

**UNIVERSIDAD AUTÓNOMA AGRARIA ANTONIO NARRO**  
**DIVISIÓN DE INGENIERÍA**  
**DEPARTAMENTO DE RIEGO Y DRENAJE**



**Tasa de evapotranspiración de un viñedo y su relación con la  
evapotranspiración de referencia del método FAO Penman-Monteith**

**POR:**

**Luis Alberto Fuerte Mosqueda**

**TESIS**

**Presentada Como Requisito Parcial**

**Para Obtener el Título de:**

**INGENIERO AGRÓNOMO EN IRRIGACIÓN**

**Buenavista, Saltillo, Coahuila, México**

**Diciembre de 2015**

**UNIVERSIDAD AUTÓNOMA AGRARIA ANTONIO NARRO**

**DIVISIÓN DE INGENIERÍA**

**DEPARTAMENTO DE RIEGO Y DRENAJE**

**Tasa de evapotranspiración de un viñedo y su relación con la evapotranspiración de referencia del método FAO Penman-Monteith**

**POR:**

**Luis Alberto Fuerte Mosqueda**

**TESIS**

**Que somete a consideración del H. Jurado Examinador como requisito parcial para obtener el título de:**

**INGENIERO AGRÓNOMO EN IRRIGACIÓN**

**APROBADA**

**EL presidente del jurado**

**Dr. Alejandro Zermeno González**  
Asesor principal

**Dr. Javier de Jesús Cortés Bracho**  
Asesor

**Ing. Aaron Isain Melendres Álvarez**  
Asesor

**Dr. Juan P. Munguía López**  
Asesor

**Dr. Luis Samaniego Moreno**  
Coordinador de la División de Ingeniería



**Buenavista, Saltillo, Coahuila, México**  
Coordinación de Ingeniería

**Diciembre de 2015**

## AGRADECIMIENTOS

A mis **Padres**, por haber creído siempre en mí y haberme apoyarme incondicionalmente, por haberme brindado siempre su amor y cariño, y haber sido mi guía y mi fortaleza. Gracias por haber cumplido esta meta tan anhelada de ser un profesional, y darme todo lo que tenían en sus manos para lograrlo. Nunca terminare de agradecerles, al igual a Dios por haberme dado estos padres tan maravillosos. “Los amo papás, con mucho cariño y afecto su hijo Luis Alberto”

A mi **Alma Terra Mater** por haberme abierto sus puertas y brindarme los conocimientos que me ayudaron en mi formación como Ingeniero Agrónomo en Irrigación.

A los **Profesores** de la Universidad, y en especial a los del Departamento de Riego y Drenaje, por haber sido parte de mi formación como ingeniero, y haberme brindado sus conocimientos y experiencias profesionales.

Al **Dr. Alejandro Zermeño González** por haberme dado la oportunidad de pertenecer a su grupo de investigación, por la confianza brindada y por todo el tiempo y apoyo dado para la realización de este trabajo de tesis.

A mis **Asesores** por su apoyo y disponibilidad en la revisión del presente trabajo, y un agradecimiento en especial al Ing. Aarón Isain por toda la ayuda prestada en el procesamiento de los datos de la investigación, así como por su compañerismo en el grupo de investigadores.

A mis **Compañeros de generación CXX**, por su amistad y apoyo, German, Agustín, Jony, Irving, Rudy, Cesar, Erik, Peter, Heriberto, Cristino, Chuy, Beymar, Manuel, Pepe, Gerardo, Cosme y Gabriel. En especial a German Valero y Agustín Arias, por ser mis grandes amigos y compañero. Les deseo éxito en sus carreras como ingenieros.

## DEDICATORIAS

A mis padres **Martín Fuerte Hernández** y **Laura Elena Mosqueda Herrera** por darme la vida, por siempre haberme dado su amor y cariño, por la fe que depositaron en mí, y espero nunca decepcionar. Por los desvelos, angustias y preocupaciones que les hice pasar cuando de pequeño mi vida estuvo en riesgo, gracias porque nunca se dieron por vencidos y siempre me dieron todo lo que estuvo en sus manos. Queridos papá y mamá este logro en vida se los debo a usted, gracias desde mi corazón.

A mis hermanos **Alfredo, Fernando, Martín, María Elena, Brenda y Jesús**, así como a mis sobrinos **Yuliana, Annette, Ángel, Ariana y Génesis**, por todo el apoyo tanto económico como emocional que me brindaron, por sus consejos y por la fe que me tuvieron para terminar mi carrera como ingeniero, los quiero muchísimo y le doy gracias Dios y a mis papás por haberme dado unos hermanos como ustedes. Sin dejar a un lado a mis cuñadas (os) **María, Aurora, Guadalupe y Orlando**, por todo el apoyo que me brindaron siempre y por formar parte de mi familia.

A mis abuelitos (as) **María Guadalupe, J. Soledad, Margarita (†) y Alfredo** por su cariño, por sus cuidados y por el apoyo que me brindaron siempre para cumplir este logro en mi vida, por sus consejos que me ayudaron a ser un buen hijo, nieto, estudiante, y ahora espero ser muy buen ingeniero.

A mis **tíos (as)** por haberme dado siempre los mejores consejos, momentos llenos de alegrías y por impulsarme en seguir adelante y cumplir un logro más en mi vida.

A mis **primos (as)** por ser casi unos segundos hermanos para mí, por brindarme su amistad incondicional, por todos los momentos que pasamos juntos en la infancia y adolescencia, los quiero mucho a todos y a cada uno de ustedes.

A **Mary Cruz** por ser una de las persona más importante en mi vida, y espero que el futuro nos tenga preparada una vida juntos y llena de felicidad.

## ÍNDICE DE CONTENIDO

AGRADECIMIENTOS.....	III
DEDICATORIAS.....	IV
ÍNDICE DE FIGURAS.....	VII
ÍNDICE DE CUADROS.....	IX
RESUMEN.....	X
I. INTRODUCCIÓN.....	1
HIPÓTESIS.....	3
OBJETIVO.....	3
II. REVISIÓN DE LITERATURA.....	4
2.1 Evapotranspiración de las plantas y factores ambientales que la afectan.	4
2.2 Diferencias entre tasa de evapotranspiración entre cultivos de cobertura total y los de cobertura parcial (hileras).....	6
2.3 Origen y características botánicas de la vid ( <i>Vitis vinífera</i> L.).....	8
2.3.1 Origen de la vid. ....	8
2.3.2 Clasificación botánica de la vid. ....	9
2.4 Importancia de la vid a nivel mundial y para México.....	10
2.4.1 Importancia de la vid a nivel mundial.....	10
2.4.2 Importancia de la vid en México. ....	11
2.5 Manejo agronómico del cultivo de vid.....	12
2.5.1 El riego en el cultivo de vid.....	12
2.5.2 La poda en el cultivo de vid. ....	12
2.5.3 Fertilización del cultivo de vid. ....	14
2.5.4 Control fitosanitario en el cultivo de vid. ....	15
2.6 Importancia del riego oportuno en la producción del cultivo de vid.....	20
2.7 Características de las tasas de evapotranspiración de las plantaciones de vid.....	21

2.8 Método FAO Penman-Monteith. ....	23
2.9 Coeficientes para obtener la tasa de evapotranspiración de un determinado cultivo a partir de la tasa de ETr.....	26
III. MATERIALES Y MÉTODOS.....	29
3.1 Descripción del sitio de estudio. ....	29
3.2 Mediciones e instrumentación. ....	32
3.3 Método FAO Penman-Monteith. ....	35
3.4 Evaluación estadística. ....	37
IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....	38
4.1 Balance de energía sobre el dosel del viñedo. ....	38
4.2 Relación entre la evapotranspiración medida en el viñedo y la de referencia con el método FAO Penman-Monteith.....	39
4.3 Relación entre evapotranspiración actual medida y actual estimada. ....	41
V. CONCLUSIONES.....	47
VI. LITERATURA CITADA.....	48

## ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Componentes de la evapotranspiración de una superficie vegetal...	4
Figura 2. Características del cultivo hipotético de referencia.....	23
Figura 3. Evapotranspiración del cultivo bajo condiciones estándar.....	26
Figura 4. Curva del Kc en función del desarrollo ( <i>Vitis vinífera</i> L.).....	27
Figura 5. Ubicación de los sensores de medición en la parte media del extremo oeste de cada sección, donde los vientos dominantes provienen del este.....	29
Figura 6. Alineación de la plantación del viñedo en la Vinícola San Lorenzo, Parras, Coahuila, México.....	29
Figura 7. Sensores de un sistema Eddy sobre una plantación de vid para medir los flujos de calor, vapor de agua y bióxido de carbono entre el dosel de la plantación y la atmosfera.....	31
Figura 8. Relación entre la suma de los flujos de la superficie (H+LE) y la energía disponible (Rn-G) sobre el dosel de un viñedo (cv Shiraz), Vinícola San Lorenzo, Parras de la Fuente, Coahuila, ciclo de producción marzo de 2014.....	37
Figura 9. Tasa de evapotranspiración diaria medida con el método de la covarianza eddy (ETa) y la obtenida con el método FAO Penman Monteith (ETr) durante los meses de producción (abril a septiembre de 2014) en un viñedo (cv Shiraz) en la Vinícola San Lorenzo, Parras, Coahuila.....	41

Figura 10. Tasa de evapotranspiración diaria medida con el método de la covarianza eddy (ETa) y la obtenida con el método FAO Penman Monteith modificado por el factor de cobertura (ETraj) durante los meses de producción (abril a septiembre de 2014) en un viñedo (cv Shiraz) en la Vinícola San Lorenzo, Parras, Coahuila.....42

Figura 11. Tasa diaria de evapotranspiración actual (ETa) medida con el método de la covarianza eddy y ETa estimada a partir de la evapotranspiración de referencia (método FAO Penman Monteith), durante los meses de producción (abril a septiembre de 2014) en un viñedo (cv Shiraz) en la Vinícola San Lorenzo, Parras, Coahuila.....44



## ÍNDICE DE CUADROS

Cuadro 1. Datos promedio de los requerimientos y extracción de nutrientes del cultivo de vid ( <i>Vitis vinífera</i> L.).....	14
Cuadro 2. Resultados de la prueba de Wilcoxon para las poblaciones de la tasa diaria de ETa medida y la ETa estimada con el método FAO Penman Monteith.....	40
Cuadro 3. Tasa de evapotranspiración mensual medida con el método de la covarianza eddy (ETa), y la de referencia determinada con el método FAO Penman Monteith modificada por el factor de cobertura (ETr) y los coeficientes mensuales de ajuste por desarrollo de cultivo (Kc), en un viñedo cv. Shiraz de la Vinícola San Lorenzo, Parras, Coahuila.....	43

**Tasa de evapotranspiración de un viñedo y su relación con la  
evapotranspiración de referencia del método FAO Penman-Monteith.**

Luis Alberto Fuerte Mosqueda

**RESUMEN**

Una adecuada y oportuna programación de la irrigación en la agricultura, requiere la información correspondiente a la tasa de evapotranspiración diaria de los cultivos establecidos en las diferentes regiones agrícolas. En este contexto, el objetivo de este estudio fue evaluar y calibrar el método FAO Penman Monteith para determinar la tasa de evapotranspiración actual (ETa) diaria de un viñedo, a partir de la evapotranspiración de referencia (ETr) obtenida con este método. El estudio se realizó en un viñedo (cv Shiraz) de la Vinícola San Lorenzo, Parras, Coahuila, durante el ciclo de producción de 2014. Dentro del viñedo se delimitaron dos secciones de 5.2 ha. En cada sección se instalaron los sensores de un sistema eddy para determinar la tasa diaria de evapotranspiración. Simultáneamente, se midió en forma continua (lecturas de 1 s y promedios de 30 min) durante los meses de crecimiento del viñedo, la radiación solar total incidente, la temperatura y humedad relativa del aire y la velocidad del viento. Con esta información se obtuvo la tasa diaria de evapotranspiración de referencia (ETr). La tasa diaria (ETa) de una de las secciones del viñedo se contrastó contra la ETr, para obtener el factor por diferencia de cobertura de superficie (cobertura total de un pasto contra la

cobertura parcial de un viñedo) y los coeficientes mensuales de ajuste por desarrollo del cultivo ( $K_c$ ). Los resultados de este estudio mostraron que de acuerdo con la prueba de Wilcoxon para poblaciones pareadas ( $\alpha \leq 0.01$ ), la tasa diaria de  $ET_a$  medida en la otra sección del viñedo fue igual que la tasa de  $ET_a$  obtenida a partir de la  $ET_r$  (FAO Penman Monteith) modificada por el factor de cobertura y los coeficientes  $K_c$ .

**Palabras clave:** Evapotranspiración de referencia, covarianza eddy, coeficiente de cultivo.

correo electrónico; Luis Alberto fuente Mosqueda, [luisfuerte1@hotmail.com](mailto:luisfuerte1@hotmail.com)

## I. INTRODUCCIÓN

Para mejorar la eficiencia del uso del agua en la agricultura, es indispensable determinar la tasa diaria de evapotranspiración (ET) de los cultivos establecidos en una determinada región (Béziat *et al.*, 2013; Lawson and Blatt, 2014). La tasa de ET, es el resultado de la evaporación desde la superficie del suelo y la transpiración por los estomas de las hojas. Estos procesos ocurren simultáneamente y en un ecosistema natural son difícil de separar (Allen *et al.*, 2006; Escrig *et al.*, 2012). Los principales factores ambientales que determinan la tasa de evapotranspiración son: radiación solar, temperatura del aire, déficit de presión de vapor y velocidad del viento (Allen *et al.*, 2006).

