

UNIVERSIDAD AUTONOMA AGRARIA ANTONIO NARRO  
SUBDIRECCION DE POSTGRADO



POROSIDAD DEL SUELO, RELACIÓN CON FOTOSÍNTESIS Y EFECTO EN  
RENDIMIENTO DE UNA PLANTACIÓN DE VID (*Vitis vinífera* L)

**Tesis**

Que presenta AARÓN ISAIN MELENDRES ÁLVAREZ

Como requisito parcial para obtener el Grado de

MAESTRO EN CIENCIAS EN INGENIERÍA DE SISTEMAS DE PRODUCCIÓN

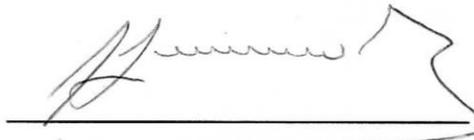
Saltillo, Coahuila

Diciembre 2015

POROSIDAD DEL SUELO, RELACIÓN CON FOTOSÍNTESIS Y EFECTO EN  
RENDIMIENTO DE UNA PLANTACIÓN DE VID (*Vitis vinífera* L)

**Tesis**

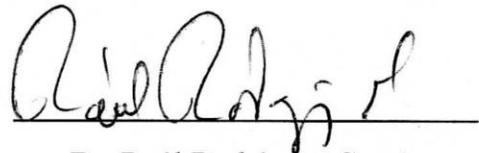
Elaborada por AARÓN ISAIN MELENDRES ÁLVAREZ como requisito parcial para  
obtener el grado de Maestro en Ciencias en Ingeniería de Sistemas de Producción con la  
supervisión y aprobación del comité de asesoría



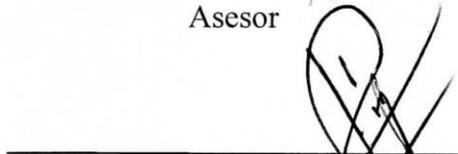
Dr. Alejandro Zermeño González  
Asesor principal



Dr. Martin Cadena Zapata  
Asesor



Dr. Raúl Rodríguez García  
Asesor



Dr. Homero Ramírez Rodríguez  
Asesor



M. C. José Omar Cárdenas Palomo  
Asesor



Dr. Alberto Sandoval Rangel  
Subdirector de postgrado  
UAAAN

## **Agradecimientos**

*A mis **Padres**, por haber creído siempre en mí y haberme apoyado incondicionalmente, por haberme brindado siempre su amor y cariño.*

*Al Consejo Nacional de Ciencias y Tecnología (**CONACYT**) por su apoyo económico para la realización de esta investigación.*

*A la Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro por haberme abierto sus puertas y brindarme los conocimientos que me ayudaron en mi formación.*

*Al **Dr. Alejandro Zermeño González** y a su apreciable familia, por la confianza brindada, gracias **Doc.** 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 sus enseñanzas durante las clases que impartieron donde tal vez sin darse cuenta me enseñaron más que conocimientos teóricos.*

## ÍNDICE GENERAL

Agradecimientos	i
Lista de Cuadros.....	iii
Lista de Figuras.....	v
Resumen .....	vii
Abstract.....	ix
INTRODUCCIÓN .....	1
REVISIÓN DE LITERATURA.....	3
Origen y características botánicas de la vid.....	3
Importancia del cultivo de vid.....	4
Manejo agronómico .....	4
Fertilización .....	4
La poda y su importancia .....	6
Intercambio neto de bióxido de carbono de un ecosistema vegetal (NEE) .....	6
Determinación de la eficiencia intrínseca del uso del agua .....	7
Intercambio neto de CO <sub>2</sub> en viñedos .....	8
Intercambio neto de CO <sub>2</sub> y la humedad del suelo.....	8
Efecto del contenido de humedad del suelo el rendimiento de vid.....	9
MATERIALES Y MÉTODOS .....	10
Descripción del sitio de estudio.....	10
Características físicas y químicas del suelo del área de estudio .....	10
Mediciones e instrumentación.....	11
RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....	15
Propiedades químicas y físicas del suelo con mayor y menor porosidad.....	15
Contenido de agua en el suelo.....	16
Tasa de evapotranspiración y asimilación de bióxido de carbono .....	20
Eficiencia intrínseca del uso del agua.....	25
Eficiencia cuántica del uso de la luz .....	32
Rendimiento y calidad e frutos.....	36
CONCLUSIONES .....	39
REFERENCIAS.....	40

## Lista de Cuadros

<b>Cuadro 1.</b> Distribución porcentual de los fertilizantes a través del ciclo de producción de la vid (Fertilización para Chenin Blanc /99R).....	5
<b>Cuadro 2.</b> Propiedades químicas del suelo de cada una de las plantaciones con mayor y menor porosidad, Vinícola San Lorenzo, Parras de la fuente, Coahuila, México. ....	15
<b>Cuadro 3.</b> Propiedades físicas del suelo de cada una de las plantaciones con mayor y menor porosidad, Vinícola San Lorenzo, Parras de la fuente, Coahuila, México. ....	16
<b>Cuadro 4.</b> Valores promedios mensuales de contenido de humedad del suelo a través de su ciclo de producción (Mayo–Agosto 2014). En dos plantaciones de vid (cv. Shiraz) en suelo de diferente porosidad. Vinícola San Lorenzo, Parras de la Fuente, Coahuila, México.....	17
<b>Cuadro 5.</b> Valores integrados promedio diarios mensuales de la tasa de evapotranspiración (mm) de una plantación de vid a través de su ciclo de producción (Mayo – Agosto de 2014). En dos plantaciones de vid (cv Shiraz) en suelo de diferente porosidad. Vinícola San Lorenzo, Parras de la Fuente, Coahuila, México.....	20
<b>Cuadro 6.</b> Valores integrados promedio diario mensual del intercambio neto de CO <sub>2</sub> (μmol CO <sub>2</sub> m <sup>-2</sup> ), de una plantación de vid a través de su ciclo de producción (Mayo – Agosto 2014). En dos plantaciones de vid (cv. Shiraz) en suelo de diferente porosidad. Vinícola San Lorenzo, Parras de la Fuente, Coahuila, México. ....	25
<b>Cuadro 7.</b> Eficiencia intrínseca del uso de agua (μmol CO <sub>2</sub> mmol <sup>-1</sup> H <sub>2</sub> O) (promedios de 30 min) a una tasa de evapotranspiración (ET) de 6 mmol H <sub>2</sub> O m <sup>-2</sup> s <sup>-1</sup> a través de la etapa de desarrollo vegetativo, floración y fructificación del ciclo de producción Mayo – Agosto de 2014. En dos plantaciones de vid (cv. Shiraz) en suelo de diferente porosidad. Vinícola San Lorenzo, Parras de la Fuente, Coahuila, México. ....	28
<b>Cuadro 8.</b> Valores integrados promedios diarios mensuales de la radiación fotosintéticamente activa absorbida (mol m <sup>-2</sup> ) (PAR_abs) de una plantación de vid a través de su ciclo de producción (Mayo-Agosto de 2014). En dos plantaciones de vid	

(cv. Shiraz) en suelo de diferente porosidad. Vinícola San Lorenzo, Parras de la Fuente, Coahuila, México. ....36

**Cuadro 9.** Eficiencia cuántica ( $\mu\text{mol CO}_2 \text{ mol fotones}$ ) de una plantación de vid a través de su ciclo de producción (Mayo-Agosto de 2014). A una PAR\_abs de  $1000 \mu\text{mol fotones m}^{-2} \text{ s}^{-1}$ . En dos plantaciones de vid (cv. Shiraz) en suelo de diferente porosidad. Vinícola San Lorenzo, Parras de la Fuente, Coahuila, México. ....36

**Cuadro 10.** Rendimiento y calidad de frutos correspondientes al ciclo de producción (Mayo–Agosto 2014). En dos plantaciones de vid (cv. Shiraz) en suelo de diferente porosidad. Vinícola San Lorenzo, Parras de la Fuente, Coahuila, México. ....38

## Lista de Figuras

- Figura 1.** Cambios en la humedad del suelo (promedios de 30 min) durante la etapa de producción del cultivo (Mayo-Agosto, 2014), a) Desarrollo Vegetativo, b) Floración y C) Fructificación. En dos plantaciones de vid (cv. Shiraz) en suelo de diferente porosidad. Vinícola San Lorenzo, Parras de la Fuente, Coahuila, México..... 18
- Figura 2.** Contenido volumétrico de humedad del estrato de 0 a 30 cm en diferente porosidad, en un cultivo de vid (cv. Shiraz), Vinícola San Lorenzo, Parras de la Fuente, Coahuila, México. .... 19
- Figura 3.** Tasa instantánea de intercambio neto de bióxido de carbono (NEE) de cuatro días representativos del ciclo de producción de la vid (cv Shiraz), Vinícola San Lorenzo, Parras de la Fuente, Coahuila, México..... 23
- Figura 4.** Valores integrados diarios de intercambio neto de bióxido de carbono (NEE) ( $\text{mmol m}^{-2}$ ) de una plantación de Vid (cv. Shiraz), a través del ciclo de producción (Abril-Septiembre, 2014). Vinícola San Lorenzo, Parras de la Fuente, Coahuila, México. (B=brotación, D=desarrollo vegetal, F=floración, Fr=fructificación, C=cosecha, Se=senescencia). .... 24
- Figura 5.** Relación entre la tasa de intercambio neto de bióxido de carbono (NEE) y la tasa de evapotranspiración (ET) de un cultivo de vid cv. Shiraz a) Desarrollo vegetal, b) Floración y c) Fructificación, en suelo de mayor porosidad. Vinícola San Lorenzo, Parras de la Fuente, Coahuila, México..... 29
- Figura 6.** Relación entre la tasa de intercambio neto de bióxido de carbono (NEE) y la tasa de evapotranspiración (ET) de un cultivo de vid cv. Shiraz a) Desarrollo vegetal, b) Floración y c) Fructificación, en suelo de menor porosidad. Vinícola San Lorenzo, Parras de la Fuente, Coahuila, México..... 30
- Figura 7.** Productividad marginal del agua (PMA) en función de la tasa de evapotranspiración a través de la etapa vegetativa (a), de floración (b) y de fructificación (c) en dos viñedos con diferente porosidad del suelo. Vinícola San Lorenzo, año de producción 2014..... 31
- Figura 8.** Relación entre la tasa de intercambio neto de bióxido de carbono (NEE) y la radiación fotosintéticamente activa absorbida (PAR\_abs) de un cultivo de vid cv. Shiraz

a) Desarrollo vegetal, b) Floración y c) Fructificación, en suelo de mayor porosidad.  
Vinícola San Lorenzo, Parras de la Fuente, Coahuila, México. ....34

**Figura 9.** Relación entre la tasa de intercambio neto de bióxido de carbono (NEE) y la radiación fotosintéticamente activa absorbida (PAR\_abs) de un cultivo de vid cv. Shiraz

a) Desarrollo vegetal, b) Floración y c) Fructificación, en suelo de menor porosidad.  
Vinícola San Lorenzo, Parras de la Fuente, Coahuila, México. ....35

**Resumen**

**POROSIDAD DEL SUELO, RELACIÓN CON FOTOSÍNTESIS Y EFECTO EN  
RENDIMIENTO DE UNA PLANTACIÓN DE VID (*Vitis vinífera* L)**

**POR**

**AARÓN ISAIN MELENDRES ÁLVAREZ**

**MAESTRÍA EN CIENCIAS EN INGENIERÍA DE SISTEMAS DE  
PRODUCCIÓN**

**UNIVERSIDAD AUTÓNOMA AGRARIA ANTONIO NARRO**

**DR. ALEJANDRO ZERMEÑO GONZÁLEZ -ASESOR**

**Saltillo, Coahuila. Diciembre 2015**

El agua es el recurso más limitante de la agricultura en las zonas áridas de México. Por lo anterior, el objetivo de este estudio fue evaluar el efecto del contenido de humedad en el suelo en la tasa de fotosíntesis de la vid (cv Shiraz) a través de su ciclo de producción, y su relación con el rendimiento y calidad del fruto. El estudio se realizó en dos secciones de 5.2 ha. La porosidad ( $\eta$ ) se calculó por medio de la densidad aparente y la densidad de partículas. Los cambios en la humedad del suelo se evaluaron en el estrato de 30 cm utilizando sondas TDR en cada sección. La asimilación neta de bióxido de carbono (NEE) se obtuvo midiendo la asimilación de  $\text{CO}_2$  colocando un sistema Eddy en cada sección. La sección del lado este tuvo un valor promedio de porosidad de 0.385 mientras que la del lado oeste fue de 0.306 representando una diferencia de 25.82%. El contenido volumétrico promedio de agua del suelo de mayor porosidad fue 37.53%, mientras que el suelo de menor porosidad fue de 30.33%, mostrando una diferencia de 23.73%. La NEE promedio del ciclo en el suelo de mayor porosidad fue de -49.46 y -37.98  $\text{mol CO}_2 \text{ m}^{-2}$  para el de menor porosidad lo que representó una diferencia de 30.22% entre los tipos de porosidad del suelo debido a un mayor contenido de humedad del suelo.

**Palabras claves:** Covarianza eddy, evapotranspiración, fotosíntesis.

**Abstract**

**SOIL POROSITY, RELATION TO PHOTOSYNTHESIS AND ITS EFFECT ON  
FRUIT YIELD OF A VINEYARD (*Vitis vinífera* L) PLANTATION**

**BY**

**AARON ISAIN MELENDRES ALVAREZ**

**MASTER OF SCIENCE**

**PRODUCTION SYSTEMS ENGINEERING**

**UNIVERSIDAD AUTÓNOMA AGRARIA ANTONIO NARRO**

**DR. ALEJANDRO ZERMEÑO GONZÁLEZ -ADVISOR**

**Saltillo, Coahuila. December 2015**

Water is the most limited resource of agriculture in arid areas of Mexico. Therefore, the aim of this study was evaluate the effect of soil moisture content in the rate of photosynthesis of vineyard (cv Shiraz) through its production, and its relation between yield and fruit quality. The study was conducted in two sections of 5.2 ha. Porosity was calculated by bulk density and particle density, changes in soil moisture were evaluated in stratum 30 cm using TDR probes in each section. The net assimilation of carbon dioxide (NEE) was obtained by measuring the CO<sub>2</sub> assimilation placing a Eddy system in each section. The east side had an average porosity value of 0.385 while the west side was 0.306, representing a difference of 25.82%. The average of volumetric water content of greater porosity was 37.53%, while lower porosity was 30.33%, showing a difference of 23.73%. NEE average cycle in greater porosity soil was -49.46 and -37.98 CO<sub>2</sub> mol m<sup>-2</sup> for lower porosity which represented a 30.22% difference between the types of soil porosity due to a higher moisture content ground.

