CENTRO DE INVESTIGACIÓN EN QUÍMICA APLICADA

PROGRAMA DE MAESTRÍA EN AGROPLASTICULTURA

Determinación de los Flujos de Vapor de Agua (H_2O) y Bióxido de Carbono (CO_2) de una Huerta de Manzano (*Malus x domestica* Borkh) en la Sierra de Arteaga, Coahuila.

TESIS

Presentada por:

ELDER OSVALDO DÍAZ LEYVA

Para obtener el grado de:

MAESTRO EN CIENCIAS EN AGROPLASTICULTURA

Saltillo, Coahuila, México. **Febrero, 2016.**

Saltillo, Coahuila a 15 de marzo de 2016

Coordinación de Posgrado
Presente

Por este conducto nos permitimos informar a esta coordinación que, en virtud de que el documento de tesis de **ELDER OSVALDO DÍAZ LEYVA** titulada "Determinación de los Flujos de Vapor de Agua (H_2O) y Bióxido de Carbono (CO_2) de una Huerta de Manzano (Malus x domestica Borkh) en la Sierra de Arteaga, Coahuila" el cual fue presentado el día 26 de febrero de 2016, ha sido modificado de acuerdo a las observaciones, comentarios y sugerencias, por lo anterior no tenemos ningún inconveniente en que se imprima y mande a empastar esta versión final del documento de tesis.

Atentamente,

SINODALES

Dr. Luis Ibarra Jiménez
Presidente

Dr. Marco Antonio Arellano García
Secretario

M.C. Adolfo Baylon Palomino
Vocal

Vo. Bo. Asesor

Dr. Juan Munguía López

TESIS CON CARACTER ABIERTO

PROGRAMA: MAESTRÍA EN CIENCIAS EN AGROPLASTICULTURA

AUTOR: ELDER OSVALDO DÍAZ LEYVA **FIRMA** _____

TITULO: Determinación de los Flujos de Vapor de Agua (H_2O) y Bióxido de Carbono (CO_2) de una Huerta de Manzano (Malus x domestica Borkh) en la Sierra de Arteaga, Coahuila

ASESOR: Dr. Juan Munguía López **FIRMA** _____

El Centro de Investigación en Química Aplicada clasifica el presente documento de tesis como ABIERTO.

Un documento clasificado como Abierto se expone en los estantes del Centro de Información para su consulta. Dicho documento no puede ser copiado en ninguna modalidad sin autorización por escrito del Titular del Centro de Información o del Director General del CIQA.

Saltillo, Coahuila, a 26 **de** Febrero **de** 2016

Sello de la Institución

Dr. Oliverio Santiago Rodríguez Fernández
Director General del CIQA

CENTRO DE INVESTIGACIÓN EN QUÍMICA APLICADA
Programa de Maestría en Ciencias en Agroplasticultura

TESIS

Determinación de los Flujos de Vapor de Agua (H_2O) y Bióxido de Carbono (CO_2) de una Huerta de Manzano (Malus x domestica Borkh) en la Sierra de Arteaga, Coahuila

Presentada por:

ELDER OSVALDO DÍAZ LEYVA

Para obtener el grado de:

Maestro en Ciencias en Agroplasticultura

Asesorado por:

Dr. Juan Munguía López

SINODALES

Dr. Luis Ibarra Jiménez
Presidente

Dr. Marco Antonio Arellano García
Secretario

M.C. Adolfo Baylon Palomino
Vocal

Saltillo, Coahuila **Febrero, 2016**

DECLARACIÓN

Declaro que la información contenida en la Parte Experimental así como en la Parte de Resultados y Discusiones de este documento y que forman parte de las actividades de investigación y desarrollo realizadas durante el período que se me asignó para llevar a cabo mi trabajo de tesis, será propiedad del Centro de Investigación en Química Aplicada.

Saltillo, Coahuila a 26 de febrero de 2016

ELDER OSVALDO DÍAZ LEYVA

Nombre y Firma

AGRADECIMIENTOS

Al **Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología**, por otorgarme el apoyo económico durante el periodo del programa de Maestría en Ciencias en la Agroplasticultura.

Al **Centro de Investigación en Química Aplicada** por brindarme la oportunidad de realizar un posgrado y ser un facilitador para el desarrollo de mi trabajo de investigación.

Al **Centro de Edafología y Biología Aplicada del Segura** por darme la oportunidad de realizar mi estancia de investigación en sus instalaciones.

Al **Dr. Juan P. Munguía López** por el constante apoyo brindado en ésta investigación, mediante su orientación, consejos, sugerencias y esfuerzo, pero sobretodo la paciencia y confianza que manifestó a lo largo de éste proceso.

Al **MC. Adolfo Baylon Palomino** por su colaboración en éste trabajo, por ser una persona cuyos consejos facilitaron muchas tareas y por compartir su experiencia de campo conmigo.

Al **Dr. Alejando Zermeño González** por su apoyo brindado en todo momento y por siempre compartir su conocimiento y buen humor.

A ustedes amigos que laboran en CEBAS, a ti **María del Carmen Ruiz**, **Juan Vera**, **Mari** y presupuesto al gran compañero y muy buen amigo **Wenceslao Conejero**, por la confianza, paciencia y sobretodo la calidez humana que mostraron hacia mí en todo momento..

Al **Comité de Sinodales** por el tiempo y esfuerzo dedicado a mi trabajo.

Al cuerpo de **Docentes** y **Técnicos** que colaboraron en mi formación. A todos y cada uno de ustedes muchas gracias.

Al personal **Administrativo,** especialmente a **Gladys de los Santos Villareal**, **Imelda Vargas** y **Nancy Espinosa** por el apoyo y la confianza brindada.

A todos mis **Compañeros** y **Amigos de generación**. Especialmente a aquellos que compartieron más tiempo conmigo frente al horno de microondas del comedor **Víctor H. Avendaño A., Dulce C. Gonzales S., Eliud A. García S., Lorenzo A. Zamorano M.** y **Moisés Felipe V.**.

A ti **Clara Sánchez García (Sgar)** por tu constante apoyo. Por ser parte fundamental de mi vida, por brindarme tu cariño y amor. Y sobre todo por ser esa persona a quien no me canso de admirar.

DEDICATORIA

Con la humildad y sencillez que me han educado. Hoy me es grato dedicar el fruto de mi trabajo a ustedes mis queridos padres **Sra. Josefina Leyva Mérida** y **Sr. Antonio Díaz Cota**, porque con su constante apoyo los obstáculos por más grandes que parezcan siempre son sencillos de resolver. A ustedes mis queridos hermanos **Alma Yareli Díaz Leyva** y **Carlos Eduardo Díaz Leyva** porque a pesar de los años siguen siendo mi fuente de inspiración.

A toda mi familia y amigos sin distinción alguna. Ya que en todo momento he podido contar con ustedes.

A mis abuelos paternos **Sr. Julio Díaz Hernández** y **Sra. Transita de la Asunción Cota García (+)**

A mis abuelos maternos **Sr. Rito Leiva Alba (+)** y **Sra. Mercedes Evelia Mérida Montejo.**

El hombre es del tamaño de sus sueños

(Fernando Pessoa)

ÍNDICE

ÍNDICE DE CUADROS v

ÍNDICE DE FIGURAS vii

LISTA DE SÍMBOLOS PRINCIPALES x

RESUMEN xi

I. INTRODUCCIÓN 1

I.1 Generalidades del manzano (*Malus x domestica* Borkh). 1

I.1.1 Descripción botánica y morfológica 1

I.1.2 Clasificación taxonómica. 2

I.1.3 Origen geográfico 2

I.1.4 Distribución mundial de la producción de manzana. 3

I.1.5 Importancia del manzano en México, zonas de establecimiento y superficie establecida 4

I.1.6 Importancia económica del manzano en el estado de Coahuila. 5

I.2 Requerimientos climáticos, edáficos, hídricos y prácticas culturales del manzano. 5

I.2.1 Técnicas de producción de manzano 5

I.2.2 Clima 6

I.2.3 Suelo 7

I.2.4 Riego 8

I.2.5 Uso de mallas antigranizo en huertas manzaneras 8

I.2.6 Requerimientos hídricos del manzano 9

I.3 Métodos para estimar los requerimientos hídricos del manzano a partir de la evapotranspiración. 10

I.3.1 Determinación del consumo de agua por los cultivos a partir de la evapotranspiración de cultivo. 11

I.3.1.1 Coeficiente de desarrollo de cultivo 11

I.3.2 Métodos en función en variables del suelo. 12

I.3.2 Métodos basados en variables climáticas 13

I.3.2.1 Método FAO Penman Monteith 13

I.3.3 Métodos micrometeorológicos para calcular la evapotranspiración y flujos de CO_2 de cultivo. 16

I.4 Estudios realizados empleando técnicas micrometeorológicas 19

I.6 Intercambio neto de CO_2 en huertas de manzano y otros cultivos 21

I.7 Variables de importancia en el cultivo de manzano 22

I.7.1 Potencial hídrico xilemático y de la hoja 22

I.7.2 Área foliar 25

I.7.3 Índice de área foliar 25

I.7.4 Fotosíntesis 26

I.7.5 Transpiración 27

II. JUSTIFICACIÓN 28

III. HIPÓTESIS 30

IV. OBJETIVOS 31

IV.1 Objetivo general 31

IV.2 Objetivos específicos 31

V. MATERIALES Y MÉTODOS 32

V.1.1 Sitio de estudio 32

V.1.2 Características de la huerta de manzano 32

V.2 Instrumentación y variables evaluadas 33

V.2.1 Ubicación de la estación EC 33

V.2.2 Componentes de la estación EC 34

V.3 Variables fenológicas del cultivo de manzano medias con equipo no automatizado. 37

V.3.2 Fotosíntesis 38

V.3.3 Potencial hídrico xilemático 39

V.3.4 Índice de área foliar 40

V.4 Evaluación de la producción de manzano en la huerta Roncesvalles. 41

VI. RESULTADOS Y DISCUSIÓN 42

VI.1 Índice de área foliar 42

VI.2 Potencial hídrico xilemático 44

VI.3 Rendimiento 49

VI.4 Evapotranspiración del cultivo de manzano en diferentes etapas fenológicas. 49

VI.5 Análisis de la asimilación de CO_2 en la huerta manzanera medida con el método puntual y el poblacional (EC). 56

VI.6 Efecto de la malla antigranizo sobre la radiación solar total. 61

VI.7 Efecto de la malla antigranizo en los componentes del BE en la huerta manzanera Roncesvalles en la Sierra de Arteaga, Coahuila. 63

VII. CONCLUSIONES 70

VIII. BIBLIOGRAFÍA..... 71

ÍNDICE DE CUADROS

Cuadro 1.- Lista de los principales países productores de manzana en el mundo (USDA, 2015). 4

Cuadro 2.- Rango de valores de Potencial Hídrico Ψx para árboles con buen riego (sin estrés) de varias especies de cultivo perennes. Los valores se observaron cerca del mediodía en días despejados. 24

Cuadro 3.- Sensores utilizados para la medición de variables en la huerta manzanera Roncesvalles en el ejido los Lirios 35

Cuadro 4.-Análisis estadístico del promedio de tres muestreos del LAI de dos variedades de manzano cultivadas en la Huerta Roncesvalles en la Sierra de Arteaga, Coahuila, en DJ 252, 269 y 290, en el año 2014. 44

Cuadro 5. Mediciones de potencial hídrico xilemático (Ψx) de dos variedades de manzano cultivadas en el rancho Roncesvalles en la sierra de Arteaga, Coahuila, durante el año 2014. 45

Cuadro 6. Rendimientos de dos variedades de manzano en la Huerta Roncesvalles en la sierra de Arteaga, Coahuila en el año 2014. 49

Cuadro 7. Cálculo y medición de la evapotranspiración del cultivo de manzano durante el cuajado del fruto, empleando diferentes metodologías en la huerta manzanera del rancho Roncesvalles en la Sierra de Arteaga, Coahuila, durante el año 2014. 50

Cuadro 8. Cálculo y medición de la evapotranspiración del cultivo de manzano durante la maduración del fruto, empleando diferentes metodologías en la huerta manzanera del rancho Roncesvalles en la Sierra de Arteaga, Coahuila, durante el año 2014. 51

Cuadro 9.- Cálculo y medición de la evapotranspiración del cultivo de manzano durante la etapa de poscosecha fruto, empleando diferentes metodologías en la huerta manzanera del rancho Roncesvalles en la Sierra de Arteaga, Coahuila, durante el año 2014. 52

Cuadro 10.- Cálculo y medición de la evapotranspiración del cultivo de manzano durante la senescencia, empleando diferentes metodologías en la huerta manzanera del rancho Roncesvalles en la Sierra de Arteaga, Coahuila, durante el año 2014. 53

Cuadro 11. Cálculo y medición de la Evapotranspiración del cultivo de Manzano al inicio de la dormancia, empleando diferentes metodologías en la huerta manzanera del rancho Roncesvalles en la Sierra de Arteaga, Coahuila, durante el año 2014.54

Cuadro 12.- Análisis estadístico de la ET_c vs ET_{real} en diferentes etapas fenológicas del cultivo en la huerta manzanera Roncesvalles en la Sierra de Arteaga, Coahuila, en el año 2014..... 55

Cuadro 13.-Análisis estadístico de la tasa neta de fotosíntesis (P_N) medida por el método puntual de dos variedades de manzano cultivadas en la huerta Roncesvalles en la sierra de Arteaga, Coahuila, en el año 2014. 57

Cuadro 14.- Tasa neta de fotosíntesis (T_N) medida con la técnica EC y el método puntual de dos variedades de manzano cultivadas en el huerta Roncesvalles en la sierra de Arteaga, Coahuila, en el año 2014. 57

Cuadro 15.- Tasa neta de fotosíntesis (T_N)medida en siete puntos para dos variedades de manzano a lo largo de un transecto con dirección Oeste-Este por el método puntual (LI-6400XT) comparado con la medida poblacional medida con la técnica EC en la huerta manzanera del rancho Roncesvalles en la Sierra de Arteaga, Coahuila, en el año 2014. 59

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Distribución de la superficie cultivada de manzana en el mundo (Domínguez, 2008)..... 3

Figura 2. Ubicación de la estación EC dentro de la huerta manzanera Roncesvalles en el ejido Los Lirios..... 33

Figura 3. Representación gráfica del transecto con puntos de muestro para la toma de datos de fotosíntesis, potencial hídrico e índice de área foliar, considerando un espaciamiento aproximado de 6 hileras de cultivo entre cada punto. 38

Figura 4. Representación gráfica de los puntos del árbol seleccionados para realizar las mediciones de fotosíntesis, potencial hídrico e índice de área foliar. 39

Figura 5. Esquema de la Medición del Índice de Área Foliar de los árboles de manzana con el equipo LAI-2200 en la huerta Roncesvalles..... 40

Figura 6.-Dinámica de LAI de dos variedades de manzano desde la estación EC con dirección Este a lo largo de la huerta, medido el DJ 248 del 2014 en la huerta Roncesvalles en la Sierra de Arteaga Coahuila. 42

Figura 7. Promedio del LAI de dos variedades de manzano medidos los DJ 252, 269 y 290 en la huerta Roncesvalles en la Sierra de Arteaga Coahuila, en el año 2014. 43

Figura 8. Potencial hídrico xilemático (Ψx) de dos variedades de manzano medido en diferentes etapas fenológicas del cultivo durante el 2014 en la huerta Roncesvalles en la Sierra de Arteaga Coahuila. 47

Figura 9. Dinámica del contenido de humedad en el suelo medido por la técnica del TDR sobre línea de cultivo posterior a la cosecha en la Huerta Roncesvalles en la Sierra de Arteaga, Coahuila, durante el año 2014. 48

Figura 10. Comparación de la ET_{real} medida con la técnica EC y su correlación con la ET_c a partir de un Kc sugerido por Doorenbos y Pruitt (1976) para el cultivo de manzano..... 55

Figura 11. Comparación del Kc sugerido por Doorenbos y Pruitt (1976) y el Kc_{real} medido con la Técnica EC en la huerta manzanera Roncesvalles en la Sierra de Arteaga, Coahuila, en el año 2014. 56

Figura 12. Fotosíntesis de dos variedades de manzano medida el DJ 169 del 2014 en la huerta manzanera del Rancho Roncesvalles en la Sierra de Arteaga, Coahuila. 60

Figura 13. Fotosíntesis de dos variedades de manzano medida el DJ 195 del 2014 en la huerta manzanera del Rancho Roncesvalles en la Sierra de Arteaga, Coahuila. 61

Figura 14. Efecto de la malla antigranizo sobre los niveles de radiación solar (R_s) incidente en la Huerta de manzanos Roncesvalles en la Sierra de Arteaga, Coahuila. 62

Figura 15. Fluctuación diurna y nocturna de los componentes del BE medidos en los DJ 313, 314 y 315 del año 2014 en la Huerta Roncesvalles en la Sierra de Arteaga, Coahuila..... 64

Figura 16. Evolución de los componentes (diurnos y nocturnos) del Balance de Energía antes y después de remover la malla antigranizo en la huerta manzanera Roncesvalles desde el periodo de poscosecha hasta inicio de dormancia en la Sierra de Arteaga, Coahuila, en el año 2014. 65

Figura 17. Componentes del Balance de Energía medidos el DJ 261 del 2014 en la huerta manzanera del rancho Roncesvalles en la Sierra de Arteaga, Coahuila. .. 66

Figura 18. Componentes del Balance de Energía medidos el DJ 302 del 2014 en la huerta manzanera del rancho Roncesvalles en la Sierra de Arteaga, Coahuila. .. 67

Figura 19. Componentes del Balance de Energía medidos el DJ 336 del 2014 en la huerta manzanera del rancho Roncesvalles en la Sierra de Arteaga, Coahuila. .. 68

LISTA DE SÍMBOLOS PRINCIPALES

GV= Golden Vigas

GE= Golden Estándar

EC= Eddy Covariance

ET= Evapotranspiración

ET_{real}= Evapotranspiración real

ET_o= Evapotranspiración de referencia

ETc= Evapotranspiración de cultivo

Kc= Coeficiente de desarrollo de cultivo

Kc_{real}= Coeficiente de desarrollo de cultivo real

T= Temperatura

E= Transpiración

Ψx = Potencial hídrico xilemático

LAI= Índice de área foliar

P_N= Tasa neta de fotosíntesis

BE= Balance de energía

LE= Calor latente

H= Calor sensible

G= Flujo de calor en el suelo

Rn= Radiación neta

R_s=Radiación solar

DJ= Día juliano

PAR= (Potosyntetic Active Radiation, por sus siglas en ingles).

RESUMEN

En éste estudio se evaluaron los flujos de vapor de agua (H_2O) y CO_2 (P_N) de la huerta manzanera Roncesvalles en la Sierra de Arteaga, Coahuila, de junio a diciembre de 2014. La relación de la ET_{real} medida con la Técnica EC-BE y la ET_c mostraron un buen grado de asociación (r^2=0.84**), sin embargo el Kc propuesto por la FAO no evolucionó de la misma manera que el Kc_{real}, por lo tanto durante la etapa de crecimiento la ET_c fue de 4.16 mm dia^{-1} superior a la ET_{real} de 3.15 mm dia^{-1} y ésta tendencia se mantuvo hasta final de temporada y a principios de dormancia la ET_c fue de 1.45 mm dia^{-1} mientras que ET_{real} alcanzó los 0.57 mm dia^{-1}. La tasa neta de fotosíntesis P_N instantánea se midió mediante la Técnica EC-BE y un método puntual con el IRGA modelo LI-6400XT (LICOR, Lincoln, NE USA), los resultados indican una clara sobreestimación del método puntual respecto a EC-BE de hasta 350%, con flujos instantáneos de 1.844 mg CO_2 m^{-2} s^{-1} mientras que EC-BE midió 0.548 mg CO_2 m^{-2} s^{-1} en mediciones paralelas. La malla antigranizo negra de la huerta redujo la incidencia de la radiación solar (R_s) sobre el cultivo hasta en un 33%, de esta manera también alteró los componentes del balance de energía BE. La radiación neta Rn solo fue el 50% del total de la R_s incidente y disminuyó a razón de 300 W m^{-2} de septiembre a diciembre ya que en invierno existen menos horas de luz durante el día. Posterior a la retirada de la malla en el DJ 290 que coincide con el inicio de senescencia se observó un descenso del componente LE y un incremento de H de aproximadamente 100 W m^{-2}, esa tendencia se incrementa a medida que los árboles experimentan el proceso de defoliación natural y a principios de diciembre LE no superó los 70 W m^{-2} mientras que H alcanzó 270 w m^{-2}, el flujo de calor en el suelo G no mostró gran variabilidad por el uso de malla, sin embargo se observó un descenso considerable por la falta de humedad en el suelo, por lo tanto a finales del periodo evaluado la mayor parte de la energía disponible en el ambiente se disipó en forma de H.

I. INTRODUCCIÓN

I.1 Generalidades del manzano (*Malus x domestica* Borkh).

I.1.1 Descripción botánica y morfológica

La manzana comercial es una especie híbrida con una compleja historia de hibridación inter e intraespecífica. Por tanto, el nombre científico de la manzana doméstica es a menudo escrito con una " x " entre los géneros y especies (Korban y Skirvin, 1984). El manzano pertenece a la familia de las Rosáceas, de la subfamilia Pomoideae, y género *Malus* que comprende de 25 a 30 especies procedentes de Europa, América del Norte y Asia (Agustí, 2004; Itoitz, 2000). A pesar de ser citados varios nombres de especies, *Malus x domestica* Borkh es la denominación aceptada según el Código Internacional de Nomenclaturas de plantas cultivadas (Itoitz, 2000; Petri y Leite, 2008).

El manzano es un árbol caducifolio que puede tener una vida de 60 a 80 años, puede alcanzar hasta 10 ± 2 m de altura en estado silvestre (Mateo, 2005; Agustí, 2004), aunque normalmente no sobrepasa los 2 - 2.5 m (Coque, 1996). Su copa es globosa y el tronco bastante recto, con la corteza escamosa cubierta de lenticelas, posee brotes cortos y yemas de madera vellosa. Sus hojas son elípticas y redondeadas, onduladas e irregularmente aserradas, de 4 - 8 cm de longitud, de color verde oscuro por el haz, pubescentes, de color verde más claro por el envés y con peciolos de longitud equivalente a la mitad del limbo. Sus flores son hermafroditas con pétalos de color rosa por la parte exterior, de 3 a 5 cm de diámetro, agrupadas encima de 3 y 6 flores. Tienen también 5 pétalos y un cáliz persistente de cinco sépalos (Álvarez, 1988; Agustí, 2004; Mateo, 2005).

La floración del manzano oscila entre finales de marzo y primeros de mayo dependiendo del lugar, variedades y años (Lalatta, 1999; Mateo, 2005). El manzano al ser estéril, necesita de polinización cruzada y por lo tanto requiere al menos de

dos variedades compatibles que florezcan en fechas similares. La variedad polinizadora debe representar al menos el 10% de la población. Para la polinización se necesita de insectos polinizadores que por lo general son abejas (Dennis, 2003; Agustí, 2004) Los frutos son de forma globosa, de 2 - 10 cm de diámetro, generalmente achatados y de color amarillo verdoso, Mateo (2005). La cosecha en el hemisferio Norte generalmente se lleva a cabo desde julio hasta finales de septiembre según las condiciones climáticas de la región y de la variedad cultivada, Parés-Martínez (2010).

El manzano se pude propagar por semillas, injertos o estacas, y solo se recurre a la reproducción sexual cuando se buscan nuevas variedades. Para fines comerciales la propagación se lleva a cabo de forma vegetativa por injerto de yema (Agustí, 2004).

I.1.2 Clasificación taxonómica.

Clasificación taxonómica del manzano según (Sinnot y Wilson, 1975).

Reino ---------- Vegetal
División ---------- Traqueófitas
Subdivisión -------- Pterospidas
Clase ---------- Angiosperma
Subclase ---------- Dicotiledóneas
Orden ---------- Rosales
Familia ---------- Rosaceae
Género ---------- Pyrus
Especie ---------- Malus L.

I.1.3 Origen geográfico

El origen del manzano es muy complejo pues es considerado el resultado de la cruza consecutiva y natural de varias especies del género *Malus*, entre ellas *M. pumila*, *M. sylvestris* (Ramírez-Rodríguez y Cepeda-Siller, 1993; Petri y Leite, 2008) e incluso en tiempos recientes, *M. floribunda*, Mateo (2005). Hoy en día, *M. sieversii*

que crece de forma silvestre en Kazajstán y Kirguistán, se piensa que es la principal especies progenitora, Pereira-Lorenzo (2009).

El centro de origen de la especie cultivada se considera en los bosques del Cáucaso y el Turkestán, en el suroeste de Asia y Asia Central debido a que es la zona con mayor diversidad de *Malus* (Harris *et al*., 2002; Janick *et al*., 1996; Mateo, 2005).

I.1.4 Distribución mundial de la producción de manzana.

El manzano se adapta a un amplio rango de condiciones climáticas, a diversos tipos de suelo y sistemas de producción, debido a eso se cultiva a gran escala en Europa, Norte y Sur América, Nueva Zelanda, Australia y Asia. La mayoría de cultivares se encuentran en países con climas templados (Schneider y Scarbourough, 1980).