La tasa de ET se puede medir por diferentes métodos: enfoques micrometeorológicos, uso de lisímetros y medición de los cambios de la humedad del suelo, entre otros (Abtew and Melesse, 2013; Escarabajal-Henarejos *et al.*, 2014). Sin embargo la implementación de estos métodos generalmente es muy costosa y de difícil aplicación, por lo que es necesario aplicar métodos que permitan determinar la evapotranspiración de cultivos a partir de la evapotranspiración de referencia. A la fecha existen diversos métodos para obtener la evapotranspiración de referencia en una determinada localidad (Li *et al.*, 2008; Vega and Jara, 2009; Escarabajal-Henarejos *et al.*, 2014), sin embargo el método que más se recomienda, y se considera el procedimiento estándar es el FAO Penman-Monteith (Guevara-Díaz, 2006;

Sentelhas *et al.*, 2010). Al respecto, Trezza (2008) aplico el método FAO Penman-Monteith para la programación del riego mediante el balance hídrico en el suelo en un cultivo de caña de azúcar. Por otro lado Intrigliolo *et al.* (2009) aplicaron el método FAO Penman-Monteith para programar el riego con la tasa de evapotranspiración del cultivo en una plantación de vid (cv Riesling) en la región húmeda de Geneva, NY, USA. En el mismo contexto Moratiel and Martínez-Cob (2012) determinaron la evapotranspiración de referencia mediante el método FAO Penman-Monteith para calcular la evapotranspiración de una plantación de vid (*Vitis vinífera* L., cv Red Globe) con malla sombra sobre el dosel de la plantación, esto en la localidad de Santa Bárbara, Caspe (Zaragoza, España), la cual cuenta con un clima semiárido.

La tasa diaria de evapotranspiración de una plantación de vid es pequeña con relación a la que se observa en cultivos de cobertura total (maíz, alfalfa, sorgo, caña de azúcar) (Zhang *et al.*, 2008; Álvarez *et al.*, 2013), debido a que la superficie que ocupan las franjas de plantas es mucho menor que la de los pasillos (Chen *et al.*, 2010). Por lo que al aplicar el método FAO Penman-Monteith se debe considerar esta relación (Allen *et al.*, 2006; López *et al.*, 2015).

Recientemente, el cultivo de vid ha adquirido una gran importancia económica y social por la mano de obra que requiere para su manejo y por la demanda creciente de vinos tintos a nivel nacional e internacional (Spinelli *et al.*, 2011; Cohen *et al.*, 2015). En México, las plantaciones de vid se ubican en la

zona norte que corresponde a un clima semiárido, donde el agua es el recurso más limitante para la producción, por lo que es importante determinar la evapotranspiración diaria del cultivo para una mejor programación de la irrigación. Por lo que el objetivo de este estudio fue evaluar y calibrar el método FAO Penman-Monteith para determinar la tasa de evapotranspiración diaria de una plantación de vid del Norte de México.

## **HIPÓTESIS**

Existe una relación directa entre la tasa diaria de evapotranspiración actual de una plantación de vid y la tasa de evapotranspiración de referencia obtenida con el método FAO Penman Monteith.

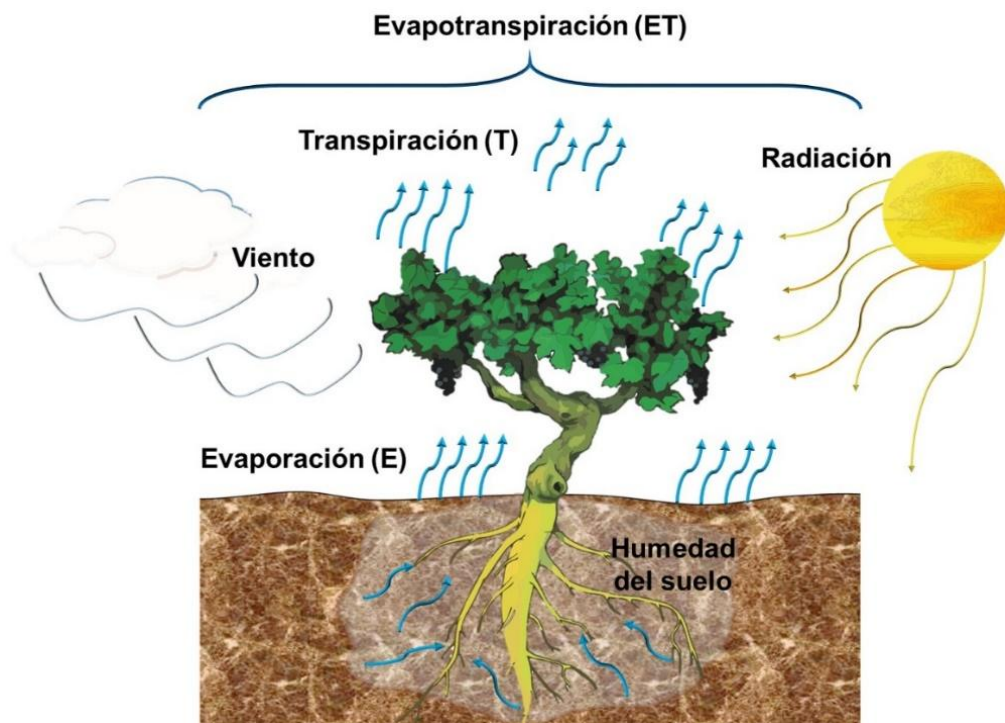
## **OBJETIVO**

Evaluar y calibrar la evapotranspiración de referencia del método FAO Penman Monteith para su aplicación en la determinación de la tasa diaria de evapotranspiración actual de una plantación de vid del Norte de México.

## II. REVISIÓN DE LITERATURA

### 2.1 Evapotranspiración de las plantas y factores ambientales que la afectan.

La tasa de evapotranspiración de una superficie vegetal, es el resultado de la evaporación desde la superficie del suelo y la transpiración de los estomas de las hojas (Valverde, 2007; Córdova *et al.*, 2013) (Figura 1). Los principales factores ambientales que determinan la tasa de evapotranspiración son: radiación solar, temperatura del aire, humedad del aire, velocidad del viento y la presión atmosférica (Bois *et al.*, 2008; Abtew y Melesse, 2013; Patle y Singh,



2015).

Figura 1. Componentes de la evapotranspiración de una superficie vegetal.

**Radiación solar**, es una variable climática importante en la evaluación de la evapotranspiración de referencia ya que puede cambiar grandes cantidades de agua líquida en vapor de agua. La cantidad de radiación solar recibida en una ubicación depende de la hora del día, día del año, la latitud, la altitud, la nubosidad y de la estación del año (Allen *et al.*, 2006; Bois *et al.*, 2008; Abtew y Melesse, 2013).

**Temperatura del aire**, la radiación solar absorbida por la atmósfera y el calor emitido por la tierra elevan la temperatura del aire. El calor sensible del aire circundante transfiere energía al cultivo y entonces ejerce un cierto control en la tasa de evapotranspiración (Valverde, 2007; Patle y Singh, 2015).

**Humedad del aire**, mientras que el aporte de energía del sol y del aire circundante es la fuerza impulsora principal para la evaporación del agua, la diferencia entre la presión de vapor de agua en la superficie evapotranspirante y el aire circundante es el factor determinante para la remoción de vapor (Allen *et al.*, 2006).

**Velocidad del viento**, el proceso de remoción de vapor depende en alto grado del viento y de la turbulencia del aire, los cuales transfieren grandes cantidades de aire hacia la superficie evaporante, con la evaporación del agua, el aire sobre la superficie evaporante se satura gradualmente con vapor, si este aire no se substituye continuamente por un aire más seco, disminuye la



intensidad de remoción de vapor de agua y la tasa de evapotranspiración disminuye (Allen *et al.*, 2006; Valverde, 2007; Patle y Singh, 2015).

**Presión atmosférica**, la disminución de la presión atmosférica aumentaría la tasa de evapotranspiración debido a que la presión de vapor del aire también disminuye con la presión atmosférica y por lo tanto aumenta el déficit de presión de vapor (Reddy, 2005; Abtew y Melesse, 2013).

## **2.2 Diferencias entre tasa de evapotranspiración entre cultivos de cobertura total y los de cobertura parcial (hileras).**

Las tasas de evapotranspiración de los cultivos de cobertura total son mayores que los de cobertura parcial (camas o hileras), ya que la mayor parte de la humedad disponible en el suelo es transpirada por el cultivo, dentro de los sistemas de producción encontramos cultivos de cobertura total como: alfalfa (*Medicago sativa* L.), algodón (*Gossypium herbaceum* L.), arroz (*Oryza sativa* L.), avena (*Avena sativa* L.), caña de azúcar (*Saccharum officinarum* L.), maíz (*Zea mays* L.), sorgo (*Sorghum vulgare* L.) y trigo (*Triticum aestivum* L.), entre otros (Martínez y Pérez, 2006; Zhang *et al.*, 2008; Chen *et al.*, 2010; Álvarez *et al.*, 2013). Moratiel y Martínez-Cob, (2013) realizaron estudios en cultivo de arroz obteniendo un valor de evapotranspiración de cultivo (ET<sub>c</sub>) de 5.2 mm·día<sup>-1</sup> (esto de 90 a 130 días después de la siembra) en una región semiárida de Zaragoza, España, mientras que Nassif *et al.*, (2013) realizaron sus estudios en cultivo de caña de azúcar en el cual reportan un valor de ET<sub>c</sub> de 5.29 mm·día<sup>-1</sup>

este en la región subtropical de São Paulo, Brasil, por otra parte Suzuki *et al.*, (2014) llevaron a cabo estudios en cultivo de arroz en el norte de Namibia, con un clima húmedo, del cual obtuvieron un valor de evapotranspiración de cultivo de  $1.9 \text{ mm}\cdot\text{día}^{-1}$ , por último de Guimaraes *et al.*, (2015) reportan un valor medio de  $4.05 \text{ mm}\cdot\text{día}^{-1}$  de ETc también en cultivo de caña de azúcar en la región tropical de Urutai GO, Brasil.

Las tasas de evapotranspiración de los cultivos de cobertura parcial (camas o hileras) son menores que los de cobertura total, esto se debe al acomodo del cultivo que modifica las condiciones micrometeorológicas provocando una anisotropía en los flujos de energía y una dependencia de la estabilidad y dirección del viento (Mahrt, 2000; Huber y Trecaman, 2004; Balbontín-Nesvara *et al.*, 2011), entre los cultivos de cobertura parcial con mayor producción a nivel nacional se encuentran el chile (*Capsicum annuum* L.), papa (*Solanum tuberosum* L.), tomate (*Solanum lycopersicum* L.), cebolla (*Allium cepa* L.), sandía (*Citrullus lanatus* L.), brócoli (*Brassica oleracea* L.), vid (*Vitis vinífera* L.), lechuga (*Lactuca sativa* L.), melón (*Cucumis melo* L.), entre otros (SIAP, 2014). En algunos estudios que se han realizado para determinar la ETc en cultivo de cobertura parcial se encuentran los de Yunusa *et al.*, (2004) en el cual reportan un valor de ETc de  $2.2 \text{ mm}\cdot\text{día}^{-1}$  en cultivo de vid en la región templada de Australia, Hanson y May, (2006) realizaron estudios en cultivo de tomate en la región semiárida del Valle de San Joaquín, CA, EE.UU, obteniendo un valor de evapotranspiración de  $1.77 \text{ mm}\cdot\text{día}^{-1}$ , por otra parte Zhang *et al.*, (2011)

reportan un valor de  $2.11 \text{ mm}\cdot\text{día}^{-1}$  en cultivo de vid en la región árida del noroeste de China, también en cultivo de vid López-Urrea *et al.*, (2012) obtuvieron un valor de ETc de  $3.03 \text{ mm}\cdot\text{día}^{-1}$  en la región semiárida de Albacete, España, en el mismo contexto Moratiel y Martínez-Cob, (2012) también realizaron estudios en cultivo de vid obteniendo un valor de ETc de  $4.35 \text{ mm}\cdot\text{día}^{-1}$  en la región semiárida de Caspe, Zaragoza, España.

## **2.3 Origen y características botánicas de la vid (*Vitis vinífera* L.)**

### **2.3.1 Origen de la vid.**

La vid es un arbusto cuyo origen se remonta a la Era Terciaria, por ello para adaptarse a las difíciles condiciones de las glaciaciones (Eras Terciaria y Cuaternaria) fue cambiado tanto fisiológica como morfológicamente, durante la Era Cuaternaria aparecieron el *Vitis aussoniae* L. y el *Vitis vinífera* L. El género *Vitis* es originario de las zonas templadas del Asia occidental, la zona comprendida entre el mar Negro y el mar Caspio y delimitada por los actuales países de Turquía, Siria, Irak, Irán y Rusia. La variedad *Vitis vinífera* L., es la especie a partir de la cual se derivan fundamentalmente las principales variedades comerciales cultivadas, tanto para consumo en fresco como para la elaboración de vino (Duque y Yáñez, 2005; Columela, 2011; Almanza, 2012).

En América existían variedades de *Vitis* silvestres (no viníferas). Fue hasta la llegada de los conquistadores españoles que trajeron consigo la *Vitis vinífera* L.

La riqueza de los suelos americanos facilitó el trasplante de cultivos de origen europeo entre ellos el de vid (Columela, 2011).

### **2.3.2 Clasificación botánica de la vid.**

La vid, parra, viña o videira (*Vitis vinífera* L.), es un arbusto leñoso y trepador, que cuando se deja crecer libremente puede alcanzar hasta más de 30 m, pero por la acción humana, podándola anualmente, queda reducida a un pequeño arbusto de 1 m. Su fruto, la uva, es comestible en fresco y materia prima para la elaboración de vino (Columela, 2011; Cossio *et al.*, 2012).

Taxonómicamente la vid está situada en la más importante agrupación del reino vegetal (Almanza, 2011; Columela, 2011).

División: Espermatofitas (plantas con flores y semillas).

Subdivisión: Angiospermas (plantas con semillas encerradas en un ovario).

Clase: Dicotiledóneas (con dos hojas embrionarias en la base de la plántula).

Orden: Rhamnales (plantas leñosas con un solo ciclo de estambres situados delante de los pétalos).

Familia: Vitáceas (flores con corola de pétalos soldados superiormente y de perfloración valvar, con cáliz poco desarrollado, gineceo generalmente bicarpelar y bicular, con fruto en baya).

Género: *Vitis* (con flores exclusivamente dioicas en las especies silvestres, y hermafroditas o unisexuales en las cultivadas).

Especie: *Vitis vinifera* L. (origen euroasiático, que es cultivada por el valor de sus frutos).

## **2.4 Importancia de la vid a nivel mundial y para México.**

### **2.4.1 Importancia de la vid a nivel mundial.**

De acuerdo a un nuevo estudio de la Organización Mundial de la Viña y el Vino en 2014, la producción mundial de uva fue de 73.7 millones de toneladas (Los Andes, 2014).

