadro, y con el mismo procedimiento de estimación, se presentan los valores para el cultivo de avena

forrajera los cuales corresponden a 58.52 y 55 cm, para ETx² y ETx³ , respectivamente.

En el Cuadro 9 se reportan los valores simulados por Cantú, (2001) en el programa riegos. Para el primer, segundo y tercer año de ETx¹ corresponden 150, 150 y 140 cm, respectivamente. Igualmente, los valores de 223.13, y 170 cm corresponden para ETx² y ETx³, respectivamente.

Cuadro 9. Requerimientos de riego (cm) simulados en el Programa Riegos, para forrajes en la Región Lagunera. Cantú, 2001

CULTIVO FORRAJERO	ETx ¹	ETx ²	ETx ³	Relación
Maíz primavera	70	69.50	65	36
Sorgo primavera	65	54.81	70	37
Maíz verano	60	57.11		38
Sorgo verano	55	49.77		39
Ballico anual	100	121.81	120	40
Avena forrajera	60	58.52 cereal	55	41
Alfalfa 1 ^{er} año	150			42
Alfalfa 2 ^{do} año	150	223.13	170	43
Alfalfa 3 ^{er} año	140			44

En resumen, el término que mas apareció en la revisión de literatura fue el de evapotranspiración real. Algunos autores refieren la estimación de ETx a días después de la siembra, y no es claro si el valor incluye tanto el llenado de la capacidad de almacenamiento del suelo (riego de aniego) como el decremento de humedad a partir de capacidad de campo hasta el momento de la siembra.

Además, la mayoría de los valores fueron obtenidos a través de la generación de funciones de producción. Es decir, de la relación entre la materia seca o verde del producto económico vs. evapotranspiración real. Esto permitió, conocer la EUA y en consecuencia la cantidad de ETx en que se obtiene la máxima producción de rendimiento. En este sentido, los valores obtenidos con este enfoque pueden ser considerados como ideales. Otra forma de medición fue mediante lisímetros. En este punto, dado las condiciones del lisímetro de pesada no es posible establecer un diseño estadístico con repeticiones suficientes y tamaño de parcela experimental adecuados, como en el caso anterior. En consecuencia, no permite conocer con mejor exactitud la EUA del cultivo, es por esta razón que los valores de Etx obtenidos para alfalfa son muy altos (mayores de 1800 mm) ya que el cultivo responde a la aplicación de agua pero el rendimiento no es significativo.

Por otra parte también fueron usados los modelos de simulación de Palacios y Reddy y otros valores de ETx fueron obtenidos mediante muestreos gravimétricos. Este último, con enfoque de balance hidrológico, algunos otros autores únicamente reportan el valor sin mencionar la forma en cómo lo obtuvieron. En el caso del cultivo de la alfalfa se presenta una variación 170 hasta 223 cm de ETx. y algunos autores reportan valores tanto para el establecimiento del cultivo, como para el segundo y tercer año de edad. Esta variación puede ser atribuible al manejo propiamente dicho, es decir, al número de cortes dados al cultivo, dado que el coeficiente de cultivo (K_c) se ve afectado. Por otra parte,

algunos autores no refieren si el dato reportado corresponde a cultivos de primavera o verano tales como maíz, sorgo, ni tampoco, si el cultivo es de grano o forraje, ni tampoco, mencionan el periodo de duración de la medición de la ETx.

En la figura 1 se indica la función de rendimiento de materia seca en relación a la evapotranspiración real, también se muestra la evapotranspiración máxima cuando el rendimiento es también máximo, sin embargo de acuerdo a la revisión de literatura el rendimiento no es significativo ($E_{tx\ a}$), en contraste el valor de la evapotranspiración máxima cuando la función alcanza la máxima eficiencia de agua ($E_{tx\ b}$).

Si consideramos la relación:

$$E_{tx} = E_{tp} (k_{cg}) \quad Ec. 1$$

Entonces despejando K_c nos queda:

$$K_{cg} = E_{tx} / E_{tp} \quad Ec 2$$

Donde E_{tx} es la evapotranspiración máxima, E_{tp} es la evapotranspiración potencial global del cultivo de referencia del mejor modelo de E_t en cm, y K_c es el coeficiente de cultivo global.