**Keywords:** Eddy Covariance, evapotranspiration, photosynthesis.

## INTRODUCCIÓN

El contenido de agua en el suelo determina el grado de crecimiento de las plantas y el rendimiento de los cultivos. Una óptima programación de la irrigación requiere mediciones continuas del agua en el suelo (Poltoradnev *et al.*, 2014). La distribución y proporción de los agregados del suelo afectan las características física y químicas del suelo, la porosidad y el crecimiento del sistema radicular (Lipiec *et al.*, 2007). Los cambios en la humedad de perfil superior del suelo depende de sus propiedades hidráulicas y de las condiciones climáticas (Martínez García *et al.*, 2014).

La porosidad del suelo es un factor importante en la infiltración, conductividad hidráulica, y la retención de agua (Bruschi *et al.*, 2010). Hongshuo *et al.* (2015) describe la densidad bruta del suelo (aparente) como unas de las principales propiedades que influyen en las variaciones espaciales de la humedad del suelo. Holland y Biswas (2015) reportaron que las propiedades físicas del suelo que tienen un mayor efecto en la retención de agua del suelo en una plantación de vid, fueron el contenido de arcilla y la densidad aparente el suelo.

El intercambio de bióxido de carbono y vapor de agua entre las hojas de las plantas y la atmósfera es regulado por los estomas, la relación de estos flujos determina la  $EF_i$  y la productividad de las plantas (Lawson y Blatt 2014).

El balance de flujos depende de la repuestas de los estomas a los cambios del ambiente y la sincronía de estos con el mesofilo para la demanda de  $CO_2$  (Lawson y Blatt, 2014; McAdam y Brodribb, 2014; Wang *et al.*, 2014; Xu *et al.*, 2014; Li *et al.*, 2015).

La  $EF_i$  (definida como la cantidad de carbono fijado en la fotosíntesis por unidad de agua transpirada) (Ago *et al.*, 2014; Lawson y Blatt, 2014) es usada como un indicador de la habilidad de las plantas para adaptarse al déficit hídrico en regiones semiáridas (Song *et al.*, 2015;. Sun *et al.* (2013) mencionan que la eficiencia intrínseca ( $EF_i$ ) se puede incrementar con el cierre estomático.

La vid es un cultivo relevante a escala mundial por su uso en la elaboración de vinos. Al respecto, Spinelli *et al.* (2011) mencionan que a nivel mundial existen ocho millones de hectáreas de viñedos de diferentes cultivares. La Unión Europea (EU) es el mayor productor de vino del mundo, así como el mercado de vinos más regulado (Deconinck and Swinnen, 2014). Dentro los países que cultivan vid se encuentran; Italia, China, Estados Unidos, Francia, España, México, Canadá, Portugal y Australia (Cohen *et al.*, 2015).

México tiene reportadas al 2014 más 29 000 hectáreas en el cultivo de vid (SIAP, 2015), con una producción de vinos de un poco más de 39 millones de litros, teniendo un consumo per cápita de 0.53 litros (OIV, 2015). La industria mexicana la componen los estados de Baja California como principal productor, Coahuila, Querétaro, Zacatecas, Guanajuato y Aguascalientes. En su conjunto ofrecen más de 350 etiquetas de vino (El Financiero, 2013).

La porosidad del suelo modifica la capacidad de retención de agua, que afecta la tasa de transpiración y fotosíntesis, el objetivo de este estudio fue evaluar el efecto de la porosidad del suelo en la tasa de evapotranspiración, tasa de fotosíntesis, eficiencia del uso del agua y eficiencia cuántica de la luz del dosel de una plantación de vid (cv. Shiraz) y su relación con el rendimiento y calidad de frutos.

## REVISIÓN DE LITERATURA

### Origen y características botánicas de la vid

La uva es una de las plantas cultivadas más antiguas que se conocen. La especie *Vitis vinífera*, de la cual se derivaron la mayoría de las variedades cultivadas, es originaria de la región comprendida entre los mares Negro y Caspio de Asia.

La vid llegó a México en el segundo viaje de Cristóbal Colón a América en 1493, se construye en 1593 la primera casa comercial de vino de América en Parras, Coahuila, en 1597 se funda lo que actualmente es Casa Madero con el nombre de Vinícola San Lorenzo (CMV, 2015).

La uva pertenece al género *Vitis*, cuyos miembros se caracterizan por ser arbustos trepadoras, que se fijan mediante zarcillos (parte de la planta que sirve para sostenerla). Este género comprende más de 60 especies, de las cuales las más importantes son; *Vitis berlandiei*, *V. rupestris*, *V. riparia*, *V. labrusca* y *V. vinífera*. Las cuatro primeras se conocen como vides americanas y se usan en la hibridación para producir patrones. La *V. vinífera* se conoce como la europea y agrupa la mayoría de las variedades (Picornell-Buendía y Melero-Martinez 2012).

### Clasificación sistemática de la vid.

Clasificación sistemática de la vid (Galet, P, 1985):

- Es una Cormófito: con raíz, tallo, hoja, autótrofos con clorofila y reproducción sexual constante.
- Del tipo Fanerógamas o Espermatófitas: con flores y semillas;
- Subtipo Angiospermas: con semillas encerradas en un ovario;
- Clase Dicotiledóneas: con dos hojas embrionarias en la base de la plántula;

- Orden Ramnales: leñosa con un ciclo de estambres situados delante de los pétalos;
- Familia Vitáceas: flores con corola de pétalos soldados superiormente, de prefloración valvar con cáliz poco desarrollado, gineceo generalmente bicarpelar y bilocular, con fruto baya;
- Género Vitis: flores exclusivamente dioicas en las plantas silvestres y hermafroditas o unisexuales en las cultivadas.

### **Importancia del cultivo de vid**

De acuerdo con la organización internacional de la viña y el vino en el 2014 se cultivaron 7 573 millones de hectáreas teniendo una producción de más de 73.5 millones de toneladas a nivel mundial, del cual el 41% es producido en Europa, 29% en Asia y 21% en América (OIV, 2015).

México tiene reportada al 2014 una superficie de más de 29 000 hectáreas, con una producción de vinos de un poco más de 39 millones de litros, teniendo un consumo per cápita de 0.53 litros por año (SIAP, 2015). La industria mexicana generadora de vino la componen los estados de Baja California como principal productor, Coahuila, Querétaro, Zacatecas, Guanajuato y Aguascalientes. En su conjunto ofrecen más de 350 etiquetas de vino (El Financiero, 2013).

El estado de Coahuila hasta el 2014 cuenta con alrededor de 305 hectáreas sembradas logrando una producción de 2 732 toneladas, el municipio de Parras de la Fuente ocupa la mayor superficie teniendo 230 hectáreas y produciendo más de 2 mil toneladas (SIAP, 2015).

### **Manejo agronómico**

#### **Fertilización**

El rendimiento y la calidad del fruto dependen mucho de la nutrición del cultivo de la vid. Las recomendaciones formuladas deben ser tomadas como genéricas, debido a que

la vid es cultivada en diferentes regiones con diferentes condiciones climáticas, variedades y de suelo. (Delgado *et al.*, 2004).

La productividad de un suelo está relacionada con la disponibilidad de los nutrientes que contenga. Cuando el suelo no tiene los nutrientes en las cantidades y formas disponibles, es necesario aportarlos. De acuerdo con este planteamiento, la práctica de la fertilización consiste en adicionar los nutrientes necesarios para que la planta exprese su potencial productivo (Bertamini y Nadunchezian, 2005). En las plantas de vid, la fertilización es una de las prácticas más importantes durante su ciclo de producción y es integrada al manejo general de los viñedos; se considera que los costos derivados por la fertilización corresponden al 26% del costo total de la producción anual (Chen *et al.*, 2004).

La fertilización de la uva supone una delicada operación agronómica cuyos efectos son decisivos para la calidad de las uvas y el vino. El programa de fertilización debe hacerse teniendo en cuenta las necesidades del cultivo y los nutrientes que aporta el suelo (Conradie, 2001). En la elaboración de los vinos, el potasio es esencial para obtener una buena calidad del mosto (Matín, 2004). Una deficiencia potásica (menos de 0.5% de potasio en hoja de materia seca) conduciría a una reducción en el grado alcohólico del vino y también debilitaría la planta.

Cuadro 1. Distribución porcentual de los fertilizantes a través del ciclo de producción de la vid (Fertilización para Chenin Blanc /99R).

<b>Etapas Fenológicas</b>	<b>N</b>	<b>P</b>	<b>K</b>	<b>Ca</b>	<b>Mg</b>
Brotación–inicio de floración	14	16	15	10	10
Floración -cuajado	14	16	50	46	12
Cuajado - envero	38	40	9	8	43
Poscosecha	34	28	24	30	35

Adoptado por Conradie (2001a) y Conradie (2001b).

### **La poda y su importancia**

Es una operación muy antigua y fundamentalmente es la práctica mediante la cual se eliminan ciertas partes de la planta (sarmientos, brazos, etc.) intentando modificar el desarrollo natural de la cepa, equilibrar su vigor y producción para adecuarlos a las necesidades del productor y haciéndolos sostenibles en el tiempo (Ferraro, R. 1984).

La aplicación de una poda oportuna tiene los siguientes beneficios (Ferraro, R. 1984).

- controlar el número de yemas productivas;
- controlar el reparto y ubicación de los futuros sarmientos;
- preparar los elementos necesarios para la poda siguiente;
- adaptar la carga (los racimos) al vigor de la planta;
- suprimir chupones, o disponerlos para su futura utilización

### **Intercambio neto de bióxido de carbono de un ecosistema vegetal (NEE)**

El balance de los flujos de CO<sub>2</sub> entre la atmósfera y la vegetación es decir, el intercambio neto del ecosistema (NEE) indica la tendencia de un ecosistema, ya sea para fijar o liberar CO<sub>2</sub>, el NEE es el balance entre la fotosíntesis y la respiración de las plantas (Braswell *et al.*, 2005; Aubinet *et al.*, 2009; Xiao *et al.*, 2013).

La técnica de la covarianza Eddy es un método ampliamente utilizado y eficaz para el estudio de las características del microclima y flujo de CO<sub>2</sub> en diferentes ecosistemas (Gou *et al.*, 2014). Por lo tanto, la técnica de la covarianza Eddy comprueba el tipo de cambio de CO<sub>2</sub> a través de la interfaz entre la atmósfera y el dosel de la planta midiendo la covarianza entre las fluctuaciones en la velocidad vertical del viento y la relación de mezcla del CO<sub>2</sub> (Baldocchi, 2003).

El método de la covarianza Eddy (Covarianza de remolinos) es más exacto para la determinación de los flujos de calor sensible, latente y el flujo de CO<sub>2</sub> cuando las condiciones atmosféricas (viento, temperatura, humedad y CO<sub>2</sub>) son estables, la vegetación subyacente es homogénea y situada en terreno plano para extender la distancia contra el viento (Baldocchi, 2003; Clement *et al.*, 2012). Algunos factores

como la etapa fenológica, temperatura, radiación y humedad del suelo, son importantes componentes para la determinación del flujo de CO<sub>2</sub> (Tagesson *et al.*, 2015).

Se han reportado diferentes estudios realizados en algunos ecosistemas como lo son; pastizal en el norte de México (Zermeño- González *et al.*, 2011). En cultivo de caña (*Saccharum officinarum*) (cv CP 22086) Zermeño-González *et al.* (2012) reportan una tasa instantánea de NEE de una plantación de caña de azúcar de  $-28 \mu\text{mol CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$ , Zhu *et al.* (2015) midieron el intercambio de NEE entre la atmósfera y un ecosistema de estepa alpina por el método de la covarianza Eddy en el área de la meseta del Tíbet durante la estación de crecimiento 2008 y 2009. La variación diaria de NEE vario sustancialmente durante el crecimiento entre las estaciones del año. Las tasas máximas de asimilación instantáneas de CO<sub>2</sub> fueron 3,74 y 3,44  $\mu\text{mol CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$  en agosto de 2008 y 2009, respectivamente. La absorción de CO<sub>2</sub> diaria máxima se observó el 16 de julio ( $1.19 \text{ g C m}^{-2} \text{ día}^{-1}$ ) de 2008, Rutledge *et al.* (2014) en pasto (*Lolium perenne*), en nueva Zelanda durante 2008-2011 usando el método de la covarianza Eddy, donde obtuvieron un promedio durante los cuatro años de  $44 \text{ g C m}^{-2} \text{ año}^{-1}$ .

### **Determinación de la eficiencia intrínseca del uso del agua**

La eficiencia intrínseca del uso del agua (EF<sub>i</sub>) (relación de moles de CO<sub>2</sub> por mol de vapor de H<sub>2</sub>O transpirado (Ago *et al.*, 2014; Lawson and Blatt, 2014) es usada como un indicador de la capacidad de las plantas para adaptarse al déficit hídrico en regiones semiáridas (Song *et al.*, 2015). Sun *et al.* (2013) mencionan que la eficiencia intrínseca del uso del agua se puede incrementar con el cierre parcial de los estomas.

Estudios previos han reportado mediciones de la EF<sub>i</sub> en diversos ecosistemas vegetales. Por ejemplo, Li *et al.* (2015) para un viñedo (cv merlot Noir) en una región árida reportaron una EF<sub>i</sub> promedio de  $4 \text{ mg CO}_2 \text{ g}^{-1} \text{ H}_2\text{O}$ , mencionando que la EF<sub>i</sub> fue afectada por la conductancia del dosel y la humedad del suelo. Para una huerta de manzano (*Malus. Domestica*) (cv Pacific Rose), Liu *et al.* (2012) evaluaron la relación entre la EF<sub>i</sub> bajo diferentes condiciones de riego y de déficit hídrico, observando que bajo riego la EF<sub>i</sub> fue  $1.71 \mu\text{mol CO}_2 \text{ mmol H}_2\text{O}$ . También se han realizado mediciones de la EF<sub>i</sub> en sabanas, bosques de clima templado, subtropical, y de coníferas (Mahrt y Vickers, 2002; Scanlon *et al.*, 2007).

### **Intercambio neto de CO<sub>2</sub> en viñedos**

Estudios realizados por Guo *et al.* (2004) en un viñedo (cv Merlot) reportaron que los principales factores que afectaron el intercambio neto de CO<sub>2</sub> (NEE) fueron: temperatura del aire, densidad del CO<sub>2</sub>, déficit de presión de vapor y el contenido de agua en el suelo. Mencionan también, .que después del riego, el NEE se incrementó significativamente, ya que el aumento en la humedad del suelo (debido al riego) incrementa la conductancia estomática.