La Unión Europea (UE) domina el mercado de producción mundial de uva, abarcando alrededor del 41 por ciento de los 73.7 millones de toneladas anuales que se producen, seguido por Asia con el 29 y América con el 21 (OIV, 2015).

Según destaca el reporte de la OIV, a pesar de la reducción de la superficie vitícola, creció la producción de uva: esto se puede explicar en parte por un incremento en los rendimientos, las condiciones climáticas particularmente favorables en algunos países y las mejoras continuas en las técnicas vitícolas (Los Andes, 2014).

En la actualidad China, con 11.5 millones de toneladas, genera el 15% de la producción mundial de uva, seguida por Italia (7.9 millones de toneladas) y EEUU (7.5 millones de toneladas) (Los Andes, 2014).

Según destaca el informe, la superficie vitícola mundial se está contrayendo, principalmente debido a la reducción de los viñedos europeos. Esta contracción

ha sido compensada parcialmente por el incremento en las superficies plantadas en el resto del mundo.

En China y América del Sur, la superficie vitícola total ha continuado en aumento: se trata de los principales centros de crecimiento del viñedo en el mundo (Los Andes, 2014).

#### **2.4.2 Importancia de la vid en México.**

La zona vitivinícola mexicana está ubicada entre los 22° y 23° latitud Norte, en el centro-norte del país. Para el año 2014, doce estados cosecharon uva. Tradicionalmente los estados que producen uva son: Aguascalientes, Baja California, Baja California Sur, Coahuila, Guanajuato, Morelos, Nuevo León, Puebla, Querétaro, San Luis Potosí, Sonora y Zacatecas (SIAP, 2014). Sin embargo la producción de vid se concentra sólo en cinco entidades que reportan anualmente 98.2% del total del volumen de producción, tal es el caso de Sonora, Zacatecas, Baja California, Aguascalientes y Coahuila (El Economista, 2013; El Universal, 2014).

La principal importancia económica del cultivo de vid en México, es directamente el fruto, ya sea uva para la industria vitivinícola (22 % se procesa para elaboración de vino), uva fruta para su venta en fresco (75 % del volumen se consume como fruta) y uva pasa (3 % se consume como uva pasa), la primera es la de mayor oportunidad de crecimiento en el corto plazo, debido a la

demanda existente tanto a nivel nacional como internacional del vino de uva (El Economista, 2013; El Universal, 2014).

## **2.5 Manejo agronómico del cultivo de vid.**

### **2.5.1 El riego en el cultivo de vid.**

La determinación de los requerimientos hídricos de la vid es un factor de gran importancia para la programación del riego, y más en las zonas semiáridas donde la disponibilidad del agua es un factor que limita su producción, por esta razón el riego en la vid debe ser eficiente (Balbontín-Nesvara *et al.*, 2011).

La evaporación del suelo en las plantaciones de vid, donde los arbustos están ampliamente espaciados, puede ser reducida con un sistema de riego por goteo bien diseñado. Los goteros aplican el agua directamente al suelo cerca de los arbustos, de modo en que dejan la mayor parte de la superficie del suelo seca, limitando las pérdidas por evaporación, además permite la disminución en la lámina de riego por debajo de la evapotranspiración potencial en ciertas etapas fenológicas del cultivo sin afectar rendimiento y calidad del fruto (Allen *et al.*, 2006; Payán-Ochoa *et al.*, 2013).

### **2.5.2 La poda en el cultivo de vid.**

Las podas en la vid tienen por finalidad la supresión o eliminación de partes de la cepa, ya se traten éstas de material leñoso o verde. Por tanto se

distinguen dos grupos importantes: Podas en seco (durante la parada invernal) y Podas en verde (durante el periodo vegetativo) (Lavin, 2003; Columela, 2011).

Las podas en seco o de invierno, permiten adoptar el sistema de conducción elegido desde el inicio de la plantación hasta su plena producción.

Las finalidades de este tipo de poda son: dar a la planta, en sus primeros años de vida (3 a 5 años), una forma determinada (poda de formación), y más tarde conservársela para facilitar las operaciones de cultivo (poda de mantenimiento); dentro de la forma dada a la cepa, acomodar sus dimensiones y limitar su potencial vegetativo; atender al buen gobierno de la savia y a su prudente distribución (poda de transformación).

Las podas en verde o de primavera y verano, también denominadas operaciones en verde del viñedo se realizan durante el periodo de actividad de la planta.

Entre las actividades de este tipo de poda son: despampanada (eliminación de pámpanos jóvenes por su inserción); emparrado o guiado de la vegetación (dirige el crecimiento de los pámpanos para que el sistema adopte la forma o diseño predeterminado); despunte o perfilado (eliminación de ápices en crecimiento); aclareo de racimos (eliminación de racimos enteros, en granos o de partes de racimos); deshojado (eliminación de hojas de la zona de racimos, de forma parcial o total); desniete (eliminación de nietos de las zonas de racimos).



### 2.5.3 Fertilización del cultivo de vid.

La fertilización es una práctica agronómica de gran importancia en el cultivo de vid, ya que proporciona los elementos nutritivos que el cultivo requiere para su desarrollo fisiológico y vegetativo. Las necesidades de esta planta no son muy grandes, pero es importante no omitirlas para obtener una buena producción y calidad de fruto.

La aplicación de fertilizantes es necesaria para evitar carencias que conlleven a una disminución del vigor, del rendimiento o incidencias negativas en la composición del mosto.

El análisis de la planta da una información más precisa y rápida del estado nutritivo de la viña. Los síntomas de deficiencia se observan visualmente, y contribuyen a conocer el estado nutricional de la planta, que debe confirmarse por el análisis de tejidos (Rojas, 2009).

Cuadro 1. Datos promedio de los requerimientos y extracción de nutrientes del cultivo de vid (*Vitis vinífera* L.).

<b>Nutriente</b>	<b>Requerimientos (Kg·ha<sup>-1</sup>)</b>	<b>Nutrientes removidos por la fruta (Kg·T<sup>-1</sup>)</b>
Nitrógeno	40-70	1.3-1.8
Fósforo	4-10	0.3-0.4
Potasio	40-70	2.3-3.1
Calcio	40-80	0.1-0.15
Magnesio	6-15	0.2-0.35

Fuente: adaptado de Neukirchen (2003)

Las principales pautas para tener en cuenta en la planificación son: fertilidad natural del suelo, necesidades nutricionales de la especie (mesa o vino), tipo de fertilizante, época y dosis de aplicación, edad de la planta y estadio fenológico. Galindo *et al.* (1996) recomiendan realizar fertilización de acuerdo con la fenología de la vid de la siguiente manera: nitrógeno y potasio, en 2 dosis, 20 días antes y 20 días después de la poda; fósforo, en 3 dosis, la primera al momento de la cosecha, la segunda 20 días antes de la poda y la tercera 20 días después; los elementos menores, en 2 dosis, al inicio del descanso y 20 días después de la poda, y la materia orgánica, inmediatamente después de la cosecha.

#### **2.5.4 Control fitosanitario en el cultivo de vid.**

##### **2.5.4.1 Plagas en el cultivo de vid.**

Es una de las actividades que revisten mayor importancia en el manejo del cultivo, debido al costo que significa la aplicación de métodos de control y al nivel de pérdidas económicas que puede generar un ataque de plagas o enfermedades o el uso de prácticas inadecuadas de control (Chávez y Arata, 2004).

Las especies de Tetránquidos, araña roja (*Panonychus ulmi*) y araña amarilla (*Tetranychus urticae*), son parásitos que atacan regularmente los viñedos con una intensidad variable, dependiendo de condiciones climáticas e incluso de la fertilización; cuando se sobrepasa la fertilización nitrogenada, se presenta mayor ataque, por variación del contenido celular del follaje (Reynier,

1995). El ataque se presenta con mayor incidencia en épocas secas, cuando hay temperaturas elevadas y baja humedad relativa. Como medida de control es necesario reducir las densidades de la población, utilizar riegos por aspersión y eliminar las arvenses hospederas. La aplicación de productos químicos en temporada seca, como Abamectina y azufre, presentan buenos resultados.

El gusano del racimo (*Pylaris vinnata*) es un lepidóptero conocido como polilla del racimo; la primera generación de sus larvas destruye los botones florales, flores e incluso frutos recién cuajados (Reynier, 1995). Para el control de la polilla del racimo en uva de vinificación se recomienda tratar contra la segunda y la tercera generación con diferentes productos y estrategias; si se utilizan productos convencionales, los recomendados son clorpirifos, malathion, tiodicarb, pero siempre realizando el tratamiento cuando se produce el máximo de vuelo de adultos, y las larvas que salen estén en su estado más sensible. Si se desea emplear productos biológicos, se puede aplicar *Bacillus thuringiensis*, coincidiendo con el inicio de la eclosión de los huevos.

La hormiga arriera o cortadora (*Atta cephalotes*) está relacionada con el daño que produce al defoliar las plantas de la vid, lo que ocasiona la reducción del área fotosintética y, por tanto, la merma de la producción; el mayor ataque se presenta en climas cálidos de la zona tropical. El control se realiza mediante aplicación de clorpirifos en la base de las plantas; biológicamente se puede controlar con hongos entomopatógenos (*Beauveria bassiana* y *Metharizhium*

*anisopliae*) junto con un hongo micoparásito (*Trichoderma lignorum*); un control muy efectivo es la aspersión, en los caminos de las hormigas, del hongo del género *Penicillium*, que crece sobre la cáscara de las naranjas dañadas; el efecto que causa es el daño a la comida de las hormigas.

*Altica* (*Haltica ampelophaga* Guer.) es un pequeño coleóptero que provoca diversos síntomas y daños en la vid; los adultos perforan el limbo de las hojas, dejando agujeros más o menos extensos, y las larvas raspan la epidermis de las hojas. El control se realiza con productos químicos, como deltametrina.

#### **2.5.4.2 Enfermedades en el cultivo de vid.**

Las pérdidas ocasionadas por las enfermedades causadas por hongos y virus son limitantes en el cultivo de vid, porque disminuye la producción, se reduce la calidad y se incrementan los costos de producción (Galindo y Toro, 1995).

Las principales enfermedades fungosas son: mildiú veloso, oidium, botritis, phomopsis y roya. Las enfermedades ocasionadas por virus causan deformaciones y reducen el vigor y la longevidad de las plantas.

Mildiú veloso, también conocida como peronóspora, causada por el protista *Plasmopara viticola*; es la enfermedad más limitante en las variedades para producción de vino; Rivera *et al.* (2000) mencionan que alcanza pérdidas del 60 al 70%, bajo condiciones de alta humedad relativa y precipitación. El primer síntoma visible de la enfermedad son manchas amarillentas de apariencia

aceitosa, se producen esporas en el envés de la hoja, presentando una consistencia algodonosa de color blanco; posteriormente se disemina a las inflorescencias, siendo altamente susceptibles en plena floración (28-32 ddp) y a los racimos jóvenes. El control químico es esencial para prevenir la incidencia del patógeno; Reynier (1995) sugiere que los mejores fungicidas antimildiu son a base de cobre, como el caldo bordelés.

Oidium o cenicilla, también se conoce como mildiú polvoso; es causado, en la fase sexual, por el hongo *Uncinula necator*, parásito obligado de las vitáceas; su micelio es superficial, hialino y ramificado, dando una apariencia polvosa de color gris blanquecino a los órganos atacados, y sus haustorios penetran en las células superficiales de los tejidos verdes suculentos, pero afectan también las células vecinas; producen manchas parduscas en la epidermis, apreciables si se retira el micelio por roce (Mora y Parra, 1998). Un método clásico de lucha contra este tipo de hongos es la aplicación de productos a base de mancozeb en dosis de  $4 \text{ g L}^{-1}$ , rotado con oxiclورو de cobre ( $15 \text{ g L}^{-1}$ ), de acuerdo con el estadio fenológico de la planta, y con una frecuencia de aplicación de: en poda (0-5 ddp); cada 3 días, desde el desarrollo de hojas hasta la aparición de órgano floral (12-25 ddp); cada 4-5 días, desde el inicio de floración hasta cuando las bayas se tocan (25-70 ddp), y cada 8 a 10 días, desde los 70 a 90 ddp, o sea, desde envero hasta un mes antes de cosecha.

Botritis o pudrición del racimo, llamada también pudrición gris; es causada por el hongo *Botrytis cinerea Pers*, y se manifiesta en los órganos herbáceos,

como hojas, brotes y flores, y sobre los racimos, en donde causa, según Reynier (1995), podredumbre peduncular (pedúnculo y raspón), podredumbre en racimos (entre cuajado y maduración) y, en ciertas variedades, como Riesling, podredumbre noble, en periodo de sobremaduración (para elaboración de vinos generosos). Productos a base de cobre o de talamidas actúan contra *Botrytis*.

Phomosis, enfermedad causada por *Phomopsis viticola* Sacc.; también se llama excoriosis. La variedad Red Globe y las variedades para elaboración de vinos son susceptibles al ataque del patógeno. El hongo causa pequeñas lesiones necróticas en hojas, brotes, raquis, racimos y sarmientos. Los primeros síntomas aparecen como pequeñas manchas de color oscuro con borde amarillo en la lámina foliar y en las nervaduras; estas manchas destruyen porciones del área foliar. El principal daño se observa en la base de los brotes y sarmientos, sobre los cuales aparecen manchas necróticas (Reynier, 1995), que crecen hasta unos 6 mm, y en la epidermis de los brotes se forman hendeduras, donde se desarrollan las estructuras del hongo. El patógeno también infecta los racimos, que se tornan de color café, y causa pudrición. El control se realiza mediante medidas preventivas como poda y destrucción de brotes que presenten síntomas de la enfermedad. El control se realiza mediante medidas preventivas como poda y destrucción de brotes que presenten síntomas de la enfermedad. Aplicaciones de folpet, desde punta verde hasta hojas extendidas, son efectivas para el control.