Con esto se quiere decir que el valor de $E_{tx\ b}$ puede ser sustituido en la ecuación Ec. 2, quedando entonces:

$$K_{cg} = E_{tx\ b} / E_{tpg} \quad Ec 3$$

Entonces la relación de la evapotranspiración real del cultivo esta dado por la relación

$$E_{tr} = E_{tp} K_{cg} K_c \quad Ec 4$$

Donde E_{tr} es el consumo de agua en un momento dado en cm, E_{tp} es la evapotranspiración potencial en un momento dado en cm, y K_c es el coeficiente de cultivo.

figura 1

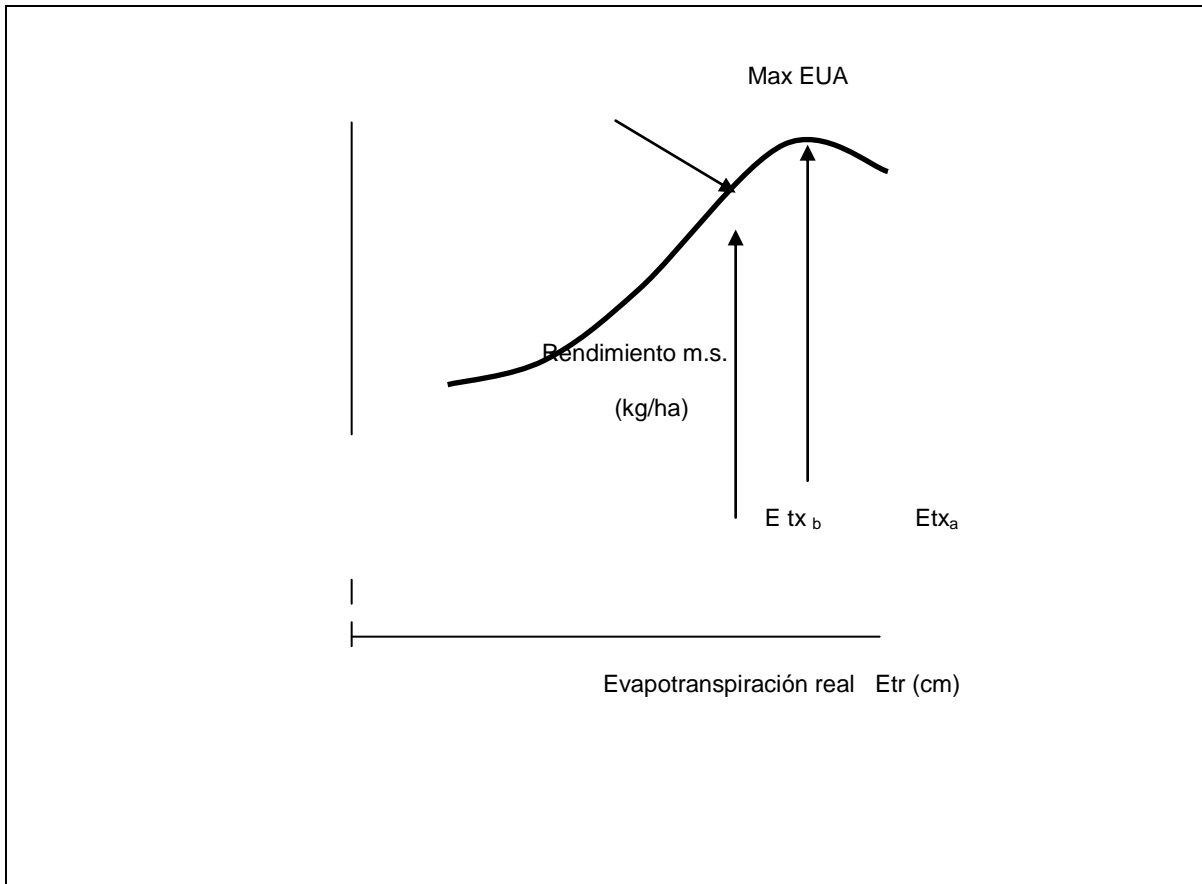


Figura 1. Relación entre la función de producción de materia seca del cultivo, evapotranspiración máxima (E_{tx}) y eficiencia en el uso del agua (EUA).

Lo antes expuesto, hace pensar en que al momento de seleccionar un valor de E_{Tx} , debemos cuidar y considerar en la forma en cómo se obtuvieron. Desde este punto de vista las funciones de producción tienen aplicabilidad en la planeación del riego en la producción en los cultivos para maximizar la producción

en áreas con cantidades limitadas de agua de riego suplementario o que dependen completamente de la lluvia (Godoy, 1990).

Desde el punto de vista de planeación del riego la información presentada por Cantú (2001) es la ideal ya que hace diferencia entre usos de cultivos ya sea de grano y forraje precisando sobre el ciclo agrícola para cada uno de ellos. Así como también presenta valores de Etx del cultivo de alfalfa acorde años de desarrollo del cultivo. Sin embargo los valores de Etx fueron obtenidos a partir de simulación.

VIII. CONCLUSIONES

La evapotranspiración se debe controlar ya que es una parte muy importante la cual una parte se evapora y otra es por transpiración del cultivo, así que es recomendable la realizar una buena planeación de riego para que el cultivo tenga la cantidad de agua necesaria y así obtener mayor producción.