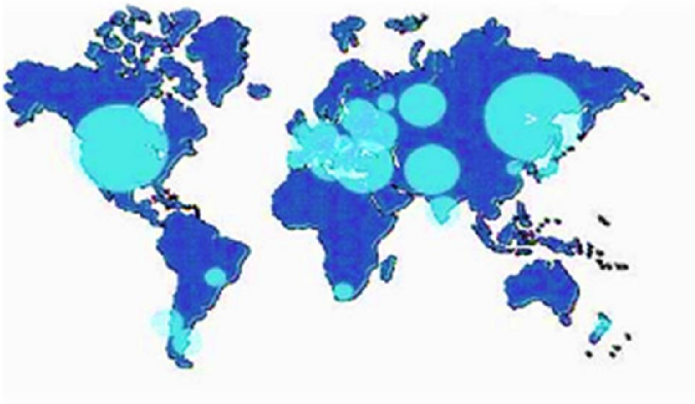

Figura 1. Distribución de la superficie cultivada de manzana en el mundo (Domínguez, 2008)

Actualmente, a diferencia de los antiguos cultivares existen variedades que demandan menos tiempo de descanso lo que permite su producción en zonas tropicales y subtropicales incluyendo al continente Americano, por ejemplo, en las

tierras altas de las regiones del norte de México y también en grandes áreas subtropicales de Brasil (Pereira-Lorenzo, 2009; Leite, 2008; Hauagge, 2010).

En la actualidad, China es el mayor productor de manzana en el mundo, seguido de la Unión Europea y los USA. Según datos de la USDA, en 2015 México ocupó el lugar número 14 entre los países productores, Cuadro1.

Cuadro 1.- Lista de los principales países productores de manzana en el mundo (USDA, 2015).

Posición	PAÍS	PRODUCCION*
1	China	43 000,000
2	UE	12 220,000
3	USA	4 561,000
4	Turquía	2 740,000
14	México	700,000

*millones de toneladas

I.1.5 Importancia del manzano en México, zonas de establecimiento y superficie establecida.

En el contexto nacional el manzano es uno de los frutales de clima templado de mayor importancia. En los últimos años la producción de esta fruta ha aumentado notablemente debido a su alta demanda a nivel nacional e internacional. El consumo per cápita de manzana en México paso de 3.7 a 7.9 kg de 1980 a 2011 SAGARPA (2011).

Actualmente en México se encuentran establecidas un total de 61,495 has, en 2013, se alcanzó una producción record de 858,607.87 toneladas. De acuerdo con estimaciones se obtuvo un rendimiento promedio de 14.7 t ha^{-1} esto como resultado de condiciones climáticas favorables, FDN (2014).

Los estados que cuentan con condiciones para la producción intensiva de manzana son: Chihuahua (28,410.30 has), Durango (10,101.50 has), Puebla (8,897.61has) y Coahuila (7,028 has), SIAP (2015). Esto representa un beneficio económico superior 4 mil millones de pesos beneficiando principalmente a los estados del norte del país, SIAP (2014).

I.1.6 Importancia económica del manzano en el estado de Coahuila.

El manzano es el frutal más importante en la Sierra de Arteaga Coahuila, México. Las variedades de manzana predominantes son Golden Delicious y Red Delicious, las cuales fueron introducidas de USA. En Coahuila se encuentran establecidas 7,028 has que representan el 9.75% de la superficie sembrada del país y que en 2013 generó una derrama económica de 276,383.13 millones de pesos SIAP (2015).

I.2 Requerimientos climáticos, edáficos, hídricos y prácticas culturales del manzano.

I.2.1 Técnicas de producción de manzano

La elección del sistema de plantación, la técnica de poda y el marco de plantación juegan un papel determinante en la fruticultura, ya que un gran volumen del árbol limita la iluminación en el interior y en zonas bajas de la copa, lo que se traduce en pérdida de calidad del fruto como resultado de gran heterogeneidad en la distribución de los fotosintatos (Espada *et al*., 2001; Acero-Oliete, 2015).

Existen prácticas que permiten incrementar la productividad de una huerta y la calidad de la cosecha. La poda de frutales de hueso y pepita es una práctica de cultivo cuya finalidad es mejorar la calidad de la producción (Carrera, 1999). (Sansavini *et al*., 1986) mencionan que es posible incrementar la densidad de plantación empleando patrones enanizantes o la incorporación de sistemas de conducción que reducen el periodo improductivo. Estas han sido estrategias común mente empleadas en Europa (Espada *et al.,* 2001).

I.2.2 Clima

Gracias a su gran adaptabilidad a un amplio rango de climas y sistemas de cultivo, *Malus* x domestica Bokh tiene más de 7,500 cultivares que se han originado en diversos países del mundo (Ahmadi-Afzadi, 2012; Schneider y Scarborough, 1980). Muchos cultivares poseen características deseables que los hace aptos para su establecimiento en condiciones específicas, pero sólo unas pocas docenas de ellas se producen comercialmente a escala mundial (Moore *et al*., 1991).

Está comprobado que las zonas templadas o ligeramente frías favorecen el desarrollo del genero *Malus*. Por eso el clima más adecuado es aquel con inviernos fríos ya que el árbol de manzano requiere un periodo de exposición de bajas temperaturas para acumular suficientes unidades frío (UF) y lograr una correcta y uniforme brotación de yemas florales y vegetativas, del tal manera que esto permita obtener cosechas de calidad uniforme y de buenos rendimientos (Ghariani y Stebbins, 1994; Ramírez-Rodríguez y Cepeda-Siller, 1993). Una UF corresponde a una hora con temperaturas del aire entre 0 y 7.2 °C (Calderón, 1993; Petri y Leite, 2008; Shaltout y Unrath, 1983).

El manzano puede soportar temperaturas inferiores a los -10°C. Los botones floreales soportan hasta de -9°C, las flores abiertas soportan -2.5°C y los frutos jóvenes hasta -1.6°C. Temperaturas por debajo de las mencionadas propician la pérdida de cosecha (Gisper, 1987). Además requiere de veranos con temperaturas no muy elevadas ya que las altas temperaturas durante las últimas fases de

crecimiento de fruto pueden producir alteraciones fisiológicas en la piel y poca dureza de la pulpa, Mateo (2005). A pesar de su alto requerimiento de unidades de frío UF, existen grandes diferencias entre cultivares cuyas exigencias varían entre 200 y 1400 horas de frío (Petri y Leite, 2008; Samson, 1991).

El cultivar Golden Delicius es el más común en la Sierra de Arteaga Coahuila, México, requiere de aproximadamente 850 UF (Ghariani y Stebbins, 1994; Ramírez y Saavedra, 1990). Aunque los requerimientos de UF no sólo dependen del cultivar sino también de las interacciones entre el cultivar y los factores ambientales (Carvajal *et al*., 2000; Hauagge y Cummins, 1991a). Debido a los cambios climáticos de los últimos años, dicha demanda no se cumple de manera natural. Lo anterior tiene como consecuencia que se disponga solamente de 300-600 UF en la zona. Por lo que resulta necesario el empleo de estimuladores de brotación como cianamidas, thidiazuron hidrogenaza y aceite mineral (Contreras de la Ré y Vázquez-Ramos, 2010; Zermeño-González *et al.,* 2010).

Sin embargo, el uso de variedades de menor requerimiento de frío, resulta ser la opción más económica a mediano y largo plazo (Contreras de la Ré y Vázquez-Ramos, 2010).

I.2.3 Suelo

De manera general los suelos idóneos para plantar manzano deben ser permeables, y ligeros, de acuerdo al portainjerto puede desarrollarse bien en suelos más o menos arcillosos o alcalinos, evitándose especialmente terrenos muy arenosos y muy compactos, puesto que los primeros ocasionan mala nutrición y sequía en los árboles y los segundos un exceso de humedad con riesgo de asfixia radicular (Dapena *et al*., 2006; Gispert, 1987), también se consideran adecuados aquellos suelos cuyo pH está entre 6.5 y 8, con cal activa menor al 10%, suelos fértiles, con profundidad mínima de 40 a 50 cm y sin problemas de salinidad (Álvarez, 1988; Mateo, 2005).

I.2.4 Riego

En la irrigación de los huertos manzaneros, el ajuste de la cantidad de agua a aplicar, el tiempo de riego, el drenaje del suelo, la operatividad de labores culturales y medioambientales, son los principales aspectos que se pretenden optimizar, Orozco (2010).

Buenas prácticas de irrigación, permiten mantener un nivel adecuado de humedad y minimizar la contaminación por lixiviación del agua y nutrientes por debajo de la zona radicular, Fares y Alva (2000). Es por eso que los constantes avances tecnológicos en la irrigación moderna han permitido el desarrollo sistemas de riego más eficientes en la conducción y distribución del agua. El riego por goteo suministra agua de manera lenta y uniforme a baja presión a través de mangueras de plástico instaladas dentro o cerca de la zona radicular de las plantas (Shock y Welch, 2013).

Diversos estudios señalan que un buen cálculo de las demandas hídricas del manzano se traduce en mayor volumen de producción, mejor calidad de cosecha y un ahorro económico sustancial para el productor.

A pesar de esto la mayoría de los productores en México riegan con base a su propio criterio, la época del año y la disponibilidad de agua.

I.2.5 Uso de mallas antigranizo en huertas manzaneras

La malla antigranizo es una barrera física empleada para proteger al cultivo de granizadas, vientos fuertes y ataque de aves (Bosco *et al*., 2014). Es una práctica que se ha vuelto muy común en plantaciones de manzano ya que además de proteger de granizo y viento reducen los daños por excesos de radiación, Blanke (2007).

Las mallas antigranizo se elaboran con polietileno de alta densidad (HDPE), este material está muy bien valorados por sus propiedades fisicoquímicas que le proporcionan características térmicas y eléctricas, que lo hacen ideal para la

protección de huertos (Milanovic *et al.,* 2014). La malla también afecta las condiciones microclimáticas dentro de la huerta. Es decir ocasiona cambios en la insolación, temperatura del aire, de la planta y suelo, humedad del suelo, velocidad y humedad del aire (Middleton *et al.,* 2002; Solomakhin y Blanke, 2010).

Iglesias y Alegre (2006) estudiaron el efecto de mallas antigranizo de color negro y cristalino en huertos de manzanas 'Mondial Gala' (*Malus x domestica* Borkh), y su efecto en la protección de los frutos del granizo, la intercepción de luz, temperatura, humedad y calidad de la fruta durante cuatro ciclos productivos (2000-2003) en la Estación Experimental del IRTA-Lleida, España. Observaron que las mallas negras y cristalinas reducen la incidencia de la radiación fotosintéticamente activa o PAR (del inglés, Photosynthetic Active Radiation) un 25% y 12% respectivamente con respecto a condiciones de cielo abierto.

Bosco *et al.* (2014) con el objetivo evaluar los efectos de la malla antigranizo en la física, química, y atributos sensoriales de manzanas cultivadas en el sur de Brasil, comprobaron que el empleo de mallas antigranizo negras durante los ciclos productivos 2008/2009, 2009/2010 y 2010/2011 reducen la trasmisión de radiación PAR hasta en un 32%.

Milanovic *et al.* (2014) realizaron un estudio para evaluar la evapotranspiración potencial (ET_o) de huertos manzaneros cubiertos por una malla antigranizo de distintos colores y señalan que el empleo de mallas antigranizo negras reduce la evapotranspiración entre 18 y 25% respecto al exterior.

I.2.6 Requerimientos hídricos del manzano

Durante las últimas décadas se han desarrollados tecnologías tendentes a mejorar el uso del agua en el sector agrícola tales como modernos sistemas hidráulicos, sistema de riego más eficientes así como métodos precisos para la estimación de las necesidades hídricas de los cultivos (Parés-Martínez, 2010; Navejas-Jiménez *et al.*, 2011; Girona, 2010).

Mateo (2005) señala que para un buen desarrollo y producción el manzano necesita una lámina de agua de 700 u 800 mm año^{-1}, suministrados por la lluvia o riego, sobretodo sin que se produzca déficit en los meses de verano, previos a la cosecha. (Álvarez, 1988) dice que un árbol adulto de manzano necesita entre 200 y 300 litros de agua por año por kilo de fruta producido.

Estudios más recientes señalan que para producción intensiva de manzano las demandas hídricas suelen ser mayores. Orozco (2010) menciona que una lámina de 950 mm año^{-1} es adecuada para el cultivo de manzano cultivado en Chihuahua, similar a lo reportado por Acero (2012) en una huerta manzanera de España.

A pesar de esto la estimación de los requerimientos hídricos de huertas frutícolas siempre ha sido un gran reto, debido principalmente a la gran heterogeneidad de la superficie y a la propia estructura del dosel, Gong (2007).

Es por eso que, desde el enfoque de la irrigación, la estimación de la Evapotranspiración de Cultivo (ET_c) es primordial para la determinación de la frecuencia de aplicación y la cantidad de agua a aplicar. Cálculos oportunos de la ET_c cuantifican la demanda del agua y son fundamentales para planificar su uso, y en consecuencia para el diseño y las dimensiones de las obras hidráulicas, Navejas-Jiménez *et al.* (2011).

I.3 Métodos para estimar los requerimientos hídricos del manzano a partir de la evapotranspiración.

La evapotranspiración (ET) es la combinación de dos procesos separados y simultáneos por los que el agua se pierde por evaporación directamente desde el suelo y mediante la transpiración (E) del cultivo, Allen *et al.* (1998).

La ET comúnmente es expresada en mm dia^{-1} o mm mes^{-1} y equivale al agua perdida que debe reponerse con el riego (Allen *et al*, 1998; Navejas-Jiménez *et al.*,

2011). Es por eso que conocer las tasas de ET permite optimizar el uso del agua sobre todo en la agricultura de riego, Castellví y Snyder. (2010). Para logra esto, se requiere de métodos precisos para la estimación de las necesidades hídricas de los cultivos, Girona (2011).

I.3.1 Determinación del consumo de agua por los cultivos a partir de la evapotranspiración de cultivo.

La evapotranspiración de cultivo representa la demanda hídrica real de un cultivo en particular. La ET_c se puede estimar en base a estudios del agua en el suelo en campos de cultivo (Allen *et al,*1998), lisímetros de pesada (Allen *et al*, 1998; Williams *et al*., 2003b; Williams y Ayars, 2005a), por el método de trasferencia de masas o balance de energía (Allen *et al.*, 1998; Giambelluca *et al*., 2009; Teixeira *et al*., 2007), empleando la técnica Eddy Covariance (Baldocchi, 2008; Barr *et al*., 2006; Giambelluca *et al*., 2009; Gomes, 2003; Martín de Santa Olalla y de Juan, 1993; Paço *et al*., 2004), o el uso de la Evapotranspiración de referencia (ET_o) multiplicado por un coeficiente de ajuste por desarrollo de cultivo (Kc) (Allen *et al.,* 1998; Ferreira *et al.*, 2006; Navejas-Jiménez, 2013).

I.3.1.1 Coeficiente de desarrollo de cultivo

El coeficiente único de cultivo Kc definido como el cociente entre la evapotranspiración de cultivo (ET_c) en condiciones óptimas y la evapotranspiración de referencia (ET_o). Representa los efectos combinados de la integración de la traspiración del cultivo y la evapotranspiración del suelo. El Kc incorpora las características del cultivo y los efectos promedios de la evaporación del suelo. Los factores que determinan al Kc son el tipo de cultivo, clima, evaporación del suelo, etapa fenológica, edad y desarrollo (Allen *et al.*, 1998; Bailey, 1990; Doorenbos y Pruitt, 1977).

Según Doorenbos y Pruitt (1977), el Kc para el manzano se dividen en tres etapas a lo largo del ciclo anual del cultivo y los denomina como inicial Kc_i, medio Kc_m y

final Kc_f. El Kc se deriva de la relación entre la ET_{real} dividido entre la ET_o como se aprecia en la siguiente ecuación.

$$Kc = \frac{ETreal}{ETo} \quad \textbf{(Ec.1)}$$

Orozco-Corral (2010) realizó un trabajo de investigación de 2005 a 2008 para determinar el régimen de riego para el manzano irrigado por microaspersion en el Rancho Experimental El Rosario, en Chihuahua, México, empelando sondas de capacitancia y el método de Penman modificado por FAO (Doorembos y Pruit, 1976). Para el caculo de la ET_c se determinaron los Kc y los valores fueron 0.35, 0.4, 0.6, 0.7, 0.85, 0.95, 0.95, 0.8, 0.7, 0.6, 0.5 y 0.4 de enero a diciembre respectivamente.

Requena *et al.* (2011) realizaron un experimento durante el ciclo productivo 2009-2010 en un huerto de manzanos en Rio Negro, Argentina (*Malus domestica* Borkh cultivar 'Cripp's Pink') y determinaron los coeficientes de cultivo (Kc) de manzano 'Cripp´s Pink', en su segunda temporada de crecimiento, mediante la utilización de tres lisímetros de drenaje. Los resultados obtenidos muestran que los valores de Kc en enero fueron de 0.20 y este valor se incrementó a 0.65 a principios de junio y a finales del mismo mes su valor descendió a 0.55

I.3.2 Métodos en función en variables del suelo.

I.3.2.1 Método de TDR (Time Domain Reflectometry)

La determinación de ET a partir de cambios de humedad del suelo se realiza desde hace casi un siglo. Hasta los años 60´s la gravimetría fue el método primario para determinar contenidos de humedad en el suelo, Allen *et al*. (2011).

La Reflectometría de dominio de tiempo (TDR por sus siglas en inglés) es un método relativamente nuevo para medir humedad y conductividad eléctrica. Este método

es muy preciso y tiene la ventaja de ser automatizable (Coelho y Arruda, 2001; Souza *et al*., 2006; Topp *et al*., 1980).

El principio de funcionalidad señala que el contenido de agua se infiere de la permisividad dieléctrica del medio, mientas que la conductividad eléctrica se infiere de la atenuación de la señal TDR (Jones *et al*, 2002). La técnica TDR utiliza la correlación existente entre el tiempo de transito de una onda electromagnética introducida en el suelo, la constante dieléctrica de este y el contenido volumétrico de humedad (Cassel *et al*., 1994).

Castro *et al.* (2008) realizaron un trabajo de investigación para determinar el momento oportuno y cantidad de riego en el cultivo de calabaza. Implementaron tres estrategias de riego (lisímetro, TDR y balance hídrico). Concluyeron que la estrategia de TDR presentó mayor productividad, esto como resultado de las frecuencias de los riegos por la automatización del método.

Zegbe *et al.* (2007) midieron la respuesta del manzano al riego parcial de la raíz. Para esto instaron dos pares de sondas TDR en cada lado de la hilera de árboles a una profundidad de 50 cm con el objetivo de medir el contenido volumétrico del agua en suelo y encontraron que el tamaño de la fruta no se vio afectado, además, el uso eficiente del agua se incrementó hasta un 51%.

I.3.2 Métodos basados en variables climáticas

I.3.2.1 Método FAO Penman Monteith

El método de FAO Penman-Monteith para estimar ET_o es derivado de la ecuación combinada de Penman–Monteith así como de las ecuaciones de la resistencia aerodinámica y superficial.

En 1998, la Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación (FAO) generó un manual para el cálculo de las necesidades hídricas de los cultivos, Allen *et al*. (1998). En esta publicación se redefine el concepto ET_O

y se adopta el método de Penman-Monteith como método estándar para su determinación. Esta metodología de cálculo había sido avalada previamente por la comunidad científica internacional (Allen *et al*., 1994; Smith, 1992), dando mejores resultados en comparación con otros métodos (Jensen *et al*., 1990). La aplicación de la ecuación de FAO Penman-Monteith (Allen *et al*., 1994; Allen *et al*, 1998) ha resultado ser una herramienta importante para este fin, ya que en general ha proporcionado estimaciones aceptables de la ET_O diaria (Fuertes, 1995; Fuertes, 1998).

El método FAO Penman-Monteith fue desarrollado haciendo uso de la definición del cultivo de referencia como un cultivo hipotético con una altura asumida de 0.12 m, con una resistencia superficial de 70 s m^{-1} y un albedo de 0.23 y que representa a la evapotranspiración de una superficie extensa de pasto verde de altura uniforme, creciendo activamente y adecuadamente regado. El método reduce las imprecisiones del método anterior de FAO Penman y produce globalmente valores más consistentes con datos reales de uso de agua de diversos cultivos y culla ecuación es la siguiente, Allen *et al*. (2006).

$$\mathrm{ETo} = \frac{0.408\Delta(\mathrm{R_n} - \mathrm{G}) + \gamma \frac{(900)}{\mathrm{T}+273} u_2 (e_s - e_a)}{\Delta + \gamma(1 + 0.34 u_2)} \qquad \textbf{(Ec. 2)}$$

Dónde:

ET_o es la evapotranspiración de referencia (mm $día^{-1}$), Rn radiación neta en la superficie del cultivo (MJ m^{-2} $día^{-1}$), Ra radiación extraterrestre (mm $día^{-1}$), G flujo del calor de suelo (MJ m^{-2} $día^{-1}$), T temperatura media del aire a 2 m de altura (°C), u_2 velocidad del viento a 2 m de altura (m s^{-1}), e_s presión de vapor de saturación (kPa), e_a presión real de vapor (kPa), e_s- e_a déficit de presión de vapor (kPa), Δ pendiente de la curva de presión de vapor (kPa °C^{-1}), γ constante psicométrica (kPa °C^{-1}).

El modelo de FAO Penman-Monteith es ampliamente recomendado como el método estándar para estimar la evapotranspiración de referencia con validez mundial en los diferentes tipos de clima por su relativa precisión aplicado en climas áridos y húmedos, por proveer resultados más consistentes para el uso real del agua por los cultivos y ha sido comprobado fehacientemente por organismos especializados, incluyendo la Society of Civil Enginreers (ASCE) y la Organización Meteorológica Mundial (Guevara, 2006; Ortega-Farías y Cuenca, 1998). El método predice con mucha precisión la ET_o sin embargo su uso no siempre resulta factible debido a la escasez de datos climáticos, Navejas-Jiménez (2011).

Pereira *et al.* (2006) estimaron la ET_c de diferentes especies frutícolas incluido el manzano durante 102 días de experimentación y concluye que el método de FAO Penman–Monteith publicado en el manual FAO 56 es fiable para este procedimiento siempre y cuando se considere el are foliar (AF) e índice de are foliar (IAF) del cultivo en cuestión.

Requena *et al.* (2012) desarrollaron un estudio con el propósito de determinar el Kc de manzano para su segunda temporada de crecimiento, mediante la utilización de tres lisímetros de drenaje y mediante el uso de la ecuación FAO Pennman-Monteith. El valor calculado de la evapotranspiración para la segunda temporada de crecimiento fue de 401mm teniendo en cuenta la precipitación, el riego aplicado (448 mm), el agua de drenaje (61 mm) y una variación del agua del suelo del lisímetro poco significativa.

Puppo y García (2010) realizaron una investigación con el objetivo de medir el consumo de agua en plantas de durazno durante varios ciclos de crecimiento hasta su tamaño definitivo, además de determinar el valor de Kc y el coeficiente de base Kb para la zona sur de Uruguay, para ello se apoyaron de un lisímetro de capa freática constante; se calculó la ET con la fórmula Penman-Monteith modificada por FAO Allen *et al*. (1998), utilizando los datos climáticos diarios de la Estación Experimental Las Brujas (34° 40’ S; 56° 20’ W), ubicada a 15 km del sitio del ensayo.

Los resultados mostraron un consumo de agua de 5 mm dia^{-1} en el primer año y 6 mm dia^{-1} en el segundo y tercero.

I.3.3 Métodos micrometeorológicos para calcular la evapotranspiración y flujos de CO_2 de cultivo.

A escala microclimática se estudia la interacción de los mecanismos, los procesos y los estados que ocurren en el suelo, en la planta y en la atmósfera. Se refiere al clima de pequeñas áreas y está condicionado principalmente por la cobertura del terreno, clase de cultivo, distancias de siembra, arquitectura de la planta y sombreo (Jaramillo-Robledo, 2006).

Entre las aplicaciones específicas de la microclimatología en la agricultura están la determinación de los perfiles de la velocidad del viento, temperatura, humedad atmosférica y dióxido de carbono dentro del cultivo; conocer los flujos de radiación solar y de energía dentro de las plantaciones; predecir la temperatura y la humedad en el suelo; estimar la evaporación y la evapotranspiración de las plantas; determinar la actividad fotosintética e intercambio del CO_2 entre la planta y la atmósfera; proteger a los cultivos de fuertes vientos y temperaturas extremas (Ayra, 1988).

El principio básico de las técnicas micrometeorológicas para estimar la evapotranspiración consiste en medir los componentes del balance de energía de una superficie vegetal, Flores (2009). Las técnicas más mencionadas son el Cociente de Bowen BE, Método Aerodinámico y la Técnica EC (Zermeño-González, 2001; Uddin *et al,* 2013; Gordillo-Salinas *et al*, 2014).

I.3.3.1 Método aerodinámico

En este método, el coeficiente de difusividad turbulenta se deriva a partir de la ecuación de flujo de momento y la relación de perfil del viento sobre el dosel, Zermeño-González (2001). La ecuación de trasporte de flujo de calor latente de evaporación es función de la densidad del aire, del coeficiente de trasporte

turbulento vertical y del gradiente de humeada específica a dos alturas (Rosenberg, 1974). Éste es un método micrometeorológico con fundamento físico-teórico de la dinámica de fluidos y del trasporte turbulento, Pereira (2006).

I.3.3.2 Cociente de Bowen BE

Este método asume que el mecanismo de trasporte de LE y H son idénticos. Éste método requiere mediciones simultaneas de los gradientes de temperatura y densidad de vapor de agua cercanas a la superficie estudiada, además de la Rn y G, Munguía (2000).

El sistema BE tiene un diseño simple, económico, con base en gradientes de temperatura y vapor de agua entre dos alturas, con bajos requerimientos de fetch (Heilman *et al*, 1989; Stannard, 1997).