Euthipiosis es una enfermedad producida por el hongo *Eutypa lata* Tul. y *C. Tul.* (sin. *Eutypa armeniaca* Hansf. y Carter), que ataca al tronco y brazos de las cepas. El hongo penetra por los cortes de poda. Los síntomas y daños son externos: se observan brotes débiles y cortos, con hojas más pequeñas y aserradas, cloróticas y, en ocasiones, con necrosis en los bordes; los racimos pueden presentar aspecto casi normal antes de la floración, pero en el cuajado sufren un fuerte corrimiento y luego se desecan (Reynier, 1995). Los medios de lucha más eficaces para erradicar esta enfermedad se basan en las medidas culturales, como arrancar las cepas muertas, cortar hasta encontrar madera sana y quemar, desinfectando los cortes y las herramientas de poda.

## **2.6 Importancia del riego oportuno en la producción del cultivo de vid.**

El riego tiene como objetivo mantener en el suelo un nivel de humedad superior al punto de marchites; cuando esto sucede, en la vid la vegetación es abundante, y las bayas son de mayor tamaño, pero cuando se presenta déficit de agua hay detención precoz de la vegetación y no se permite una maduración adecuada de las uvas (Reynier, 1995).

Al igual que la fertilización, el riego es imprescindible en ciertas etapas del crecimiento y desarrollo de la planta, y su intensidad se define de acuerdo con la edad y la variedad. El rendimiento y calidad de la uva es altamente dependiente de la cantidad de agua suministrada a la planta; Tosso y Torres

(1986) y Sellés *et al.* (2003) demostraron que riegos cercanos al 100% de la evapotranspiración máxima del cultivo produjeron un mayor crecimiento vegetativo, aumentando el peso de los frutos y, por ende, la producción.

Al respecto, se ha visto que existe una influencia considerable del régimen hídrico sobre las características del vino (color del vino, pues aumenta la concentración de antocianinas, taninos y polifenoles en los cultivares de uva tinta) (Ortega-Farias *et al.*, 2003; Acevedo *et al.*, 2005).

## **2.7 Características de las tasas de evapotranspiración de las plantaciones de vid.**

La tasa diaria de evapotranspiración de una plantación de vid (*Vitis vinífera* L.) es pequeña con relación a la que se observa en cultivos de cobertura total (maíz, alfalfa, sorgo, caña de azúcar) debido a que la superficie que ocupan las franjas de plantas es mucho menor que la de los pasillos. Por lo que para calcular la ET del cultivo aplicando el método FAO Penman-Monteith se debe considerar esta relación. (Martínez-Cob y Pérez-Coveta, 2006; Zhang *et al.*, 2008; Chen *et al.*, 2010; Álvarez *et al.*, 2013).

Entre los estudios realizados en cultivo de vid destaca el trabajo de Yunusa *et al.*, (2004), en el cual utilizaron microlisímetros para determinar el evaporación del suelo y desarrollaron un modelo empírico para estimar las tasas medias de ET, tomando en cuenta la evapotranspiración potencial ( $\text{mm}\cdot\text{día}^{-1}$ ) de la ecuación de Penman, del cual obtuvieron un valor de  $\text{ETc}$  de  $2.2 \text{ mm}\cdot\text{día}^{-1}$  en la región templada de Australia. Por otra parte Zhang *et al.*,



(2011) midieron por separado la transpiración y la evaporación del suelo, componentes principales de la ET, en un viñedo de la región árida del noroeste de China, por el sistema de flujo de savia balance de calor y microlisímetros durante la temporada de crecimiento de 2009. La transpiración de la vid fue de 202 mm durante el periodo comprendido entre el 28 de Abril hasta el 5 de Octubre, mientras que la evaporación del suelo fue de 181 mm. La suma de estos dos componentes fue un valor muy cercano al de ET estimada por el método de balance relación de energía de Bowen (386.9 mm), reportando un valor de  $2.11 \text{ mm}\cdot\text{día}^{-1}$ , lo que demostró la aplicabilidad de flujo de savia para medir el consumo de agua en vid para esta región de China. En el mismo contexto López-Urrea *et al.*, (2012) llevaron a cabo un estudio (2007-2009) para cuantificar el uso de agua en *Vitis vinífera* L., este se realizó con lisímetros de pesada en la región semiárida de Albacete, España. Para programar el riego, se calcularon los valores de la pérdida de ETc drenaje menos pérdida de masa diaria, y el agua se aplicó a reemplazar la pérdida, por lo tanto, el mantenimiento de condiciones no limitantes de agua del suelo. La evapotranspiración de la vid (ETc) se midió en el lisímetro, los valores obtenidos fueron 550 mm en 2007, 377 mm en 2008 y 505 mm de 2009, lo que equivale a 3.3, 2.6 y  $3.2 \text{ mm}\cdot\text{día}^{-1}$  respectivamente. También Moratiel y Martínez-Cob, (2012) llevaron a cabo sus estudios en un enrejado de dos aguas bajo redes y acolchado plástico negro en condiciones semiáridas del centro de Valle del Ebro, Caspe, Zaragoza, España. El método de renovación de la superficie se

utilizó para obtener los valores de flujo de calor sensible (H) a partir de las lecturas de temperatura de alta frecuencia. Más tarde, los valores de flujo de calor latente (LE) se obtuvieron mediante la resolución de la ecuación de balance de energía. Para el período Mayo-Octubre la ETc fue 843 mm (4.58 mm·día<sup>-1</sup>) en 2007 y 787 mm (4.27 mm·día<sup>-1</sup>) de 2008.

## **2.8 Método FAO Penman-Monteith.**

El método del cálculo de la evapotranspiración de referencia es una modificación del método de combinación Penman-Monteith y se denota como el método FAO Penman-Monteith (Allen *et al.* 2006). Evapotranspiración de referencia (denotado como ETr) se puede calcular por este método (Novák, 2012).

La superficie de referencia es un dosel referencia hierba hipotética con una altura del cultivo asumido  $z_p = 0.12$  m, resistencia superficial (dosel)  $r_s = 70$  s·m<sup>-1</sup>, y el albedo de  $\alpha = 0.23$  (Figura 2). Esta superficie se asemeja a una extensa superficie de hierba verde.

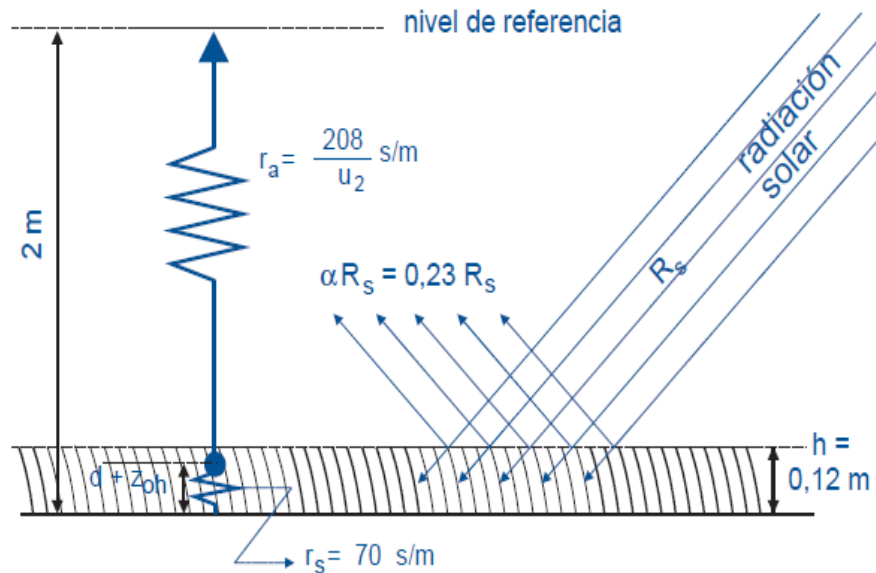


Figura 2. Características del cultivo hipotético de referencia. (Fuente FAO, 2006).

El método FAO Penman-Monteith requiere radiación neta ( $R$ ), la temperatura del aire ( $T$ ), humedad del aire (presión de vapor de agua) ( $e$ ), y la velocidad del viento ( $u$ ), todos están medidos a una altura de 2.0 m.

El cálculo de la evapotranspiración de referencia se basa en el original de Penman-Monteith, utilizando la siguiente ecuación para la resistencia aerodinámica:

$$r_a = \frac{\ln \left[ \frac{z_m - d_e}{z_{om}} \right] \ln \left[ \frac{z_h - d_e}{z_{oh}} \right]}{k^2 u}$$

Donde  $r_a$  es la resistencia aerodinámica [ $s \cdot m^{-1}$ ];  $z_m$  es la altura de medición del viento [m];  $z_h$  es la altura de medición de humedad [m];  $d_e$  es el plano de altura de desplazamiento cero [m];  $z_{om}$  es la longitud de la rugosidad que gobierna la transferencia del momentum [m];  $z_{oh}$  es la longitud de la rugosidad que gobierna la transferencia de calor y vapor de agua [m];  $k$  es la constante de Von Karman, 0,41 [-] y  $u$  es la velocidad del viento a la altura  $z$  [ $m \cdot s^{-1}$ ].

La resistencia superficial de una vegetación densa que cubre completamente el suelo se puede escribir como:

$$r_s = \frac{r_l}{IAF_{activo}}$$

Donde  $r_s$  es la resistencia superficial (total) [ $s \cdot m^{-1}$ ];  $r_l$  es la resistencia estomática total de una hoja bien iluminada [ $s \cdot m^{-1}$ ];  $IAF_{activo}$  es el índice activo de área foliar [ $m^2$  (área de la hoja)  $m^{-2}$  (superficie del suelo)].

A continuación, la ecuación FAO Penman-Monteith se puede escribir como:

$$ET_o = \frac{0,408 \Delta (R_n - G) + \gamma \frac{900}{T + 273} u_2 (e_2 - e_a)}{\Delta + \gamma (1 + 0,34 u_2)}$$

Donde  $ET_o$  es la evapotranspiración de referencia [ $mm \cdot día^{-1}$ ];  $R_n$  es la radiación neta en la superficie del cultivo [ $MJ \cdot m^{-2} \cdot día^{-1}$ ];  $G$  es el flujo del calor de suelo [ $MJ \cdot m^{-2} \cdot día^{-1}$ ];  $T$  es la temperatura media del aire 2 m de altura [ $°C$ ];  $u_2$  es la velocidad del viento a 2 m de altura [ $m \cdot s^{-1}$ ];  $e_s$  es la presión de vapor de

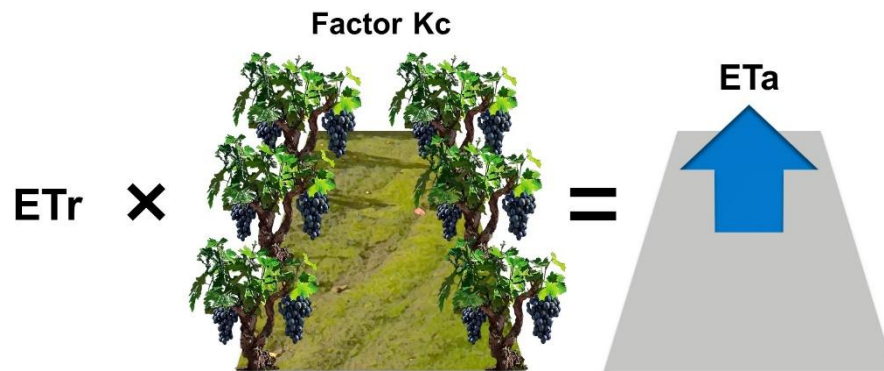
saturación [kPa];  $e_a$  es la presión real de vapor [kPa];  $e_s - e_a$  es el déficit de presión de vapor [kPa];  $\Delta$  es la pendiente de la curva de presión de vapor [kPa·°C<sup>-1</sup>] y  $\gamma$  es la constante psicrométrica [kPa·°C<sup>-1</sup>].

## 2.9 Coeficientes para obtener la tasa de evapotranspiración de un determinado cultivo a partir de la tasa de ETr.

La ETr representa la tasa de evapotranspiración máxima, o potencial, que puede ocurrir. Sin embargo, el requerimiento de agua de la cosecha es generalmente menos de ETr, ya que son factores relacionados con el cultivo mismo que se deben tener en cuenta. Estos incluyen la etapa de crecimiento de la planta, la cobertura de las hojas que sombrea el suelo y otros parámetros del cultivo mismo.

Tomando en cuenta estos factores, se puede convertir la ETr a ETa, utilizando un coeficiente específico para el cultivo, Kc.

La ETa representa la tasa de evapotranspiración del cultivo bajo condiciones



estándares (condiciones sin estrés) (Figura 3).

Figura 3. Evapotranspiración del cultivo bajo condiciones estándar.

Al calcular la ETa, hay que identificar las etapas de crecimiento del cultivo, su duración, y seleccionar el coeficiente Kc adecuado.

$$ETa = Kc * ET_r$$

Efectos climáticos son incorporados en ET<sub>r</sub>, mientras que el efecto de las características del cultivo es incorporado en Kc.

Las características del cultivo que varían durante el crecimiento del mismo también afectarán al valor del coeficiente Kc (Figura 4). Por último, debido a que la evaporación es un componente de la evapotranspiración del cultivo, los factores que afectan la evaporación en el suelo también afectarán al valor de Kc (Allen *et al.*, 2006; Guevara-Diaz, 2006; Novák, 2012).

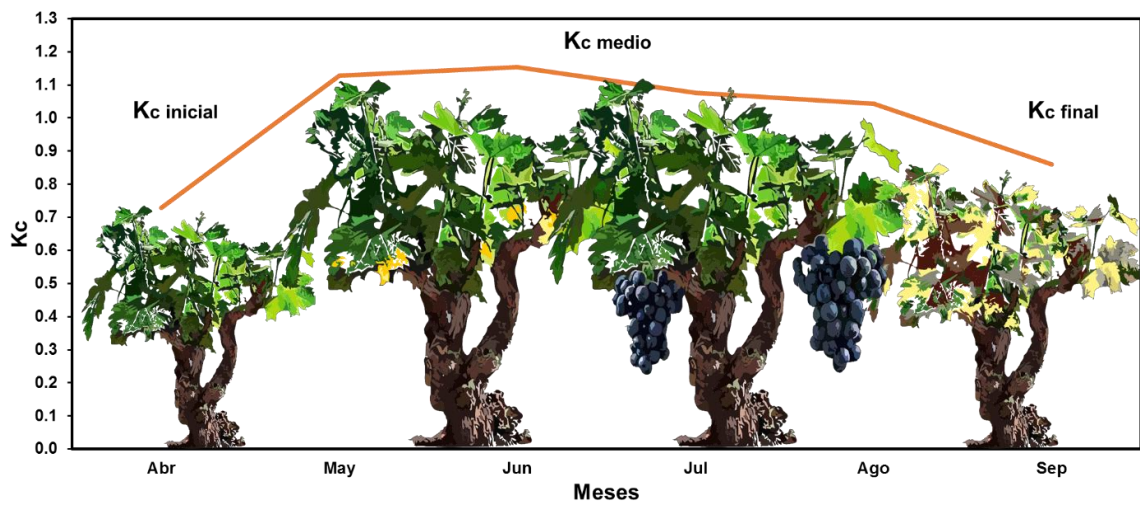


Figura 4. Curva del Kc en función del desarrollo (*Vitis vinifera* L.).