El NEE de los viñedos es menor que el que se observa en las superficies vegetales de cobertura completa como maíz, trigo, caña de azúcar y bosques, debido a que las plantaciones de vid solo cubren una pequeña área de la superficie total por su establecimiento en hileras con amplios pasillos (Li *et al.*, 2015)

### **Intercambio neto de CO<sub>2</sub> y la humedad del suelo**

La fotosíntesis es muy sensible a la disponibilidad de agua en el suelo. Existe controversia para establecer cuál es el contenido de humedad del suelo a partir del cual se produce una reducción de la fotosíntesis ya que el estado hídrico de la hoja, además del contenido de agua en el suelo depende también del flujo de esta a través de la planta, condiciones climáticas y factores internos de la hoja. El aumento de la apertura estomática para un flujo mayor de CO<sub>2</sub> para la fotosíntesis, resulta en un incremento en el flujo de vapor de agua de la hoja a la atmosfera. Los estomas y las resistencias cuticulares tienen una función importante en la conservación del agua por parte de la planta sin comprometer la fotosíntesis. La transpiración necesaria durante la apertura estomática representa el 99% del agua absorbida (Kirschbaum, 2011; Bailey-Serres *et al.*, 2012; Evans, 2013).

Estudios realizados por Hussain *et al.* (2009) en más de 20 especies de pastos en Evora, Portugal, atribuyeron la baja producción de biomasa y asimilación de bióxido de carbono al bajo contenido de humedad del suelo. En Mayo observaron un NEE de  $10.7 \pm 1.2 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$  y en Abril fue  $20.6 \pm 2.2 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$  debido a un mayor contenido de agua en el suelo. Rutledge *et al.* (2014) en estudios realizados en pasto (*Lolium perenne*) encontraron que la diferencia en intercambio de CO<sub>2</sub> tiene una fuerte correlación con el contenido de humedad del suelo lo cual explica el 99% de las variaciones.

### **Efecto del contenido de humedad del suelo el rendimiento de vid**

El déficit de agua es la condición ambiental adversa más común que puede reducir seriamente la productividad de los cultivos (Anothai *et al.*, 2013). La humedad del suelo es una variable crítica en la determinación de la producción (Champagne *et al.*, 2012).

La porosidad del suelo es un factor importante en la infiltración, conductividad hidráulica, y la retención de agua, Bruschi *et al.* (2010) y Hongshuo *et al.* (2015) describen la densidad bruta del suelo (aparente) como unas de las principales propiedades que influyen en las variaciones espaciales de la humedad del suelo. Holland y Biswas, (2015) reportaron que las propiedades físicas del suelo que tienen un mayor efecto en la retención de agua del suelo en una plantación de vid, fueron el contenido de arcilla y la densidad aparente el suelo.

Ruiz-Colmenero *et al.* (2011) en un estudio realizado en tres viñedos diferentes evaluaron diferentes coberturas para reducir la erosión del suelo, encontraron que la humedad del suelo afecto el rendimiento reduciéndolo hasta un 54% con *Brachypodium* como cubierta vegetal. Reportes similares por Ramos y Martínez-Casasnovas, (2006) donde el rendimiento del cultivo fue afectado por la nivelación del terreno debido a la uniformidad del agua en el perfil del suelo afectando este la disponibilidad de agua para las plantas. En suelos pocos profundos encontraron una disminución de la producción de hasta el 50 % en la cv Chardonnay y hasta un 16 % menos en suelos más profundos en variedad Macabeo. Zhang *et al.* (2014) atribuyen un mayor rendimiento en vid al alto contenido de humedad del suelo.

## MATERIALES Y MÉTODOS

### Descripción del sitio de estudio

El estudio se realizó durante el ciclo de producción Abril–Septiembre de 2014, en una plantación de Vid cv ‘Shiraz’ de siete años de edad, ubicada en la Vinícola San Lorenzo, Parras de la Fuente, Coahuila, México, a 25° 30’ N, 102° 11’ O y 1505 de altitud, el clima es seco semiárido con temperatura promedio de 14 a 18 °C, precipitación promedio anual de 366 mm, vientos predominantes provenientes del Este durante el mayor tiempo del año (INIFAP, 2015).

Para el estudio se delimitaron dos superficies de 5.2 ha (204 m en la dirección E-O, por 256 m dirección N-S) de diferente textura de suelo y diferente porosidad. 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. El riego se aplica por goteo diariamente (dos h) que para el gasto del emisor (2.1 LPH), y el ancho de mojado (40 cm) correspondió a una lámina de siete mm. La altura máxima de plantas (etapa de floración) fue dos m. Cada superficie recibió el mismo manejo agronómico (riego, poda, fertilización y control fitosanitario) de acuerdo a las normas establecidas por Vinícola San Lorenzo. Se instalaron dos sistemas Eddy en la parte media del extremo oeste de cada sección, superficie 1, (suelo de mayor porosidad) y superficie 2 (suelo de menor porosidad).

### Características físicas y químicas del suelo del área de estudio

Las características físicas y químicas del suelo se obtuvieron del promedio de 5 muestras de la parte central de cada superficie. Las propiedades químicas determinadas fueron: pH, CE, contenido de nitrógeno, fósforo, potasio y carbonatos totales. Mientras que las propiedades físicas fueron: contenido de materia orgánica, arcilla, limo, arena, densidad bruta (aparente) del suelo, y densidad de partículas. La densidad bruta (aparente) se determinó por el método del cilindro utilizando una barrena de corazones, mientras que la densidad de partículas se obtuvo con el método del picnómetro. La porosidad del suelo ( $\eta$ ) se determinó con los valores de densidad bruta ( $\rho_b$ ) y densidad de partículas ( $\rho_s$ ) con la siguiente relación:

$$\eta = 1 - \frac{\rho_b}{\rho_s} \quad (1)$$

### Mediciones e instrumentación

Para determinar el intercambio neto de bióxido de carbono, eficiencia intrínseca del uso del agua y eficiencia cuantitativa de cada plantación durante el ciclo de producción de 2014, se obtuvo el flujo de calor sensible (H), calor latente (LE) y flujo de bióxido de carbono (FCO<sub>2</sub>) con las siguientes relaciones Ham y Heilman, (2003):

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

$$LE = L * \overline{(w' \rho_{wv}')} \quad (3)$$

$$FCO_2 = \overline{w' \rho_{CO_2}'} \quad (4)$$

Dónde:  $\rho_a$ ,  $C_p$  y  $T_a$  son la densidad, capacidad calorífica y temperatura del aire, respectivamente,  $T_s$  es la temperatura sónica,  $\rho_{wv}$  es la densidad del vapor de agua en el aire,  $w$  es la velocidad vertical del viento,  $L$  es el calor de vaporización del agua y  $\rho_{CO_2}$  es la densidad de bióxido de carbono. 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  $\rho_{wv}$  y  $\rho_{CO_2}$  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, Lincoln, 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.). Los sensores se montaron en un poste a tres m de altura sobre la superficie del suelo en el extremo oeste y al punto medio de la hilera de plantas de cada plantación

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, (2007) con la siguiente relación:

$$R_n = H + LE + G \quad (5)$$

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, Keep and Zonen, Inc., Delft, Holanda) colocado a 1 m sobre el dosel de cada plantación,  $G$  se midió con dos transductores de calor (modelo HFT3, Campbell Scientific, Inc., Logan, Utah, EE.UU.). Colocados a 0.08 m bajo la superficie del suelo, uno bajo planta y el otro al punto medio de un pasillo.

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). El flujo de  $CO_2$  se corrigió con el mismo factor (Ham y Heilman, 2003).

El intercambio neto de bióxido de carbono ( $NEE$ ) entre el dosel de la plantación de vid y la atmosfera ( $\mu mol$  de  $CO_2 m^{-2} s^{-1}$ ) se obtuvo con la siguiente relación (Martens *et al.*, 2004):

$$NEE = FCO_2 + \frac{\Delta\rho_{CO_2}}{\Delta t} * \Delta Z \quad (6)$$

Dónde:  $FCO_2$  es el flujo de bióxido de carbono medido con el método de la covarianza Eddy (Ec. 4) (negativo hacia la superficie vegetal),  $\Delta\rho_{CO_2}$  es el cambio en la densidad de  $CO_2$  medido a la altura  $\Delta z$ ,  $\Delta t$  es el intervalo de tiempo (30 min),  $\Delta z$  es la altura sobre la superficie del suelo a la que se realizan las mediciones de flujo (3 m).

La eficiencia intrínseca del uso del agua de cada plantación fue la relación entre la asimilación neta de bióxido de carbono y la tasa de evapotranspiración (Tasa\_ET) ( $\text{mmol H}_2\text{O m}^{-2} \text{ s}^{-1}$ ):

$$EF_{\text{H}_2\text{O}} = \frac{\text{NEE}}{\text{Tasa\_ET}} \quad (7)$$

La eficiencia cuántica de cada plantación fue la relación entre la asimilación neta del bióxido de carbono y la radiación fotosintéticamente activa absorbida (PAR\_abs) ( $\text{mol foton m}^{-2}$ ).

$$EF_{\text{quantica}} = \frac{\text{NEE}}{\text{PAR\_abs}} \quad (8)$$

La radiación fotosintéticamente activa absorbida por el dosel de cada plantación (PAR\_abs) se obtuvo con la diferencia entre la radiación PAR incidente y la reflejada, que se midieron colocando un sensor quantum (Apogee Instruments, Logan, Utah, USA) orientado hacia el zenit, y otro hacia el dosel (1 m sobre la vegetación) de cada plantación.

Los cambios en la humedad del suelo a través del ciclo de producción de los viñedos, se determinaron colocando sondas TDR modelo CS616 (Campbell, Scientific, Inc., Logan, Utah, EE.UU). Las mediciones se realizaron en los estratos de 0 a 30 y 30 a 60 cm de profundidad al punto medio entre dos plantas al centro de una de las hileras de cada plantación (de diferente porosidad). También se obtuvo la humedad del suelo de los pasillos, colocando un sensor TDR al punto medio de uno de los pasillos. Los datos se registraron continuamente a una frecuencia de una hora. Las mediciones de los sensores se calibraron con mediciones directas de la humedad del suelo (método gravimétrico) y el valor de la densidad aparente del suelo de cada viñedo.

La diferencia en la tasa de asimilación de bióxido de carbono (NEE), tasa de evapotranspiración, la eficiencia intrínseca del uso del agua y la eficiencia cuántica de cada plantación (de diferente porosidad del suelo), se analizó con la prueba no paramétrica Wilcoxon para poblaciones pareadas (Wilcoxon,  $\alpha \leq 0.05$ ).

El efecto de la porosidad del suelo en el rendimiento de frutos, se evaluó con un diseño completamente al azar de dos tratamientos (porosidad del suelo) y cinco repeticiones, donde el promedio de la suma del peso de frutos de 20 plantas fue la unidad experimental. La calidad de los frutos se determinó con los grados Brix (con un refractómetro), acides (usando el método volumétrico) y pH (con un potenciómetro), aplicando también un diseño completamente al azar con dos tratamientos y cinco repeticiones, donde la unidad experimental correspondió al jugo de 40 frutos tomados de las 20 plantas cosechas para el rendimiento de frutos. Para la prueba de medias se utilizó la prueba de Tukey ( $\alpha \leq 0.05$ ).

## RESULTADOS Y DISCUSIÓN

### Propiedades químicas y físicas del suelo con mayor y menor porosidad

Las características del suelo en ambas plantaciones muestran un pH moderadamente alcalino, un bajo contenido de sales (nitrógeno y fosforo) en ambos tipos de porosidad, contenido de carbonatos muy similar entre plantaciones, el suelo con menor porosidad tiene 2.5 % más potasio que el suelo con mayor porosidad (Cuadro 2).

Con relación a las propiedades físicas, se observó un contenido medio de materia orgánica para ambas superficies. La sección con mayor porosidad tuvo 7.75% y 25.82 % más de contenido de arcilla y de espacio poroso, densidad bruta (aparente) y la de partículas similar fue menor en la planeación de menor porosidad (Cuadro 3).

Cuadro 2. Propiedades químicas del suelo de cada una de las plantaciones con mayor y menor porosidad, Vinícola San Lorenzo, Parras de la fuente, Coahuila, México.

Suelo	pH	CE (ds/m)	Nitrógeno (%)	Fosforo (Kg/ha)	Potasio (Kg/ha)	Carbonato s Totales (%)
Mayor porosidad	8.57	1.01	0.10	67.32	524.7	43.67
Menor porosidad	8.28	0.98	0.10	60.21	537.30	41.0

Cuadro 3. Propiedades físicas del suelo de cada una de las plantaciones con mayor y menor porosidad, Vinícola San Lorenzo, Parras de la fuente, Coahuila, México.

Suelo	MO (%)	Arcilla (%)	Limo (%)	Arena (%)	Textura	Densidad Bruta (g/cm <sup>3</sup> )	Densidad de partículas	Porosidad (%)
Mayor porosidad	1.98	50.0	26	24	Arcilla	1.26	2.048	38.5
Menor porosidad	2.01	46.40	31.20	22.40	Migajón-Arcilloso	1.44	2.075	30.6

### Contenido de agua en el suelo

Las diferencias en la porosidad del suelo tuvieron un marcado efecto en el contenido de agua del suelo a través de las diferentes etapas de desarrollo del cultivo. Las plantas en el viñedo de mayor porosidad tuvieron mayor disponibilidad de agua durante todo el ciclo de crecimiento (Figura 1), observándose también una menor variabilidad del contenido de humedad (promedios de media hora) en este viñedo. Estudios previos han reportado que la capacidad de retención de agua del suelo está directamente relacionada con el contenido y tamaño de los poros (Tunc y Sahin, 2015) y que la porosidad del suelo es función del contenido de arcilla (Szymański *et al.*, 2015). En el Cuadro 3 se muestra que la porosidad está relacionada con un mayor contenido de arcilla y una menor densidad bruta del suelo.