El Cociente de Bowen es una forma de determinar el flujo de calor latente LE en relación con el flujo de calor sensible H a lo largo de un día o a través del año en una superficie. Este es un índice importante para conocer la variación de la radiación neta y las pérdidas de calor. Si el flujo de calor sensible es mayor que el flujo de calor latente, la temperatura del aire probablemente sea más alta, mientras que cuando ocurre lo contrario la temperatura del aire puede ser más baja (Oke, 1987).

I.3.3.3 Técnica Eddy Covariance-Balance de Energía.

La Técnicas EC-BE es un método micrometeorológico de trasferencia de masas utilizado para medir la evapotranspiración de comunidades de plantas de importancia agrícola, Uddin *et al.* (2013). A pesar de la gran diversidad de métodos para estimar la ET_c, la Técnica EC-BE es considerada se considera la más adecuada debido a su constante desarrollo que la hace más precisa además de proporcionar datos instantáneos y que emplea sensores más duraderos adecuados para instalaciones permanentes, Baldocchi (2008).

En la Técnica EC-BE, el flujo vertical de una entidad transportada en un determinado punto, se obtiene correlacionando las fluctuaciones de la concentración de esa entidad con las fluctuaciones en la velocidad vertical del viento. Por ejemplo, los flujos de calor sensible (H), calor latente (LE) y bióxido de carbono (FCO_2) sobre una superficie horizontal homogénea están dados por (Alberto *et al.*, 2014; Balbontín-Nesvara, 2010; Zermeño-González y Hipps, 1997).

$$\mathrm{H} = \rho\ \mathrm{Cp}\overline{\mathrm{w'Ta'}} \qquad \textbf{(Ec. 3)}$$

$$\mathrm{LE} = \overline{\lambda\ \mathrm{w'}\ \rho_{\mathrm{wv}}'} \qquad \textbf{(Ec. 4)}$$

$$\mathrm{FCO_2} = \overline{\mathrm{w'}\rho\mathrm{co_2}'} \qquad \textbf{(Ec. 5)}$$

Donde:

w es la velocidad vertical del viento, Ta es la temperatura del aire, ρ es la densidad del aire, Cp es la capacidad calorífica del aire a presión constante, λ es el calor de vaporización del agua, ρCO_2 es la concentración del CO_2, las barras horizontales superiores indican un promedio en un intervalo de tiempo y las primas denotan desviaciones de la media. Por lo tanto, la ET_{real} se deriva de las fluctuaciones verticales del viento y su correlación con la densidad de vapor de agua. (Alberto *et al.*, 2014).

Esta técnica posee varias ventajas ya que mide directamente el flujo de calor, vapor de agua y bióxido de carbono, no se asume valores de coeficientes, las mediciones son independientes, permite analizar la precisión del balance de energía que es considerado el método más preciso para medir flujos superficiales y cuya ecuación es la siguiente:

$$Rn - G = H + LE \qquad \textbf{(Ec. 6)}$$

Donde:

Rn representa la radiación neta, G el flujo de calor en el suelo.

Algunas de las principales desventajas de este método son: Es un equipo muy costoso, el equipo es delicado y sensible, requiere atención continua (Monteith y Unsworth, 2007; Zermeño-González, 2001;).

Para obtener el valor de la evapotranspiración real del cultivo a partir de los datos del flujo de calor latente (LE) se realizó la integral de los valores de LE durante todo el día para obtener el total de energía consumida de las 8 a las 19 h.

Si esta cantidad de energía consumida se divide por el calor latente de vaporización del agua ($\lambda = 2.44 \times 10^6 J\ Kg^{-1}$) se obtiene la tasa de evapotranspiración diaria en mm, y se expresa de la siguiente manera, Munguía *et al*. (2011).

$$\int_{t_1}^{t_2} LEdt = \frac{J}{sm^2} s = Jm^{-2} \qquad \textbf{(Ec. 7)}$$

$$ET_{diaria} \frac{LE_{diario}}{\lambda} = \frac{LE_{total\ Jm^{-2}}}{2.44 \cdot 10^6\ JKg_{H_2O}^{-1}} = Kg_{H_2O} m^{-2} dia^{-1} = mmdia^{-1} \qquad \textbf{(Ec. 8)}$$

I.4 Estudios realizados empleando técnicas micrometeorológicas

Las técnicas micrometeorológicas han tomado gran relevancia en la estimación de la ET de cubiertas vegetales, particularmente de especies forestales y frutícolas ya que son la mejor alternativa cuando se trata de árboles de gran envergadura y sistemas radiculares muy desarrollados. Estas técnicas han sido mejoradas junto con el desarrollo de tecnologías que permiten dar seguimiento a variables micrometeorológicas (Balbontín-Nesvara, 2011; Shi *et al.*, 2008).

Tang *et al*. (2012) realizaron un trabajo de investigación en una huerta de manzano en una región semiárida de China, con el objetivo de validar un modelo de teledetección para estimar la ET mediante el cálculo de componentes del balance de energía comparado con la Técnica EC-BE. Y observaron que el calor latente LE

que equivale a la ET calculado mediante el un algoritmo tiende a no sobreestimarse significativamente con respecto al valor medido con la Técnica EC-BE.

Villagra *et al.* (2014) emplearon la Técnica EC-BE para determinar el consumo de agua y el coeficiente de desarrollo de cultivo Kc para el cultivo de uva (Vitis vinífera L.) en Valle de Aconcagua, Chile, durante las temporadas 2008/2009 y 2009/2010. Ellos reportan valores de ET_{real} máximos de 7 mm dia^{-1} equivalente a un consumo total de agua de 810 mm y un valor de Kc de 1.2 durante la primera temporada de cosecha.

Ouyang *et al*. (2013) en el año 2010 estudiaron el intercambio de vapor y uso eficiente de agua en un huerta de melocotones de 135 ha y 12 años de edad ubicada al noreste de Beijin, China, Para ellos emplearon la Técnica EC-BE. La ET_{real} anual fue de 790.6 mm y la media del EUA fue de 0.44 g CO_2 $kg^{-1}H_2O$ dia^{-1}.

Villaman *et al*. (2001) evaluaron varios métodos micrometeorológicos para determinar la evapotranspiración (ET) en tiempo real de un cultivo de maíz (*Zea mays L*.). Los métodos evaluados fueron: Thornthwaite–Holzman, Aerodinámico, BE y el método Penman-Monteith. Los resultados se compararon con la evapotranspiración medida en el lisímetro de pesada como referencia. Los resultados indicaron que la evapotranspiración calculada por el método de Penman-Monteith, el Balance de energía y la obtenida con el Cociente de Bowen fueron los que mejor estimaron la ET del cultivo.

Balbontín-Nesvara *et al.* (2011) compararon las Técnicas EC-BE y Cociente de Bowen para determinar un Kc para el cultivo de Vid (*Vitis vinifera*). Concluyen que ambos sistemas arrojaron valores muy similares de Kc, además capturaron el valor ascendente de esto ligado al desarrollo fenológico. La ligera diferencia estuvieron representadas por los picos de LE estimados con Cociente de Bowen, mientras que EC-BE registró con mayor estabilidad el comportamiento del Kc y mayor presentó mayor sensibilidad sobre la disponibilidad de agua en el suelo.

Shi *et al*. (2008) Compararon tres métodos (EC-BE, cociente de Bowen, Penman-Monteith) para estimar la ET de una superficie forestal, y los resultados indican que el cociente de Bowen subestimó en un 19% los valores de ET con respecto a lo medido por la Técnica EC-BE, mientras que Pennman- Monteith sobreestimó la ET hasta en un 31% con respecto a EC. Por lo tanto concluyen que para este tipo de estudios la Técnica EC-BE es la más apropiada sin embargo no siempre es posible implementarla por lo complejo que resulta su operatividad, en contra parte el cociente de Bowen es adecuado y su aplicación es más sencilla comparado con EC-BE.

I.6 Intercambio neto de CO_2 en huertas de manzano y otros cultivos.

En la actualidad no se dispone de mucha información con respecto al importante papel que desempeñan los árboles frutales como sumideros o fuente de CO_2 atmosférico, ya que éstos pueden asimilar o servir como reserva de carbono (Benjamín-Ordóñez y Masera, 2001; Zanotelli *et al.*, 2014).

La retención de C se puede evaluar midiendo el intercambio neto de CO_2 entre el sistema suelo-vegetal y la atmósfera (NEE, sus siglas en inglés), definido como el flujo neto por fotosíntesis y respiración de CO_2 entre la superficie vegetal y la atmósfera, sin considerar el CO_2 almacenado o liberado en la capa de aire bajo las mediciones de CO_2 (Martens *et al*., 2004). La diferencia entre estos procesos se conoce como producción primaria, Zanotelli *et al*. (2014).

La Técnica EC-BE permite medir el intercambio de CO_2 entre la atmósfera y el dosel de las plantas mediante la covarianza entre las fluctuaciones de la velocidad vertical del viento y la concentración de CO_2. El empleo del enfoque NEE es adecuado para evaluar la asimilación y secuestro de CO_2 de grandes ecosistemas vegetales y está basado en la Técnicas EC, Baldocchi (2003).

Zanotelli *et al.* (2012) emplearon la Técnicas EC-BE para comparar la eficiencia en el uso de carbón de una huerta de manzana con respecto a bosques húmedos en el municipio de Caldaro, Italia. Ellos reportan que la producción primaria neta del ecosistema y producción bruta fue de 380 ± 30 gcm^{-2} y 1.263± 189 gcm^{-2} respectivamente. Valores comparables a los de los bosques naturales que crecen en condiciones climáticas similares.

Zanotelli *et al*. (2014) en una huerta de manzana localizada en Bolzano, Italia. Estudiaron los flujos de C, es decir todas las entradas y salidas de C del sistema mediante el balance neto de carbono de los ecosistemas y su distribución en diferentes escalas de tiempo durante el periodo comprendido entre 2009 y 2012. El ecosistema fue monitoreado mediante la Técnica EC-BE y concluyen que las huertas de manzano de manejo intensivo pueden actuar como sumideros de C atmosférico.

Zermeño-González *et al.* (2010) realizaron mediciones del intercambio neto de CO_2 entre el sistema suelo-vegetal y la atmósfera (NEE, por sus en inglés) en el cultivo de caña de azúcar (Saccharum officinarum L.) en el rancho Santa Anita, municipio de Xicoténcatl, Tamaulipas, México, empleando la Técnica EC-BE y los valores de NEE integrado durante el día y la noche fueron de fue 44.94 kg C $ha^{-1}d^{-1}$ indicando que el flujo fue de la atmósfera hacia el cultivo.

I.7 Variables de importancia en el cultivo de manzano

I.7.1 Potencial hídrico xilemático y de la hoja

La medición del potencial hídrico del suelo y planta es probablemente el indicador más eficaz para evaluar disponibilidad del agua en los cultivos (Merrill y Rawlins, 1972). El estrés hídrico de la planta puede ser monitoreado a través del potencial hídrico xilemático (Ψx) expresado en Mega pascales (MPa). Este refleja

la tensión del agua en los vasos conductores de la planta definiendo el nivel de estrés en que se encuentra (Arévalo *et al*., 2013; Muñoz, 2005).

El potencial hídrico de la hoja Ψh es un parámetro frecuentemente empleado para analizar el estado hídrico de la planta. Su valor depende de diferentes factores provocando que sus dimensiones sufran variaciones importantes en función del momento del día por las condiciones cambiantes de su entorno, de su etapa de crecimiento, de la edad de la hoja (Knipling, 1967), así como su orientación y la posición que ocupan, Ferreyra *et al*. (2007).

Por lo tanto el riego se puede controlar definiendo el momento oportuno de aplicación de agua, a través de mediciones del estado hídrico de las plantas, como es el potencial hídrico de la hoja (Ψh) (Boyer, 1995).

El potencial hídrico xilemático Ψ_X y de hoja Ψh se determina a través de una cámara de presión, evaluando hojas sombreadas, ubicadas al interior de la copa de la planta. Éstas son cubiertas con bolsas plásticas y papel aluminio por 90 minutos, logrando un equilibrio entre el potencial hídrico de planta con el de la hoja (Naor, 1998). La medición se realiza en días despejados, a mediodía solar, donde existe la máxima demanda de la atmósfera (Sellés *et al*., 2002). La cámara de presión da una medida de la presión hidrostática negativa que se produce en el xilema de una planta por efecto de la evaporación de agua desde el tejido por transpiración y a las resistencias al movimiento del agua desde el suelo hasta el tejido (Scholander *et al*., 1965).

La teoría respecto al uso de la cámara de presión predice una relación 1:1 entre la transmisión de presión desde el gas comprimido dentro de la cámara y el fluido xilemático cuando las hojas de la planta comienzan con una presión de balance de cero, Busso (2008).

Existe confusión en relación con lo que verdaderamente mide, es decir, si el Ψ de la muestra es el Ψx o Ψh. Hsiao (1990) declara que el Ψ medido con la cámara de

presión es el equivalente al Ψx solo en los casos donde el equilibrio hídrico existía antes del corte, ya que en este caso no existe movimiento de agua y el Ψ de la hoja es igual al del xilema, y la presión medida en la cámara (P) representa la tensión a la que se encontraba la savia en el xilema antes del corte, lo que se resume en la siguiente ecuación.

$$-P = \Psi Xilema = \Psi hoja\ (sin\ transpiración) \qquad \textbf{(Ec. 9)}$$

Sin embargo a pesar de la facilidad del método, la naturaleza del mismo imposibilita la programación y automatización del riego.

Cuadro 2.- Rango de valores de Potencial Hídrico Ψx para árboles con buen riego (sin estrés) de varias especies de cultivo perennes. Los valores se observaron cerca del mediodía en días despejados.

Ψ (MPa)	**Inicios de la estación**	**Mediados a finales de la estación**
Olviar cítricos	-0.8 a -1.0	-1.0 a -.12
Vides	-0.4 a -0.6	-0.6 a -0.8
Pistacho	-0.7 a -0.8	-1.0 a -1.2
Almendros	-0.6 a -0.8	-0.8 a -1.0
Melocotonero	-0.5 a -0.6	-0.7 a -0.9
Nogal	-.0.4 a -0.5	-0.5 a -0.7

(Steduto *et al*, 2012).

I.7.2 Área foliar

Área Foliar (AF) define la capacidad de una cubierta vegetal para interceptar la radiación PAR, la cual es la fuente primaria de energía utilizada por las plantas para la fabricación de tejidos y elaboración de compuestos alimenticios (Warnock *et al*., 2006).

La determinación directa del AF es una práctica que demanda mucho tiempo y trabajo (Portela, 1999) y, en particular en los árboles frutales, implica un proceso dificultoso o requiere de instrumentos electrónicos sofisticados (Bhatt y Chanda, 2003). Además, el empleo de métodos directos destructivos imposibilita la continuidad del estudio en la misma planta (Chirinos *et al*., 1997).

Para determinar el AF se pueden utilizar métodos directos e indirectos. Los métodos indirectos basan su funcionamiento en la medición de la radiación solar y tienen la ventaja de no ser destructivos ya que solo utilizan la información de la fracción de radiación que no ha sido transmitida por la atenuación que ocasiona el dosel, Coelho *et al*. (2005). Los equipos más comúnmente empleados para medir AF y que basan su funcionamiento en medidas de radiación son los sensores cuánticos, LAI 2000 Demon, Ceptômetro, sensores utilizados en fotografías hemisféricas y respuestas espectrales, Coelho *et al*. (2005).

I.7.3 Índice de área foliar

El Índice de Área Foliar (IAF; m^2 de área foliar por m^2 de área de suelo asignada) es la relación del área foliar total por unidad de superficie de suelo. Esta variable resulta útil para caracterizar la dinámica y productividad de los ecosistemas (Aguirre-Salado, 2011). Es el factor principal de la intercepción de PAR, de la fotosíntesis y de la producción total de materia seca a cosecha (Patrick, 1988; Wagenmakers, 1994).

Las mediciones *in situ* del IAF resultan muy tediosas y consumen mucho tiempo, a menudo también son tareas que resultan caras (Darvishzadeh *et al*, 2006).

La determinación del IAF de las plantas tiene gran importancia en los estudios relacionados con su crecimiento y desarrollo dado que en las hojas se sintetizan los carbohidratos empleados por la planta para su crecimiento y desarrollo (Meza y Bautista, 1999).

I.7.4 Fotosíntesis

La fotosíntesis es el proceso más importante que controla el crecimiento, desarrollo y producción de las plantas, en este proceso el CO_2 es asimilado por las plantas en presencia de luz y agua para formar carbohidratos y el oxígeno es liberado, Taiz y Zeiger (2006). La capacidad fotosintética de la planta está directamente relacionada con la superficie foliar expresada como IAF (Kozlowsky *et al*., 1991:)

La fotosíntesis es el proceso por el cual las plantas transforman la energía solar en energía química en forma de moléculas orgánicas (Mosquera *et al.,* 2007; Millan-Almaraz *et al.*, 2009). Debido a su estructura y posición con respecto a la radiación solar, las hojas son los órganos de las plantas mejor adaptadas para llevar a cabo el proceso de fotosíntesis. La eficacia de la fijación química de la radiación absorbida por las hojas, oscila entre 1% a 5 %. Y proporcionan a la planta más del 90% de asimilados. Los factores necesarios para la ocurrencia de fotosíntesis incluyen: luz, pigmentos, CO_2 y agua, Tokarz *et al*. (2013).

Ledesma *et al*. (2011) evaluaron cinética del crecimiento de órganos vegetativos de seis variedades de zapote injertadas de tres y cuatro años. Las variables evaluadas fueron, índice de área foliar, peso específico de la hoja y grosor de la hoja y su relación con la fotosíntesis. Los resultados indican que las hojas alcanzan el máximo

desarrollo a los 42 días, pero desde el día 23 tienen más del 80% de su tamaño normal y son fotosintéticamente autosuficientes.

Tokarz *et al*. (2013) estudiaron la dinámica del follaje de árboles de manzano y su efecto en la fotosíntesis. El estudio permitió ver que a inicio del desarrollo vegetativo las hojas de los árboles incrementan hasta un 90% y los nuevos tallos solo representan entre 8 y 10% del área foliar total. Sin embargo posterior a la cosecha los árboles pierden las hojas y los órganos encargados de llevar a cabo el proceso de fotosíntesis son los tallos que participan activamente en este proceso aportando hasta un 15%.

I.7.5 Transpiración

La transpiración consiste en la vaporización del agua líquida contenida en los tejidos de la planta y su posterior remoción hacia la atmósfera a través de estomas y cutículas de la hoja (Allen *et al.*, 2006; Parra-Quezada, 2002).

La transpiración, igual que la evaporación directa, depende del aporte de energía, del gradiente de presión del vapor y de la velocidad del viento. Por lo tanto, la radiación, la temperatura del aire, la humedad atmosférica y el viento también deben ser considerados en su determinación. Además, la transpiración también se ve afectada por condiciones de humedad del suelo, el tipo de cultivo, manejo y medio de desarrollo (Allen *et al.*, 2006).

II. JUSTIFICACIÓN

En México, el manzano es considerado uno de los frutales de clima templado de mayor importancia. Existe una creciente demanda de este producto a nivel nacional e internacional, SAGARPA (2011). A nivel nacional se encuentran establecidas 61,495 has de manzana. Los estados que destacan en la producción son Chihuahua, Durango, Puebla y Coahuila. Siendo Chihuahua el más importante del país pues en 2013 aportó el 79.7% de la producción nacional, SIAP (2015). El estado de Coahuila cuenta con una superficie plantada de 4,413.00 has con sistemas de riego; en 2014 registró una producción de 29,459.23 t con un rendimiento promedio de 9.65 t ha^{-1}, mientras que la media nacional bajo condiciones de riego fue de 16.67 t ha^{-1} SIAP (2015).

Sin embargo, recientemente la producción se ha visto afectada por la poca disponibilidad de agua como resultado de las bajas precipitaciones registradas en los últimos años en los estados del Norte de México, declarándose una condición de sequía extrema en toda la parte Norte del país, (CONAZA, 2011). Particularmente, la región manzanera de Arteaga Coahuila, enfrenta un grave problema por la sobreexplotación de los acuíferos, debido a esto se han realizado varios estudios con el objetivo de hacer más eficiente el uso de los recursos hidráulicos empleado sensores y modelos empíricos para determinar la Evapotranspiración (ET) a partir de información meteorológica; lamentablemente ésta información generalmente no está disponible en la mayor parte de las estaciones de México, Jiyane y Zermeño-González (2003). Otra problemática es que los estudios son escasos y específicos para una población de árboles muy reducida, por lo tanto no permiten conocer las demandas hídricas a nivel de parcela.

La demanda de agua y la disponibilidad de la misma es uno de los factores que más influyen en la adaptación, crecimiento y desarrollo de las plantas (Dragoni *et al*., 2005). En las regiones agrícolas semiáridas, donde el ciclo hidrológico está fuertemente influenciado por el consumo de agua de los cultivos, es necesario

realizar una precisa estimación de la ET para favorecer el ahorro a través de prácticas de riego más eficientes (Hoedjes *et al*., 2008; Jensen *et al*., 1990). Es por eso que desde el enfoque de la irrigación, la estimación de la ET_{real} es primordial para determinar de la frecuencia de aplicación y la cantidad de agua a aplicar, (Gurovich, 1985). En la agricultura, la ET_{real} es el producto de la evapotranspiración de referencia ET_o multiplicada por un coeficiente de desarrollo de cultivo Kc específico para cada especie, Girona *et al*. (2011). También, la ET_{real} se puede medir directamente usando los métodos micrometeorológicos (Cociente de Bowen y Técnica EC-BE) y del balance hídrico (lisímetro de pesada), Ortega-Farías *et al*. (2000).

El método micrometeorológico de mayor precisión para determinar la ET de diferentes condiciones y tipos de vegetación es el la Técnica EC-BE, (Warland y Taillon, 2002). Ésta técnica permite cuantificar la ET_{real} y la tasa fotosintética de manera precisa para toda una huerta considerando un gran número de árboles además de proveer información del microclima de manera continua de tal manera que la toma de decisiones para la programación del riego suele ser más oportuna.

Ante la gran problemática que representa la escasez de agua. Este proyecto permitirá hacer un uso más eficiente de los recursos hidráulicos, pretende también que los productores se vean motivados a invertir en infraestructura, tecnología e incentivarlos para la adopción de conocimientos con el fin de reducir los costos operacionales, de tal manera que esto permita incrementar la superficie cultivada, la cantidad y calidad de la producción, favoreciendo directamente a la mejora económica del sector agrícola en la región.

III. HIPÓTESIS

Los valores de evapotranspiración real (ET_{real}) medidos con la Técnica EC-BE son iguales a la evapotranspiración de cultivo (ET_c) calculados con el método de FAO Penman-Monteith.

La asimilación instantánea de CO_2 medida con la Técnica EC-BE (cámara abierta) es igual a la medida con el método puntual (cámara cerrada).

IV. OBJETIVOS

IV.1 Objetivo general

Determinar el flujo de vapor de agua (ET_{real}) con la Técnica EC-BE y el método FAO Penman-Monteith, además de determinar los flujos instantáneos de CO_2 (P_N) con la Técnica EC-BE y el método puntual.

IV.2 Objetivos específicos

a) Comparar la ET_{real} medida con la Técnica EC-BE y la evapotranspiración de cultivo (ET_c) estimada con el método de FAO Penman-Monteith.
b) Determinar el coeficiente de desarrollo de cultivo (Kc) mediante la ET_{real} medida con la Técnica EC-BE.
c) Determinar la tasa instantánea de asimilación de CO_2 de la huerta manzanera medida con un analizador de CO_2/H_2O de cámara abierta y su relación con la tasa instantánea de fotosíntesis neta (P_N) medida con el método puntual mediante un sistema de cámara cerrada.
d) Evaluar el efecto de la malla antigranizo en la radiación solar (R_s).
e) Evaluar el comportamiento de los componentes del (BE) por el manejo de la malla antigranizo.

V. MATERIALES Y MÉTODOS

V.1.1 Sitio de estudio

El estudio se realizó en el rancho Roncesvalles, localizado en el ejido Los Lirios municipio de Arteaga, Coahuila. El lugar está situado a una latitud de 25°23'29.35" N con longitud de 100°36'24.25" W, con elevación de 2261 msnm una distancia de 50 km de la ciudad de saltillo. El clima de la zona es templado sub-húmedo; en 2014 se registró una precipitación de 655.6 mm, los meses con mayor precipitación fueron mayo, junio y septiembre.

V.1.2 Características de la huerta de manzano

En la huerta se encuentran establecidas dos variedades de manzano (*Malus x domestica* Borkh), el 50% de la superficie es cultivada con Golden Estándar, en el otro 50% de la superficie en estudio se cultiva la variedad Golden Vigas y, en ambos casos los árboles miden entre 3 y 4 m de altura.

El lote en estudio mide 208 m de largo por 214 m de ancho equivalente a 4.45 has, el marco de plantación es de 4x4 m para Golden Estándar y 3x4 m para Golden Vigas.

La huerta cuenta con un sistema de riego por goteo con goteros a cada metro con un gasto de 2 LPH, tiene una malla anti-granizo con hilos de polietileno de color negro, con aperturas de 0.5 cm por 0.4 cm y un efecto de sombreo del 12% según el fabricante. El riego se aplicó de acuerdo al paquete tecnológico del agricultor cooperante.

V.2 Instrumentación y variables evaluadas

V.2.1 Ubicación de la estación EC

El consumo de agua por el cultivo se evaluó midiendo el flujo de vapor de agua entre el dosel del cultivo y la atmósfera utilizando la Técnica EC-BE. Este método micrometeorológico para medir flujos de masa y energía entre las superficies vegetales y la atmósfera requiere de superficies grandes, planas y homogéneas, para lo cual se ubicó una sección uniforme con una ligera pendiente de aproximadamente 2% de inclinación (Este-Oeste) y una superficie de 4.45 has. La Estación EC se colocó a una distancia de 200 m dentro del cultivo y el anemómetro sónico tridimensional se orientó en barlovento respecto a los vientos dominantes señalados en la imagen por las flechas blancas (Figura 2).