### III. MATERIALES Y MÉTODOS

#### 3.1 Descripción del sitio de estudio.

El estudio se realizó durante el ciclo de producción de abril a septiembre de 2014, en un viñedo cv 'Shiraz' de 7 años de edad, de la Vinícola San Lorenzo, Parras, Coahuila, México, a 25° 30' N, 102° 11' O y a una altitud de 1505 msnm, el clima es seco semiárido con temperatura promedio de 14 a 18 °C, precipitación promedio anual de 366 mm, con vientos dominantes provenientes del Este durante los meses del ciclo de producción de la vid (INIFAP, 2015).

Para el estudio, dentro del viñedo se delimitaron dos superficies de 5.2 ha (204 m en la dirección E-O, por 256 m dirección N-S) (Figura 5). Las plantas están alineadas en la dirección norte-sur, a 1.5 m entre plantas y 2.5 m entre hileras en una densidad de 2 620 plantas/ha (Figura 6). El riego se aplica por goteo diariamente (2 h) que para el gasto del emisor (2.1 LPH), y el ancho de mojado (40 cm) correspondió a una lámina de 7 mm. La altura máxima de plantas (etapa de floración) fue 2 m, la superficie recibió el manejo agronómico (riego, poda, fertilización y control fitosanitario) de acuerdo a las normas establecidas por la Vinícola San Lorenzo.



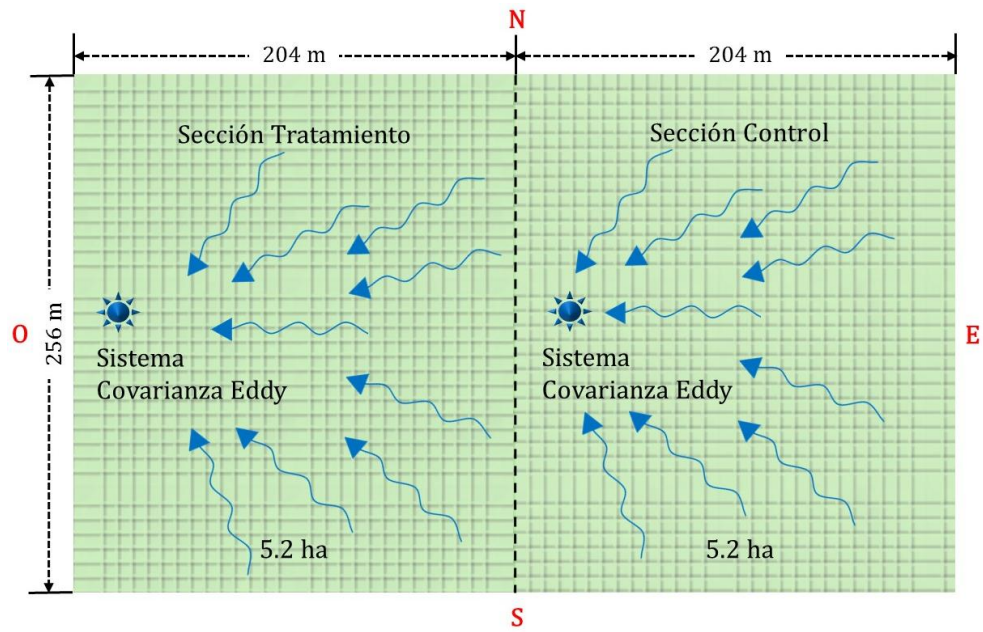


Figura 5. Ubicación de los sensores de medición en la parte media del extremo oeste de cada sección, donde los vientos dominantes provienen del este.

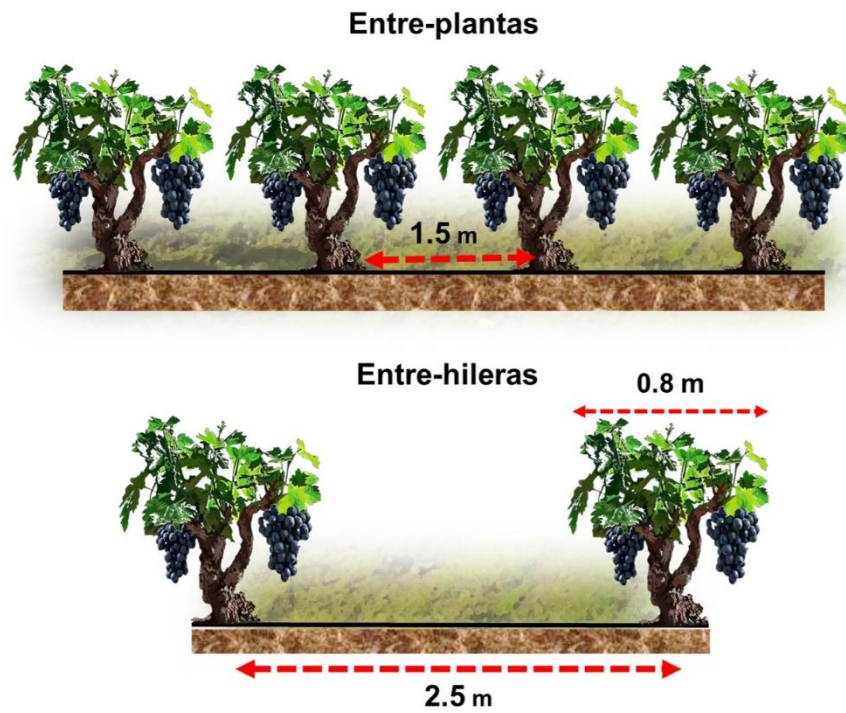


Figura 6. Alineación de la plantación del viñedo en la Vinícola San Lorenzo, Parras, Coahuila, México.

### 3.2 Mediciones e instrumentación.

Para determinar la tasa de evapotranspiración actual diaria de cada sección del (5.2 h) del viñedo, durante el ciclo de producción de 2014, se obtuvo el flujo de calor latente (LE) y sensible (H) con las siguientes relaciones (Ham and Heilman, 2003):

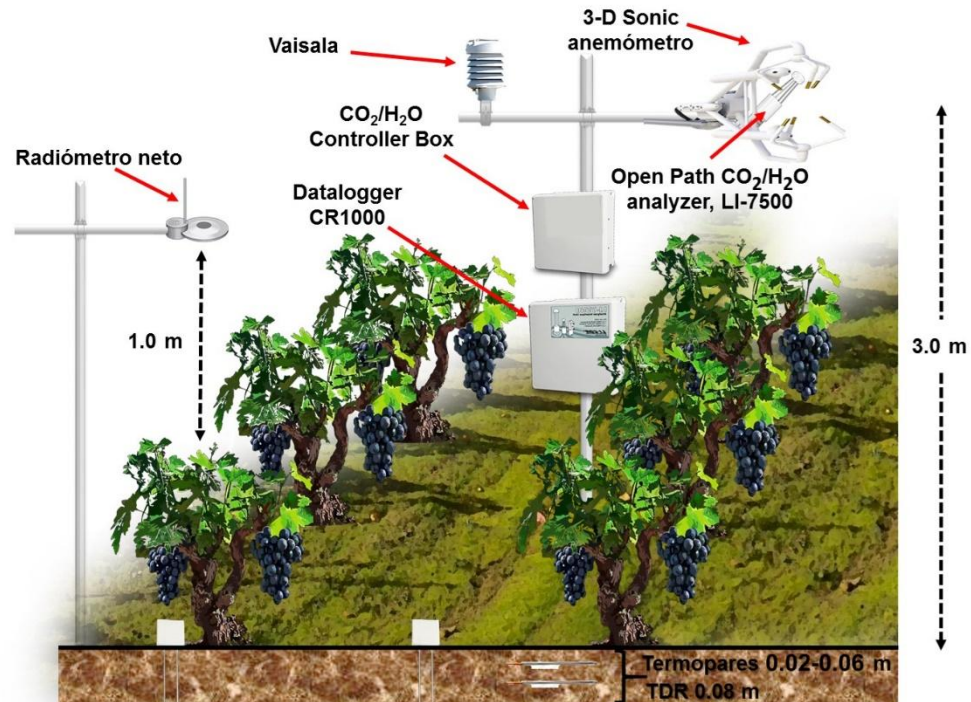
$$LE=L*\overline{(w'\rho_{wv}')} \quad (1)$$

$$H=\rho_a*C_p*\overline{(w'Ts')} - 0.51*\frac{\rho_a*C_p*LE}{L} \quad (2)$$

Dónde: L es el calor de vaporización del agua, w es la velocidad vertical del viento,  $\rho_{wv}$  es la densidad del vapor de agua en el aire,  $\rho_a$ ,  $C_p$  y  $T_a$  son la densidad, capacidad calorífica y temperatura del aire, respectivamente,  $T_s$  es la temperatura sónica, Las variables con símbolo de prima significan desviaciones respecto a la media y la barra horizontal sobre dos variables denota la covarianza entre las variables para un determinado segmento de tiempo (30 min).

La velocidad vertical del viento y la temperatura sónica se midieron con un anemómetro sónico tridimensional (CSI-CSAT3, Campbell, Scientific, Inc., Logan, Utah, EE.UU.); para obtener  $\rho_{wv}$  se usó un analizador infrarrojo de bióxido de carbono y vapor de agua de sendero abierto (Open Path CO<sub>2</sub>/H<sub>2</sub>O analyzer, LI-7500. LI-COR, Lincon, Nebraska, EE.UU.). La temperatura del aire ( $T_a$ ) se midió a la misma altura que  $T_s$ , con un sensor de temperatura y

humedad relativa (HP45C, Vaisala, Inc., Woburn, MA, EE.UU.) (Figura 7). Los sensores se montaron en un poste a 3 m de altura sobre la superficie del suelo



en el extremo oeste y al punto medio de la hilera de plantas de cada sección del viñedo.

Figura 7. Sensores de un sistema Eddy sobre una plantación de vid para medir los flujos de calor, vapor de agua y bióxido de carbono entre el dosel de la plantación y la atmosfera.

El anemómetro sónico tridimensional se orientó hacia el Este, para que el viento tuviera por lo menos 200 m de contacto con la superficie vegetal en la dirección Este-Oeste y 125 m en la dirección norte-sur, antes del contacto con los sensores. Los vientos provenientes del Oeste (que impactaban en la parte posterior del 3-D Sonic anemómetro) no se consideraron en las

determinaciones de los flujos. La frecuencia de operación de los sensores fue 10 Hz, y los flujos se obtuvieron a promedio de 30 min, los datos se almacenaron en un datalogger CR1000 (Campbell, Cientific, Inc., Logan, Utah, EE.UU.).

Para evaluar la precisión de las mediciones de los flujos se determinó el balance de energía sobre la superficie vegetal (Zermeño-González *et al.*, 2010; Shapland *et al.*, 2012) con la siguiente relación:

$$R_n = H + LE + G \quad (3)$$

Dónde:  $R_n$  es la radiación neta,  $H$  es el flujo de calor sensible,  $LE$  es el flujo de calor latente (del que se deriva la tasa de evapotranspiración) y  $G$  es el flujo de calor en la superficie del suelo, las unidades de todas las variables son  $W m^{-2}$ . La  $R_n$  se midió con un radiómetro neto (LITE, Keop and Zonen, Inc., Delft, Holanda) colocado a 1 m sobre el dosel de cada sección. El flujo de calor en la superficie del suelo ( $G$ ) promedio ponderado de cada sección, se obtuvo midiendo  $G$  a 8 cm bajo la superficie al punto medio de una de las hieras al centro de dos plantas bajo el dosel y al centro del pasillo (suelo desnudo) con un transductor de calor (modelo HFT3, Campbell Scientific, Inc., Logan, Utah, EE.UU.). Al flujo de calor a 8 cm se sumó el cambio de energía acumulado en el estrato de suelo (sobre el transductor) midiendo los cambios de temperatura a 2 y 6 cm bajo la superficie con un termopar (chromel-constantan) de 4 puntas (Kustas *et al.*, 2000; Payero *et al.*, 2005; Balbontín-Nesvara *et al.*, 2011). El flujo

de calor sensible (H) y latente (LE) se corrigieron por efecto de diferencia de densidad entre las masas de aire ascendentes y descendentes (Webb *et al.*, 1980).

### 3.3 Método FAO Penman-Monteith.

La determinación de la evapotranspiración de referencia por el procedimiento FAO Penman-Monteith, se basa en la aplicación de la ecuación original de Penman Monteith (Novák, 2012), a una extensa superficie de un pasto turgente de 0.12 m de altura sin déficit de humedad en el suelo y bajo condiciones de una atmósfera neutra (Allen *et al.*, 2006; Almorox *et al.*, 2012).

Para determinar la tasa diaria de evapotranspiración diaria, cuando las mediciones meteorológicas corresponden a los valores promedio o integrados de las horas de mayor tasa de evapotranspiración (8:00 a 20:00 h), la ecuación de Penman Monteith se puede escribir como:

$$LE_{PM} = \frac{S(R_n - G) + \rho_a * C_p * \frac{\delta e}{r_a} * (3600 * 12)}{S + \gamma \left( 1 + \frac{r_s}{r_a} \right)} \quad (4)$$

Dónde: S es la presión pendiente de la curva de presión de vapor a saturación vs temperatura para una determinada temperatura (kPa K<sup>-1</sup>), R<sub>n</sub> es la radiación neta (MJ m<sup>-2</sup> d<sup>-1</sup>), G es el flujo de calor en la superficie del suelo (MJ m<sup>-2</sup> d<sup>-1</sup>), ρ<sub>a</sub> es la densidad del aire (kg m<sup>-3</sup>), C<sub>p</sub> es la capacidad calorífica

del aire ( $\text{MJ kg}^{-1} \text{K}^{-1}$ ),  $\delta e$  es el déficit de presión de vapor (kPa),  $\gamma$  es la constante psicrométrica de la localidad ( $\text{kPa K}^{-1}$ ),  $r_a$  es la resistencia aerodinámica del aire al flujo de vapor de agua ( $\text{s m}^{-1}$ ) y  $r_s$  es la resistencia del dosel ( $\text{s m}^{-1}$ ).