El contenido volumétrico promedio de agua en el suelo durante el ciclo de producción (mayo a agosto) fue mayor (Wicloxon,  $\alpha \leq 0.05$ ) en la plantación de mayor porosidad (Cuadro 4). En promedio, el contenido de agua en el suelo en el viñedo de mayor porosidad fue 37.48 % y en el de menor porosidad 29.73 %, lo que represento una diferencia de 26.07 %. Una mayor disponibilidad de agua en el suelo para las plantas puede resultar en una tasa de transpiración y asimilación de bióxido de carbono más alta. (Tagesson *et al.*, 2015). También, Zhou *et al.*, (2009) observaron que en un cultivo de

carrizo (*Phragmites australis*) la humedad del suelo determino la máxima tasa de fotosíntesis y de asimilación de bióxido de carbono. Para un bosque de eucalipto (*Eucalyptus delegatensis*) Keith *et al.* (2012) encontraron que bajos contenidos de humedad del suelo del ecosistema afectan la tasa de fotosíntesis, así mismo en vid, Flexas *et al.* (2010) observaron que la fotosíntesis es afectada por el cierre estomático debido a una baja humedad del suelo y que comúnmente ocurre en las regiones vinícolas semiáridas.

Cuadro 4. Valores promedios mensuales de contenido de humedad del suelo a través de su ciclo de producción (Mayo–Agosto 2014). En dos plantaciones de vid (cv. Shiraz) en suelo de diferente porosidad. Vinícola San Lorenzo, Parras de la Fuente, Coahuila, México.

Mes	Suelo de mayor porosidad $\Theta_v$ %	Suelo de menor porosidad $\Theta_v$ %
Mayo	37.8 <sup>a</sup>	30.7 <sup>b</sup>
Junio	37.3 <sup>a</sup>	30.1 <sup>b</sup>
Julio	37.2 <sup>a</sup>	29.1 <sup>b</sup>
Agosto	37.6 <sup>a</sup>	29.0 <sup>b</sup>

- Medias con diferente letra dentro de las hileras son estadísticamente diferente (Wilcoxon,  $\alpha \leq 0.05$ ).

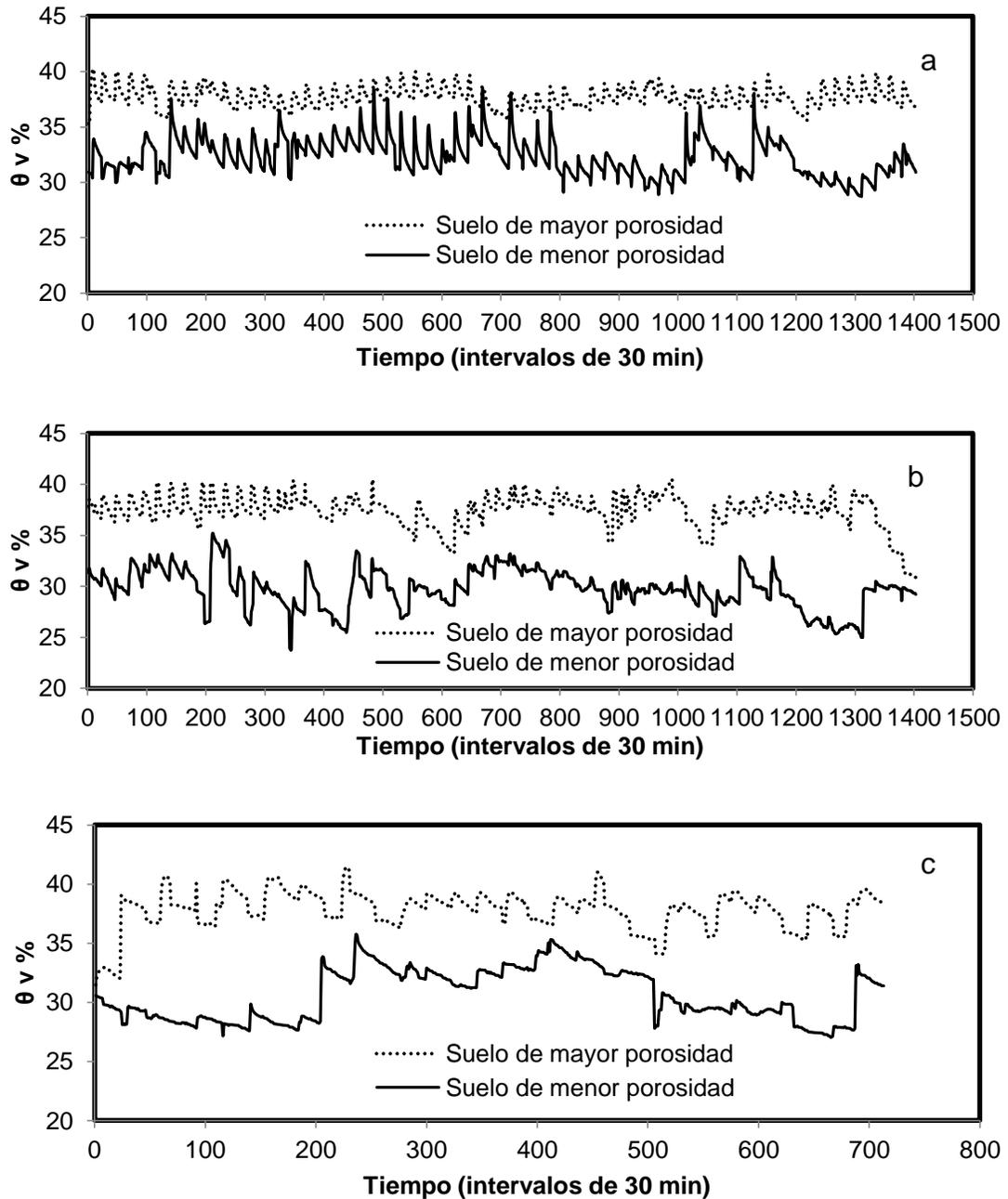


Figura 1. Cambios en la humedad del suelo (promedios de 30 min) durante la etapa de producción del cultivo (Mayo-Agosto, 2014), a) Desarrollo Vegetativo, b) Floración y C) Fructificación. En dos plantaciones de vid (cv. Shiraz) en suelo de diferente porosidad. Vinícola San Lorenzo, Parras de la Fuente, Coahuila, México.

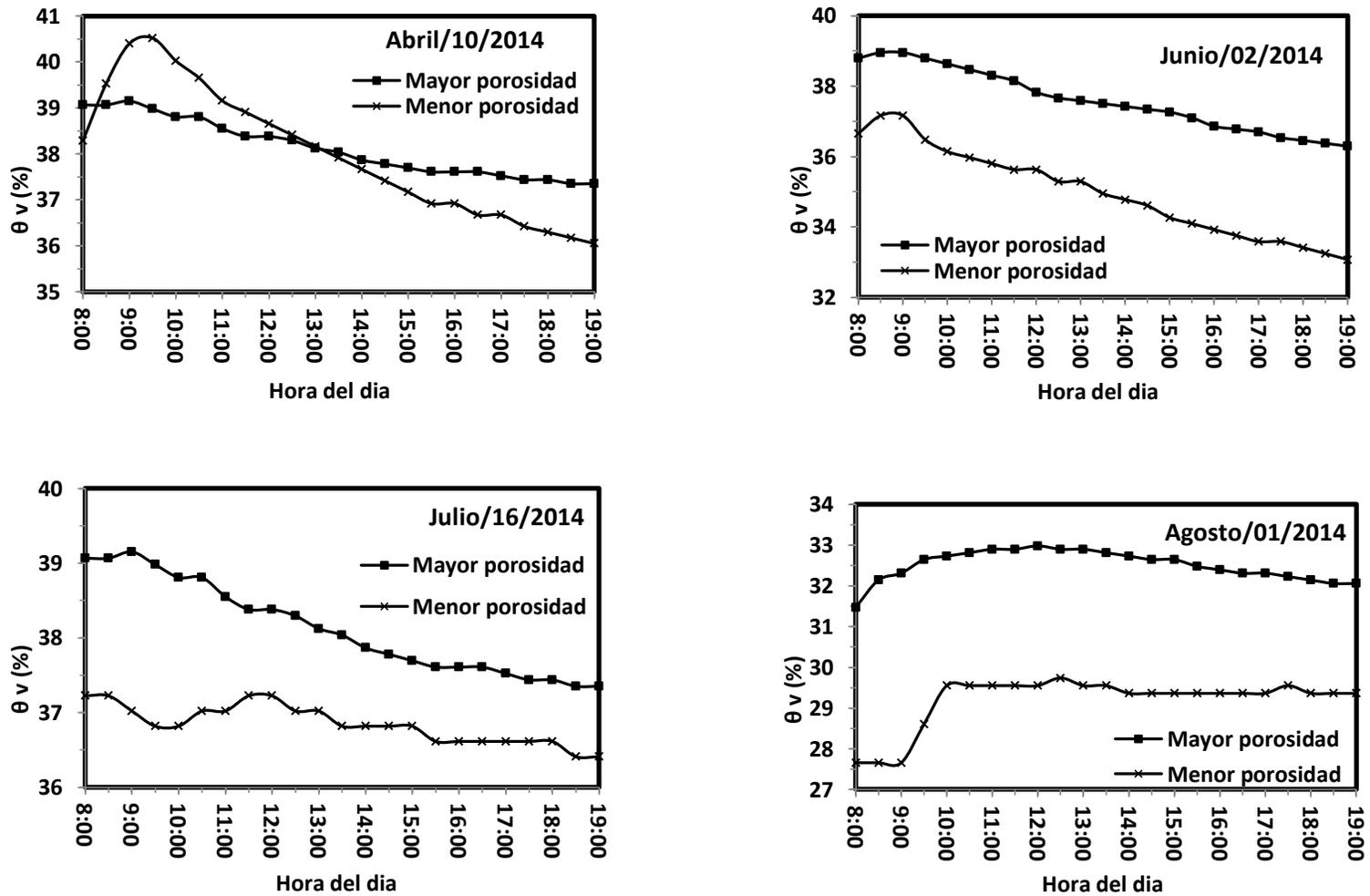


Figura 2. Contenido volumétrico de humedad del estrato de 0 a 30 cm en diferente porosidad, en un cultivo de vid (cv. Shiraz), Vinícola San Lorenzo, Parras de la Fuente, Coahuila, México.

### Tasa de evapotranspiración y asimilación de bióxido de carbono

El mayor contenido de agua en el suelo, resultado de una mayor porosidad (Figura 1, Cuadro 1) resultó en una tasa de evapotranspiración (ET) más alta (Cuadro 5) en cada uno de los meses del ciclo de crecimiento del cultivo (mayo a agosto). Otros estudios realizados en un cultivo de maíz y girasol Béziat *et al.* (2013), reportaron tasas de ET de hasta 5.1 y 5.6 mm respectivamente debido a una mayor capacidad de retención de agua del suelo por alto contenido de arcilla. Para un bosque de *P. contorta*, Mitchell *et al.* (2015) reportaron una tasa baja de ET (1.27 mm) para condiciones de sequía, y que dicha tasa aumenta en forma proporcional al contenido de agua en el suelo. En un cultivo de vid (*Vitis vinífera* L) en clima seco, la tasa de ET fue 3.7 mm d<sup>-1</sup> en periodos de baja humedad y de 4.8 mm d<sup>-1</sup> para alto contenido de agua en el suelo (Atroosh *et al.*, 2013). En promedio, la tasa de evapotranspiración fue 25.81% mayor en la plantación de mayor porosidad del suelo (Cuadro 5).

La comparación de los resultados de este estudio sobre la ET mediante la prueba de Wilcoxon ( $\alpha \leq 0.05$ ) muestra que existen diferencias significativas entre las tasas de ET de los dos tipos de suelo, teniendo el suelo de mayor porosidad un promedio de 237.18 y 188.50 mmol H<sub>2</sub>O m<sup>-2</sup> el suelo de menor porosidad lo cual representa una diferencia de 25.82%.

Cuadro 5. Valores integrados promedio diarios mensuales de la tasa de evapotranspiración (mm) de una plantación de vid a través de su ciclo de producción (Mayo – Agosto de 2014). En dos plantaciones de vid (cv Shiraz) en suelo de diferente porosidad. Vinícola San Lorenzo, Parras de la Fuente, Coahuila, México.

Mes	Suelo de mayor porosidad	Suelo de menor porosidad
Mayo	4.228 <sup>a*</sup>	3.576 <sup>b</sup>
Junio	5.009 <sup>a</sup>	3.744 <sup>b</sup>
Julio	4.087 <sup>a</sup>	3.263 <sup>b</sup>
Agosto	3.753 <sup>a</sup>	2.991 <sup>b</sup>

- Medias con diferente letra dentro de las hileras son estadísticamente diferente (Wilcoxon,  $\alpha \leq 0.05$ ).

La Figura 3 muestra las variaciones diurnas de NEE en el viñedo, de un día totalmente despejado de los meses más representativos, NEE máximo se observa de las 12:00 a las 15:00, NEE menor de 8:00 a 10:00 y de 17:00 a 19:00 horas para los dos tipos de porosidad.

Las variaciones estacionales y mensuales de NEE en la plantación de vid (Figura 4 y Cuadro 6), en ambos tipos de porosidad fueron bajas en abril con un valor promedio máximo de  $-440.36$  y  $-240.04$   $\text{mmol m}^{-2}$  para mayor porosidad y menor porosidad respectivamente, esto se debe a que abril comprendió la brotación y crecimiento de yemas de la vid, es decir tenía muy poca área foliar, los valores más bajos se presentan en el mes de septiembre donde se invirtió la diferencia de NEE esto debido a un mayor crecimiento de maleza sobre los pasillos de menor porosidad por problemas de manejo agronómico, con un valor promedio diario de NEE para mayor porosidad y menor porosidad de  $-131.27$  y  $-200.83$   $\text{mmol m}^{-2}$  estos valores bajos debido a la senescencia de las plantas, durante los meses de mayo, junio, julio y agosto que comprendieron; desarrollo vegetal, floración y fructificación los valores promedios de NEE fueron  $-684.16$ ,  $-564.35$ ,  $-623.89$  y  $-302.09$   $\text{mmol m}^{-2}$  para mayor porosidad y  $-382.07$ ,  $-338.87$ ,  $-427.30$  y  $-280.66$   $\text{mmol m}^{-2}$  en menor porosidad (el signo negativo indica que el flujo neto de  $\text{CO}_2$  es de la atmósfera hacia el cultivo), una mayor porosidad del suelo resultó en un mayor contenido de humedad por lo que por consiguiente mayor tasa de NEE que en el suelo de mayor porosidad, al respecto Yan *et al.* (2015) encontraron que NEE alcanza su tasa máxima cuando el ecosistema experimenta altos niveles de humedad en el suelo. Resultados reportados por Guo *et al.* (2014) en viñedo mencionan que NEE tuvo un aumento rápido de  $-9$   $\text{g C m}^{-2} \text{d}^{-1}$  durante la antesis y desarrollo del fruto atribuyéndolo al rápido incremento de la capacidad fotosintética y a la humedad del suelo. Tanto la fotosíntesis y la respiración se activan bajo alto contenido de humedad del suelo y son suprimidas durante los períodos de escasez de agua.