IX. LITERATURA CITADA

- Cantú, B., J.E. 2001. Modelo de producción sustentable de forrajes para producción de leche en regiones con limitantes de agua. Tesis doctoral. FAZ-UJED. Venecia Dgo. 75-82 y 109.
- Catalán, V., E.A. 1993. Función de producción de uso de agua del cultivo de frijol. Informe de investigación. CENID-RASPA. vol 5. cap III p. 125-137.
- Cifuentes L., Carlos P. (1971): Evapotranspiración potencial en lisímetros y ecuaciones empíricas. Tesis para optar al título de Ingeniero Agrónomo. Escuela de Agronomía, Universidad de Concepción. Chillán.
- Espinoza de L, E. 1978. Planes de riego. Sus elaboración, interpretación, ejecución y ajuste. Operación de distritos de riego. Centro de Capacitación en Irrigación y Drenaje. El Carrizo, Sin. Mex. Tomo I. 4^{ta} edición, Me p 185-208, 231-230.
- Espíldora C., Basilio; Brown F., Ernesto; Cabrera F., Guillermo E Isensee M., Pablo (1975): Elementos de Hidrología. Centro de Recursos Hidráulicos, Departamento de Obras Civiles, Facultad de Ciencias Físicas y Matemáticas, Universidad de Chile. Santiago.
- Food and Agriculture Organization of the United Nations (FAO) (1990). "Annex V FAO Penman – Monteith Formula". Report on Expert consultation on

revision of FAO methodologies for crop water requirements, FAO, Roma, Italia, 23 pp.

Faz C., y D. G. Reta S. 1990. Modelo para predecir rendimiento de grano de trigo en función de Etr y un calendario de riego para la Comarca Lagunera. XXIII Congreso Nacional de la Ciencia del Suelo. Resúmenes. Gómez Palacio, Dgo. Méx. P. 337.

Faz, C., R. Núñez, H., G. y Contreras, G., F. E. 1999. Manejo de Riegos en la producción de maíz forrajero. Componentes tecnológicos para la producción de ensilados de maíz y sorgo. SAGAR- INIFAP-CAELALA. Pag. 9-11.

García, H., G. 1986. Evapotranspiración de cultivos anuales en la Comarca Lagunera. Memorias del taller sobre lisimetría. Estudios de evapotranspiración. Campo agrícola experimental Gómez palacio. INIFAP-SARH. Pag. 193-206.

Godoy, C., A. 1990. Funciones de producción del agua y sus usos en la agricultura. Metodología de investigación y diagnóstico en relación agua-suelo-planta-atmósfera. CENID-RASPA-INIFAP. Gómez Palacio, Dgo, Mex. Pag. 225-236.

Godoy, A, C., Reyes, J, I., Morales, V, J. 2000. Necesidades de agua por el nogal. Tecnología de riego en el nogal pecadero. INIFAP-SAGAR. CAELALA, Matamoros, Coah. Pag. 21-28.

Hernández, Y., C. 1990. Programa para el cálculo de evapotranspiración potencial. Folleto Misceláneo Num 1. CENID-RASPA. SARH. Gómez Palacio, Dgo.

- Huber, A. y J.García, C. (1999). Variaciones anuales en precipitación, escurrimiento e intercepción en un bosque adulto de *Pinus radiata* D. Don. Turrialba 42(2):p.192-199.
- Huber, A. Y A. Ramírez. (1999). Efecto de una plantación de *Pinus radiata* en la distribución espacial del contenido de agua del suelo. Bosque 21(1): p.37-44.
- Inzunza, I., M. A. 1989. Requerimientos hídricos de la alfalfa en la fase productiva. Riegos en alfalfa. Resumen del 1er. Día de Demostración Técnica. CENID-RASPA. INIFAP- SARH. Gómez Palacio Dgo, Mex. PAG. 7-12.
- Inzunza I., M. A. 1989. Metodologías de funciones de producción a variaciones de régimen de humedad del suelo. Informes de Investigación. CENID-RASPA-INIFAP-SARH. Gómez Palacio, Dgo. P 95-123.
- Inzunza, I., M. A. 1993. Función de producción del maíz a diferentes contenidos de humedad del suelo. Informe de investigación. CENID-RASPA. VOL 5. CAP I. P. 65-85.
- Inzunza, I., M. A. 1993. Respuesta de la alfalfa a diferentes contenidos de humedad del suelo (tres años de estudio). Informe de investigación. CENID-RASPA. Vol 5. Cap. III P. 163-214.
- Jasso I., R. 1989. Requerimientos hídricos de la alfalfa en el establecimiento. Resumen del 1er. Día de Demostración Técnica. Riegos en el Alfalfa. CENID RASPA-INIFA-SARH. P. 1-6.
- Jasso I., R y Luna D., E. 1993. Parcela de validación para predicción del rendimiento de trigo mediante funciones de producción. Informe de Investigación 1990. CENID-RASPA. Vol. 5. Cap III, p. 255-265.