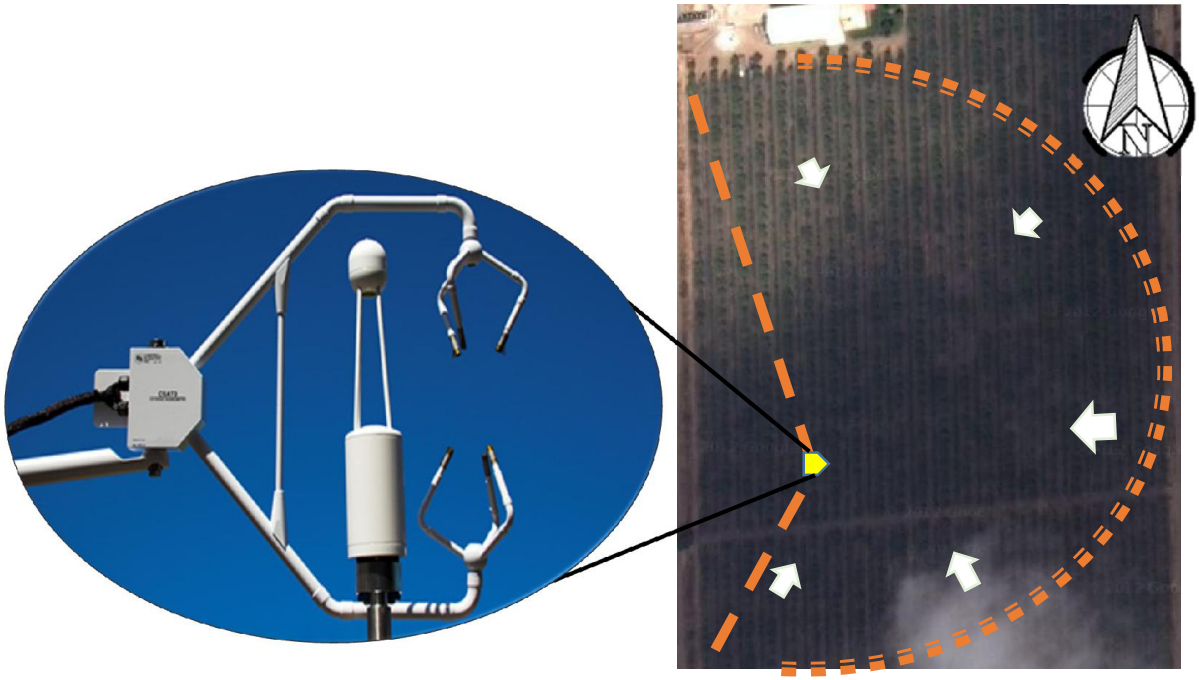

Figura 2. Ubicación de la estación EC dentro de la huerta manzanera Roncesvalles en el ejido Los Lirios.

La orientación de los vientos dominantes se determinó con la información proporcionada por la estación meteorológica Roncesvalles ubicada a una distancia aproximada de 200 m de la estación EC.

V.2.2 Componentes de la estación EC

La estación Eddy Covariance se compone de un analizador infrarrojo de cámara abierta modelo LI-7500 (marca, Lincoln, Nebraska, USA), un anemómetro sónico tridimensional modelos CSI-CSAT3 (marca, Campbell, Scientific, Inc. Logan, Utah, USA), dos radiómetros netos (LITE, Keep and Zonen, Inc., Delft, Holanda), una sonda modelo HP45C (marca Vaisala, Inc., Woburn, MA, USA.) para medir temperatura y humead relativa del aire, dos transductores de flujo de calor en el suelo modelo HFT3 (marca, Campbell Scientific, Inc., Logan, Utah, USA.), dos termopares de 4 puntas, estos sensores fueron conectados a dos dataloggers modelo CR1000 (marca, Campbell Cientific, Inc., Logan, Utah, USA).

Cuadro 3.- Sensores utilizados para la medición de variables en la huerta manzanera Roncesvalles en el ejido los Lirios

Equipo	Marca	Variable	Unidades
Anemómetro Sónico Tridimensional	Campbell SCI	Velocidad del viento (XYZ)	m s^{-1}
Open path (LI-7500)	LI-COR	Vapor de agua y CO_2	mg $m^{-2}s^{-1}$ de H_2O/CO_2
Radiómetro neto	Kipp & Zonen's NRLITE2	Radiación neta	MJ m^{-2}
Piranómetro	Apogee-Inst.	Radiación total	W m^{-2}
Pluviómetro	Texas Electronics	Precipitación pluvial	mm
Sonda de temperatura y humedad relativa (HMP45C)	Vaisala	Temperatura y humedad relativa	°C y %
TDR (CS615)	Campbell SCI	Contenido de humedad en el suelo (Pv)	%
Plato de flujo de calor en el suelo	REBS-HFP03	Flujo de calor en el suelo	W m^{-2}
Datalogger (CR1000)	Campbell SCI		
Termopar de 4 puntas			°C

La estación EC se instaló sobre una torre de andamios de 4 metros de altura. En la parte superior de la torre se instalaron el anemómetro sónico tridimensional, el Open path, dos piranómetros sobre y bajo la malla, la sonda vaisala y dos radiómetros netos, uno de ellos sobre la línea de cultivos y el otro sobre el pasillo.

En la parte inferior de la torre se instalaron dos platos de flujo de calor, uno en la línea de riego y otro sobre el pasillo, ambos a una profundidad de 0.08 m. Para

monitorear el contenido de humedad del suelo se instaron 4 sondas TDRs modelo CS615 (marca Campbell SCI, Logan, Utah, USA). Los TDRs se instalaron en el pasillo y la línea de árboles, en cada punto se colocó dos TDRs horizontal y verticalmente. La temperatura del suelo se midió con dos termopares de 4 puntas a dos profundidades 0.02 y 0.06 m.

Los TDR´s se calibraron mediante una correlación de las lecturas de humedad registradas con los equipos y los resultados obtenidos de 4 muestreos de humedad por el método gravimétrico.

Para conocer la frecuencia y volúmenes de riego aplicado se instalaron dos pluviómetros modelo: TR-5250 (marca, Texas Electronics INC. USA). Uno bajo la línea de goteo correspondiente a la variedad Estándar y el otro para la variedad Vigas. Los resultados fueron ajustados restando los volúmenes aportados por efecto de la precipitación la cual se registró en la estación meteorológica Roncesvalles (INIFAP) ubicada a 200 m de la huerta.

Se midió la transmisividad de la malla y como afecta a la evapotranspiración. Para esto se emplearon dos piranómetros de silicón modelo SP-110 (marca, Apogee Logan, Logan, Utah, USA) con el objetivo de cuantificar la radiación solar total sobre y bajo la malla antigranizo

Todo el sistema fue alimentado por tres paneles solares, dos de 64 y uno de 12 W conectados a dos Baterías de ciclo profundo marca Trojan.

La Estación operó de Junio a Diciembre de 2014. Los sensores colocados en la parte superior de la torre fueron programados para operar a una frecuencia de 10 Hz y los instalados en suelos a 1Hz, el datalogger recopiló promedios de la información a cada 30 min. La información fue registrada y almacenada en dos tarjetas SD instaladas en los dataloggers.

A lo largo del experimento se realizaron visitas cada 15 días para colectar la información, dar mantenimiento preventivo a los equipos y verificar su correcto funcionamiento. La información se recopiló con el software LoggerNet 3.4.1 de Campbell Scientific.

V.3 Variables fenológicas del cultivo de manzano medias con equipo no automatizado.

Para la evaluación de las variables fenológicas del cultivo se creó un transecto a lo largo de la huerta, considerando el inicio del mismo la estación EC y con orientación paralela a la del anemómetro sónico tridimensional, es decir en barlovento respecto a los vientos dominantes provenientes del Este.

A lo largo del transecto fueron seleccionados arboles de la variedad GV y GE que fueran representativos de la hilera de cultivo en la que se encontraban, los criterio considerados para la selección de árbol fueron.

1. Ubicación paralela a la dirección la estación EC.
2. Árboles con características similares al resto de la fila.
3. Omitir árboles con función polinizadora.

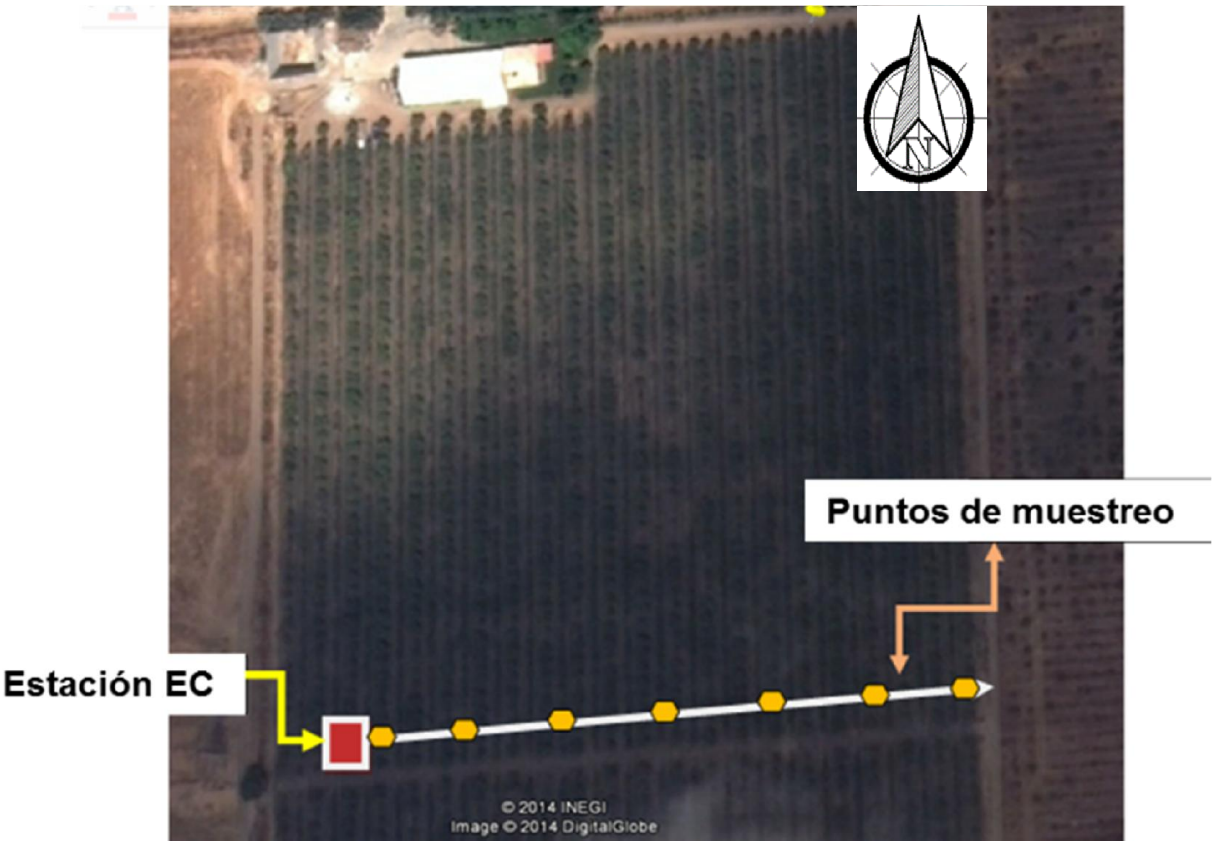

Figura 3. Representación gráfica del transecto con puntos de muestro para la toma de datos de fotosíntesis, potencial hídrico e índice de área foliar, considerando un espaciamiento aproximado de 6 hileras de cultivo entre cada punto.

V.3.2 Fotosíntesis

Para conocer la tasa fotosintética de los árboles de manzano al medio día solar, se realizaron dos muestreos puntuales empleando un Analizador de Gases Infrarrojo modelo LI-6400XT (marca LICOR, Lincoln, NE USA). En cada punto de muestreo se consideró un árbol de cada variedad.

Los muestreos se realizaron el 18 de julio y 14 de septiembre de 2014 entre las 13:00 y 15:00 h. Las mediciones se hicieron en hojas bien desarrolladas y libres de enfermedades. Se consideraron hojas con orientación Sur, Sureste y suroeste por

ser los puntos más expuestos a la radiación solar ya que ésta es la fuente de energía empleada por las plantas para la fotosíntesis (Figura 4).

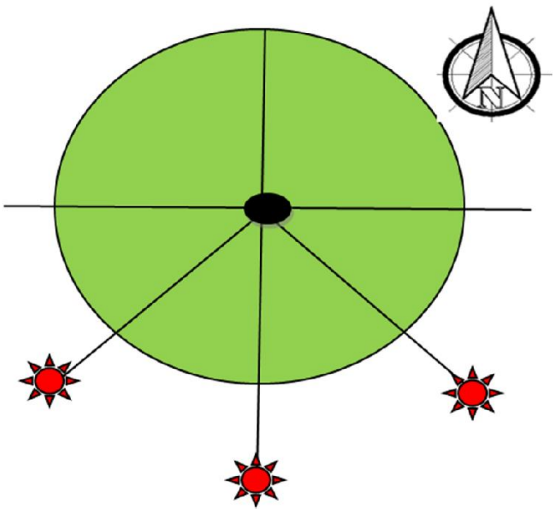

Figura 4. Representación gráfica de los puntos del árbol seleccionados para realizar las mediciones de fotosíntesis, potencial hídrico e índice de área foliar.

V.3.3 Potencial hídrico xilemático

Para conocer el estado hídrico de los árboles de manzano durante el periodo experimental, se realizaron 5 mediciones del Potencial del Agua en la Planta con fechas del 18 de junio, 14 de julio, 18 de septiembre, 17 de octubre y 11 de noviembre del 2014.

Fueron seleccionadas hojas en bien desarrolladas y libre de enfermedades de los arboles marcados a lo largo del transecto (Figura 3). Las mediciones se realizaron empleado una cámara de presión Scholander modelo 3115 portable (marca SoilMoisture Equipament Corp. California USA) y se siguió la metodología sugerida por (Gálvez *et al*., 2011). Las lecturas se tomaron entre las 12:00 y las 14:00 h.

V.3.4 Índice de área foliar

Para evaluar la dinámica del follaje y su relación con la disminución de la tasa fotosintética de la huerta se realizaron tres mediciones del índice del área foliar en las fechas 05 y 18 de septiembre y una tercera medición el 17 de octubre de 2014.

Las mediadas del IAF se realizaron con el equipo LAI-2200 (Plant Canopy Analyzer, LI-Cor Lincoln, NE USA) el cual emplea la tecnología de ojo de pez que consiste en cuantificar la intercepción de luz por el dosel del cultivo desde 5 ángulos diferentes. Esto proporciona una mejor lectura de las capas de hojas superiores del árbol.

Para la medición del LAI se tomó una lectura con el equipo sobre la copa del árbol, se tomaron dos medidas más en la parte Norte y Sur de la base del tronco para lo cual se adaptó una lenticela en el sensor óptico con un ángulo de medición de 180°, (Figura 5).

Figura 5. Esquema de la Medición del Índice de Área Foliar de los árboles de manzana con el equipo LAI-2200 en la huerta Roncesvalles.

Este equipo da mejores resultados cuando la intensidad de radiación no es tan alta, es por eso que para evitar la incidencia de radiación directa y de acuerdo con el fabricante las lecturas fueron tomadas por la tarde entre las 17:00 y 18:00 h.

Para el análisis estadístico se aplicó la prueba de T- Student a las variables P_N (método puntual), Ψx y LAI de los árboles de manzano. El estudio de éstas variables se realizó con la finalidad caracterizar la cubierta vegetal y verificar que se encontraba en condiciones similares. Para éste estudio se empleó el software SAS 9.1.3.

V.4 Evaluación de la producción de manzano en la huerta Roncesvalles.

Para evaluar la producción se cosechó y pesó la carga de cada árbol marcado dentro el transecto utilizado para realizar las mediciones de fotosíntesis, potencial hídrico e índice de área foliar.

Se restó el peso de las mochilas empleadas para la recolección. El equipo de pesada fue una báscula portable Defender OHASUS-3000. Posteriormente la cosecha se trasportó en cajones de madera especiales para la conservación de la manzana.

VI. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

En éste capítulo se presentan, analizan y discuten los resultados obtenidos en el trabajo experimental iniciando con las variables fenológicas.

VI.1 Índice de área foliar

El LAI fue medido en las dos especies de manzano (*Malus domestica* Borkh). En la Figura 6 observamos que los árboles ubicados hacia las orillas de la huerta presentaron menor LAI. El menor desarrollo foliar hacia orillas de la huerta es resultado de condiciones micrometeorológicas menos favorables debido al contacto de las hojas con masas de aire calientes y ráfagas de viento que pueden llegar a limitar el desarrollo óptimo de las hojas e incluso a provocar defoliación. A medida de que las masas de aire caliente se internan en la huerta pierden energía lo que genera mejores condiciones para los árboles favoreciendo su desarrollo foliar.

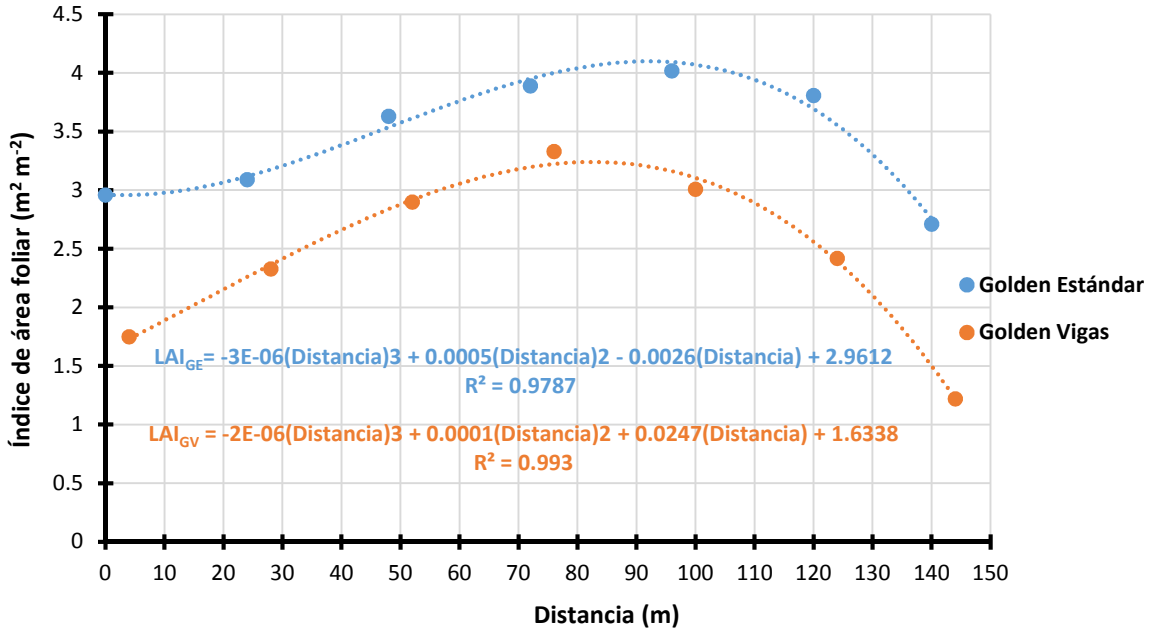

Figura 6.-Dinámica de LAI de dos variedades de manzano desde la estación EC con dirección Este a lo largo de la huerta, medido el DJ 248 del 2014 en la huerta Roncesvalles en la Sierra de Arteaga Coahuila.

La media de los resultados obtenidos los DJ 248, 261 y 290 indican que ambas variedades presentan valores similares de LAI, aunque GV fue más constante en sus valores de LAI con un promedio de 2.58 m^2 m^{-2} como se observa en la Figura 7. Sin embargo, el análisis estadístico del LAI de ambas variedades indica que no existen diferencias estadísticamente significativas, Cuadro 4.

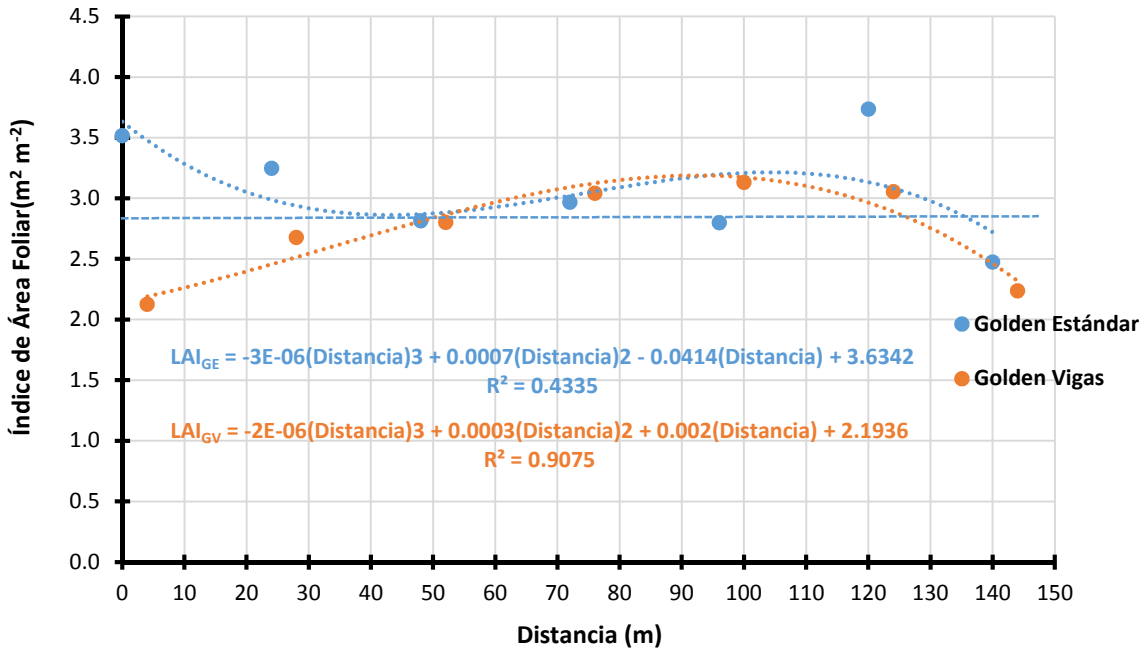

Figura 7. Promedio del LAI de dos variedades de manzano medidos los DJ 248, 261 y 290 en la huerta Roncesvalles en la Sierra de Arteaga, Coahuila, en el año 2014.

Cittadini (2006) menciona que para árboles caducifolios como cerezos, un LAI de entre 2.5 y 3.5 son buenos y que esto dependerá del sistema de conducción, marco de plantación y región geográfica. Según (Hochmaier, 2010) a medida que el valor del LAI aumenta por encima del óptimo, se incrementa la cantidad de luz interceptada hasta alcanzar un valor donde existe gran cantidad follaje que se traduce en sombreo dentro de la cubierta vegetal reduciendo así su potencial

fotosintético. Además los bajos niveles de luz, afectan la formación de yemas florales y el crecimiento del fruto pueden verse reducidos (Wagenmakers, 1994).

Cuadro 4.-Análisis estadístico del promedio de tres muestreos del LAI de dos variedades de manzano cultivadas en la Huerta Roncesvalles en la Sierra de Arteaga, Coahuila, en DJ 248, 261 y 290, en el año 2014.

Tratamiento	LAI (m^2 m^{-2})
Golden Estándar	3.0811ª
Golden Vigas	2.7869ª

*Letras iguales en la columna a continuación de la media indican que no existen diferencias estadísticamente significativas entre los tratamientos según la prueba T-Student (P≤0.05)

Los valores de LAI obtenidos en este estudio son similares a los reportados por, Zanotelli *et al. (*2014) en un experimento realizado en una huerta de manzano en el Norte de Italia y cuyos valores máximos de LAI fueron de 3.4. Yuri y Ormazábal (2002) reportan valores de LAI de 4 variedades de manzano Royal Gala, Royal Chief, Braeburn y Fuji con un valor medio de 3.6. El área foliar fue medida con LI-3100 (marca LI-Cor Lincoln, NE USA) y el LAI fue el cociente del área foliar entre el área asignada a cada árbol, para ello realizaron el desoje total de cada árbol, dicho estudio se realizó en la localidad de San Clemente, Chile. Por lo tanto, los valores de LAI indican que las prácticas de poda y aclareo en la Huerta Manzanera Roncesvalles son adecuadas.

VI.2 Potencial hídrico xilemático

El estado hídrico varía en respuesta a la demanda atmosférica y a los niveles de humedad del suelo y se ve reflejado en la fisiología de la planta (Cohen *et al*., 2005; Steduto *et al*., 2012). Una manera de conocer dicho estrés es midiendo el Ψx.

En éste trabajo de investigación se midió el Ψx de dos variedades de manzano al medio día solar, desde mediados de la etapa de crecimiento de fruto hasta finales de senescencia y principios de dormancia. En los muestreos correspondientes a los DJ 169,195, 261 y 315 el Ψx fue igual para ambas variedades, mientras que el DJ 290 los valores presentaron diferencias estadísticamente significativas como se observa en el Cuadro 5. En la Figura 8 se aprecia que variedad GE fue la que presentó valores de potencial hídrico ligeramente más negativos respecto a GV. Esto fue debido a que GE presentó mayor carga de producción superando a GV en un 16%.