La sumatoria del valor integrado diario de todo el ciclo de producción (08:00 a 19:00 h) de abril a septiembre del 2014 de NEE para mayor porosidad fue de  $-49.46$   $\text{mol m}^{-2}$  y  $-37.98$   $\text{mol CO}_2 \text{ m}^{-2}$  para menor porosidad por ciclo, estos valores representa una diferencia de 30.22 % de NEE (Wilcoxon  $\alpha \leq 0.05$ ) entre los tipos de porosidad, dado

que la mayor porosidad resulta en mayor contenido de humedad del suelo, esto a su vez aumento la apertura estomática donde como consecuencia se obtuvo mayor asimilación de bióxido de carbono de las plantas (Tagesson *et al.*, 2015), resultados reportados por Guo *et al.* (2014) obtenidos en un viñedo durante 2008, 2009 2010 bajo condiciones óptimas de humedad un NEE de -820, -824 y -961 g C m<sup>-2</sup> año<sup>-1</sup>, un trigo en ciclo de primavera 2.7 t<sup>-1</sup> año<sup>-1</sup> de C bajo condiciones óptimas de manejo y humedad del suelo (Schmidt *et al.*, 2012), pradera de pastoreo 2.9 t<sup>-1</sup> de C año<sup>-1</sup> (Mudge *et al.*, 2011), en un cultivo de caña de azúcar (*Saccharum officinarum* L.) con 12 meses de edad Zermeño-Gonzalez *et al.* (2012) reportan un NEE de 30.06 t<sup>-1</sup> de CO<sub>2</sub> durante un periodo de 6 meses. Cabral *et al.* (2013) 19.64 t<sup>-1</sup> de CO<sub>2</sub> 393 d<sup>-1</sup> desde brotación también en caña donde los primeros 120 días tuvo baja disponibilidad de agua en el suelo lo cual afecto al NEE. En un ecosistema de estepa alpina las variaciones en la humedad del suelo tuvieron efecto importante en el intercambio de carbono, las máximas tasas de asimilación fueron de 3.74 and 3.44 μmol CO<sub>2</sub> m<sup>-2</sup> s<sup>-1</sup> en Agosto 2008-2009 (Zhu *et al.*, 2015). Rutledge *et al.* (2014) en estudios realizados en pasto (*Lolium perenne*) encontraron que la diferencia en intercambio de CO<sub>2</sub> tiene una fuerte correlación con el contenido de humedad del suelo lo cual explica el 99% de las variaciones.

En las Figuras 2 y 3 se observa que en cada hora existe una alta relación entre NEE y humedad del suelo a una profundidad de 0 a 30 cm, donde la humedad durante periodos cortos causa variaciones significativas en NEE en el suelo de mayor porosidad, mismo comportamiento observado por Guo *et al.*(2014). Donde menciona que el aumento de la humedad del suelo puede incrementar diaria y estacionalmente el NEE en el viñedo.

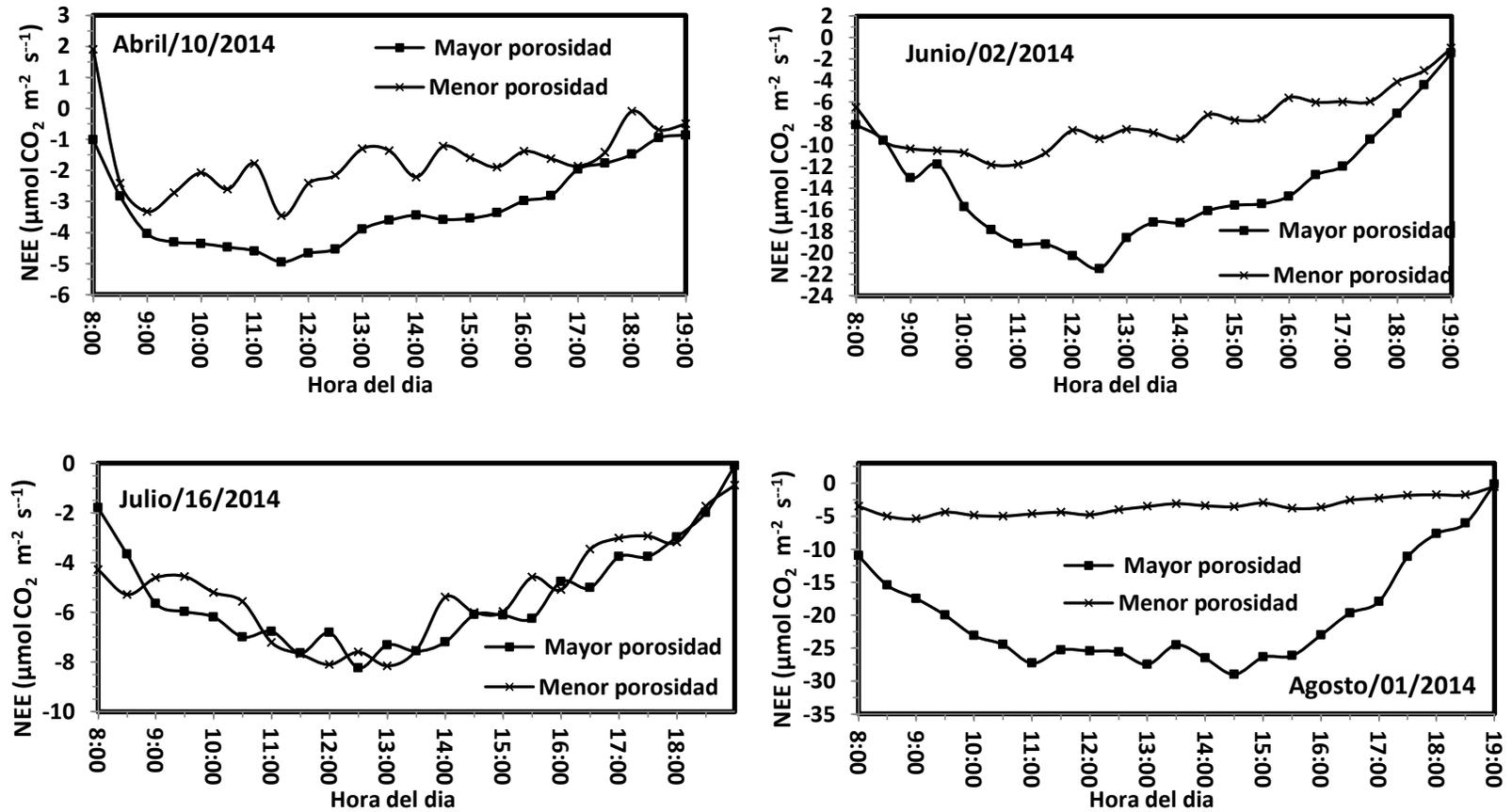


Figura 3. Tasa instantánea de intercambio neto de bióxido de carbono (NEE) de cuatro días representativos del ciclo de producción de la vid (cv Shiraz), Vinícola San Lorenzo, Parras de la Fuente, Coahuila, México.

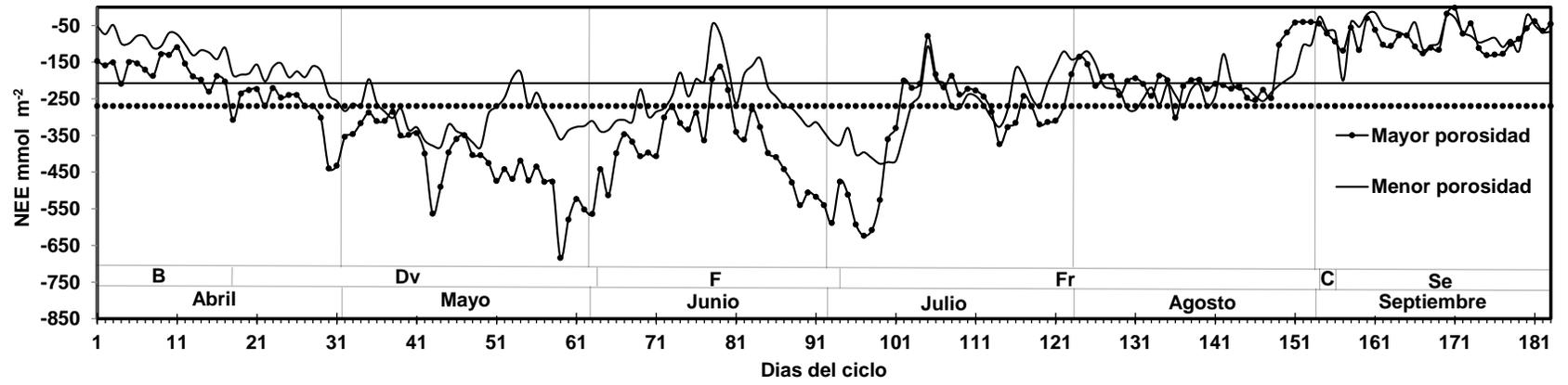


Figura 4. Valores integrados diarios de intercambio neto de bióxido de carbono (NEE) ( $\text{mmol m}^{-2}$ ) de una plantación de Vid (cv. Shiraz), a través del ciclo de producción (Abril-Septiembre, 2014). Vinícola San Lorenzo, Parras de la Fuente, Coahuila, México. (B=brotación, D=desarrollo vegetal, F=floración, Fr=fructificación, C=cosecha, Se=senescencia).

Los resultados de los cuadros 5 y 6 muestran claramente la diferencia de ET y NEE al comparar los tipos de suelo, por lo que al tener mayor porosidad el suelo, consecuentemente mayor es su contenido de humedad.

Cuadro 6. Valores integrados promedio diario mensual del intercambio neto de CO<sub>2</sub> ( $\mu\text{mol CO}_2 \text{ m}^{-2}$ ), de una plantación de vid a través de su ciclo de producción (Mayo – Agosto 2014). En dos plantaciones de vid (cv. Shiraz) en suelo de diferente porosidad. Vinícola San Lorenzo, Parras de la Fuente, Coahuila, México.

Mes	Suelo de mayor porosidad	Suelo de menor porosidad
Mayo	-417.41 <sup>a</sup>	-298.10 <sup>b</sup>
Junio	-382.14 <sup>a</sup>	-245.48 <sup>b</sup>
Julio	-336.44 <sup>a</sup>	-284.50 <sup>b</sup>
Agosto	-187.64 <sup>b</sup>	-209.02 <sup>a</sup>

- Medias con diferente letra dentro de las hileras son estadísticamente diferente (Wilcoxon,  $\alpha \leq 0.05$ ).

### **Eficiencia intrínseca del uso del agua**

La eficiencia intrínseca del uso del agua ( $EF_i$ ) de un ecosistema vegetal, se puede definir como la relación entre la tasa de asimilación neta de bióxido de carbono (NEE) y la tasa de evapotranspiración (ET) ocurriendo simultáneamente (Zermeño-Gonzalez *et al.*, 2012; Ago *et al.*, 2014). En la Figura 5 y 6 se muestra que esta relación corresponde a una parábola decreciente, cuando el NEE se grafica con valores negativos (indicando que el flujo de CO<sub>2</sub> es hacia el dosel). Estudios previos ya han mostrado esta relación (Li *et al.*, 2015; Yan *et al.*, 2015), dicha tendencia también implica que el NEE se incrementa (valores más negativos) a medida que la ET aumenta. Esto se debe a que a mayor apertura de los estomas, el flujo de vapor de agua desde las hojas hacia la atmósfera y el de bióxido de carbono de la atmosfera a hacia las hojas aumenta ((Li *et al.*, 2015; Yan *et al.*, 2015). Nótese que en el viñedo con mayor disponibilidad de agua en el suelo (por mayor porosidad), la asimilación neta de bióxido de carbono (NEE) fue mayor (valores más negativos), de igual forma que la tasa de evapotranspiración (escala mayor de las Figuras 5). Estudios previos también han reportado incrementos de la tasas

de ET y de NEE con mayor contenido de agua en el suelo. Por ejemplo, Yan *et al.* (2015) en un pastizal encontraron que el NEE alcanza su tasa máxima cuando el ecosistema presenta valores altos de humedad en el suelo, mientras que Rutledge *et al.* (2014) observaron que durante la primavera (suelo con mayor humedad) la asimilación de bióxido de carbono del pasto *Lolium perenne* fue de 40 a 100 % mayor que durante los periodos de sequía. Nótese también, que el flujo de vapor de agua del dosel a la atmósfera es de una escala de mil mayor que el flujo de bióxido de carbono de la atmósfera al dosel, esto se debe a que la resistencia interna de las hojas al flujo de CO<sub>2</sub> es mayor que la resistencia a la salida de vapor de agua (Jones, 1992; Nobel, 2009). Esto resulta en valores muy pequeños de la eficiencia intrínseca del uso del agua por los ecosistemas vegetales (Flexas *et al.*, 2010; Gome-Soares *et al.*, 2015).

La tasa mayores de NEE y de ET, se observó en las etapas vegetativa y de floración (etapas de mayor desarrollo foliar) en ambos viñedos (Figura 5 y 6). Otros estudios en diferentes tipos de vegetación y en otros viñedos también han reportado tasas mayores de flujos de vapor de agua y bióxido de carbono en las etapas vegetativas y de floración (Li *et al.*, 2015; Zhang *et al.*, 2014).

Debido a que la relación entre NEE y la tasa de ET, es no lineal, para evaluar la  $EF_i$  que es la relación entre ambas (NEE/ET), es necesario definir una tasa de ET. Para los resultados de este estudio (Figura 5 y 6) y para analizar la  $EF_i$  en las diferentes etapas de desarrollo, en cada viñedo (de mayor y menor porosidad), se estableció una tasa de ET de  $6 \text{ mmol m}^{-2} \text{ s}^{-1}$ . En los valores del Cuadro 7, se muestra que la  $EF_i$  fue muy similar en la etapa vegetativa y de floración en ambos viñedos y que en la etapa de fructificación se tuvo una notable reducción, más notable en el viñedo con mayor porosidad (Cuadro 7). Esto probablemente ocurrió porque las hojas jóvenes en las etapas tempranas tienen mayor capacidad de asimilación de bióxido de carbono por un mayor contenido de pigmentos de clorofila (Yamori y von Caemmerer, 2009; Raines, 2011), y que las hojas adultas tuvieron menor fijación de CO<sub>2</sub> por una reducción del contenido de pigmentos de clorofila (Shimoda *et al.*, 2009; Zhou *et al.*, 2009; Keith *et al.*, 2012). La mayor disponibilidad de agua en el suelo por una mayor porosidad, no se reflejó en una  $EF_i$

más alta debido a que al aumentar la tasa de asimilación de CO<sub>2</sub>, también se incrementa la tasa de transpiración (Shimoda *et al.*, 2009; Strilesky y Humphreys. 2012).