- Jasso I. R. 1993. Simulación de balance de humedad del suelo bajo condiciones de cultivo comercial. Informe de Investigación 1990. CENID-RASPA. Vol. 5., Cap. III, p. 272-282.
- Lozano M, J. 1964. Guía práctica para el riego. Agricultura de las Américas. Kansas City, Missouri. P 167.
- Lira, S. R. H. 1986. Desarrollo de la investigación sobre evapotranspiración. Memorias del taller sobre lisimetría. Estudios de evapotranspiración. Campo agrícola experimental Gómez palacio. INIFA-SARH. Pag. 1-5.
- Mojarro, D, F. 1990. Evapotranspiración y requerimientos hídricos por los cultivos. Metodología de investigación y diagnóstico en relación agua-suelo-planta-atmósfera. CENID-RASPA-INIFAP. Gómez Palacio, Dgo, Mex. Pag.182.
- Morales, V. J. 1999. Evaluación del riego en el Modulo No XIII, La Marinera. Modulo de Riego XIII, Distrito de Riego 017, Región Lagunera, Coahuila.
- Moreno, D., L., García, A.,D, Faz, C., R. 2000. Manejo del riego en la alfalfa. Producción y utilización de la alfalfa en la zona norte de México. Libro Técnico N 2. SAGAR, INIFAP, CAELALA. Pag. 114-115.
- Núñez, H.G., J. Santamaría c., y R. Faz C. 1999. Resultados de investigación en forrajes de alta calidad nutritiva con condiciones limitantes de riego en la Región Lagunera. Optimización del uso del agua de riego. Memorias de la XII Semana Internacional de Agronomía. FAZ-UJED. Gómez Palacio, Dgo. 6-8 de Septiembre. Grupo Industrial LALA. Nov. 11-13 Torreón, Coah.
- Palacios, V, E., y García, A, E. 1989. Introducción a la teoría de la operación de distritos de y sistemas de riego. Centro de Hidrociencias. Colegio de Pastgraduados. ED. Futura S.A. P 62,65.

- _____1980. Relación entre suelo –planta agua. Servicio de Conservación de Suelos. Departamento de Agricultura de los Estados Unidos de América. Editorial Diana. Mex. P 55-89.
- Quezada Landeros, Celerino Matías (1972): Evapotranspiración y efecto de la frecuencia de riego en los rendimientos de tres cultivos. Tesis para optar al título de Ingeniero Agrónomo. Facultad de Agronomía, Universidad de Concepción. Chillán.
- Rojas C. Nelson Z. (1994): Determinación de la evapotranspiración de *Pinus radiata* D. Don en vivero, mediante lisímetro de drenaje. Memoria para optar al título de Ingeniero Agrónomo. Departamento de Producción Vegetal, Facultad de Agronomía, Universidad de Concepción. Chillán.
- Rovira P., Adriano (1976): Selección de fórmula para estimar evapotranspiración potencial en Chillán-Chile. *Notas Geográficas*. Número 7, págs. 31-44.
- Tijerina, L, CH. 1986. Determinación de la evapotranspiración de cultivos anuales en el Valle de México. Memorias del taller sobre lisimetría. Estudios de evapotranspiración. Campo agrícola experimental Gomez Palacio. INIFA-SARH. P 177.
- Salgado S., Luis G.(1966): Métodos para determinar evapotranspiración actual y potencial. Tesis para optar al título de Ingeniero Agrónomo. Facultad de Agronomía, Universidad de Concepción. Chillán.
- Sánchez M., M.I. (1999): Estimación de evapotranspiración a través de datos meteorológicos e imágenes de satélite. Tesis doctoral. Departamento de Geografía, Facultad de Filosofía y Letras, Universidad de Alcalá. Alcalá de Henares, Madrid, España.

Tosso T., Juan (1974): Nueva fórmula para la determinación de evapotranspiración en Chile. Instituto de Investigaciones Agropecuarias. Estación Experimental La Platina. Programa de Riego.

Tosso T., Juan (1976): Determinaciones de evapotranspiración y coeficientes K para varios cultivos. *Agricultura Técnica*, Volumen 36, Número 4, págs. 151-155.

Vallejos S, Juan J. (1972): Fórmula para estimar la transpiración potencial de los cultivos. Tesis para optar al título de Ingeniero Agrónomo. Departamento de Edafología, Escuela de Agronomía, Universidad Católica de Chile. Santiago.