Para la determinación de la evapotranspiración de referencia por el método FAO Penman-Monteith, la resistencia aerodinámica ( $r_a$ ) para una superficie extensa de un paso de 0.12 m de altura en una atmósfera neutra, se determina con la relación:

$$r_a = \frac{208}{u_2} \quad (4)$$

Donde  $u_2$  es la velocidad del viento (m/s) a 2 m de altura sobre la superficie. Para el mismo pasto, se considera un valor de  $70 \text{ s m}^{-1}$  para la resistencia del dosel ( $r_s$ ). El flujo de calor en la superficie del suelo se estima como el 10% del valor de la radiación neta ( $G=0.10 \cdot R_n$ ). La radiación neta se estima para una superficie vegetal de un albedo (índice de reflectividad de la radiación solar) de 0.23, midiendo la radiación solar total incidente y realizando un balance de radiación de onda corta y larga sobre el dosel del pasto (Allen *et al.*, 2006).

La velocidad del viento se midió con un anemómetro sónico tridimensional (3-D sonic anemometer, Campbell Sci., Logan, Utah, USA), la radiación solar total incidente con un Silicon Pyranometer (LI-200X, Lincoln, Nebraska, USA). El déficit de presión de vapor ( $\delta e$ ) se obtuvo a partir de la temperatura y humedad

relativa del aire que se midieron con una sonda de temperatura y humedad (HC2S3, temperatura and relative humidity probe, Campbell, Sci., Logan, Utah). Las mediciones se realizaron a una frecuencia de 1 s, y los promedios se calcularon cada media hora.

### **3.4 Evaluación estadística.**

La tasa de evapotranspiración actual diaria medida en los meses de producción en una de las secciones del viñedo (método de la covarianza eddy), se usó para derivar los coeficientes mensuales ( $K_c$ ) de ajuste por desarrollo de cultivo, para determinar la tasa de evapotranspiración actual a partir de la evapotranspiración de referencia (FAO Penman-Monteith).

La evaluación del método FAO Penman Monteith, se realizó comparando los datos de evapotranspiración actual diaria medidos en la otra sección del viñedo, usando el mismo método de la covarianza eddy, contra la estimada con el método FAO Penman-Monteith. Para esto, se aplicó la prueba no paramétrica de Wilcoxon para poblaciones pareadas (Wilcoxon,  $\alpha \leq 0.01$ ).



## IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

### 4.1 Balance de energía sobre el dosel del viñedo.

El balance de energía (Ecuación 3) sobre la superficie vegetal se aplicó para evaluar la precisión de las mediciones de H y LE. Los resultados obtenidos muestran que la suma de los flujos por turbulencia (H+LE) fueron en promedio 15 % menor que la energía disponible (Rn-G) (Figura 8). Este pequeño desbalance está dentro del margen aceptable de diferencia del balance de energía cuando H y LE se miden con el método de la covarianza eddy (Twine *et al.*, 2000; Ham and Heilman, 2003; Foken, 2008). Por ejemplo, estudios realizados por Tonti *et al.* (2013) en un cultivo de soya (*Glycine max* L.) reportaron que la suma de “H+LE” fue en promedio 22 % menor que la energía disponible “Rn-G”, mientras que para una plantación de vid Balbontín-Nesvara *et al.* (2011) reportaron una diferencia de 19 %, en el mismo contexto también en una plantación de vid Shapland *et al.* (2012) reportaron una diferencia de 6.88 %.

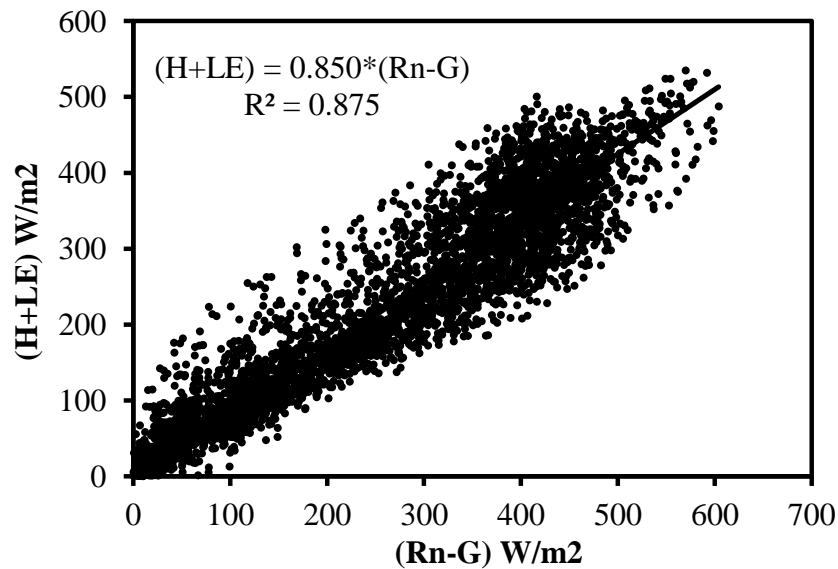


Figura 8. Relación entre la suma de los flujos de la superficie (H+LE) y la energía disponible (Rn-G) sobre el dosel de un viñedo (cv Shiraz), Vinícola San Lorenzo, Parras de la Fuente, Coahuila, ciclo de producción marzo septiembre de 2014.

#### 4.2 Relación entre la evapotranspiración medida en el viñedo y la de referencia con el método FAO Penman-Monteith.

La evapotranspiración actual (ETa) del viñedo medida con el método de la covarianza eddy tuvo el mismo patrón de variación que la evapotranspiración de referencia (ETr) determinada con el método FAO Penman-Monteith (Figura 9). Nótese que a través de los meses del ciclo de producción del viñedo (abril a septiembre de 2014), la tasa de ETr fue mayor que la ETa, pero con el mismo patrón de variación. En promedio, para los meses señalados, la ETr fue 4.73 mm d<sup>-1</sup>, mientras que la ET actual fue 1.48 mm d<sup>-1</sup>, que correspondió a una diferencia de 31.3 %. Esta diferencia se debió a que la ETr considera una superficie vegetal (pasto de 12 cm de alto) de cobertura total, mientras que el

viñedo con 2.5 m de distancia entre hileras y 0.80 m de ancho del dosel de plantas, solo cubrió el 32 % de la superficie total. En la Figura 10 se observa que al ajustar la ETr por el factor de cobertura (0.32) en cada día de los meses del ciclo de producción del viñedo, la ET actual es muy similar a la ET de referencia y la diferencia fue de 1.93 %.

La estimación de la tasa de ETa a partir de la ETr, se realizó por medio del coeficiente de ajuste por desarrollo de cultivo (Kc) de acuerdo con la siguiente relación:

$$ETa = ETr * Kc \quad (5)$$

De tal forma que el valor del Kc mensual se obtuvo dividiendo la ETa total del mes correspondiente de una de las secciones del viñedo (medida con el método de la covarianza eddy) por la ETr total del mismo mes, determinada con el método FAO Penman Monteith y ajustada por el factor de cobertura. En el Cuadro 3 se observa que el valor de Kc aumenta de abril a mayo, se mantiene ligeramente mayor que uno, y decrece en septiembre, esta variación coincide con el desarrollo vegetativo del cultivo y el proceso posterior de senescencia. Patrones similares de variación del Kc han sido observados en diferentes cultivos de ciclo anual (Li *et al.*, 2008; Villagra *et al.*, 2014; de Guimarães *et al.*, 2015).

### **4.3 Relación entre evapotranspiración actual medida y actual estimada.**

La tasa de ETa medida con el método de la covarianza eddy en la sección del viñedo que no se usó para la obtención de los coeficientes de ajuste por desarrollo de cultivo ( $K_c$ ), y la ETa estimada a partir de la evapotranspiración de referencia fue muy similar a través de los meses del ciclo de producción del viñedo (Figura 11). La prueba de Wilcoxon para poblaciones pareadas indicó que dichas poblaciones son estadísticamente iguales ( $\alpha \leq 0.01$ ) (Cuadro 2), este resultado permite recomendar la aplicación del método FAO Penman Monteith para estimar la tasa de ET actual del viñedo a partir de la ET de referencia y el valor del  $K_c$  de cultivo de cada mes. Otros estudios en otras superficies vegetales, también han recomendado la aplicación de este método para determinar la tasa de evapotranspiración actual en diferentes cultivos. Por ejemplo, Trezza *et al.* (2008) determinaron la tasa de evapotranspiración actual en un cultivo de caña de azúcar, a partir de la evapotranspiración de referencia para una mejor programación de la irrigación, que resultó en un mayor rendimiento del cultivo. Er-Raki *et al.* (2009) aplicaron el método FAO Penman Monteith para determinar la tasa de evapotranspiración actual de un huerto de árboles de naranja (*Citrus sinensis* L.) con riego por goteo y por superficie. También, Lage *et al.* (2003) reportaron que la evapotranspiración medida en un cultivo de arroz fue muy similar a la evapotranspiración del cultivo obtenida a partir del método FAO Penman Monteith, y que se observó una pequeña

subestimación del método debido al ingreso de energía advectiva de las zonas adyacentes.

---

Estadísticos descriptivos					
	N	Media	Desviación típica	Mínimo	Máximo
ET1	183	1.484	0.475	0.300	2.690
ET2	183	1.513	0.307	0.450	2.050

ET1 = ETa medida  
ET2 = ETa estimada

Rangos con signo de Wilcoxon				
		N	Rango promedio	Suma de rangos
ET2 - ET1	Rangos negativos	92 <sup>a</sup>	83.040	7639.500
	Rangos positivos	89 <sup>b</sup>	99.230	8831.500
	Empates	2 <sup>c</sup>		
	Total	183		

a. ET2 < ET1; b. ET2 > ET1; c. ET2 = ET1

Estadísticos de contraste <sup>a</sup>	
	ET2 - ET1
Z	-0.844 <sup>b</sup>
Sig. Asintótica (bilateral)	0.398

a. Prueba de rangos con signo de Wilcoxon

b. Basado en los rangos negativos.

---

Cuadro 2. Resultados de la prueba de Wilcoxon para las poblaciones de la tasa diaria de ETa medida y la ETa estimada con el método FAO Penman Monteith.

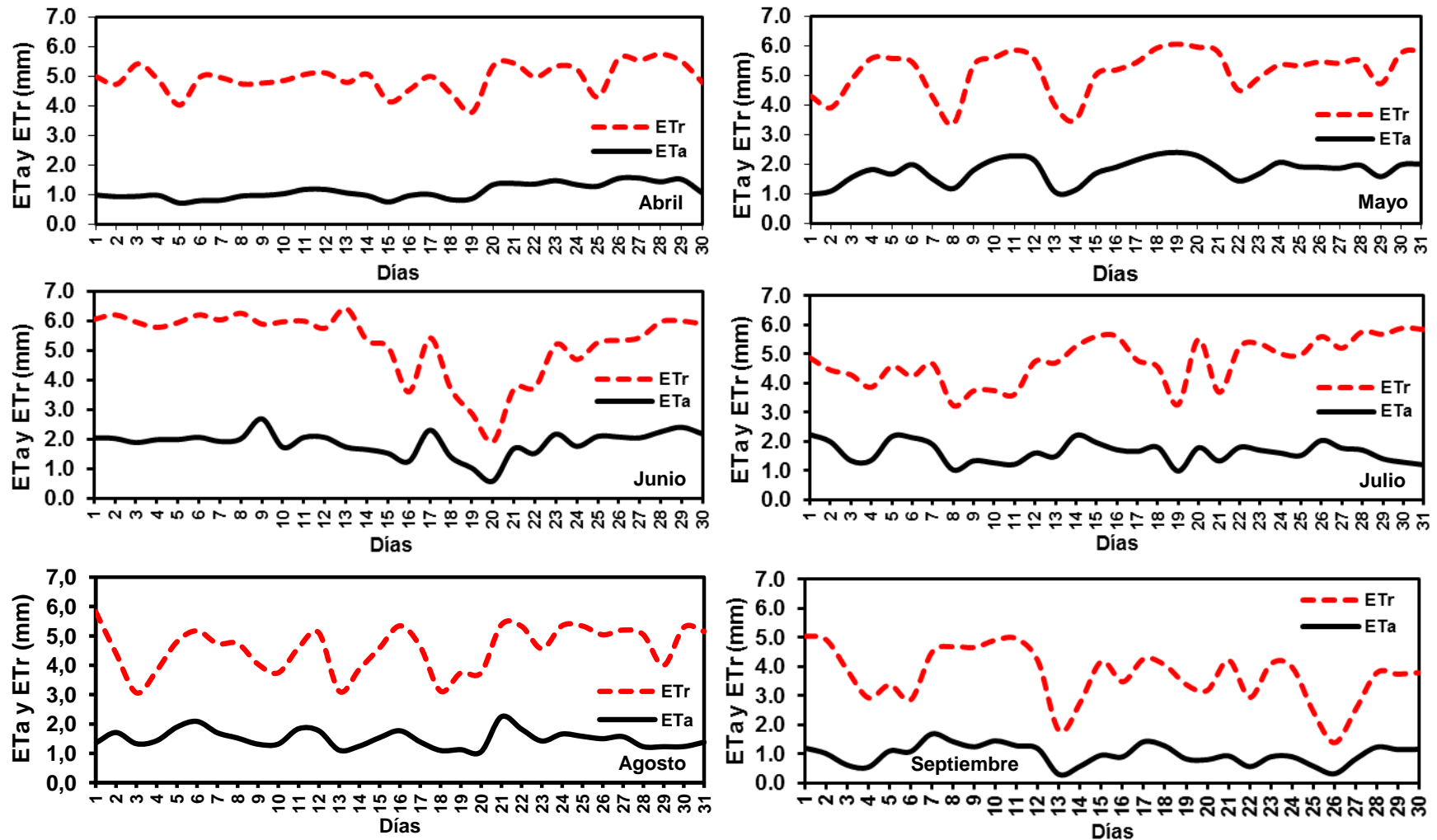


Figura 9. Tasa de evapotranspiración diaria medida con el método de la covarianza eddy (ETa) y la obtenida con el método FAO Penman Monteith (ETr) durante los meses de producción (abril a septiembre de 2014) en un viñedo (cv Shiraz) en la Vinícola San Lorenzo, Parras, Coahuila.