La productividad marginal del agua (PMA) de los viñedos a través de las etapas de desarrollo de las plantas se evaluó derivando las funciones de NEE contra la ET que se muestran en la Figura 5 y 6. En la Figura 7, se observa que para una tasa de ET mayor de 4 mmol m<sup>-2</sup> s<sup>-1</sup>, la PMA fue mayor (valores más negativos) en el viñedo de mayor disponibilidad de agua en el suelo (por mayor porosidad) en las tres etapas de desarrollo. Por ejemplo, para la misma tasa de ET de 6 mmol m<sup>-2</sup> s<sup>-1</sup> que se usó para determinar la eficiencia intrínseca del uso del agua, la PMA fue mayor en las plantas del viñedo con mayor contenido de agua en el suelo (mayor porosidad) en las tres etapas de desarrollo (Figura 7). La PMA fue mayor en la etapa vegetativa (hojas más jóvenes) en ambos viñedos; en el de mayor porosidad fue -1.408 μmol CO<sub>2</sub> mmol<sup>-1</sup> H<sub>2</sub>O y -1.126 μmol CO<sub>2</sub> mmol<sup>-1</sup> H<sub>2</sub>O en el de menor porosidad, que correspondió a una diferencia de 31.44%. En promedio, para las tres etapas de desarrollo la PMA del agua de las plantas del viñedo con mayor porosidad (contenido más alto de agua en el suelo) fue 24.64 % mayor.

Sin embargo, para valores bajos de la tasa de ET (menor de 4 mmol m<sup>-2</sup> s<sup>-1</sup>) la PMA fue mayor en el viñedo de menor disponibilidad de agua en el suelo, esto se debe a que el cierre parcial de los estomas por una menor disponibilidad de agua en el suelo tiene un mayor impacto en la reducción del flujo de vapor de agua desde el interior de las hojas hacia la atmósfera que en la circulación del bióxido de carbono de la atmósfera hacia el interior de las hojas debido a una mayor resistencia estomática al flujo del CO<sub>2</sub> que al flujo del vapor de agua (Jones, 1992; Nobel, 2009), resultando en un valor mayor de la PMA.

Cuadro 7. Eficiencia intrínseca del uso de agua ( $\mu\text{mol CO}_2 \text{ mmol}^{-1} \text{ H}_2\text{O}$ ) (promedios de 30 min) a una tasa de evapotranspiración (ET) de  $6 \text{ mmol H}_2\text{O m}^{-2} \text{ s}^{-1}$  a través de la etapa de desarrollo vegetativo, floración y fructificación del ciclo de producción Mayo – Agosto de 2014. En dos plantaciones de vid (cv. Shiraz) en suelo de diferente porosidad. Vinícola San Lorenzo, Parras de la Fuente, Coahuila, México.

Etapa	Suelo de mayor porosidad	Suelo de menor porosidad
Vegetativa	-1.41	-1.13
Floración	-1.27	-0.99
Fructificación	-1.04	-0.87

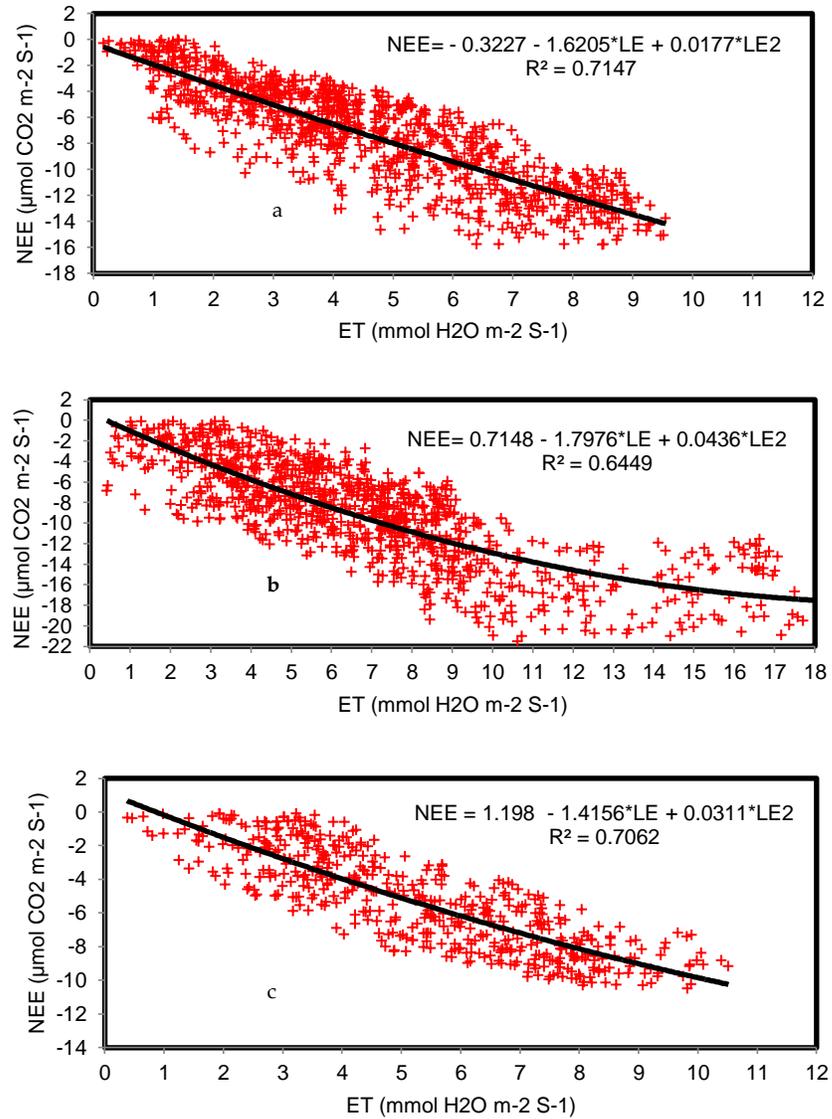


Figura 5. Relación entre la tasa de intercambio neto de bióxido de carbono (NEE) y la tasa de evapotranspiración (ET) de un cultivo de vid cv. Shiraz a) Desarrollo vegetal, b) Floración y c) Fructificación, en suelo de mayor porosidad. Vinícola San Lorenzo, Parras de la Fuente, Coahuila, México.

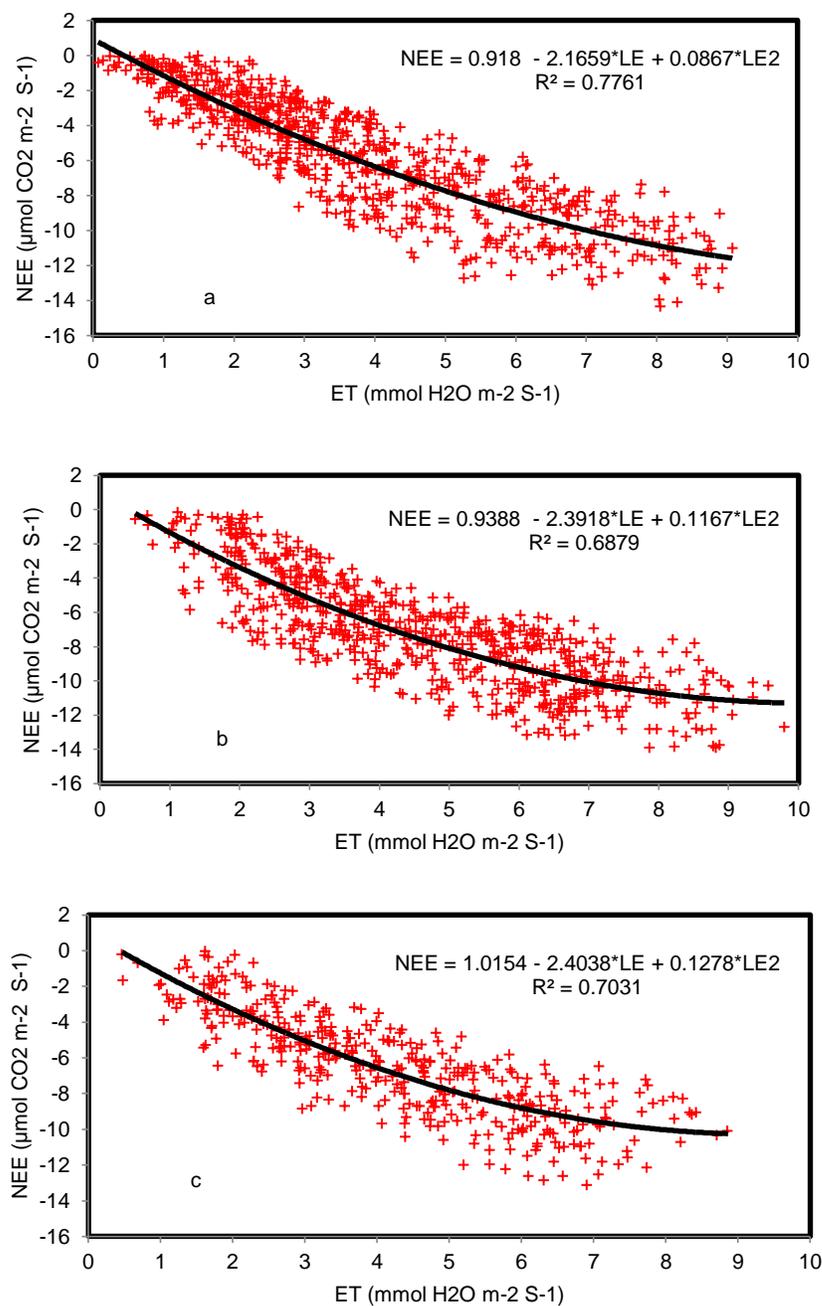


Figura 6. Relación entre la tasa de intercambio neto de bióxido de carbono (NEE) y la tasa de evapotranspiración (ET) de un cultivo de vid cv. Shiraz a) Desarrollo vegetal, b) Floración y c) Fructificación, en suelo de menor porosidad. Vinícola San Lorenzo, Parras de la Fuente, Coahuila, México.

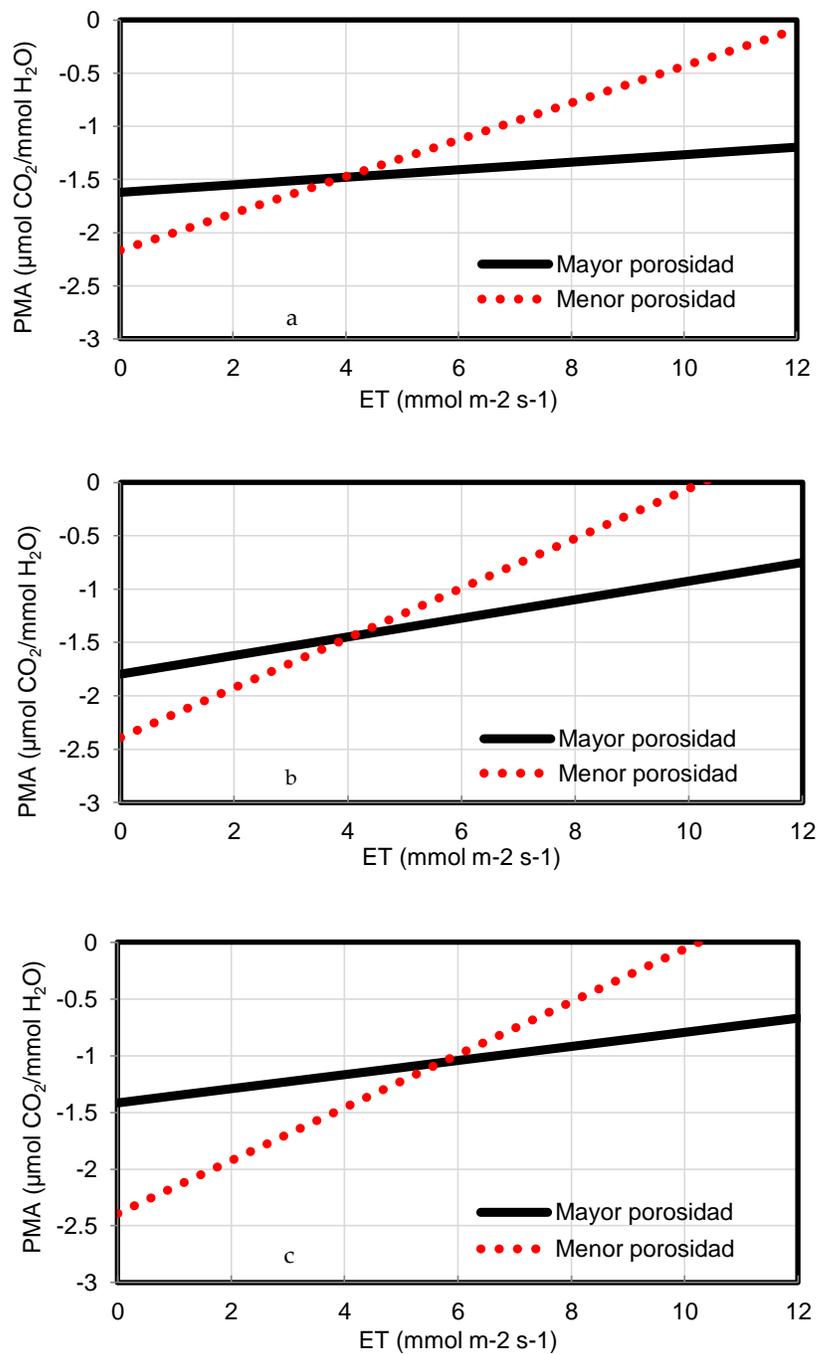


Figura 7. Productividad marginal del agua (PMA) en función de la tasa de evapotranspiración a través de la etapa vegetativa (a), de floración (b) y de fructificación (c) en dos viñedos con diferente porosidad del suelo. Vinícola San Lorenzo, año de producción 2014.