Los resultados de Ψx de éste estudio son parecidos a los reportados por Parra-Quezada *et al*. (2009) quien con el objetivo de evaluar el efecto de la carga y el déficit hídrico en la calidad y producción de manzana Empire/M.9 establecieron un experimento con dos niveles de humedad del suelo, el primero fue bien regado y el segundo consistió en aplicar un déficit de riego tardío, sus resultados fueron potenciales hídricos de hoja que oscilaron entre -1.5 y -0.7 MPa para el tratamiento sin restricciones de agua, en contraparte en el tratamiento con déficit de riego tardío se generaron valores de potencial hídrico de la hoja de hasta -3.5 MPa lo cual indica una estrecha relación entre el potencial hídrico y el contenido de agua en el suelo.

Cuadro 5. Mediciones de potencial hídrico xilemático (Ψx) de dos variedades de manzano cultivadas en el rancho Roncesvalles en la sierra de Arteaga, Coahuila, durante el año 2014.

Tratamiento	**Día Juliano**				
	169	**195**	**261**	**290**	**315**
	Ψx (MPa)	**Ψx (MPa)**	**Ψx (MPa)**	**Ψx (MPa)**	**Ψx (MPa)**
Golden Estándar	-0.96[a]	-1.12[a]	-0.92[a]	-1.19[a]	-0.63[a]
Golden Vigas	-0.88[a]	-1.02[a]	-0.84[a]	-0.99[b]	-0.62[a]

*Letras iguales en la columna a continuación de la media indican son estadísticamente iguales según la prueba T-Student (P≤0.05).

Por lo tanto, los valores de Ψ_x obtenidos en la huerta de manzano Roncesvalles indican que no se presentó estrés hídrico, es decir que ambas variedades se encontraban en condiciones adecuadas para evaluar flujos de CO_2 y H_2O, siendo únicamente los días 195 y 290 respectivamente donde los arboles presentaron el Ψ_x más negativos sin mayor efecto como ve en la (Figura 8). Steduto *et al.* (2012) menciona que valores de Ψx entre -0.5 a -0.1 MPa representan un buen estatus hídrico del árboles de durazno y otras especies perenes.

Los Ψx más negativos el DJ 195 fue debido a que el cultivo se encontraba en la etapa de crecimiento de fruto, en esta etapa la demanda hídricas aumentan, Girona *et al*. (2011) menciona que previo a la maduración el manzano sufre un incremento en la demanda de agua. El DJ 290 la poca disponibilidad de agua en el suelo ocasionó los valores de Ψx más negativos, el contenido de humedad en el suelo fue de 0.13 cm^3 cm^{-3} como se parecía en la (Figura 9), esto debido a la falta de riego y a la escasa precipitación. En la (Figura 8) podemos ver que ambas variedades se mantuvieron en condiciones hídricas óptimas para su desarrollo. Naor *et al.* (2006) señala que valores del Ψx de hasta -1.2 MPa para árboles de manzano no afectan negativamente a la producción, sin embargo cuando se alcanzan Ψx de hasta -2.5 MPa las hojas de árboles frutales como el Chabacano cierran estomas lo que reduje la actividad fotosintética.

Los niveles de Ψx en el manzano representan el grado de estrés que el árbol experimenta, en la Figura 8 se muestran los niveles de Ψx adecuados y perjudiciales para árboles frutales según (Naor *et al.*, 2006; Steduto *et al.,* 2012).

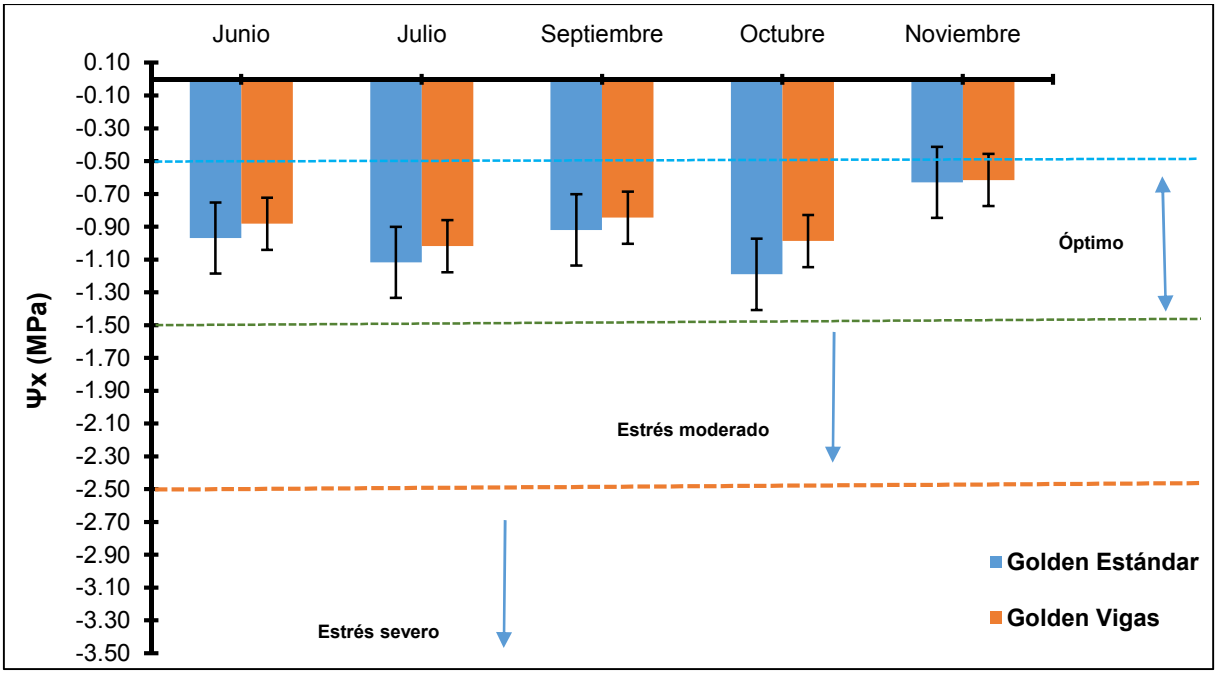

Figura 8. Potencial hídrico xilemático (Ψx) de dos variedades de manzano medido en diferentes etapas fenológicas del cultivo durante el 2014 en la huerta Roncesvalles en la Sierra de Arteaga, Coahuila.

Chenafi *et al.* (2013) reportan que cuando los niveles Ψx alcanzaron entre -1.3 y -1.4 MPa la fruta del manzano variedad Gala redujo su calibre entre un 8 y 14 % pero esto favorece el incremento en la concentración de azúcares en el fruto. A partir de la cosecha entre los días del año 210 y 220 podemos apreciar un descenso del Ψx excepto el día del año 290 cuando los bajos niveles de humedad en el suelo propiciaron Ψx más negativos como se ve en la Figura 9, sin embargo de acuerdo con Zegbe *et al*. (2007) los valores de hasta -1.5 MPa no ocasionan cambios en la fisiología del manzano por lo que en este experimento podemos considerar que ambas variedades estuvieron en condiciones de estrés hídrico similares. Y solo cuando el Ψx supera los -6.0 MPa por un periodo de tiempo prolongado puede resultar letal para los árboles frutales, Pérez-Pastor (2009).

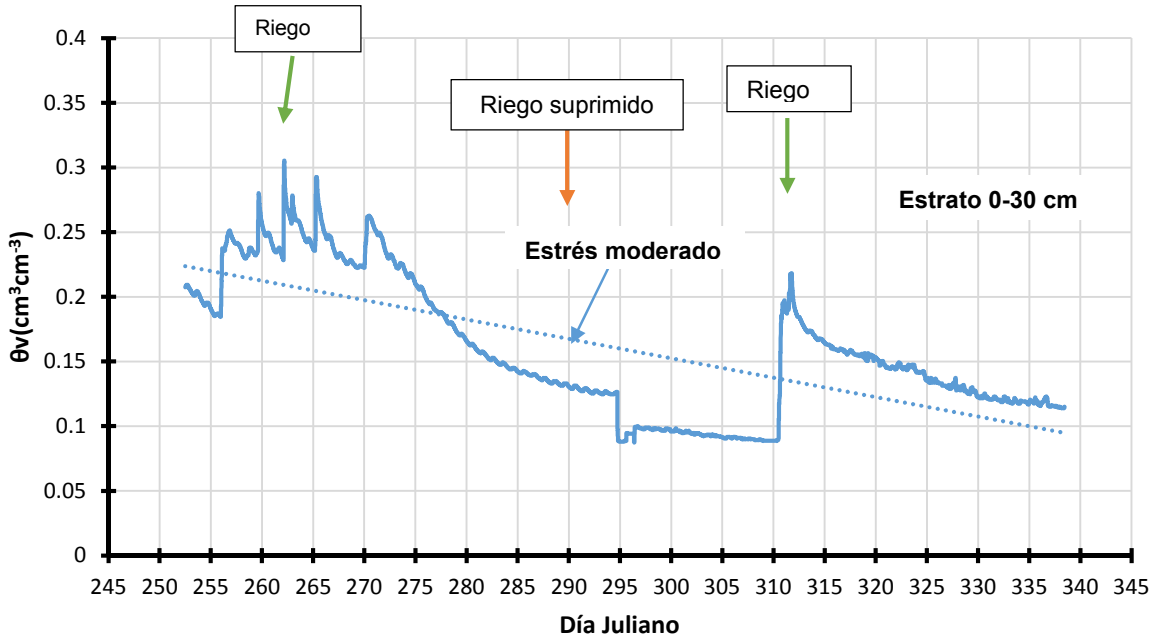

Figura 9. Dinámica del contenido de humedad en el suelo medido con la técnica del TDR sobre línea de cultivo posterior a la cosecha en la Huerta Roncesvalles en la Sierra de Arteaga, Coahuila, durante el año 2014.

La programación de los riego consistía en regar la tercer semana de cada mes, sin embargo éstas fechas se modificaban de acuerdo al criterio del productor, es por eso que durante la etapa de evaluación desde el DJ 253 al 338, se programaron tres riegos el primero el DJ 262, el segundo el DJ 290 y el tercero el DJ 310, sin embargo en la Figura 9 vemos que el productor no efectuó los riegos de los DJ 260 y 290. El riego correspondiente del DJ 260 se suspendió por eventos de precipitación, también se omitió el riego correspondiente al DJ 290 a pesar de no presentarse eventos de precipitación lo que provocó que las mediciones del Ψx en esa fecha tuvieran los valores más negativos de todo el periodo.

En la Figura 9 podemos ver un claro descenso del contenido de humedad en el suelo desde el día del año 270 al 310, esto fue producto de la escasa precipitación

y la falta de riego durante ese periodo, a partir del día del año 310 se aprecia un incremento en el contenido de humedad en el suelo por efecto del riego aplicado.

VI.3 Rendimiento

Cuadro 6. Rendimientos de dos variedades de manzano en la Huerta Roncesvalles en la sierra de Arteaga, Coahuila, en el año 2014.

Variedad	Kg arbol^{-1}	Rend t ha^{-1}
GV	**61.20**	**15.14**
GE	**85.66**	**18.01**
Promedio		**16.57**

En el Cuadro 6 podemos apreciar que el rendimiento medio de la huerta Roncesvalles fue de 16.57 t ha^{-1} y fue GE quien alcanzó mayor rendimiento hasta un 16% superior a GV. Estos resultados indican que la producción está por arriba de la media nacional según el reportado por el SIAP (2015) ya que en 2014 media nacional fue de 14.7 t ha^{-1}.

VI.4 Evapotranspiración del cultivo de manzano en diferentes etapas fenológicas.

Existe gran diversidad de metodologías para determinar los requerimientos hídricos del cultivo. El método FAO Penman-Monetith es el más comúnmente empleado, sin embargo ésta metodología debe ser ajustada para cada región geográfica mediante un Kc, por lo que su uso en huertas manzaneras en la Sierra de Arteaga causa incertidumbre, en este capítulo se analizan los valores de Kc sugeridos por la FAO en el manual 56 para el cultivo de manzano y dichos resultados se comparan con lo reportado por otros autores, además se discuten los resultados de ET_{real} y valores de Kc_{real} obtenidos mediante la Técnica EC-BE.

La lámina de agua evapotranspirada en un determinado intervalo de tiempo se obtuvo dividiendo el valor de LE integrado en dicho tiempo por el calor de vaporización del agua (2.44 x 10^6 J Kg^{-1}).

Cuadro 7. Cálculo y medición de la evapotranspiración del cultivo de manzano durante el crecimiento del fruto, empleando diferentes metodologías en la huerta manzanera del rancho Roncesvalles en la Sierra de Arteaga, Coahuila, durante el año 2014.

Etapa Fenológica	DJ	ET_o (FAO-PM) mm	Kc FAO	ET_c mm	ET_{real} mm	Kc_{real}
	161	5.20	1.20	6.24	3.40	0.65
	162	5.00	1.20	6.00	4.34	0.87
Crecimiento	165	3.22	1.20	3.86	2.17	0.67
	166	1.80	1.20	2.16	2.05	1.14
	174	3.70	1.20	4.44	3.78	1.02
Promedio		3.78	1.20	4.54	3.15	0.87

Según la FAO durante la etapa de maduración el Kc del manzano es de 1.2, este valor difieren en gran medida con el Kc_{real} ya que en esta etapa fenológica fue de 0.87, el cual es parecido a lo que reporta (Ribeiro *et al.*, 2011) para manzana Royal Gala en Brasil ya que obtuvo un Kc de 0.83 durante la misma etapa fenológica. Entre 6 y 8 semanas después de floración, el manzano puede llegar a tolerar niveles relativamente altos de estrés hídrico ya que realiza la translocación de asimilados del año anterior, posterior a esta etapa las demandas hídricas se incrementan significativamente (Contreras de la Ré, 2006; Girona *et al.*, 2011). Lo anterior concuerda con lo observado en el Cuadro 7, donde vemos que tanto la ET_{real} como la ET_c presentan valores relativamente altos, ya que el consumo de agua del el manzano incrementa sus demandas en la etapa de crecimiento. Adicional a esto el mes de Junio alcanzó temperaturas máximas de hasta 30 °C y esto aumenta la ET Steduto *et al*. (2012) mencionan que dos factores clave que determinan el consumo de agua de los manzanos son la demanda evaporativa de la atmósfera y la cobertura del dosel, que determina la cantidad de energía interceptada por el dosel.

Cuadro 8. Cálculo y medición de la evapotranspiración del cultivo de manzano durante la maduración del fruto, empleando diferentes metodologías en la huerta manzanera del rancho Roncesvalles en la Sierra de Arteaga, Coahuila, durante el año 2014.

Etapa Fenológica	DJ	ET_o (FAO-PM) mm	Kc FAO	ET_c mm	ET_{real} mm	Kc_{real}
Maduración	223	5.00	1.20	6.00	3.76	0.75
	224	5.62	1.20	6.74	4.26	0.76
	225	3.80	1.20	4.56	3.11	0.82
	236	3.60	1.20	4.32	3.08	0.86
	238	5.00	1.20	6.00	3.78	0.76
	239	6.00	1.20	7.20	3.89	0.65
Promedio		4.84	1.20	5.80	3.65	0.76

Orozco-Corral (2010) reporta valores de Kc para manzano de 0.8 para el mes de agosto, éste valor de Kc es muy parecido al Kc_{real} obtenido mediante la Técnica EC-BE para la etapa de maduración. Girona *et al*. (2011) reporta que el Kc del manzano manifiesta un incremento poco antes a la cosecha, sin embargo en éste estudio el Kc_{real} del Cuadro 8 no presentó aumento respecto a la etapa de crecimiento. La ET_{real} y ET_c se incrementaron entre 0.5 y 1.26 mm respectivamente comparado con la etapa anterior lo que coincide con Parés-Martínez (2011) en España quien reporta que la ET_o del manzano se incrementa durante el mes de julio con un máximo en agosto y en septiembre inicia un descenso. Ribeiro *et al*. (2011) reporta valores de ET_c promedio de 3 mm dia^{-1} durante la etapa de crecimiento y maduración de la manzana con máximos de 4.5 mm dia^{-1}, similar a la ET_{real} y menor a la ET_c medida en éste estudio.

Cuadro 9.- Cálculo y medición de la evapotranspiración del cultivo de manzano durante la etapa de poscosecha fruto, empleando diferentes metodologías en la huerta manzanera del rancho Roncesvalles en la Sierra de Arteaga, Coahuila, durante el año 2014.

Etapa Fenológica	DJ	ET_o (FAO-PM) mm	Kc FAO	ET_c mm	ET_{real} mm	Kc_{real}
Poscosecha	255	3.63	1.10	3.99	1.97	0.54
	257	2.56	1.08	2.76	1.51	0.59
	261	4.70	1.05	4.94	3.39	0.72
	266	5.21	1.01	5.26	3.62	0.69
Promedio		4.03	1.06	4.24	2.62	0.64

En la poscosecha, el Kc del manzano sufre un ligero descenso tal como se ve en el Cuadro 9 donde tanto el Kc_{real} y Kc promedio sugerido por la FAO disminuyeron ligeramente respecto a la etapa anterior, varios estudios reportan el mismo efecto posterior a la cosecha de la fruta, por ejemplo (Orozco-Corral, 2010; Gong *et al.*, 2007) reportan valores de Kc promedio de 0.7 correspondientes a la poscosecha, éste valor es similar al Kc_{real} medido en éste estudio con la Técnica EC-BE. La ET_{real} y ET_c disminuyeron de manera importante, esto fue debido principalmente a que posterior a la cosecha se reduce la demanda de agua del cultivo. El fruto es un sumidero de nutrientes de carbono muy importante y la retirada de los frutos retroalimenta la asimilación de carbono y reduce la conductancia estomática y la transpiración, Girona *et al*. (2011).

La ET también está ligada a la demanda evaporativa de la atmósfera. Las condiciones climáticas durante el mes de septiembre no permitieron valores altos. Las temperaturas máximas en la huerta manzanera Roncesvalles no superaron los 25 °C, y la HR tuvo un promedio mensual de 85%.

Cuadro 10.- Cálculo y medición de la evapotranspiración del cultivo de manzano durante la senescencia, empleando diferentes metodologías en la huerta manzanera del rancho Roncesvalles en la Sierra de Arteaga, Coahuila, durante el año 2014.

Etapa Fenológica	DJ	ET_o (FAO-PM) mm	Kc FAO	ET_c mm	ET_{real} mm	Kc_{real}
	277	4.08	0.92	3.75	2.29	0.56
	278	5.14	0.91	4.68	3.94	0.77
	282	5.35	0.88	4.71	2.89	0.54
	284	4.71	0.86	4.05	2.71	0.58
	291	4.28	0.81	3.47	2.07	0.48
	293	3.98	0.80	3.18	1.22	0.31
Senescencia	301	3.52	0.76	2.68	2.04	0.58
	302	4.18	0.76	3.18	1.77	0.42
	303	3.97	0.75	2.98	1.81	0.46
	304	3.83	0.75	2.87	1.25	0.33
	312	3.19	0.71	2.26	2.23	0.70
	315	3.32	0.69	2.29	1.11	0.33
	319	3.1	0.68	2.11	1.29	0.42
Promedio		4.05	0.79	3.25	2.05	0.50

El uso de agua de los cultivos está estrechamente ligado al tamaño del follaje, Fereres *et al.* (1982). Es por ese que el descenso en el LAI repercutirá directamente en la ET, en el Cuadro 10 se observa que el valor promedio del Kc_{real} para la etapa de senescencia disminuyó hasta un 40% respecto a la etapa de crecimiento, con la ET_{real} ocurre lo mismo. La ET_c también sufrió un descenso importante, esto indica que la ET del cultivo está fuertemente relacionada con LAI ya que la transpiración es la pérdida de vapor de agua de la planta y en su mayoría se produce a través de la de las hojas. Estos resultados se parecen a los que reporta Girona *et al*. (2011) donde obtuvieron valores de Kc de 0.5 y 0.6 para ésta etapa, Gong *et al.* (2007) donde en fechas similares en arboles de manzano la ET_{real} usando microlisímetros fue de 2 mm dia^{-1}. Durante el mes de octubre ya en plena senescencia los árboles pierden la mayoría de sus hojas lo que propicia un descenso en la ET y de Kc.

Cuadro 11. Cálculo y medición de la Evapotranspiración del cultivo de Manzano al inicio de la dormancia, empleando diferentes metodologías en la huerta manzanera del rancho Roncesvalles en la Sierra de Arteaga, Coahuila, durante el año 2014.

Etapa Fenológica	DJ	ET_o (FAO-PM) mm	Kc FAO	ET_c mm	ET_{real} mm	Kc_{real}
	329	2.31	0.63	1.46	0.77	0.33
	331	3.20	0.61	1.95	0.58	0.18
Dormancia	332	3.22	0.61	1.96	0.57	0.18
	333	3.13	0.60	1.88	0.47	0.15
	336	2.71	0.59	1.60	0.46	0.17
Promedio		2.91	0.61	1.77	0.57	0.20

A fin de año el Kc y ET del cultivo de manzana experimenta un notable descenso tal como se ve en el Cuadro 11. Se observa que el Kc_{real} experimentó sus niveles más bajo por motivo de que los árboles se encontraban en la etapa de dormancia y el follaje casi era nulo reduciendo así la ET en toda la huerta. Los valores de ET_{real} obtenidos en este estudio son similares a los reportados por Girona *et al.* (2011) que obtuvieron valores de ET_c de hasta 1 mm dia^{-1} y Kc de 0.4 a partir del DJ 320 a inicios de dormancia en árboles de manzano, Ribeiro *et al*., (2011) reportan un Kc de 0.2 al final del ciclo productivo del manzano idéntico al Kc_{real} encontrado en éste estudio. De acuerdo con Allen *et al*. (2006) el Kc del manzano varía entre 0.8 y 1.2 a lo largo del ciclo de cultivo, éstos valores son superiores a los obtenidos en éste estudio.

Paço *et al*. (2006) determinaron el consumo de agua y Kc del cultivo de durazno en Portugal mediante la comparación de la ET_{real} medida por la Técnica EC-BE y la ET_c medida por el método FAO Penman-Monteith. El Kc_{real} medido con la Técnica EC-BE fue 30% menor al Kc obtenido por el método FAO Penman-Monteith, sus resultados de ET_{real} y ETc mostraron una r^2=0.73 lo que indica un buen grado de asociación. Esto es muy parecido a lo observado en éste estudio.

Cuadro 12.- Análisis estadístico de la ET_c vs ET_{real} en diferentes etapas fenológicas del cultivo en la huerta manzanera Roncesvalles en la Sierra de Arteaga, Coahuila, en el año 2014.

	Etapa Fenológica				
	Crecimiento	**Maduración**	**Poscosecha**	**Senescencia**	**Dormancia**
ET_c (mm)	4.54[a]	5.80[a]	4.23[a]	3.092[a]	1.77[a]
ET_{real} (mm)	3.15[a]	3.65[b]	2.63[b]	2.525[a]	0.57[b]

*Letras iguales en la columna a continuación de la media indican que no existen diferencias estadísticamente significativas entre los tratamientos obtenidos con la prueba T-Student (P≤0.05).

Las dos metodologías para determinar el consumo de agua en la huerta Roncesvalles manifiestan diferencias estadísticamente significativas durante la maduración, poscosecha y dormancia como se ve en el Cuadro 12 donde la ET_c fue mayor que la ET_{real}.

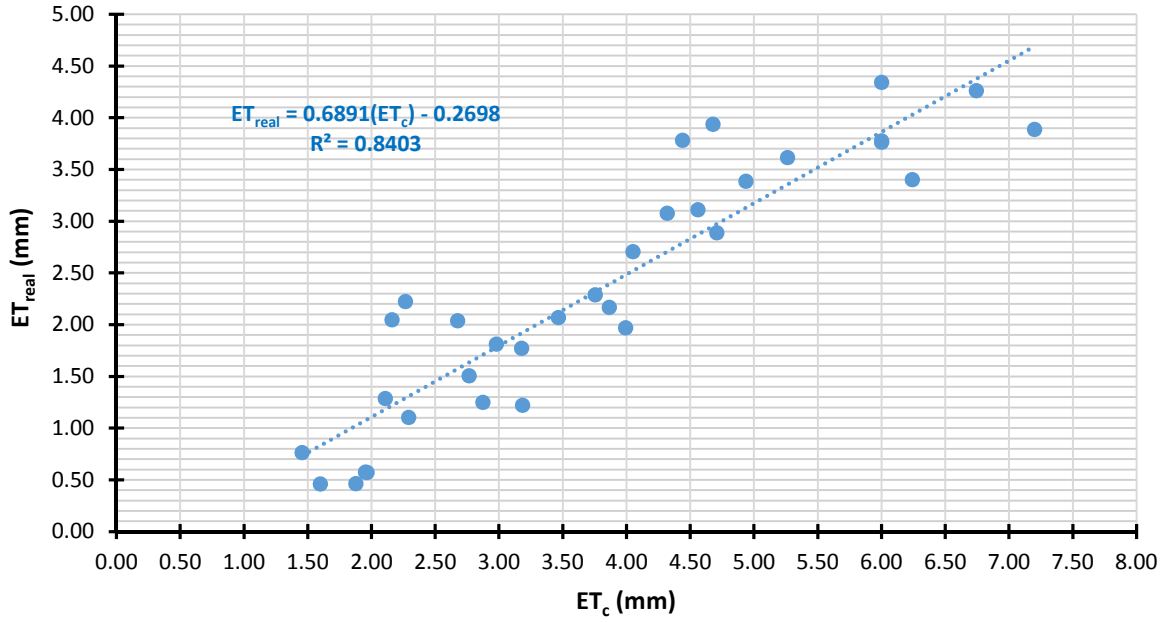

Figura 10. Comparación de la ET_{real} medida con la Técnica EC-BE y su correlación con la ET_c a partir de un Kc sugerido la FAO para el cultivo de manzano.