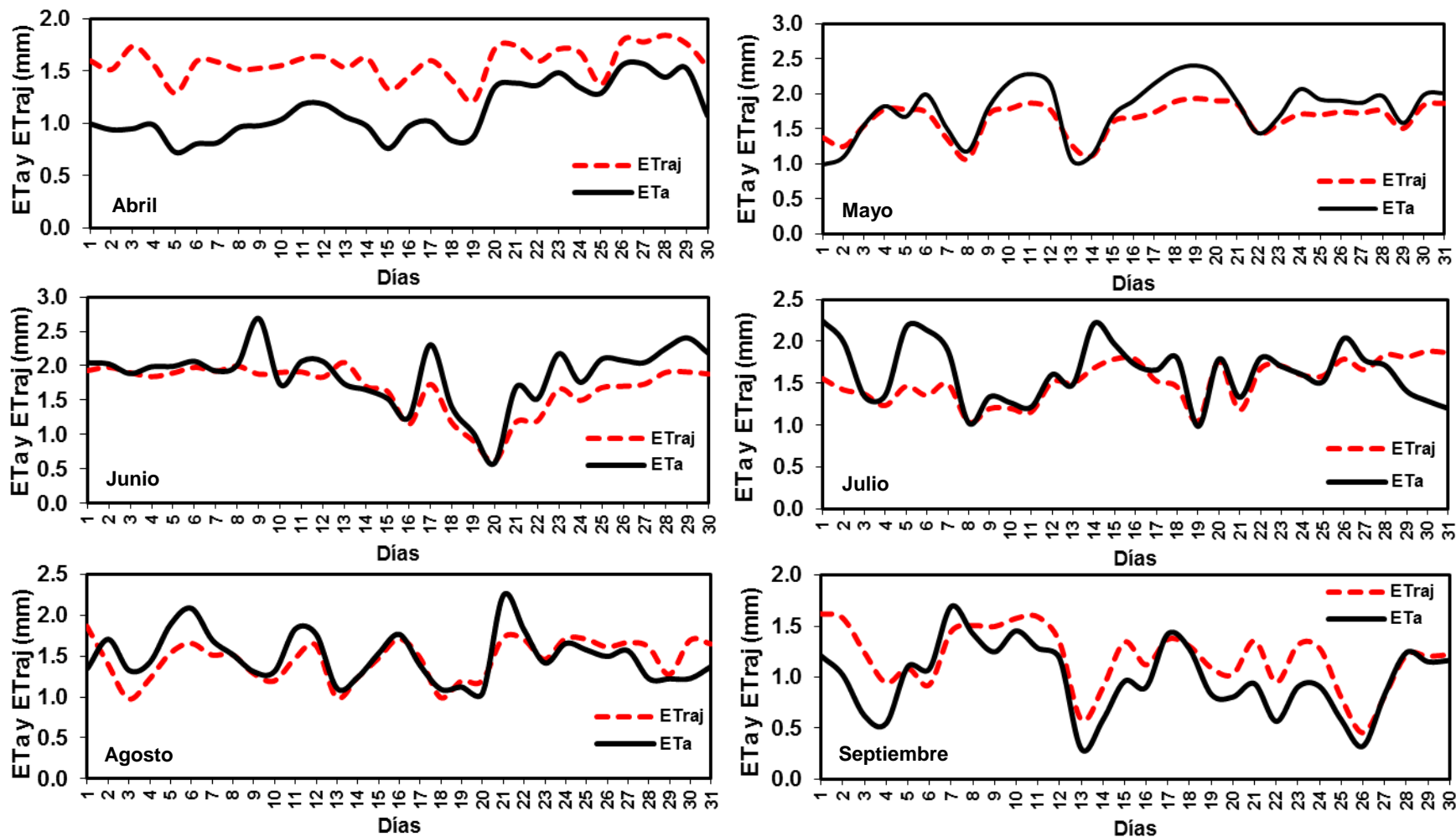


Figura 10. Tasa de evapotranspiración diaria medida con el método de la covarianza eddy (ETa) y la obtenida con el método FAO Penman Monteith modificado por el factor de cobertura (ETraj) durante los meses de producción (abril a septiembre de 2014) en un viñedo (cv Shiraz) en la Vinícola San Lorenzo, Parras, Coahuila.

Cuadro 3. Tasa de evapotranspiración mensual medida con el método de la covarianza eddy (ETa), y la de referencia determinada con el método FAO Penman Monteith modificada por el factor de cobertura (ETr) y los coeficientes mensuales de ajuste por desarrollo de cultivo (Kc), en un viñedo cv. Shiraz de la Vinícola San Lorenzo, Parras, Coahuila.

<b>Mes</b>	<b>ETa</b> <b>(mm)</b>	<b>ETr</b> <b>(mm)</b>	<b>Kc</b>
Abril	33.450	47.470	0.705
Mayo	55.446	50.926	1.089
Junio	56.177	50.364	1.115
Julio	50.595	47.168	1.073
Agosto	46.379	45.424	1.021
Septiembre	29.555	35.603	0.830



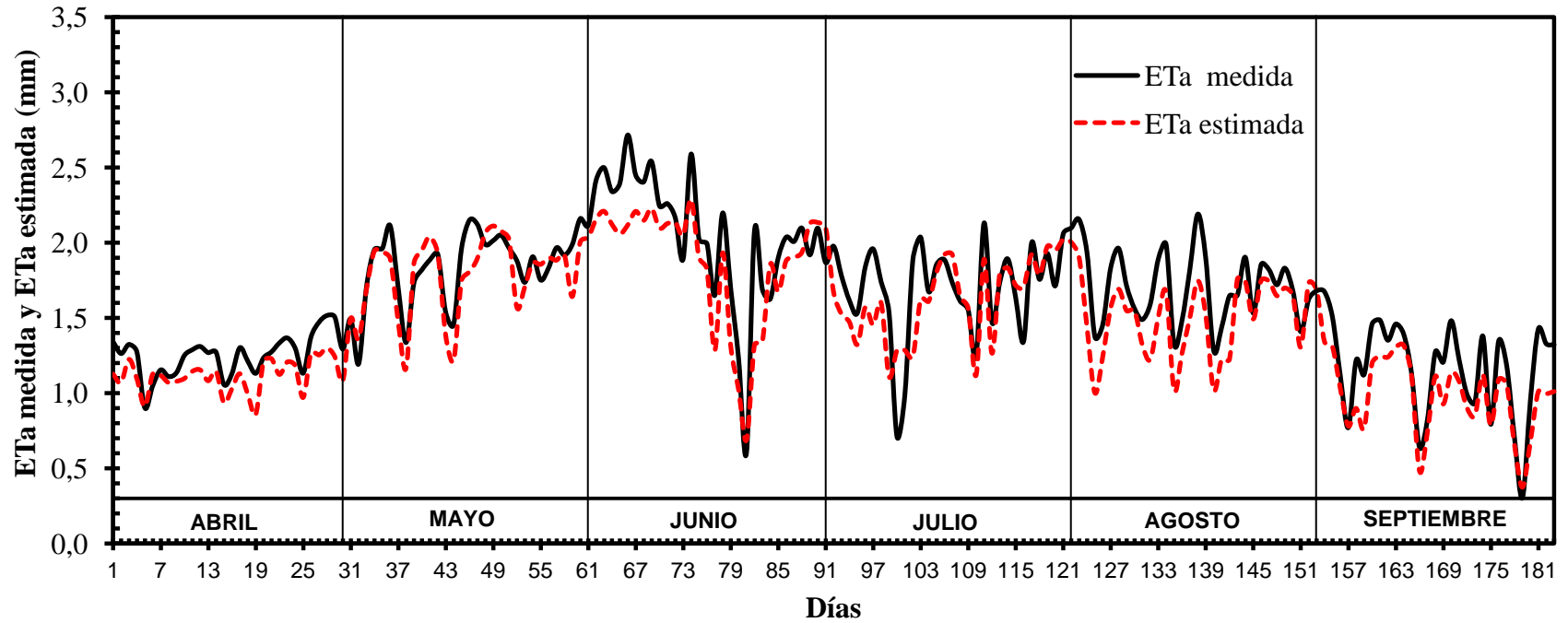


Figura 11. Tasa diaria de evapotranspiración actual (ETa) medida con el método de la covarianza eddy y ETa estimada a partir de la evapotranspiración de referencia (método FAO Penman Monteith), durante los meses de producción (abril a septiembre de 2014) en un viñedo (cv Shiraz) en la Vinícola San Lorenzo, Parras, Coahuila.

## V. CONCLUSIONES

Se demostró que la determinación de la tasa de evapotranspiración actual de un viñedo (cv Shiraz) a partir de la evapotranspiración de referencia con el método FAO Penman Monteith, y la corrección por el factor de cobertura y el coeficiente mensual de ajuste por desarrollo de cultivo ( $K_c$ ) es igual (prueba de Wilcoxon,  $\alpha \leq 0.01$ ) a la tasa de evapotranspiración actual del mismo viñedo mediada con el método de la covarianza eddy.

## VI. LITERATURA CITADA

- Abtew, W., and A. Melesse. 2013. Evaporation and Evapotranspiration Estimation Methods. *Evaporation and Evapotranspiration: Measurements and Estimations*. Springer Science & Business Media. USA. pp: 63-91.
- Acevedo, C., S. Ortega-Farías, C. Hidalgo, Y. Moreno, y F. Cordova. 2005. Efecto de Diferentes Niveles de Agua Aplicada en Post-Cuaja y en Post-Pinta Sobre la Calidad del Vino cv. Cabernet Sauvignon. *Agricultura Técnica*, 65(4), 397-410.
- Allen, R., L. Pereira, D. Raes, y M. Smith. 2006. Evapotranspiración del Cultivo. Guías para la determinación de los requerimientos de agua de los cultivos. Estudio FAO riego y drenaje 56. Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (FAO). Roma, Italia. 298 p.
- Almanza, P. 2011. *Determinación del crecimiento y desarrollo del fruto de vid (Vitis vinífera L.) bajo condiciones de clima frío tropical* (Doctoral dissertation, Tesis doctoral. Universidad Nacional de Colombia, Facultad de Agronomía, Escuela de Posgrados. Bogotá DC, Colombia).
- Almorox, J., V. Elisei, M. E. Aguirre, y M. Commegna. 2012. Calibración del modelo de Hargreaves para la estimación de la evapotranspiración de referencia en Coronel Dorrego, Argentina. *Revista de La Facultad de Ciencias Agrarias*. 44 (1): 101–109.

- Álvarez, C., A. Quiroga, D. Santos, y M. Bodrero. 2013. Contribuciones de los cultivos de cobertura a la sostenibilidad de los sistemas de producción. INTA. La Pampa, Argentina. 170 p.
- Balbontín-Nesvara C., A. Calera-Belmonte, J. González-Piqueras, I. Campos-Rodríguez, M. L. López-González, y E. Torres-Prieto. 2011. Comparación de los sistemas covarianza y relación de bowen en la evapotranspiración de un viñedo bajo clima semiárido. *Agrociencia*. 45(1): 87–103.
- Béziat, P., V. Rivalland, T. Tallec, N. Jarosz, G. Boulet, P. Gentine, and E. Ceschia. 2013. Evaluation of a simple approach for crop evapotranspiration partitioning and analysis of the water budget distribution for several crop species. *Agric. For. Meteorol.* 177: 46–56.
- Bois, B., P. Pieri, C. Van Leeuwen, L. Wald, F. Huard, J. P. Gaudillere, and E. Saur. 2008. Using remotely sensed solar radiation data for reference evapotranspiration estimation at a daily time step. *Agricultural and Forest Meteorology*, 148(4), 619-630.
- Chávez, W. y A. Arata. 2004. Control de Plagas y Enfermedades en el Cultivo de la Vid. *Desco*. 35p.

- Chen, S., X. Zhang, H. Sun, T. Ren, and Y. Wang. 2010. Effects of winter wheat row spacing on evapotranspiration, grain yield and water use efficiency. *Agricultural Water Management*. 97 (8): 1126–1132.
- Cohen, M., C. Bilodeau, F. Alexandre, M. Godron, J. Andrieu, E. Grésillon, F. Garlatti, and A. Morganti. 2015. What is the plant biodiversity in a cultural landscape? a comparative, multi-scale and interdisciplinary study in olive groves and vineyards (Mediterranean France). *Agric. Ecosyst. Environ.* 212: 175–186.
- Columela, F. 2011. Viticultura y enología. Manuales formativos para la vid y el vino. <http://vinificatum.blogspot.mx/2011/11/1.html>. Octubre 2015.
- Córdova, M., G. Carrillo, y R. Céleri. 2013. Errores en la estimación de la evapotranspiración de referencia de una zona de Páramo Andino debidos al uso de datos mensuales, diarios y horarios. *Aqua-LAC*, 5(2), 14–22.
- Cossio, M. L., L. Giesen, G. Araya, M. L. Pérez-Cotapos, R. López, M. Manca, R. A. Tohme, S. D. Holmberg, T. Bressmann, D. Rodrigues, J. Soto, R. Ganter, y F. Héritier. 2012. Guía de Vinos. *Uma ética para quantos?*, XXXIII (2), 81–87. <http://doi.org/10.1007/s13398-014-0173-7.2>

de Guimaraes, G. G., R. C. de Oliveira, M. B. Teixeira, M. S. Dorneles, R. M. O Domingos, and C. A. Megguer. 2015. Sugar cane crop coefficient by the soil water balance method. *African J. of Agric. Res.* 10(24): 2407–2414.

Duque, M. C., y F. Yáñez. 2005. Origen, historia y evolución del cultivo de la vid. *Enólogos.* 38 (42-47), 1–7.