### **Eficiencia cuántica del uso de la luz**

La eficiencia cuántica definida como la relación entre la tasa de asimilación de bióxido de carbono y la radiación fotosintéticamente activa absorbida (Evans, 2013). En las Figuras 8 y 9 se muestra que esta relación corresponde a una parábola decreciente, nótese que a medida que la PAR\_abs aumenta el NEE tiene mayores incrementos (valores más negativos indicando que el flujo de CO<sub>2</sub> es hacia el dosel), así mismo se observa que la pendiente tiende a estabilizarse a los 1400 μmol fotones m<sup>-2</sup> s<sup>-1</sup> dando a conocer el punto de saturación fotosintética del cultivo. La diferencia en la humedad del suelo no tuvo efecto en la PAR\_abs promedio diaria (08:00 – 19:00 h) durante el ciclo de producción de la vid (mayo-agosto) en ambas plantaciones (Cuadro 8), teniendo el suelo de mayor porosidad un promedio de 42.10 y 42.20 mol fotón m<sup>-2</sup> para el suelo de menor porosidad respectivamente (Wilcoxon  $\alpha \leq 0.05$ ).

Debido a que la PAR\_abs fue igual en ambos tipos de porosidad la diferencia en la eficiencia cuántica se debió a una mayor tasa de asimilación de bióxido de carbono (Cuadro 6), nótese que la eficiencia cuántica tiende a aumentar de la etapa de desarrollo vegetal a floración y disminuye en la etapa de fructificación en ambos tipos de porosidad (Cuadro 9) debido a una mayor tasa de asimilación de bióxido de carbono por un alto contenido de humedad, la eficiencia cuántica fue mayor en el suelo de mayor porosidad con una eficiencia promedio de 8.5 y 7.3 μmol CO<sub>2</sub> mol fotones para el suelo de menor porosidad representado esto una diferencia de 16.6 %. Obsérvese que en la etapa de fructificación la eficiencia se invierte debido a una mayor NEE esto debido por un mayor crecimiento de maleza en el pasillo de la plantación de menor porosidad por problemas en el manejo agronómico de las plantaciones.

Dado que la vid es un cultivo en hileras y esta no cubre toda la superficie solo cubre el 32 % de la misma, los valores observados (Cuadro 9) son muy bajos comparado con los cultivos de cobertura total, estudios realizados como el de Singh *et al.* (2014) en un bosque de pinos (*Pinus roxburghii*) donde observaron una eficiencia cuántica promedio anual de  $22.3 \pm 17.8$  mmol CO<sub>2</sub> mol<sup>-1</sup> PAR, donde los factores que tuvieron mayor influencia sobre la eficiencia fueron en índice de área foliar y el contenido volumétrico de agua del suelo, en trigo (*Triticum aestivum*) bajo condiciones óptimas de humedad,

donde la PAR máxima fue a un NEE de  $46.6 \pm 4.0 \mu\text{mol CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$ , Tong *et al.* (2014) mencionan una eficiencia promedio de  $59 \pm 6 \mu\text{mol CO}_2 \text{ mol}^{-1}$  fotón, atribuyendo a factores ambientales (estructura del dosel y a la humedad del suelo) valores bajos obtenidos en la eficiencia. En cultivo de maíz (*Zea mays*) Suyker and Verma, (2012) reportan una eficiencia cuántica de  $1.96 \pm 0.10$  y  $1.37 \pm 0.06 \text{ g C MJ}^{-1}$  en cultivo de frijol (*Phaseolus vulgaris*) en condiciones óptimas de humedad, estos resultados son mayores a los que se reportan en este estudio.

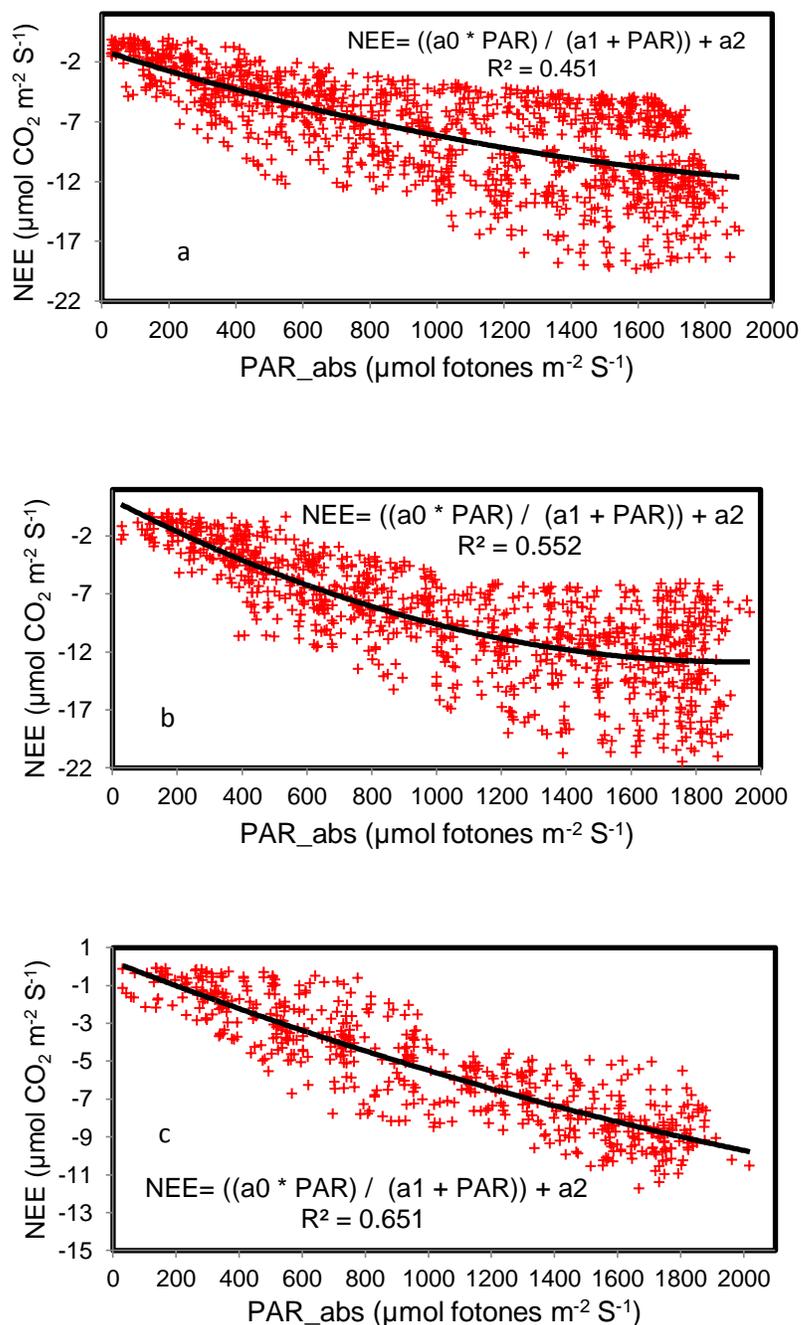


Figura 8. Relación entre la tasa de intercambio neto de bióxido de carbono (NEE) y la radiación fotosintéticamente activa absorbida (PAR<sub>abs</sub>) de un cultivo de vid cv. Shiraz a) Desarrollo vegetal, b) Floración y c) Fructificación, en suelo de mayor porosidad. Vinícola San Lorenzo, Parras de la Fuente, Coahuila, México.

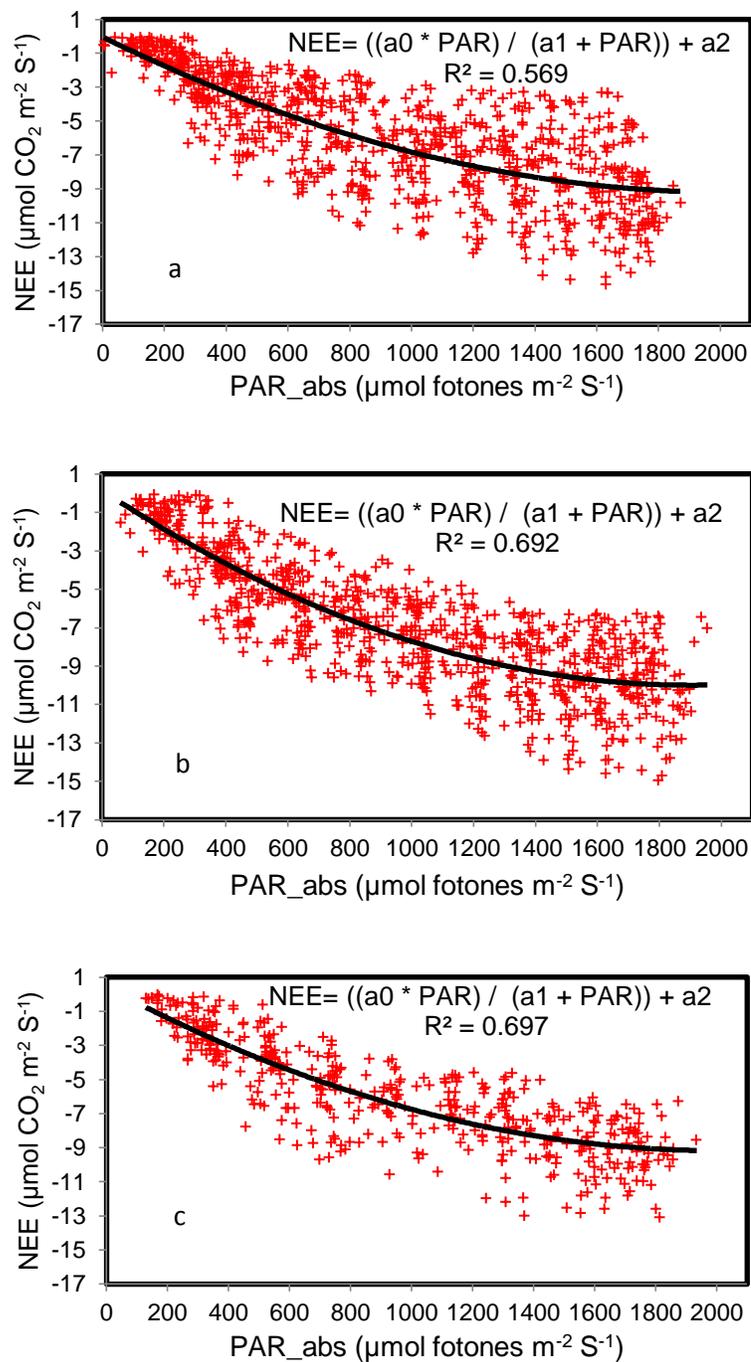


Figura 9. Relación entre la tasa de intercambio neto de bióxido de carbono (NEE) y la radiación fotosintéticamente activa absorbida (PAR\_abs) de un cultivo de vid cv. Shiraz a) Desarrollo vegetal, b) Floración y c) Fructificación, en suelo de menor porosidad. Vinícola San Lorenzo, Parras de la Fuente, Coahuila, México.

Cuadro 8. Valores integrados promedios diarios mensuales de la radiación fotosintéticamente activa absorbida ( $\text{mol m}^{-2}$ ) (PAR\_abs) de una plantación de vid a través de su ciclo de producción (Mayo-Agosto de 2014). En dos plantaciones de vid (cv. Shiraz) en suelo de diferente porosidad. Vinícola San Lorenzo, Parras de la Fuente, Coahuila, México.

Mes	Suelo de mayor porosidad	Suelo de menor porosidad
Mayo	43.51 <sup>a</sup>	43.74 <sup>a</sup>
Junio	43.55 <sup>b</sup>	43.90 <sup>a</sup>
Julio	41.44 <sup>a</sup>	41.13 <sup>b</sup>
Agosto	39.90 <sup>a</sup>	40.02 <sup>a</sup>

- Medias con diferente letra dentro de las hileras son estadísticamente diferente (Wilcoxon,  $\alpha \leq 0.05$ ).

Cuadro 9. Eficiencia cuántica ( $\mu\text{mol CO}_2 \text{ mol fotones}$ ) de una plantación de vid a través de su ciclo de producción (Mayo-Agosto de 2014). A una PAR\_abs de  $1000 \mu\text{mol fotones m}^{-2} \text{ s}^{-1}$ . En dos plantaciones de vid (cv. Shiraz) en suelo de diferente porosidad. Vinícola San Lorenzo, Parras de la Fuente, Coahuila, México.

Etapas	Suelo de mayor porosidad	Suelo de menor porosidad
Vegetativa	8.8	7.1
Floración	10.4	7.8
Fructificación	6.3	7.0

### Rendimiento y calidad e frutos

El rendimiento de frutos en la plantación con mayor porosidad fue 13.53 % mayor (Tukey,  $\alpha \leq 0.05$ ). que el rendimiento en la plantación de menor porosidad (Cuadro 4), esto debido probablemente a una mayor disponibilidad de agua en el suelo y una mayor tasa de asimilación de  $\text{CO}_2$ . Zhang *et al.* (2014) atribuyen un mayor rendimiento en vid al

alto contenido de humedad del suelo. La diferencia en la porosidad del suelo, no afectó los grados Brix del jugo de los frutos (Tukey,  $\alpha \leq 0.05$ ), sin embargo, la acidez fue 10.13% menor y el pH 3.51% mayor (Tukey,  $\alpha \leq 0.05$ ) en el viñedo con mayor porosidad del suelo. Pascal Chatonnet. (2005). Describe al pH como una variable importante en la enología, que fluctúa entre 2.8 y 4.2 en la elaboración de vinos de diferentes denominaciones. Chaves *et al.* (2007) reportaron que para condiciones óptimas de riego, el pH del jugo de los frutos del cv Moscatel fue 3.78 y para el cv Castelao fue 3.82 resultados similares observados en este estudio.

Ceppi de Lecco y Castillo. (2008) observaron en un estudio realizado en variedad Shiraz en Bolivia bajo características similares de suelo y clima a las de Parra, Coahuila, una acidez de  $4.9 \text{ g/L}^{-1}$ , un pH de 3.89 y 25.25 en grados Brix. Estos resultados están en el mismo rango de valores de acidez, pH y grados Brix a los observaron en este estudio.

Según el Diario Oficial de la Federación en México la norma vigente para comercializar vinos es NOM-V-012-NORMEX-2005, sin embargo esta norma no se encuentra disponible en el catálogo de la Secretaría de Economía, pero la norma previa NMX-V-012-1986 especifica las características físicas y químicas que deben cumplir los vinos, los valores de acidez obtenidos en este estudio (Cuadro 7) se encuentran dentro del rango de las especificaciones ya que postulan como mínimo una acidez total entre 4.5 y  $10 \text{ g/L}^{-1}$  de ácido tartárico

Así mismo Pascal Chatonnet. (2005) indica que el equilibrio ácido de los vinos es un aspecto importante y complejo, pues no existe un solo y único equilibrio ideal. Cada vino, por su composición característica de alcohol, taninos, azúcares requiere un equilibrio específico.