En la Figura 10 se ve un buen grado de asociación con una r^2 = 0.8403 entre la ET_{real} medida con la Técnica EC-BE y la ET_c, similar a lo que reporta Paço *et al*. (2006) donde la ET_c fue mayor que la ET_{real} medida con la Técnica EC-BE.

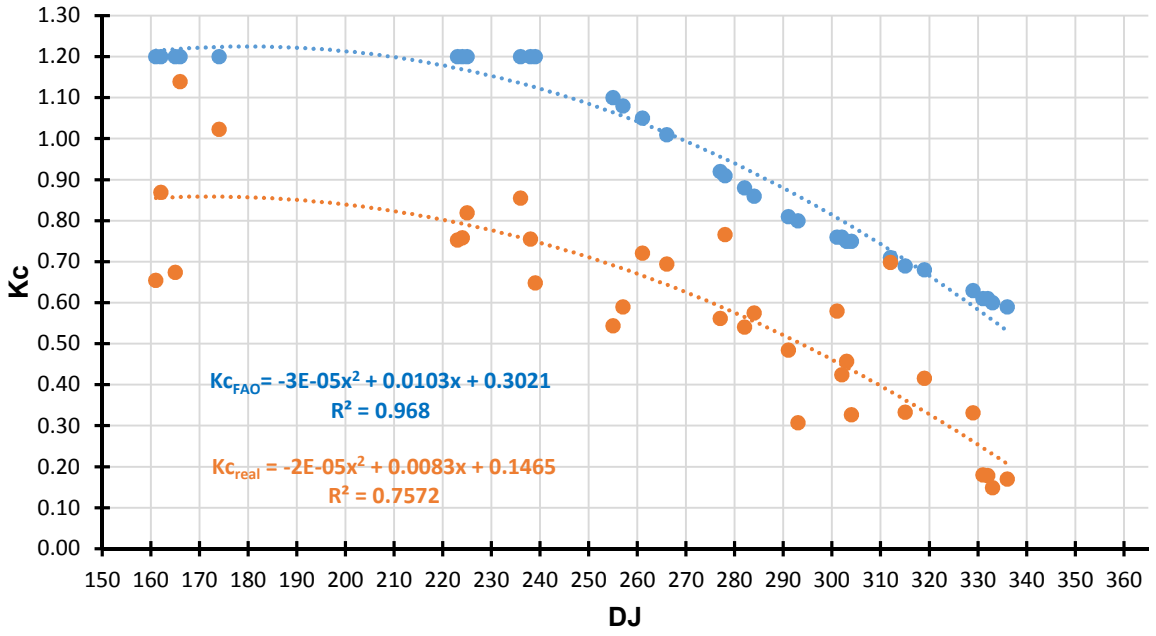

Figura 11. Comparación del Kc sugerido por la FAO y el Kc_{real} medido con la Técnica EC-BE en la huerta manzanera Roncesvalles en la Sierra de Arteaga, Coahuila, en el año 2014.

En la Figura 11 se observa la evolución del Kc desde mediados de la etapa de crecimiento hasta inicios de dormancia, el Kc tomado de la literatura fue en promedio 38%(0.93) superior al Kc_{real} medido con la Técnica EC-BE (0.58) durante el periodo evaluado presentando una σ = 0.2524.

VI.5 Análisis de la asimilación de CO_2 en la huerta manzanera medida con el método puntual y el poblacional (EC).

En este capítulo se analizan y discuten los valores instantáneos de la tasa de fotosíntesis neta (P_N) obtenidos con la Técnica EC-BE y un equipo portable modelo LI-6400XT (marca LICOR, Lincoln, NE USA) de cámara cerrada.

La P_N de una comunidad de plantas se pude determinar realizando mediciones puntuales en arboles representativos dentro de la huerta lo que implica que se debe asumir que el valor instantáneo de P_N es el mismo para toda la población, o bien se puede medir a nivel de población con la Técnica de EC-BE.

Cuadro 13.-Análisis estadístico de la tasa neta de fotosíntesis (P_N) medida por el método puntual de dos variedades de manzano cultivadas en la huerta Roncesvalles en la sierra de Arteaga, Coahuila, en el año 2014.

Día del año	**169**	**195**
Tratamiento	**Fotosíntesis (mg CO_2 m^{-2} s^{-1})**	**Fotosíntesis (mg CO_2 m^{-2} s^{-1})**
Golden Vigas	1.858[a]	1. 816[a]
Golden Estándar	1.807[a]	1.776[a]

*Letras diferentes en la columna a continuación de la media indican son estadísticamente iguales según la prueba T-Student (P≤0.05).

Los muestreos puntales de P_N indican que tanto GE como GV tuvieron los mismos niveles de fotosíntesis instantánea tal como se observa en el Cuadro 13. Parra-Quezada *et al*. (2008) mencionan que el nivel de carga puede reducir la fotosíntesis cuando existen restricciones de agua, sin embargo en éste trabajo los árboles se encontraban en buenas condiciones hídricas. La P_N también es afectada por otros factores por ejemplo la especie, variedad, edad y desarrollo de la hoja muestreada, edad de la planta (Azcón-Bieto y Talón., 2000; Chaumont et al., 1994; Horsle y Gottschalk., 1993).

Cuadro 14.- Tasa neta de fotosíntesis (T_N) medida con la Técnica EC-BE y el método puntual de dos variedades de manzano cultivadas en el huerta Roncesvalles en la sierra de Arteaga, Coahuila, en el año 2014.

Fotosíntesis				
DJ	**HHMM**	**Técnica EC-BE**	**Método puntual**	
			Estándar	**Vigas**
		(mg CO_2 m^{-2} s^{-1})	**(mg CO_2 m^{-2} s^{-1})**	**(mg CO_2 m^{-2} s^{-1})**
169	13:30:00	0.273	1.805	1.977
	14:00:00	0.548	1.828	1.861
	14:30:00	0.308	1.753	1.777

En el Cuadro 14 se observan los valores de P_N instantáneos registrado por el método puntual y la Técnica EC-BE. Se han realizado diversos estudios en el cultivo de manzano para determinar la P_N empelando métodos puntuales, Palmer *et al*. (1997) realizaron mediciones de la P_N en árboles de manzano en una localidad de Nueva Zelanda y reporta valores de medios de 0.325 mg CO_2 m^{-2} s^{-1}, Massonnet *et al*. (2007) obtuvo valores promedio de 0.528 mg CO_2 m^{-2} s^{-1} de mediciones realizadas con un analizador de gases infrarrojo (LI-6400) similar a lo reportado por Zhang *et al.* (2010) con el mismo método, mientras que Zegbe *et al.* (2007) empleando el equipo (LI-6200) obtuvo valores promedio de P_N que rondaron los 0.616 mg CO_2 m^{-2} s^{-1} cuando midió hojas de una año de edad al medio día. Esto valores son muy inferiores a los obtenidos en este estudio cuando se empleó el método puntual y ligeramente superiores a los obtenidos de la medida poblacional con la técnica EC.

Zanotelli *et al.* (2014) Desde 2009 a 2012 evaluaron la producción primaria que es el equivalente a la P_N de una huerta de manzano cuyos árboles tenían entre 15 y 20 años de edad, para esto empleó la Técnica EC-BE, las medias de los 4 años evaluados fueron desde 0.220 mg CO_2 m^{-2} s^{-1} en el mes de enero hasta alcanzar un máximo de 0.572 mg CO_2 m^{-2} s^{-1} en el mes de junio. Scandellari *et al.* (2015) usando la Técnica EC-BE reporta un valor máximo P_N de 0.616 mg CO_2 m^{-2} s^{-1} en el mes de agosto y un mínimo de 0.440 mg CO_2 m^{-2} s^{-1} durante octubre. Estos valores son muy parecido a los obtenidos en este estudio empleando la Técnica EC-BE, mientras que el método puntual sobreestimó los valores de P_N,

Cuadro 15.- Tasa neta de fotosíntesis (T_N) medida en dos variedades de manzano a lo largo de un transecto con dirección Oeste-Este, por el método puntual y poblacional en la Huerta manzanera Roncesvalles en la Sierra de Arteaga, Coahuila, en el año 2014.

		Fotosíntesis neta (mg CO_2 m^{-2} s^{-1})							
Punto de muestreo		**Método puntual**							**Técnica EC-BE**
		1	**2**	**3**	**4**	**5**	**6**	**7**	
Variedad	**Estándar**	1.805	1.842	1.819	1.828	1.691	1.792	1.779	0.225
	Vigas	1.977	1.892	1.829	1.858	1.830	1.841	1.777	

La tasa de fotosíntesis neta (T_N) depende en principalmente de la cantidad de luz, disponibilidad de agua y etapa fenológica del cultivo, sin embargo existen otros factores que la modifican. Con el objetivo de evaluar la acción de los vientos dominantes provenientes del Este en la P_N, se realizaron lecturas a lo largo del transecto y los resultados se presentan en el Cuadro 15 donde no se aprecia el efecto orilla en la P_N, y la variación entre mediciones se atribuye a fluctuaciones en los niveles de radiación al momento de realizar los muestreos.

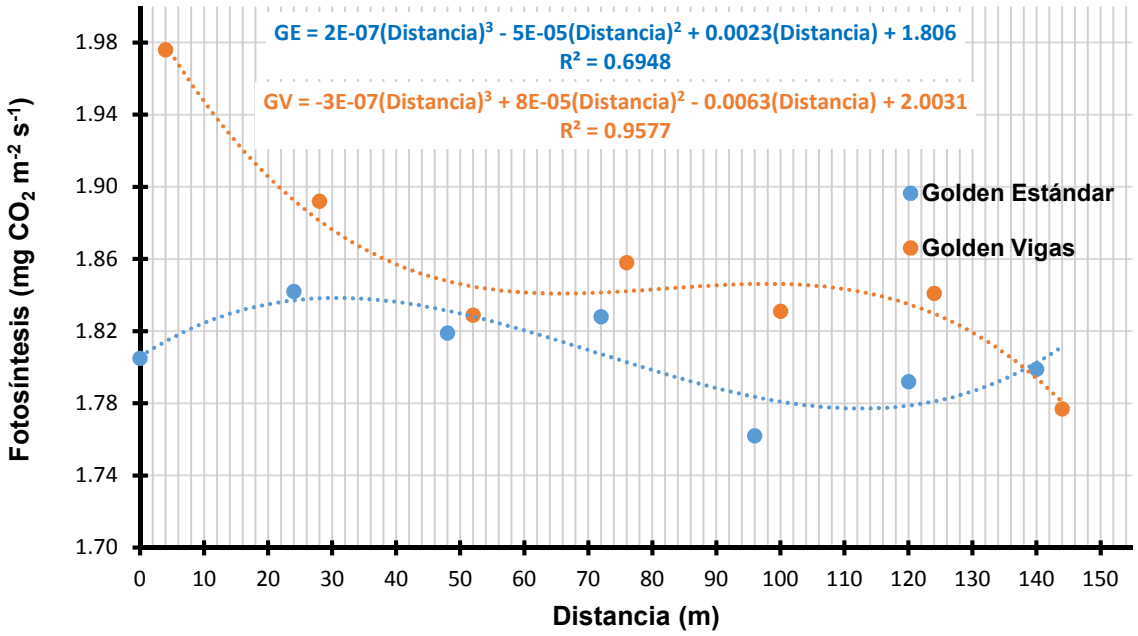

Figura 12. Fotosíntesis de dos variedades de manzano medida el DJ 169 del 2014 en la huerta manzanera del Rancho Roncesvalles en la Sierra de Arteaga, Coahuila.

En las Figuras 12 y 13 vemos que la tasa de fotosíntesis neta (P_N) en los DJ 169 y 195 en ambas variedades se comportó de manera similar. Y la P_N en el DJ 169 fue ligeramente superior a los valores registrados el DJ 195. Esto nos indica que ambas variedades asimilaron la misma cantidad de CO_2 por lo tanto la cubierta vegetal se encontraban en condiciones similares.

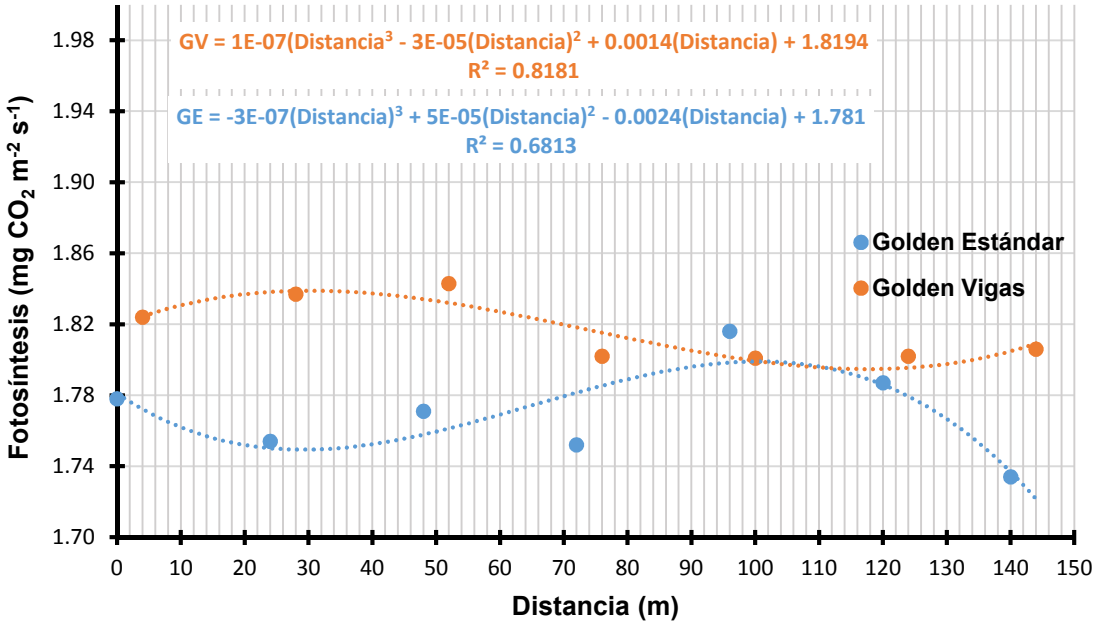

Figura 13. Fotosíntesis de dos variedades de manzano medida el DJ 195 del 2014 en la huerta manzanera del Rancho Roncesvalles en la Sierra de Arteaga, Coahuila.

VI.6 Efecto de la malla antigranizo sobre la radiación solar total.

En este apartado se analiza y discute el efecto de la malla antigranizo instalada en la huerta manzanera Roncesvalles, desde la poscosecha hasta inicios de dormancia.

El uso de mallas antigranizo se ha vuelto una práctica muy habitual en las plantaciones de manzano, en la sierra de Arteaga, Coahuila, sin embargo estudios recientes señalan que su uso altera las condiciones normales del microclima y particularmente los niveles de radiación sobre el dosel del cultivo.

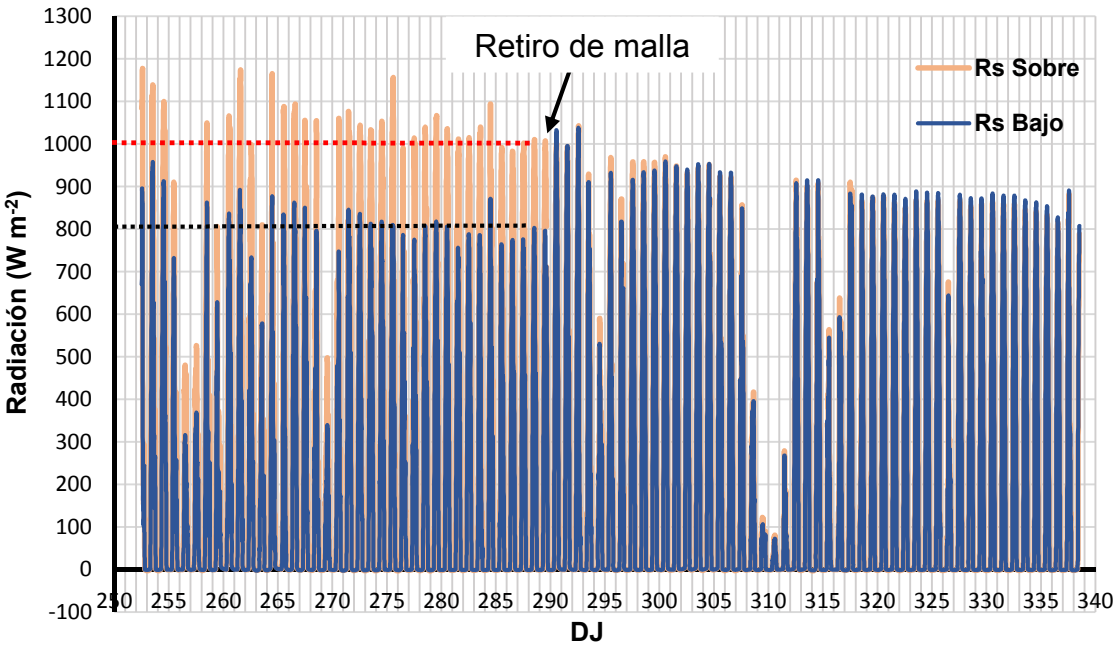

Figura 14. Efecto de la malla antigranizo sobre los niveles de radiación solar (R_s) incidente en la Huerta de manzanos Roncesvalles en la Sierra de Arteaga, Coahuila.

En éste estudio el índice de transmisividad de la malla antigranizo instalada en la huerta Roncesvalles fue de 0.67, esto indica una reducción de la R_s sobre el dosel del cultivo de 33% tal como se ve en la Figura 14. Estos resultados son similares a lo que reportados Díaz-Leyva (2013) quien obtuvo una reducción de la R_s de hasta el 23% respecto al exterior por efecto de la malla antigranizo de color negro una huerta de manzano en la Sierra de Arteaga, Coahuila. El color de la malla influye directamente en el porcentaje de trasmisión radiación, mallas negras reducen la radiación PAR entre 33-37% y las blancas entre 4 y 8% (Gardner y Fletcher 1990;). Otros trabajos con mallas antigranizo señalan que la radiación PAR se reduce entre un 12-27% (Middledon y McWaters, 2002). Bosco *et al*., (2014) encontró una reducción de 32% de trasmisión de PAR bajo mallas antigranizo negras. El uso de mallas antigranizo también modifican otras variables del microclima como al velocidad del viento, temperatura, la ET y la HR. Creté *et al.* (2001) reporta un incrementos de HR entre 2 y 6 % por el uso de mallas antigranizo.

La atenuación de la R_s por efecto de la malla se aprecia en la Figura 14. Se observa que la R_s medida sobre la malla antigranizo fue mayor con promedios máximos diarios de 1000 W m^{-2} (línea roja) y bajo la mallas R_s tuvo promedios máximos diarios de 800 W m^{-2} (línea negra) durante el periodo de evaluación desde el día 255 hasta el 289. A partir del día 290 la malla antigranizo fue retirada de la huerta, esto provocó que los niveles de radiación medidas con ambos piranómetros fue igual, además se puede apreciar un descenso en los niveles de radiación a lo largo del periodo evaluado, esto ocurre por efecto el de la disminución de insolación en los meses de invierno.

VI.7 Efecto de la malla antigranizo en los componentes del BE en la huerta manzanera Roncesvalles en la Sierra de Arteaga, Coahuila.

El crecimiento y desarrollo de las plantas depende sustancialmente de la energía proveniente del sol (Taiz y Zeiger, 2002). El uso de la mallas también modifica los componentes del BE, es decir que tiene un efecto directo en la cantidad de energía disponible en el microambiente.

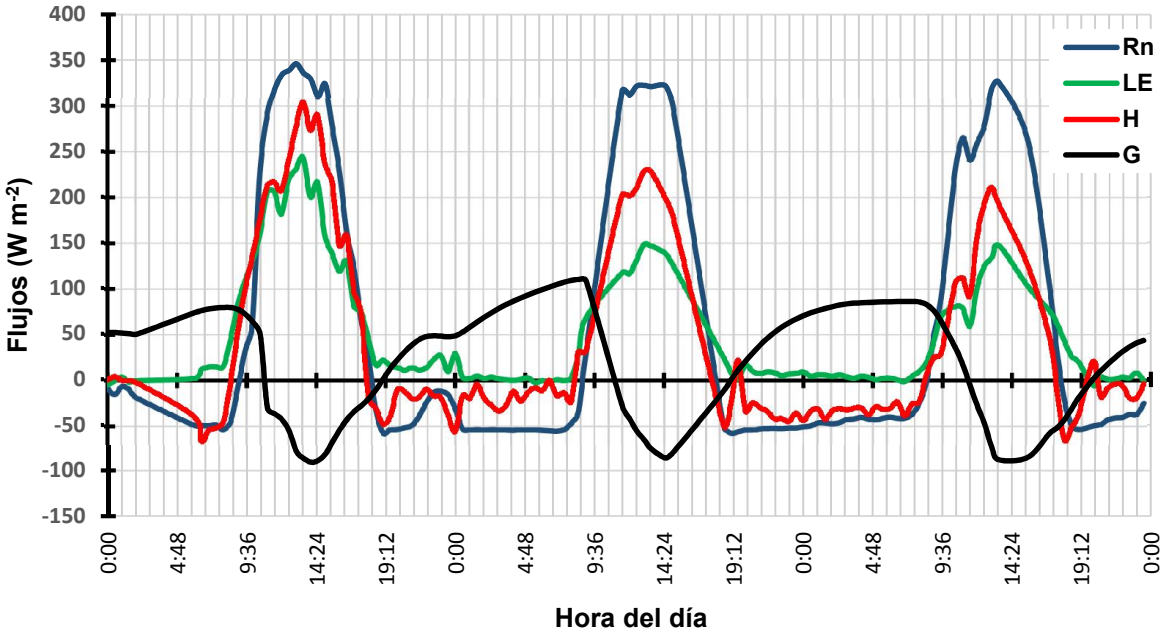

Figura 15. Fluctuación diurna y nocturna de los componentes del BE medidos en los DJ 313, 314 y 315 del año 2014 en la Huerta Roncesvalles en la Sierra de Arteaga, Coahuila.

En la Figura 15 vemos el comportamiento de cada uno de los componentes del BE, podemos ver que en horas de la madrugada el comportamiento del BE cambia en su sentido ya que tenemos valores negativos de Rn que indica la perdida de radiación por enfriamiento, esto explica los valores negativo de H, mientras que LE es muy cercano a cero debido a que durante la noche el no ocurre el proceso de ET, el sentido positivo del componente G se debe a que durante la noche libera la energía almacenada durante el día.

En horas del día el sentido del BE es opuesto a experimentado por la noche, esto se debe al aporte de energía del sol R_s. Durante el día de los DJ 313, 314 y 315 la mayor parte de la energía del ambiente se disipó en H y G ya que durante éste periodo los árboles de manzano se encontraban en un nivel de defoliación avanzada lo que redujo el valore de LE.

Estas fluctuaciones de energía durante la noche y día de todo el periodo de evaluación se aprecian en la Figura 16.

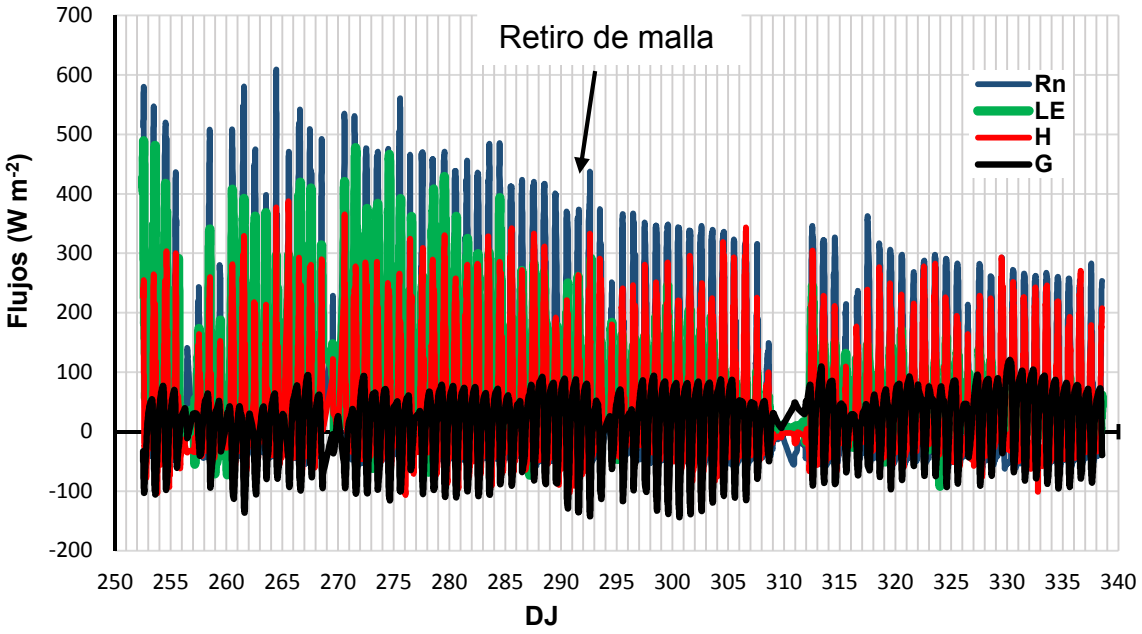

Figura 16. Evolución de los componentes (diurnos y nocturnos) del Balance de Energía antes y después de remover la malla antigranizo en la huerta manzanera Roncesvalles desde el periodo de poscosecha hasta inicio de dormancia en la Sierra de Arteaga, Coahuila, en el año 2014.

En la Figura 16 se observa un marcado descenso en los niveles de energía de Rn, LE y H, mientras que G presentó menor variación a lo largo del periodo evaluado, esto es resultados del sustancial descenso de la R_s durante los meses de inviernos. Gran número de estudios han demostrado que el uso de mallas antigranizo modifica los componentes del BE.