El Economista. 2013. <http://eleconomista.com.mx/columnas/agro-negocios/2013/04/10/produccion-vid-alternativa-rentable-productor>. Fecha de consulta 21 de Octubre de 2015.

*El Universal.* 2014. <http://archivo.eluniversal.com.mx/nacion-mexico/2014/impreso/cae-20-produccion-de-uva-en-mas-de-10-anios-221797.html>. Fecha de consulta 21 de Octubre de 2015.

Er-Raki, S., A. Chehbouni, N. Guemouria , J. Ezzahar , S. Khabba , G. Boulet , y L. Hanich. 2009. Citrus orchard evapotranspiration: Comparison between eddy covariance measurements and the FAO-56 approach estimates. *Plant Biosystems - An International Journal Dealing with All Aspects of Plant Biology*, 143 (1): 201–208.

Escarabajal-Henarejos, D., D. G. Fernández-Pacheco, and J. M. Molina-Martínez, 2014. Selection of device to determine temperature gradients for estimating evapotranspiration using energy balance method. *Agric. Water Manag.* 151: 136–147.

- Escrig, J., E. Montón, J. Quereda. 2012. Climatología aeronáutica del aeropuerto de Castellón. Publicacions de la Universitat Jaume I, D. L. Castelló de la Plana. pp: 160-161
- Foken, T. 2008. The energy balance closure problem: An overview. *Ecological Applications*. 18(6): 1351–1367.
- Galindo, J., J. Toro, y A. García. 1996. Manejo técnico del cultivo de la vid en el Valle del Cauca. Ceniuva, Colciencias, Bogotá.
- Galindo, J. y J. Toro. 1995. Manejo integrado de las enfermedades de importancia económica de la vid en Colombia. Memorias XVI Congreso de Fitopatología, ASCOLFI. Medellín, 47 p.
- Guevara-Díaz, J. M. 2006. La fórmula de Penman- Monteith FAO 1998 para determinar la evapotranspiración de referencia, ETO. *Terra*, 22 (31): 31–72.
- Ham, J. M. and J. L. Heilman. 2003. Experimental test of density and energy-balance corrections on carbon dioxide flux as measured using open-path eddy covariance. *Agron. J.* 95 (6): 1393-1403.
- Hanson, B. R., and D.M. May. 2006. Crop evapotranspiration of processing tomato in the San Joaquin Valley of California, USA. *Irrigation Science*, 24(4), 211-221.

- Huber, A., y R. Trecaman. 2004. Eficiencia del uso del agua en plantaciones de *Pinus radiata* en Chile. *Bosque (Valdivia)*, 25(3), 33-43.
- Inifap (Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias). 2015. (<http://clima.inifap.gob.mx/redinifap/est.aspx?est=26796>) fecha de consulta 03 de septiembre del 2015.
- Intrigliolo, D. S., Lakso, A. N., & Piccioni, R. M. 2009. Grapevine cv. "Riesling" water use in the northeastern United States. *Irrigation Science*. 27(3): 253–262.
- Kustas, W. P., J. H. Prueger, J. L. Hatfield, K. Ramalingam, and L. E. Hipps. 2000. Variability in soil heat flux from a mesquite dune site. *Agricultural and Forest Meteorology*. 103(3): 249-264.
- Lage, M., A. Bamouh, M. Karrou, and M. El Mourid. 2003. Estimation of rice evapotranspiration using a microlysimeter technique and comparison with FAO Penman-Monteith and Pan evaporation methods under Moroccan conditions. *Agronomie*. 23: 625–631.
- Lavín, A., A. Lobato, I. Muñoz, y J. Valenzuela. 2003. Viticultura: poda de la vid. Cauquenes, Chile. Instituto de Investigaciones Agropecuarias. *Boletín INIA*, (1).



- Lawson, T., and M. R. Blatt. 2014. Stomatal Size, Speed and Responsiveness Impact on Photosynthesis and Water Use Efficiency. *Plant Physiology*. 164(4): 1556–1570.
- Li, S., S. Kang, F. Li, and L. Zhang. 2008. Evapotranspiration and crop coefficient of spring maize with plastic mulch using eddy covariance in northwest China. *Agric. Water Manag.* 95: 1214–1222.
- López, J. E., T. Díaz, C. Watts, J. C. Rodríguez, A. E. Castellanos, L. Partida, y T. D. J. Velázquez. 2015. Evapotranspiración y coeficientes de cultivo de chile bell en el valle de Culiacán, México. . *Rev. Terra Latam.* 33(3), 209-219.
- López-Urrea, R., A. Montoro, F. Mañas, P. López-Fuster, and E. Fereres. 2012. Evapotranspiration and crop coefficients from lysimeter measurements of mature 'Tempranillo' wine grapes. *Agricultural water management.* 112, 13-20.
- Los Andes.* 2014. <http://www.losandes.com.ar/article/en-2014-china-genero-el-15-de-la-produccion-mundial-de-uva>. Fecha de consulta 21 de Octubre de 2015.
- Mahrt, L. 2000. Surface Heterogeneity and Vertical Structure of the Boundary Layer. *Boundary-Layer Meteorology.* 96(1), 33–62.  
doi:10.1023/A:1002482332477

- Martínez-Cob, A., y O. Pérez-Coveta. 2006. Evapotranspiración del cultivo de arroz bajo riego por aspersión. *Ingeniería del agua*. 13(1), 59-69.
- Mora, R. y L. Parra. 1998. Efecto de la radiación solar rica en UV-B en el ataque de *Uncinola necator* TUC. En: *Vid (Vitis vinifera L.) en la loma de Puntalarga, Nobsa (Boyacá)*. Trabajo de grado. Facultad de Ciencias Agropecuarias. UPTC, Tunja. 95p.
- Moratiel, R., and A. Martínez-Cob. 2012. Evapotranspiration of grapevine trained to a gable trellis system under netting and black plastic mulching. *Irrigation Science*. 30(3): 167–178.
- Moratiel, R., and A. Martínez-Cob. 2013. Evapotranspiration and crop coefficients of rice (*Oryza sativa* L.) under sprinkler irrigation in a semiarid climate determined by the surface renewal method. *Irrigation Science*, 31(3), 411–422. doi:10.1007/s00271-011-0319-8
- Nassif, D. S., F. R. Marin, and L. G. Costa. 2013. Evapotranspiration and Transpiration Coupling to the Atmosphere of Sugarcane in Southern Brazil: Scaling Up from Leaf to Field. *Sugar Tech*, 16(3), 250–254. doi:10.1007/s12355-013-0267-0
- Neukirchen, D. 2003. Nutrient Management for grapes. Yara (Norkshydro Research Center Hanninghof). Congreso Internacional de uva de mesa, Cape Town, South Africa. 12-22.

Novák, V. 2012. Methods of Evapotranspiration Estimation. Evapotranspiration in the Soil-Plant-Atmosphere System. Springer Science & Business Media. Slovakia. pp: 165-212.

OIV (Organización Internacional de la Viña y el Vino). 2015.

<http://www.oiv.int/oiv/info/espublicationsstatistiques>. Fecha de consulta 17 de Noviembre de 2015.

Ortega-Farias, S., T. Righetti, F. Sasso, C. Acevedo, F. Matus, y Y. Moreno. 2003. Manejo sitio-específico del agua de riego en vides viníferas 1. *Simposium Internacional en Viticultura de Precisión y IX Congreso Latinoamericano de Viticultura Y Enología.*, 1–16.

Patle, G. T., and D.K. Singh. 2015. Sensitivity of annual and seasonal reference crop evapotranspiration to principal climatic variables. *Journal of Earth System Science*, 124(4), 819–828. doi:10.1007/s12040-015-0567-8

Payán-Ochoa, S., A. Morales-Maza, B. Valdez-Gascón, M. H. Martín-Rivera, y F. A. Ibarra-Flores. 2013. Programación del riego en vid (*Vitis vinífera* L.) de mesa “perlette” y “sugraone” con sensores de humedad. *Revista Chapingo Serie Horticultura*, XIX (2), 163–172.  
<http://doi.org/10.5154/r.rchsh.2012.04.024>

- Payero, J. O., C. M. U. Neale, and J. L. Wright. 2005. Estimating soil heat flux for alfalfa and clipped tall fescue grass. *Applied Engineering in Agriculture*. 21(3): 401–409.
- Reddy, P. J. R. 2005. *A text book of Hydrology*. Firewall Media. 530 p.
- Reynier, A. 1995. *Manual de viticultura*. Madrid: Mundi-Prensa. 407 p.
- Rivera, A., J. Galindo, F. Marmolejo y J. Satizabal. 2000. Epidemiología del mildew velloso *Plasmopara vitícola* en la vid *Vitis labrusca* cv Isabella en Ginebra, Valle; p 17. En: *Memorias XXI Cong. Nal. Fitopatología, Manizales*. 64 p.
- Rojas, A. 2009. Revisión bibliográfica de niveles foliares en uva de mesa y deficiencias nutricionales. Trabajo de grado, Especialización en Frutales Tropicales. Universidad Nacional de Colombia, sede Palmira. 36 p.
- Sellés, G., R. Ferreyra, G. Contreras, R. Ahumada, J. Valenzuela, y R. Bravo. 2003. Manejo de riego por goteo en uva de mesa cv. Thompson seedless cultivada en suelos de textura fina. *Agricultura Técnica*, 63(2), 180-192.
- Sentelhas, P. C., T. J. Gillespie, and E. A. Santos. 2010. Evaluation of FAO Penman-Monteith and alternative methods for estimating reference evapotranspiration with missing data in Southern Ontario, Canada. *Agricultural Water Management*. 97(5): 635–644.

- Shapland, T. M., R. L. Snyder, D. R. Smart, and L. E. Williams. 2012. Estimation of actual evapotranspiration in winegrape vineyards located on hillside terrain using surface renewal analysis. *Irrigation Science*. 30(6): 471–484.
- Siap (Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera). 2014. <http://www.siap.gob.mx/cierre-de-la-produccion-agricola-por-cultivo/>. Fecha de consulta 15 de Octubre de 2015.
- Siap (Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera). 2014. <http://www.siap.gob.mx/cierre-de-la-produccion-agricola-por-estado/>. Fecha de consulta 15 de Octubre de 2015.
- Spinelli, R., C. Nati, L. Pari, E. Mescalchin, and N. Magagnotti. 2011. Production and quality of biomass fuels from mechanized collection and processing of vineyard pruning residues. *Applied Energy*. 89(1): 374–379.
- Suzuki, T., T. Ohta, T. Hiyama, Y. Izumi, O. Mwandemele, and M. Iijima. 2014. Effects of the introduction of rice on evapotranspiration in seasonal wetlands. *Hydrological Processes*, 28(17), 4780-4794.
- Tonti, N., M. Gassmann, M. Covi, C. Pérez, y S. Righetti. 2013. Balance de energía sobre un cultivo de soja. *Ciência E Natura*. 6: 305–307.

- Tosso, J. y J. Torres. 1986. Relaciones hídricas de la vid, bajo diferentes niveles de riego, usando gotero, aspersión y surcos. Efecto sobre el crecimiento vegetativo y de producción. *Agricultura Técnica*, 46(3), 283–289.
- Trezza, R., Y. Pacheco, Y. Suárez, A. Nuñez, y I. Umbría. 2008. Programación del riego en caña de azúcar en una zona semiárida del estado Lara, Venezuela, utilizando la metodología FAO-56. *Bioagro*. 20(1): 21–27.
- Twine, T. E., Kustas, W. P., Norman, J. M., Cook, D. R., Houser, P. R., Meyers, T. P., Prueger, J. H., Starks, P. J., & Wesely, M. L. 2000. Correcting eddy-covariance flux underestimates over a grassland. *Agricultural and Forest Meteorology*. 103(3). 279–300.
- Valverde, J. C. 2007. Riego y Drenaje. Necesidades de agua en los cultivos. 2da. Reimp. de la 1. Ed. Editorial de la Universidad Estatal a Distancia (EUNED). San José, Costa Rica. 244 p.
- Vega, E. C., y J. C. Jara. 2009. Estimación de la evapotranspiración de referencia para dos zonas (costa y región andina) del Ecuador. *Eng. Agric Jaboticabal*. (56): 390–403.
- Villagra, P., V. García de Cortázar, R. Ferreyra, C. Aspillaga, C. Zuñiga, S. Ortega-Farías, and G. Selles. 2014. Estimation of water requirements and Kc values of 'Thompson Seedless table grapes grown in the overhead

trellis system, using the Eddy covariance metho. Chilean Journal of Agricultural Research. 74(2): 213–218.

Webb, E. K., G. I. Pearman, and R. Leuning. 1980. Correction of flux measurements for density effects due to heat and water vapor transfer. Quart. J. Roy. Meteorol. Soc. 106(447): 85-100.

Yunusa, I. A. M., R. R. Walker, and P. Lu. 2004. Evapotranspiration components from energy balance, sapflow and microlysimetry techniques for an irrigated vineyard in inland Australia. Agricultural and Forest Meteorology. 127(1), 93-107.

Zermeño-González, A., J. A. Flores-Guerrero, J. P. Munguía-López, J. A. Gil-Marín, R. Rodríguez-García, E. A. Catalán-Valencia, L. Ibarra-Jiménez, y H. Zermeño-González. 2010. Evapotranspiración y su relación con la evapotranspiración a equilibrio de una huerta de nogal pecanero (*Carya illinoensis*) del norte de México. Agrociencia. 44(8): 885–893.

Zhang, B., S. Kang, F. Li, and L. Zhang. 2008. Comparison of three evapotranspiration models to Bowen ratio-energy balance method for a vineyard in an arid desert region of northwest China. Agricultural and Forest Meteorology. 148(10): 1629–1640.

Zhang, L., W. Van der Werf, L. Bastiaans, S. Zhang, B. Li, and J. H. J Spiertz. 2008. Light interception and utilization in relay intercrops of wheat and cotton. *Field Crops Research*. 107(1), 29-42.

Zhang, Y., S. Kang, E. J. Ward, R. Ding, X. Zhang, and R. Zheng. 2011. Evapotranspiration components determined by sap flow and microlysimetry techniques of a vineyard in northwest China: Dynamics and influential factors. *Agricultural Water Management*, 98(8), 1207–1214. doi:10.1016/j.agwat.2011.03.006