El calor sensible H es la energía que percibimos en forma de calor, y la temperatura (T) es una medida del H en el aire, por lo tanto, variaciones de intensidad de H afectara directamente a la T. Middleton y McWater (2002) reportan que en días cálidos la temperatura del aire fue menor entre 1 y 3 °C bajo mallas negras en huertas de manzano respecto al exterior, Shahak *et al.,* (2004) tuvieron una variación de temperatura del aire de 3 a 6 °C más bajos respecto a condiciones de cielo abierto cuando usaron mallas de colora azul, gris y perla instaladas en huertas manzaneras. Sin embargo, las mallas representan un beneficio frente a heladas

tardías ya que permiten formación de escarcha en las mismas favoreciendo, así un como el aumento de la T al interior de la mallas de 0.5 a 2°C (Garnaud, 1998). Iglesias y Alegre (2006) mencionan que el uso de mallas ayudo a incrementar la temperatura mínima hasta 1 °C respecto al exterior de la malla.

Otro componente del BE que se ve afectado por las variaciones en los niveles de R_s es LE y este representa la evapotranspiración dentro de la huerta por lo que su estudio resulta de gran interés. Las mallas reducen el viento dentro de las huertas hasta en un 40 %, Middleton y McWeater, (2006) comprobaron que bajo malla blanca se reduce la transpiración, por lo tanto el uso de mallas puede reducir la evapotranspiración, Acero (2015). Díaz-Leyva (2013) menciona que la ET_o de una huerta de manzano en la sierra de Arteaga, Coahuila, se redujo 15% por el uso de malla antigranizo de color negro.

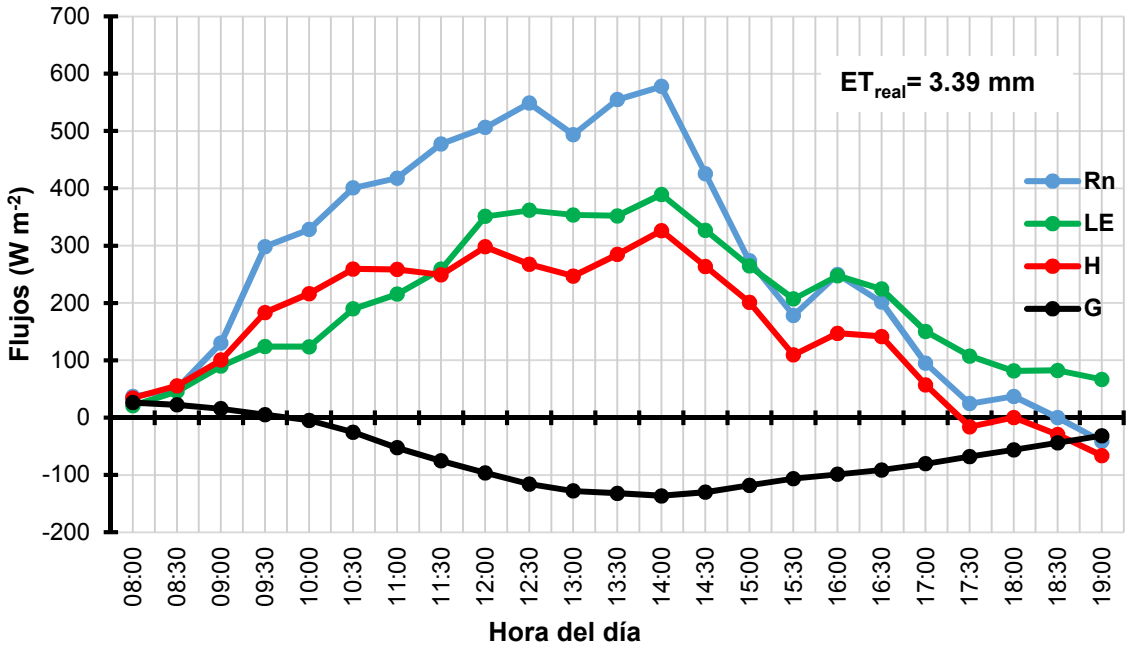

Figura 17. Componentes del Balance de Energía medidos el DJ 261 del 2014 en la huerta manzanera del rancho Roncesvalles en la Sierra de Arteaga, Coahuila.

En la Figura 17 observamos que pasado medio día Rn alcanzo picos cercanos a los 600 W m^{-2} durante el DJ 261, esto justifica que el valor de ET_{real} sea relativamente

alto para ese día, mientas que LE fue inferior a H hasta poco antes de mediodía y aumenta a medida que Rn es mayor, esto indica una estrecha relación entre la Rn del microambiente y la ET_{real}. Esto coincide con Taiz y Zeiger (2006) quienes señala que los arboles alcanzan su valor máximo de transpiración (E) alrededor del mediodía y este valor decrece al atardecer, siendo que E es un componentes de la ET_{real}.

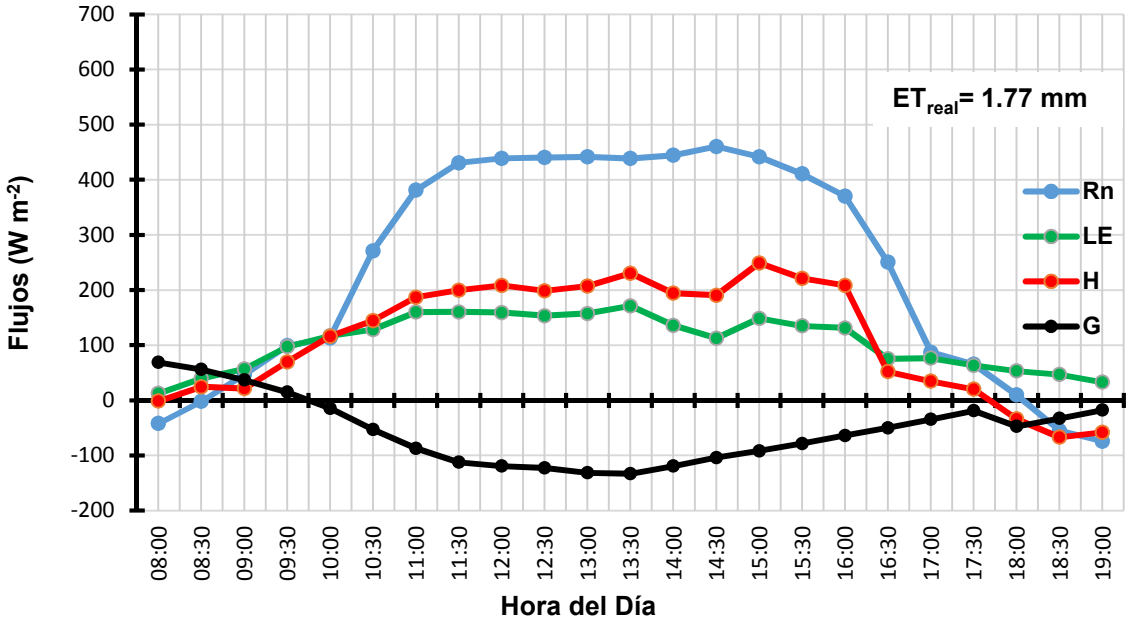

Figura 18. Componentes del Balance de Energía medidos el DJ 302 del 2014 en la huerta manzanera del rancho Roncesvalles en la Sierra de Arteaga, Coahuila.

La malla antigranizo fuer retirada de la huerta el DJ 290 lo que coincide con el inicio de la etapa de senescencia. Durante el DJ 302 los valores de LE y H fueron similares siendo mayor la energía disipada en forma de H como se ve en la Figura 18. Éste comportamiento se debe básicamente a que los arboles de manzano estaban en senescencia y con un alto grado de defoliación lo que reduce la ET_{real}, además que

durante éste día se presentó menor intensidad de R_s lo que redujo la Rn y de igual manera G presento una ligera disminución respecto a lo registrado el DJ 261.

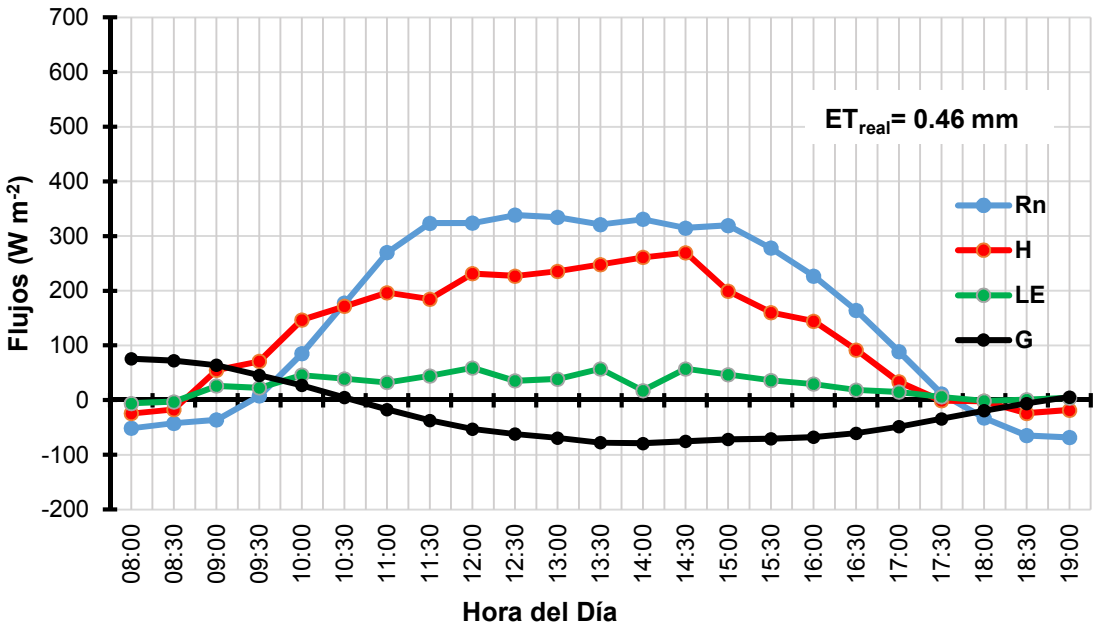

Figura 19. Componentes del Balance de Energía medidos el DJ 336 del 2014 en la huerta manzanera del rancho Roncesvalles en la Sierra de Arteaga, Coahuila.

En la Figura 19 vemos la evolución de cada uno de los componentes del BE correspondientes al DJ 336. Podemos observar que durante este día la Rn sufrió un descenso considerable, esto se debe principalmente a que la R_s fue menor que en fechas anteriores.

En el DJ 336 los árboles se encontraban en la etapa de dormancia por lo mismo presentaron defoliación total y evidentemente los valores de LE fueron los más bajos del periodo de evaluación (ET_{real} de 0.46mm). La tendencia decreciente de G se debe a niveles bajos de humedad en el suelo por la escasa precipitación y a que posteriores a la cosecha el productor solo aplico un riego el DJ 312. Esto implica que la capacidad del suelo de conducir y retener el calor disminuye ya que el aire tiende a ganar y perder energía más rápido que al agua. Por lo tanto los bajos

niveles de humedad en el suelo no permitieron mayor absorción de energía. Debido a esto gran parte de la energía del ambiente se trasformó en H lo que explica su incremente como se aprecia en la Figura 19.

VII. CONCLUSIONES

A partir de los resultados obtenidos en éste estudio podemos concluir que la ET_{real} del cultivo fue de 3.15 mm día^{-1} desde mediados de la etapa de crecimiento del fruto hasta 0.57 mm día^{-1} a inicios de dormancia. La ET_c derivada de la ET_o y el Kc sugerido por la FAO fue 61% mayor a la ET_{real} medida con la Técnica EC-BE durante toda la etapa evaluada, siendo mayor la diferencia a inicios de dormancia.

El Kc_{real} a mediados de crecimiento fue de 0.87 y manifestó un descenso a medida que los arboles disminuyeron su follaje hasta alcanzar un mínimo de 0.2 a inicios de dormancia. A largo del periodo evaluado el Kc_{real} fue 38% menor al Kc sugerido por la FAO para el cultivo de manzano. EL Kc_{real} mostró estar influenciado por el LAI, ya que a medida que los arboles disminuyeron su follaje el Kc manifestó un marcado descenso.

Las medidas instantáneas de la P_N medidas con la Técnica EC-BE (sistema de cámara abierta) fueron similares a lo que se reporta en la literatura y las medidas instantáneas de la P_N con el método puntual (sistema de cámara cerrada) sobreestimó a los resultados medidos con la Técnica EC-BE y no coinciden con lo que se reporta ya que las lecturas son muy elevadas por lo que se asume que nuestros resultados presentan errores que pudieron ser ocasionados por fallo del equipo.

El uso de malla antigranizo redujo R_s sobre el dosel del cultivo hasta 33% en promedio, sin embargo, al medio día la reducción de la Rs incidente fue de 20% debido al ángulo de incidencia de la radiación.

El uso de la malla antigranizo reduce la energía que entra a la huerta por lo tanto modifica los componentes del BE. Posterior al retiro de la malla se observó un mayor calentamiento del ambiente. Esto indica que mayor cantidad de la energía se disipó en forma de H.

VIII. BIBLIOGRAFÍA

- Acero O, A. (2015). Influencia de mallas antigranizo en producción de manzana ecológica. España. Tesis doctoral. Universidad de Zaragoza.

- Aguirre-Salado, C. A., Valdez-Lazalde, J. R., Ángeles-Pérez, G., de los Santos-Posadas, H. M., y Aguirre-Salado, A. I. (2011). Mapeo del índice de área foliar y cobertura arbórea mediante fotografía hemisférica y datos SPOT 5 HRG: regresión y k-nn. Agrociencia, 45(1):105-119.

- Agustí, M. (2004). Fruticultura. Ediciones Mundi-Prensa, Madrid, España. pp 493.

- Ahmadi-Afzadi M. (2012). Genetic and biochemical properties of apples that affect storability and nutritional value. [En línea] Disponible en: http://pub.epsilon.slu.se/8553/1/ahmadi%20afzadi_m_120116.pdf.

- Alberto, M. C. R., Wassmann, R., Buresh, R. J., Quilty, J. R., Correa, T. Q., Sandro, J. M., y Centeno, C. A. R. (2014). Measuring methane flux from irrigated rice fields by eddy covariance method using open-path gas analyzer. Field Crops Research, 160: 12-21

- Allen, R. G. (2006). Evapotranspiración del cultivo: guías para la determinación de los requerimientos de agua de los cultivos. Food & Agriculture Org. 56.

- Allen, R. G., Pereira, L. S., Howell, T. A., y Jensen, M. E. (2011). Evapotranspiration information reporting: II. Recommended documentation. Agricultural Water Management, 98(6): 921-929.

- Allen, R.G., Pereira, L.S., Raes, D., y Smith, M. (1998). Crop Evapotranspiration.Guidelines for Computing Crop Water Requirements.Irrigation and Drainage.Paper 56.FAO, Rome. pp 301.

- Allen, R.G.; Smith, M.; Perrier, A. y Pereira, L.S. (1994). An update for the definition of reference evapotranspiration. ICID Bull. 43 (2): 1-34

- Álvarez R, S. (1988). El Manzano. 5a Edic. Coedic. Ministerio de Agricultura Pesca y Alimentación-Editorial Aedos, Barcelona, España, S. A. pp. 326-334.

- Améglio, T., Archer, P., Cohen, M., Valancogne, C., Daudet, F.A., Dayau, S., Cruiziat, P. (1999). Significance and limits in the use of predawn leaf water potential for tree irrigation. *Plant and Soil*. 207: 155-167.

- Arévalo, J., Vélez, J. y Camacho, J. (2013). Uso eficiente del agua para el cultivo de rosa cv. Freedom bajo invernadero. Engenharia Agrícola e Ambiental 17(8), 811-817.

- Ayra, S. P., (1988). Introduction to micrometeorology. Academy Press, Inc. San Diego, Ca. 307p.

- Azcón-Bieto, J. y M. Talón. 2000. Fundamentos de fisiología vegetal. McGraw-Hill Interamericana, Barcelona. pp 522.

- Balbontín-Nesvara, C., Calera-Belmonte, A., González-Piqueras, J., Campos-Rodríguez, I., López-González, M. L., & Torres-Prieto, E. (2011). Comparación de los sistemas covarianza y relación de Bowen en la evapotranspiración de un viñedo bajo clima semi-árido. Agrociencia, 45(1); 87-103.

- Baldocchi D. (2003). Assessing the eddy covariance technique for evaluating carbon dioxide exchange rates of ecosystems: past, present and future. Global Change Biol. 9:479–492.

- Baldocchi D. (2008). ‘Breathing’ of the terrestrial biosphere: lessons learned from a global network of carbon dioxide flux measurements systems. Australian Journal of Botany.56:1-26.

- Baldocchi, D., Falge, E., y Wilson, K. (2001). A spectral analysis of biosphere-atmosphere traces gas flux densities and meteorological variables across hour to year time scales. Agricultural and Forest Meteorology. 107: 1-27.

- Barr, A., K. Morgenstern, T. Black, J. McCaughey, and Z. Nesic. (2006). Surface energy balance closure by the eddy-covariance method above three boreal forest stands and implications for the measurement of the CO_2 flux. Agricultural and Forest Meteorology. 140:322-337.

- Bautista, D., y Meza, N. (1999). Estimación del área foliar en plantas jóvenes de níspero (Manilkara achras [Miller] Fosberg) sometidas a dos ambientes de luz. Bioagro, 11(1), 24-28.

- Bhatt, M., & Chanda, S. V. (2003). Prediction of leaf area in Phaseolus vulgaris by non-destructive method. Bulg. J. Plant Physiol, 29(1-2): 96-100.

- Blanke, M. (2007). Coloured hailnets: Their structure, light and UV transmission determine the colouration of Apple fruit. Erwerbs-Obstbau, Vol. 49 (4): 127-139.

- Bosco, L. C., Bergamaschi, H., Cardoso, L. S., de Paula, V. A., Marodin, G. A. B., y Nachtigall, G. R. (2015). Apple production and quality when cultivated under anti-hail cover in Southern Brazil. International journal of biometeorology, 59(7): 773-782.

- Boyer, J. S. (1995). Measuring the water status of plants and soils. Academic Press, Inc.

- Busso, C. A. (2008). Uso de la cámara de presión y los psicrómetros a termocupla en la determinación de las relaciones hídricas en tejidos vegetales. Phyton, 77: 327-350.

- Calderón, A. E. (1993). Fruticultura General. El esfuerzo del hombre. Editorial Limusa. Tercera Edición. México, D. F. pp 763.

- Carrera, M. (1999). Variedades y calidad de las manzanas en Aragón. Unidad de Fruticultura. SIA-DGA. (Ed). Zaragoza, España. pp 45.

- Carvajal, M. E., F. Goycoolea, V. Guerrero, J. Llamas, A. Rascón, J.A. Orozco, C. Rivera A.A. Gardea. (2000). Caracterización calorimétrica de la brotación de yemas florales de manzano. Agrociencia 34: 543-551.

- Cassel, D. K., Kachanoski, R. G., y Topp, G. C. (1994). Practical considerations for using a TDR cable tester. Soil technology, 7(2): 113-126.

- Castel, J. (1997). Evapotranspiration of a drip-irrigated clementine citrus tree in a weighing lysimeter. Acta Horticulturae 449:91-98.

- Castellví, F. (2007). La estimación del flujo de calor latente. Una reflexión de futuro. Tethys, 4:19-27.

- Castro Popoca, M., Águila Marín, F. M., Quevedo Nolasco, A., Kleisinger, S., Tijerina Chávez, L., y Mejía Sáenz, E. (2008). Sistema de riego automatizado en tiempo real con balance hídrico, medición de humedad del suelo y lisímetro.*Agricultura técnica en México*, *34*(4), 459-470.

- Chaumont, M., J. F. Morot-Gaudry, y C.H. Foyer. (1994). Seasonal and diurnal changes in photosynthesis and carbon partitioning in Vitis vinifera leaves in vines with and without fruit. J. Exp. Bot. 278: 1235-1243.

- Chenafi, A., Monney, P., Ceymann, M., Arrigoni, E., Boudoukha, A. (2013). Influence of regulated deficit irrigation for apple trees cv. ‘Gala’ on yield, fruit quality and water use. Rev. Suisse Vitic. Arboric. Hortic., 45(2): 92−101.

- Chirinos, D., Torres, L. C., Pouey, F. G., Castejón, O., Fernández, R., Vergara, J., y Torres, D. C. (1997). Modelos para estimar el área foliar de melón híbrido Durango´. Revista de la Facultad de Agronomía, 14(2).

- Choné, X., Van Leeuwen, C., Dubourdieu, D. y Pierre, J. (2001). Stem water potential is a sensitive indicator of grapevine water status. Annals of Botany. 87: 477-483

- Cittadini, E.D. y Peri, P.L. (2006). Estimation of leaf area in sweet cherry using a non-destructive method. Revista de Investigaciones Agropecuarias (INTA) 35:143-150.

- Coelho Filho MA; LR Angelocci; RM Vasconcelos Baptista EF Coelho. (2005). Leaf áreaestimative ofyoung 'Tahiti' lime using non-destructive methods. Revista Brasileira de Fruticultura27(1):163-167.

- Coelho, E. F., y F. B. Arruda. (2001). Aplicações da técnica de TDR: Manejo da água no solo. In: Matsura, E. E., A. Tavares-Junior, E. Gomes P., e C. Souza F. (eds). Aplicações da Técnica da TDR na Agricultura. Feagri/Unicamp. Campinas. pp: 129-145

- Cohen, S., Ianetz, A., Stanhill, G. (2002). Evaporative climate at Bet Dagan, Israel, 1964-1998. Agricultural and Forest Meteorology. 111: 83-91.

- Cohen, Y.; Alchanatis, V.; Meron, M.; Saranga, Y.; Tsipris, J. (2005). Estimation of leaf water potential by thermal imagery and spatial analysis. Journal of experimental botany. 56, (417): 1843-1852.

- CONAZA. (2011). análisis de la problemática de la sequía y sus efectos en la ganadería y la agricultura de temporal. Folleto informativo 2011-2012 de la producción agrícola. México DF.

- Contreras de la Ré y Vázquez-Ramos. (2010). Cultivares y mutantes de manzana para el sureste de Coahuila. INIFAP-Saltillo. pp 22.

- Contreras de la Ré. (2006). Riego por goteo para el manzano semienano en Arteaga, Coahuila. Folleto informativo INIFAP-Saltillo.

- Coque, M.; Díaz, M. B.; García, J. C. (1996). El cultivo del manzano en Asturias. Centro de Investigación Aplicada y Tecnología Agroalimentaria. Principado de Asturias. Consejería de Agricultura. Oviedo. pp 223.

- Crété, X., J.L. Regnard, G. Ferre and C. Tronel, (2001). Effects secondaires et conséquences sur la conduite du verger. L'arboriculture fruitière, 553: 51-55.

- Dapena, E., Blázquez, M.D., Fernández, M. (2006). Recursos fitogenéticos del Banco de Germoplasma de Manzano del SERIDA. Tecnología Agroalimentaria 3: 34-39.

- Darvishzadeh, R., Atzberger, C., y Skidmore, A. K. (2006). Hyperspectral vegetation indices for estimation of leaf area index. In ISPRS Commission VII Mid-term Symposium" Remote Sensing: From Pixels to Processes", Enschede, Netherlands. pp. 8-11.

- Dennis, F. (2003). Flowering, pollination and fruit set and development. In: Apples, botany, production and uses. Ferree, D. and J. Warrington. (Eds.). CABI Publishing. Oxon, U.K. pp 153-166.

- Díaz-Leyva. (2013). Evapotranspiración de una huerta de manzano (malus domestica) por el método FAO-Penman-Monteith. Tesis de licenciatura. México. Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro.

- Domínguez Mariscal, M. (2008). Estudio de la variabilidad morfológica en el Banco Nacional de Germoplasma de Manzano. Tesis licenciatura. Escuela universitaria Politécnica La Almunia de Doña Godina, Zaragoza, España. pp 118.

- Doorenbos, J., Pruitt, W.O. (1977). Guidedlines for predicting crop water requeriments. FAO irrigation and drainage paper nº 24, pp. 179.

- Espada Carbo, J.L., Ferrer Cases, Ramón y Castañer Royo, Pablo. (2001). Información técnica número 98. Evaluación agronómica de la variedad de manzano Early Red One con distintos sistemas de conducción. Gobierno de Aragón.

- Fares A. y A. K. Alva (2000), “Soil Water Components Based on Capacitance Probes in Sandy Soil”, Soil Science Society American Journal, 64, pp. 311-318.

- Ferreira, E., E. da Costa, C. da Silva, e S. de Oliveira. (2006). Productividade e eficiencia de uso de água das bananeiras 'prataanã' e 'grandnaine' sobirrigação no terceiro ciclo no norte de Mina Gerais. IrrigaBotucatu 11:460-468

- Ferreyra, R.E., V.G. Selles, P.B. Maldonado, J.A. Celedón y P.M. Gil (2007). Efecto del clima, de las características de la hoja y de la metodología de medición en el potencial hídrico xilemático en palto (Persea americana Mill.). Agricultura Técnica (Chile) 67: 182-188

- Financiara Nacional de Desarrollo Agropecuario Rural, Forestal y Pesquero. (2014). Panorama de la Manzana. Folleto. [En línea: http://www.financierarural.gob.mx/informacionsectorrural/Panoramas/Panorama%20Manzana%20(abr%202014).pdf.] (Consultado 25 de febrero de 2015).

- Flores, G. J. A. (2010). Distribución del balance de energía y consumo de agua del cultivo del nogal pecanero. Tesis de maestría. México. Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro.

- Fuertes, S., (1995). Calibración de métodos de cálculo de la evapotranspiración de referencia (ET_0) con lisímetros. Trabajo fin de carrera, Universidad de Zaragoza. La Almunia de Doña Godina. 149 pp.

- Fuertes, S., (1998). Evaluación de dos métodos de determinación de la evapotranspiración de referencia en condiciones semiáridas. Proyecto fin de carrera, Universidad de Lleida. Lérida. 202 pp.

- Galvan, M. A. Rios-Alcaraz, y I. Torres-Pacheco. (2010). FPGA-based Fused Smart Sensor for Real-Time Plant-Transpiration Dynamic Estimation. Sensors. 10, 8316-8331

- Gardner, R. W. y C. A. Fletcher. (1990). Hail protection systems for deciduous fruit trees. Deciduous Fruit Grower 40(6): 206-212.

- Garnaud JC (1998) Hail protection nets on fruit. Horticultura Internacional 1:19–23

- Ghariani-K.; Stebbins-R., L. (1994). Chilling requirements of apple and pear cultivars. Journal-article. Fruit-varieties-journal 48 (4): 215-222.

- Giambelluca, T., R. Martin, G. Asner, M. Huang, R. Mudd, M. Nullet, et al. (2009). Evapotranspiration and energy balance of native wet montane cloud forest in Hawaii. Agricultural and Forest Meteorology 149:230-243.

- Girona, J., Behboudian, M.H., Mata, M., Del Campo, J., y Marsal, J. (2010). Exploring six reduced irrigation options under water shortage for 'Golden Smoothee' apple: Responses of yield components over three years. Agricultural Water Management 98:370-37.

- Gispert, C (1987). Biblioteca práctica agrícola y ganadera, frutales y bosques. Editorial Océano. México.

- Goldhamer, D.A. y Fereres, E. (2001). Irrigation scheduling protocols using continuously recorded trunk diameter measurements. Irrigation Science. 20(1): 115 -125.

- Gomes, M. (2003). Modelação da evapotranspiração em cobertos descontínuos Programação da regaem pomar de paessegueiro. 227 p. Tesis Doctorado en Ingeniería Agronómica. Universidad Técnica de Lisboa, Instituto Superior de Agronomía, Lisboa, Portugal.

- Gong, D., Kang, S., Yao, L., y Zhang, L. (2007). Estimation of evapotranspiration and its components from an apple orchard in northwest China using sap flow and water balance methods. Hydrological processes, 21(7): 931-938.

- Gordillo-Salinas, V. M., Flores Magdaleno, H., Tijerina Chávez, L., Arteaga Ramírez, R. (2014). Estimación de la evapotranspiración utilizando un balance de energía e imágenes satelitales. Revista mexicana de ciencias agrícolas, 5(1): 143-155.

- Guevara-Diaz, J. M. (2006). La fórmula de Penman- Monteith FAO 1998 para determinar la evapotranspiración de referencia, ET_o. Terra. 22 (31): 31-72

- Gurovich. L. (1985). Fundamentos y Diseño de Sistemas de riego. Instituto Interamericano de Cooperación para la Agricultura. IICA. San José. Costa Rica. pp 435.

- Hanson, B.R., Peters, D. (2000b). Soil type affects accuracy of dielectric moisture sensors. California Agriculture. 54 (3): 43–47

- Harris, S. A., Robinson, J. P., y Juniper, B. E. (2002). Genetic clues to the origin of the apple. TRENDS in Genetics, 18(8): 426-430.

- Hauagge R. (2010). 'IPR Julieta'. A new early low chill requirement apple cultivar. Proc. 8th IS on Temperate Zone Fruits. Acta Horticulturae. 872: 193-196.

- Hauagge, R. y J.N. Cummins. 1991a. Phenotypic variation of length of bud dormancy in apple cultivars and related Malus species. J. Amer. Soc. Hort. Sci. 116:100-106.

- Heilman, J. L., Brittin, C. L., y Neale, C. M. U. (1989). Fetch requirements for Bowen ratio measurements of latent and sensible heat fluxes. Agricultural and Forest Meteorology, 44(3-4): 261-273.

- Hochmaier, V.E. (2010). Desarrollo y evaluación de métodos prácticos no destructivos para la estimación del Área Foliar (AF) por árbol y cálculo del Índice de Área Foliar (IAF) en montes de cerezo (Prunus avium L.). Tesis de maestría. Italia. Università degli Studi di Bologna.

- Horsley, S. B., y K. W. Gottschalk. (1993). Leaf area and net photosynthesis during development of Prunus serotina seedlings. Tree Physiol. 12: 55-69.

- Hsiao, TC. (1990). Measurements of plant water status. En Irrigation of Agricultural Crops Steward, B A y Nielsen, D R. (Eds). E.U.A. American Society of Agronomy. pp. 243–279.

- Iglesias, I. y Alegre, S. (2006). The effect of anti-hail nets on fruit protection, radiation, temperature, qualityand profitability of 'Mondial Gala' apples. Journal of Applied Horticulture. 8 (2): 91-100.

- Itoitz A, R. (2000). Caracterización de la colección de manzanos (*Malus x doméstica*, Borkh) del banco de Germoplasma de la Universidad Pública de Navarra, evaluación de su variabilidad. Producción Agraria. Pamplona, Universidad Pública de Navarra. pp 395.

- Janick J. y Moore J.N. (1996). Fruit breeding, Tree and Tropical fruits. John Wiley y Sons, Inc. Oxford, UK. pp 77.

- Jaramillo, R. A. (2006). Evapotranspiración de referencia en la región andina de Colombia. Cenicafé. 57(4): 288-298.

- Jensen, M.E., R.D. Burman, y R.G. Allen. (1990). Evapotranspiration and irrigation water requirements. ASCE-Manuals and Reports on Engineering Practice, Nº 70.

- Jiyane, J., y A. Zermeño-González. (2003). Aplicación del enfoque de evapotranspiración a equilibrio en la agricultura de riego en zonas áridas. Agrociencia. 37: 553-563.

- Jones, S. B., Wraith, J. M., y Or, D. (2002). Time domain reflectometry measurement principles and applications. Hydrological processes, 16(1), 141-153.

- Knipling, E. B. (1967). Measurement of leaf water potential by the dye method. Ecology, 1038-1041.

- Korban, S.S., y H. Skirvin. (1984). Nomenclature of the cultivate apple. HortScience 19:177-180.

- Kozlowski, T.T., P.J. Kramer, y S.G. Pallardy. (1991). The physiological

- Lalatta, F. (1999). Guía Completa del Cultivo de Manzanas, De Vecchi Barcelona, España. pp 33–34.

- Ledesma Miramontes, A., Villegas Monter, Á., González Hernández, V. A., Ruiz Posadas, L. D. M., y Mora Aguilera, A. (2011). Cinética de crecimiento foliar y desarrollo de brotes en selecciones injertadas de zapote mamey. Revista mexicana de ciencias agrícolas, 2(6): 901-911.

- Martens, C., T. J. Shay, H. P. Mendlovitz, D. M. Matross, S. S. Saleska, S. C. Wofsy, W. S. Woodward, M. C. Menton, J. M. S. De Moura, P. M. Crill, O. L. De Moraes, and R. L. Lima. (2004). Radon fluxes in tropical forest ecosystem of brazilian Amazonia: night–time CO_2 net ecosystem exchange derived from random and eddy covariance methods. Global Change Biol. 10: 618–629.

- Martín de Santa Olalla, F., y J. de Juan. (1993). Agronomía del riego. 732 p. Ediciones Mundi-Prensa, Madrid, España.

- Massonnet, C., Costes, E., Rambal, S., Dreyer, E., y Regnard, J. L. (2007). Stomatal regulation of photosynthesis in apple leaves: evidence for different water-use strategies between two cultivars. Annals of Botany, 100(6): 1347-1356.

- Mateo Box, J.M, (2005). Prontuario de agricultura. Cultivos agrícolas. Mundi-prensa libros-España. pp 940.

- Merrill, S. D., y Rawlins, S. L. (1972). Field measurement of soil water potential with thermocouple psychrometers. Soil Science, 113(2): 102-109.

- Middleton, S. y McWaters, A. (2002). Hail netting of apple orchards - Australian experience. The Compact Fruit Tree 35: 51-55.

- Milanovic, M. Gocic, M. Trajkovic, Slavisa. (2014).The effect of anti-hail nets on design of irrigation systems. Jurnal of faculty of civil engineering. [En linea] Disponible en: http://www.gf.uns.ac.rs/~zbornik/doc/ZR25.83.pdf.

- Millan-Almaraz, J. R., Guevara-Gonzalez, R. G., Romero-Troncoso, R., Osornio-Rios, R. A., & Torres-Pacheco, I. (2009). Advantages and disadvantages on photosynthesis measurement techniques: A review. African Journal of Biotechnology, 8 (25).

- Millan-Almaraz, J. R., R. J. Romero-Troncoso, R. G. Guevara-Gonzalez, L. M. Contreras-Medina, R. V. Carrillo-Serrano, R. A. Osornio-Rios, C. Duarte-

- Monteith, J., y M. Unsworth. (2007). Principles of Environmental Physics. Academic Press. Burlington, USA. pp 435.

- Moore J.N. y Ballington J.R. (1991). Genetic resources of temperate fruit and nut crops. Acta Horticulturae. 290: 1-63.

- Mosquera, H. Q., Ramos-Palacios, Y. A., y Bonilla, D. A. (2007). Cuantificación de la caída de hojarasca como medida de la productividad primaria neta en un bosque pluvial tropical en Salero, Chocó, Colombia. Revista Institucional Universidad Tecnológica del Chocó, 26(1), 28-41.

- Munguía, L. J. P. (2000). Análisis de los componentes del balance de energía en el cultivo del melón (*Cucumis melo* L.) con acolchado plástico. Tesis de doctorado. UAAAN.

- Munguía-López, J., Zermeño-González, A., Gil-Marín, A., del Rosario Quezada-Martín, M., Ibarra-Jiménez, L., y Arellano-García, M. A. (2011). Balance de energía en el cultivo de chile morrón bajo acolchado plástico. Terra Latinoamericana, 29(4), 431-440.

- Muñoz, V. (2005). Respuesta de la variación del diámetro de tronco y del potencial hídrico xilematico a diferentes regímenes de riego en uva de mesa, cv. Crimson Seedless. Facultad de Ciencias Agronómicas. Universidad de Chile. Santiago de chile.

- Naor, A. **(**1998). Relations between leaf and stem water potentials and stomatal conductance in three field-grown woody. *Journal of Horticultural Science and Biotechnology*. 73 (4): 431-436.

- Naor, A., Naschitz, S., Peres, M., y Gal, Y. (2008). Responses of apple fruit size to tree water status and crop load. Tree Physiology, 28(8): 1255-1261.

- Navejas-Jiménez, J., Nieto-Garibay, A., Fraga-Palomino, H. C., Rueda-Puente, E. O., y Ávila-Serrano, N. Y. (2011). Comparación de métodos para estimar la evapotranspiración en una zona árida citrícola del noroeste de México. Tropical and Subtropical Agroecosystems, 13, 147-155.

- Oke, T. R. (1987). Boundary Layer Climates, chapter 8, Routledge, 2nd edition. pp 262–303

- Ordóñez, J. A. B., y Masera, O. (2001). Captura de carbono ante el cambio climático. Madera y bosques, 7(1): 3-12.

- Ordóñez, J. A. B., y Masera, O. (2001). Captura de carbono ante el cambio climático. Madera y bosques, 7(1): 3-12.

- Orozco, C. A. L. (2010). Uso eficiente del agua de riego mediante sondas de capacitancia. Aqua-Lac. 2(1):56-66.
- Ortega-Farías, S. y R.H. Cuenca. (1998). Estimation of Crop Evapotranspiration by Using the PenmanMonteith Method with a Variable Canopy Resistance. Water Resources Engineering‘98, edited by Abt, S.R., Young-Pezeshk, J. and Watson, C.C. American Society of Civil Engineers. Vol. 2: 1806- 1811.
- Ortega-Farías, S.; Calderon R.; Acevedo, C.; Fuentes, S. (2000). Estimation de la evapotranspiracion real diaria de un cultivo de tomates usando la equacion de Penmam-Monteith. Ciencia Investigaçao. Agraria. 27 (2): pp 91–96.
- Ouyang, Z. P., Mei, X. R., Li, Y. Z., y Guo, J. X. (2013). Measurements of water dissipation and water use efficiency at the canopy level in a peach orchard. Agricultural Water Management, 129 (2013): pp. 80–86.
- Paço, T., N. Conceição, y M. Ferreira. (2004). Measurements and estimates of peach orchard evapotranspiration in Mediterranean conditions. Acta Horticulturae 664:505-512.
- Palmer, J. W., Giuliani, R., y Adams, H. M. (1997). Effect of crop load on fruiting and leaf photosynthesis of ‘Braeburn’/M. 26 apple trees. Tree Physiology, 17(11): 741-746.
- Parés-Martínez, J. L. (2010). Optimización en el uso del agua y del abonado nitrogenado en plantaciones de manzano (Malus x domestica Borkh)

cultivadas en zonas vulnerables del Valle Medio del Ebro: Influencia sobre la fisiología del crecimiento vegetativo, reproductivo y la calidad de fruto. Tesis Doctoral. España. Universidad de Zaragoza.

- Parra, Q. R. A.; Ortíz, F. P.; Amado, A. J. P. y Chávez, S. N. (2009). Productividad y crecimiento de manzano bajo déficit de riego controlado. Terra Latinoam. 27(4):337-343.

- Patrick, J. W. (1988). Assimilate partitioning in relation to crop productivity. Hort. Sci. 23:33-40.

- Pereira, A. R., Green, S., y Nova, N. A. V. (2006). Penman–Monteith reference evapotranspiration adapted to estimate irrigated tree transpiration. Agricultural Water Management, 83(1): 153-161.

- Pereira, L. (2006). Caracterização do balanço de energia no Vale do Curaça–Bahia. Tésis de maestría. Universidad Federal de Bahía, Brasil.

- Pereira-Lorenzo, S., Ramos-Cabrer, A.M., Fischer, M. (2009). Breeding apple (*Malus* x *domestica* Borkh), in: Jain, M.S., Priyadarshan, P.M. (Eds.), Breeding Plantation Tree Crops, Temperate Species. Springer Science Business Media, New York. pp 33-82.

- Pérez-Pastor, A. (2009). Estudio agronómico y fisiológico del albaricoquero en condiciones de infradotación hídrica. Tesis Doctoral. España. Universidad Politécnica de Cartagena.

- Petri, J. y G. Leite. (2008). Macieira. Revista Brasilera de Fruticultura. 30: 857- 859.

- Puppo, L. y García, P. M. (2010). Determinación del consumo de agua del duraznero por lisimetría. Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental. 14(1): 25-31.

- Ramírez, H.; Saavedra, L. L. (1990). A low chilling requirement Golden Delicious apple mutant from northeast Mexico. Acta Horticulturae. 279: 67-73.

- Ramirez-Rrodrígues, H., y Cepeca-Siller, M. (1993). El Manzano. Edit. Trillas, UAAAN, México, pp 208.

- Redes, G. R., y Collazo, O. M. (2006). Manual de prácticas de Fotosíntesis. 1ªedición, UNAM, México.

- Requena, A., Nordenströn, G., y Castillo, E. (2012). Consumo de agua de plantas jóvenes de manzano regadas por goteo. Revista de la Facultad de Ciencias Agrarias. Universidad Nacional de Cuyo, *44*(1), 41-48.

- Ribeiro, M. A. F. C. G., y Fioravançol V, N. C. C. J. C. (2011). Demanda hídrica e coeficientes de cultura (Kc) para macieiras em Vacaria, RS. Ciência Rural, 41(3), 459-462.

- Robledo, A. (2005) La redistribución de la radiación solar y la lluvia dentro de plantaciones de café (Coffea arabica L.) Rev. Acad. Colomb. Cienc. 29(112):371-382.

- Rosenberg, N.J. (1974). Microclimate. The biological environment. John Wiley. New York.

- SAGARPA, (2011). Anuario estadístico de la producción agrícola.

- Salisbury, F. y Ross, C. (1994). Fisiología vegetal. 4ª edición México: Grupo Editorial Iberoamérica.

- Samson, J. (1991). Fruticultura tropical. Editorial Limusa. Buenos Aires, Argentina. pp 395.

- Sansavini, S., R. Bonomo, A. Finotti, y V. Palara. (1986). Foliar and soil application of paclobutrazol on Gloster apple. Acta Hort. 179: pp 219- 225.

- Scandellari, F., Zanotelli, D., Ceccon, C., Bolognesi, M., Montagnani, L., Cassol, P., y Tagliavini, M. (2015). Enhancing prediction accuracy of soil respiration in an apple orchard by integrating photosynthetic activity into a temperature-related model. European Journal of Soil Biology, 70, 77-87.

- Schneider, G. y C. Scarborough. (1980). Cultivo de árboles frutales. Compañía ditorial Continental. S.A. México. pp 445.

- Scholander PF, Hammel HT, Bradstreet ED, Hemmingsen EA. (1965). Sap pressure in vascular plants. Science148: 339–346.

- Sellés, G.; Ferreira, R. y Maldonado, P. **(**2002). Cámara de presión: instrumento para controlar el riego a través de mediciones del estado hídrico de las plantas *Aconex,* 76: 18-26.

- Shahak, Y., Gussakovsky, E. E., Gal, E., y Ganelevin, R. (2004). Color Nets: Crop protection and light-quality manipulation in one technology. In VII International Symposium on Protected Cultivation in Mild Winter Climates: Production, Pest Management and Global Competition 659. pp. 143-151.

- Shaltout, A. D.; Unrath, C. R. (1983). Rest completion prediction model for Starkrimson Delicious Apples. J. Amer. Soc. Hort. Sci. 108(6): 957-961.

- Shi, T., Guan, D., Wang, A., Wu, J., Jin, C. y Han, S. (2008). Comparison of three models to estimate evapotranspiration for a temperate mixed forest. Hydrological Processes, 22:pp. 3431–3443.

- Shock, C.C., B.M. Shock y T. Welch. (2013). Strategies for Reducing Irrigation Water Use, EM 8783.

- SIAP. (2014). Servicio de información agroalimentaria y pecuaria. Resumen nacional de la producción agrícola. [en línea] http://www.siap.gob.mx./ (consultado el 27 de marzo de 2014).

- SIAP. (2015). Servicio de información agroalimentaria y pecuaria. Resumen nacional de la producción agrícola. [en línea] http://www.siap.gob.mx./ (consultado el 29 de enero de 2015).

- Sinnott, E., y Wilson, K. (1975). Botánica. Principios y problemas. Editorial continental, SA México. pp 48.

- Smith, m., Allen, r., y Pereira, l. (1998). Revised FAO methodology XA9848174 for crop-water requirements.*management of nutrients and water in rainfed arid and semi-arid areas*, 51.

- Solomakhin, A y Blanke, M. (2008). Colored hailnets alter light transmission, spectra and phytochrome, as well as vegetative growth, leaf chlorophyll and photosynthesis and reduce flower induction of Apple. Plant Growth Regulation, 56: 211-218.

- Solomakhin, A., y Blanke, M. (2010). The microclimate under coloured hailnets affects leaf and fruit temperature, leaf anatomy, vegetative and reproductive growth as well as fruit colouration in apple. Annals of applied biology, 156(1), 121-136.

- Souza, C. F., Matsura, E. E., Folegatti, M. V., Coelho, E. F., y Or, D. (2006). Sondas de TDR para a estimativa da umidade e da condutividade elétrica do solo. Irriga, 11(1), 12-25.

- Stannard, D. I. (1997). A theoretically based determination of Bowen-ratio fetch requirements. Boundary-Layer Meteorology, 83(3): 375-406.

- Steduto, P., Hsiao, T.C., Fereres, E., Raes, D. (2012). Crop yield response to water. FAO irrigation and drainage paper No.66. FAO, Rome, Italy, pp 516.

- Taiz, L. y Zeiger, E. (2002). Plant Physiology. 3ra edition. Sinauer Asociates, Sunderland, Massachusetts, USA.

- Taiz, L.; Zeiger, E. 2006. Plant Physiology. 4th ed. Sinauer Associates, Inc. Publishers. Sunderland, Massachussets. USA. pp 764.

- Tang, R., Li, Z. L., Chen, K. S., Zhu, Y., y Liu, W. (2012). Verification of land surface evapotranspiration estimation from remote sensing spatial contextual information. Hydrological Processes, 26(15): 2283-2293.

- Teixeira, A., W. Bastiaanssen, and L. Bassoi. (2007). Crop water parameters of irrigated wine and table grapes to support water productivity analysis in the São Francisco river basin, Brazil. Agricultural Water Management 94:31-42.

- Tokarz, K., Pilarski, J., y Kocurek, M. (2013). The Photosynthetic Surface Area of Apple Trees. In Photosynthesis Research for Food, Fuel and the Future (pp. 818-824). Springer Berlin Heidelberg.

- Topp, G. C., Davis, J. L., y Annan, A. P. (1980). Electromagnetic determination of soil water content: measurements in coaxial transmission lines. Water resources research, 16(3): 574-582.

- Uddin J., N Hancock, R Smith y J Foley. (2013). Measurement of evapotranspiration during sprinkler irrigation using a precision energy budget 97 (Bowen ratio, eddy covariance) methodology. Agricultural Water Management 116: 89-100.

-

- USDA.2015. United States Departament of Agriculture Fresh Apples Production by Country. Disponible en línea: http://www.indexmundi.com/agriculture/?commodity=apples&graph=production. [Consultado el 22/02/2016]

- Villagra, P., García de Cortázar, V., Ferreyra, R., Aspillaga, C., Zúñiga, C., Ortega-Farias, S., y Sellés, G. (2014). Estimation of water requirements and Kc values of'Thompson Seedless' table grapes grown in the overhead trellis

system, using the Eddy covariance method. Chilean journal of agricultural research, 74(2): 213-218.

- Villaman, R., L. Tijerina., A. Quevedo y G. Crespo (2001). Comparación de algunos métodos micro-meteorológicos para estimar la evapotranspiración en el área de Montecillo, México. Terra 19: 281-291.

- Wagenmakers, P. 1994. Light relations inorchard systems. Thesis Ph.D. Wageningen Agricultural University. pp151.

- Warland, J., y K. Taillon. (2002). Spatial variability of eddy covariance measurements: A comparison of two identical eddy correlation systems in adjacent plots. *In*: 15th Conference on Boundary Layer and Turbulence. Wageningen, the Netherlands. pp 1-2.

- Warnock, R., J. Valenzuela, A. Trujillo, P. Madriz y M. Gutiérrez. 2006. Área foliar, componentes del área foliar y rendimiento de seis genotipos de caraota. Agronomía Trop. 56 (1): 21-42

- Williams LE, Phene CJ, Grimes DW, Trout TJ. (2003b). Water use of young Thompson Seedless grapevines in California. Irrig Sci 22:1–9.

- Williams, L., and J. Ayars. (2005a). Grapevine water use and the crop coefficient are linear functions of the shaded area measured beneath the canopy. Agricultural and Forest Meteorology 132:201-211.

- Williams, L., y Trout, T. **(**2005). Relationships among vine-and soil-based measures of water status in a Thompson seedless vineyard in response high-frequency drip irrigation. *American Journal of Enology and Viticulure.* 56 (4): 357-366.

- Wright, J. L. (1982). New evapotranspiration crop coefficients. Journal of Irrigation and Drainage. ASCE 108:57-54.

- YURI J.A., ORMAZÁBAL, J. (2002). Desarrollo de la canopia en manzanos. Pomáceas. Boletín Técnico Volumen 2, Número 1. ISSA 0717-6910.

- Zanotelli D., Mazzetto F., Tagliavini M. (2014). Carbon footprint and primary energy use in fruit production. Italus Hortus, 21(1): 59-68.

- Zanotelli, D., Montagnani, L., Manca, G., y Tagliavini, M. (2012). Net primary productivity, allocation pattern and carbon use efficiency in an apple orchard assessed by integrating eddy-covariance, biometric and continuous soil chamber measurements. Biogeosciences Discussions, 9(10): 14091.

- Zegbe, J.A., M.H. Behboudian, and B.E. Clothier. (2007). Reduced irrigation maintains photosynthesis, growth, yield, and fruit quality in 'Pacific RoseTM' apple. J. Sustain. Agr. 30:125–136.

- Zermeño-González, A., Flores-Guerrero, J. A., Munguía-López, J. P., *et* al. (2010). Evapotranspiración y su relación con la evapotranspiración a equilibrio en una huerta de nogal pacanero (*carya illinoinensis*) del Norte de México. Agrociencia 44(8): 885-893.

- Zermeño-González, A., S. Villatoro-Moteno, J. J. Cortés-Bracho, M. Cadena Zapata, E. A. Catalán-Valencia, M. A. García-Delgado, y J. P. MunguíaLópez. (2012). Estimación del intercambio neto de CO_2 en un cultivo de caña de azúcar durante el ciclo de plantilla. Agrociencia 46(6): 579-591.

- Zermeño-González, A., y L. E. Hipps. 1997. Downwind evolution of surface fluxes over a vegetated surface during local advection of heat and saturation déficit. J. Hydrology. 192: 189-210.

- Zermeño-González., A. (2001). Métodos micrometeorológicos para medir flujos de calor y vapor de agua entre los cultivos y la atmósfera. In: XIII Semana Internacional de Agronomía. Universidad Juárez del Estado de Durango. México.

- Zhang, S. Y., Zhang, G. C., Gu, S. Y., Xia, J. B., y Zhao, J. K. (2010). Critical responses of photosynthetic efficiency of goldspur apple tree to soil water variation in semiarid loess hilly area. Photosynthetica, 48(4): 589-595.