Cuadro 10. Rendimiento y calidad de frutos correspondientes al ciclo de producción (Mayo–Agosto 2014). En dos plantaciones de vid (cv. Shiraz) en suelo de diferente porosidad. Vinícola San Lorenzo, Parras de la Fuente, Coahuila, México.

Tratamiento	Rendimiento (Kg/Planta)	Grados brix	Acidez	pH
Suelo de mayor porosidad	10.32 <sup>a</sup>	27.10 <sup>a</sup>	4.44 <sup>b</sup>	3.83 <sup>a</sup>
Suelo de menor porosidad	9.09 <sup>b</sup>	27.36 <sup>a</sup>	4.89 <sup>a</sup>	3.70 <sup>b</sup>

\* Medias con diferente letra son estadísticamente diferente (Tukey  $\alpha \leq 0.05$ ).

## CONCLUSIONES

La porosidad del suelo y su relación con el contenido de humedad: afecta la tasa de evapotranspiración, la tasa de asimilación de bióxido de carbono y esto a su vez la tasa de fotosíntesis, la eficiencia intrínseca del uso del agua ( $EF_i$ ), la eficiencia cuántica. De igual forma al rendimiento de frutos, acidez y PH. Las diferencias en contenido de humedad no tuvieron efecto en los grados brix del jugo de los frutos.

## REFERENCIAS

- Ago, E. E., Agbossou, E. K., Galle, S., Cohard, J. M., Heinesch, B. and Aubinet, M. 2014. Long term observations of carbon dioxide exchange over cultivated savanna under a Sudanian climate in Benin (West Africa). *Agric. For. Meteorol.* 197: 13–25.
- Atroosh, K. B., Mukred, A. W. O. and Moustafa, A. T. 2013. Water Requirement of grape (*Vitis vinifera*) in the Northern Highlands of Yemen. *J. Agric. Sci.* 5(4): 136–145.
- Aubinet, M., Moureaux, C., Bodson, B., Dufranne, D. Heinesch, B., Suleau, M., Vancutsem, F. and Vilret, A. 2009. Carbon sequestration by a crop over a 4-year sugar beet/winter wheat/seed potato/winter wheat rotation cycle. *Agric. For. Meteorol.* 149(3-4), 407–418.
- Bailey-Serres, J., Lee, S.C. and Brinton, E. 2012. Waterproofing crops: Effective flooding survival strategies. *Plant Physiology*, 160: 1698–1709.
- Baldocchi, D. D. 2003. Assessing the eddy covariance technique for evaluating carbon dioxide exchange rates of ecosystems: Past, present and future. *Global Change Biology*, 9(4): 479–492.
- Bertamini, M., and Nadunchezian, N. 2005. Grapevine Growth and Physiological Response to Iron Deficiency. *Journal of Plant Nutrition* 28: 737-749.
- Béziat, P., Rivalland, V., Tallec, T., Jarosz, N., Boulet, G., Gentine, P. and Ceschia, E. 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.
- Béziat, P., Rivalland, V., Tallec, T., Jarosz, N., Boulet, G., Gentine, P. and Ceschia, E. 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.
- Braswell, B. H., Sacks, W. J., Linder, E., and Schimel, D. S. 2005. Estimating diurnal to annual ecosystem parameters by synthesis of a carbon flux model with eddy covariance net ecosystem exchange observations. *Global Change Biology*, 11(2): 335–355.
- Bruschi Gonçalves, R. A., Gloaguen, T. V., Folegatti, M. V., Libardi, P. L., Lucas, Y. and Montes, C. R. 2010. Pore size distribution in soils irrigated with sodic water and wastewater. *Revista Brasileira de Ciência Do Solo*, 34(3). 701–707.
- Cabral, O. M. R., Rocha, H. R., Gash, J. H., Ligo, M. A. V., Ramos, N. P., Packer, A. P., and Batista, E. R. 2013. Fluxes of CO<sub>2</sub> above a sugarcane plantation in Brazil. *Agric. For. Meteorol.* 182-183: 54–66.
- Champagne, C., Berg, A. A., McNairn, H., Drewitt, G., and Huffman, T. 2012. Evaluation of soil moisture extremes for agricultural productivity in the Canadian prairies. *Agric. For. Meteorol.*, 165, 1–11.
- Chaves, M. M., Santos, T. P., Souza, C. R., Ortuño, M. F., Rodrigues, M. L., Lopes, C. M., Moroco, J. P. and Pereira, J. S. 2007. Deficit irrigation in grapevine improves water-use

- efficiency while controlling vigour and production quality. *Annals of Applied Biology*. 150(2): 237–252.
- Chen, L., B.R. Smith, and L. Cheng. 2004. CO<sub>2</sub> Assimilation, Photosynthetic Enzymes, and Carbohydrates of ‘Concord’ Grape Leaves in Response to Iron Supply. *Journal of the American Society of Horticultural Science* 129 (5): 738-744.
- Cheppi de Lecco, C. and Castillo, I.P., 2008. Caracterización de Cepas y Vinos Syrah y Cabernet Sauvignon en Cuatro Zonas del Valle Central de Tarija. *Revista Boliviana de Química*, 25(1), pp.62–69.
- Clement, R. J., Jarvis, P. G., and Moncrieff, J. B. 2012. Carbon dioxide exchange of a Sitka spruce plantation in Scotland over five years. *Agric. For. Meteorol.* 153: 106–123.
- CMV, (2015). Consejo Mexicano Vitivinícola, A. C. 2015. Consulta: 16 de octubre del 2015. Disponible en: (<http://www.uvayvino.org/index.php/el-sector/vinos-mexicanos>).
- Cohen, M., Bilodeau, C., Alexandre, F., Godron, M., Andrieu, J., Grésillon, E. and Morganti, A. 2015. What is the plant biodiversity in a cultural landscape? a comparative, multiscale and interdisciplinary study in olive groves and vineyards (Mediterranean France). *Agric. Ecosyst. Environ.* 212: 175–186.
- Conradie, W.J. 2001a. Timing of Nitrogen Fertilization and the Effects of Poultry Manure on the Performance of Grapevines on Sandy Soils. I. Soil Analysis, Grape Yields and Vegetative Growth. *South African Journal of Enology and Viticulture* 22 (2): 53-59.
- Conradie, W.J. 2001b. Timing of Nitrogen Fertilization and the Effects of Poultry Manure on the Performance of Grapevines on Sandy Soils. II. Leaf Analysis, Juice Analysis and wine Quality. *South African Journal of Enology and Viticulture* 22 (2): 60-68.
- Deconinck, K. and Swinnen J. 2014. The economics of planting rights in wine production. *Eur. Review of Agric. Economics* 42(3): 419–440.
- Delgado, R., P. Matín, M. Álamo, and M.R. González. 2004. Changes in the phenolic composition of grape berries during ripening in relation to vineyard nitrogen and potassium fertilization rates. *Journal of Science of Food and Agriculture* 84: 623-630.
- El Financiero, 2013. El Vino en México. Consulta: 16 de octubre del 2015. Disponible en: <http://eleconomista.com.mx/entretenimiento/2013/06/03/vino-mexico>.
- Evans, J. R. 2013. Improving photosynthesis. *Plant Physiology*, 162(4): 1780–93.
- Ferraro, R. 1984. *Viticultura moderna*. Editorial hemisferio sur. Montevideo, Uruguay.
- Flexas, J., Galmés, J., Gallé, A., Gulías, J., Pou, A., Ribas-Carbo, M., Tomas, M., and Medrano, H. 2010. Improving water use efficiency in grapevines: Potential physiological targets for biotechnological improvement. *Australian Journal of Grape and Wine Research*, 16: 106–121.

- Galet. P.1985. *Precis D' Ampelographie Practique*. 5<sup>a</sup> Edition. ImprimerieCh. Dehan, Montpellier, France.
- Gomes Soares, M. L., Pereira Tognella, M. M., Cuevas, E., and Medina, E. 2015. Photosynthetic capacity and intrinsic water-use efficiency of rhizophora mangle at its southernmost western Atlantic range. *Photosynthetica*, 53(3): 464–470.
- Gou, Q., Qu, J. and Han, Z., 2014. Microclimate and CO<sub>2</sub> fluxes on continuous fine days in the Xihu desert wetland, China. *Journal of Arid Land*, 7(3):.318–327.
- Guo, W. H., Kang, S. Z., Li, F. S. and Li, S. E. 2014. Variation of NEE and its affecting factors in a vineyard of arid region of northwest China. *Atmospheric Environment*. 84: 349–354.
- Ham, J. M. and Heilman J. L. 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.
- Holland, J. E. and Biswas, A. 2015. Predicting the mobile water content of vineyard soils in New South Wales, Australia. *Agric. Water Manag.* 148: 34–42.
- Hongshuo W., Rogers, J. C. and Munroe, D. K. 2015. commonly used drought indices as indicators of soil moisture in China. *J. Hydrometeor*, 16: 1397–1408.
- Hussain, M. Z., Otieno, D. O., Mirzae, H., Li, Y. L., Schmidt, M. W. T., Siebke, L., Foken, T., Ribeiro, N. A., and Tenhunen, J. D. 2009. CO<sub>2</sub> exchange and biomass development of the herbaceous vegetation in the Portuguese montado ecosystem during spring. *Agriculture, Ecosystems and Environment*, 132(1-2): 143–152.
- Inifap 2015. Instituto Nacional de Investigadores Agrícolas, Forestales y pecuarios (2015). Consulta 03 de septiembre del 2015. Dponible en: (<http://clima.inifap.gob.mx/redinifap/est.aspx?est=26796>)
- Jones H.G. 1992. *Plants and Microclimate*, 2nd ed. Cambridge University Press, Cambridge, pp. 428.
- Keith, H., van Gorsel, E., Jacobsen, K. L. and Cleugh, H. A. 2012. Dynamics of carbon exchange in a Eucalyptus forest in response to interacting disturbance factors. *Agric. For. Meteorol.* 153: 67–81.
- Kirschbaum, M.U.F., 2011. Does enhanced photosynthesis enhance growth? Lessons learned from CO<sub>2</sub> enrichment studies. *Plant physiology*, 155(1): 117–124.
- Lawson, T. and Blatt, M. R. 2014. Stomatal size, speed, and responsiveness impact on photosynthesis and water use efficiency. *Plant Physiol.* 164(4): 1556–1570.
- Li, S., Kang, S., Zhang, L., Du, T., Tong, L., Ding, R. and Xiao, H. 2015. Ecosystem water use efficiency for a sparse vineyard in arid northwest China. *Agric. Water Manag.* 148: 24–33.

- Li, S., Kang, S., Zhang, L., Du, T., Tong, L., Ding, R., Guo, W., Zhao, P., Chen, X. and Xiao, H. Ecosystem water use efficiency for a sparse vineyard in arid northwest China. *Agricultural Water Management*. 148: 24–33.
- Lipiec, J., Walczak, R., Witkowska-Walczak, B., Nosalewicz, A., Słowińska-Jurkiewicz, A. and Sławiński, C. 2007. The effect of aggregate size on water retention and pore structure of two silt loam soils of different genesis. *Soil Tillage Res.* 97(2): 239–246.
- Liu, B., Cheng, L., Ma, F., Zou, Y. and Liang, D. 2012. Growth, biomass allocation, and water use efficiency of 31 apple cultivars grown under two water regimes. *Agrofor. Syst.* 84(2): 117–129.
- Mahrt, L. and Vickers, D. 2002. Relationship of area-averaged carbon dioxide and water vapour fluxes to atmospheric variables. *Agric. For. Meteorol*, 112: 195–202.
- Martens, C. S., Shay, T. J., Mendlovitz, H. P., Matross, D. M., S. R., Saleska, Wofsy, S. C., Woodward, W. S., M. C., Menton, J. M., Crill, S. P. M., De Moraes, O. L. L. and Lima, R. L. 2004. Radon fluxes in tropical forest ecosystems of Brazilian Amazonia: night-time CO<sub>2</sub> net ecosystem exchange derived from radon and eddy covariance methods. *Glob. Chang. Biol.* 10(5): 618-629.
- Martínez García, G., Pachepsky, Y. and Vereecken, H. 2014. Effect of soil hydraulic properties on the relationship between the spatial mean and variability of soil moisture. *J. Hydrol.* 516: 154–160.
- Matín, P., R. Delgado, M.R. González, and J. I. Gallegos. 2004. Colour of ‘Tempranillo’ Grapes as Affected by Different Nitrogen and Potassium Fertilization Rates. *Acta Horticulturae* 652: 153-159.
- McAdam, S. M. and Brodribb, T. J. 2014. Separating active and passive influences on stomatal control of transpiration. *Plant Physiology*. 164(4): 1578–86.
- Mitchell, S. R., Emanuel, R. E. and McGlynn, B. L. 2015. Land–atmosphere carbon and water flux relationships to vapor pressure deficit, soil moisture, and stream flow. *Agric. For. Meteorol.* 208: 108 –117.
- Mudge, P. L., Wallace, D. F., Rutledge, S., Campbell, D. I., Schipper, L. A., and Hosking, C. L. 2011. Carbon balance of an intensively grazed temperate pasture in two climatically: Contrasting years. *Agriculture, Ecosystems and Environment*, 144(1): 271–280.
- NMX-V-012-1986. Bebidas alcohólicas. Vinos. Especificaciones. Alcoholic beverages. Wines. Specifications. Normas Mexicanas. Dirección Central de Normas (2015). Consulta: 03 de octubre de 2015. Disponible en: <http://www.colpos.mx/bancodenormas/nmexicanas/NMX-V-012-1986.PDF>.
- Nobel, P. S. 2009. *Physicochemical and environmental plant physiology*. Academic Press. Boston, MA, USA. pp. 604.
- OIV, 2015. *World Vitiviniculture Situation*, Organización Internacional de la Viña y el Vino.

- Pascal C. 2005. II encuentro enológico, informe técnico. Gestión de pH en el vino de calidad. pp 1-10.
- Picornell Buendía, M.R. and Melero Martinez, J. 2012. Historia del cultivo de la vid y el vino; su expresión en la biblia. *Revista de la facultad de Educacion de Albacete*, 27: 217–246.
- Poltoradnev, M., Ingwersen, J. and Streck, T. 2014. Calibration and Application of Aquaflex TDT Soil Water Probes to Measure the Soil Water Dynamics of Agricultural Topsoil in Southwest Germany. *Irrig. Drain Eng.* 141(6): 401-407.
- Raines, C. A, 2011. Increasing photosynthetic carbon assimilation in C3 plants to improve crop yield: current and future strategies. *Plant physiology*, 155(1):36–42.
- Ramos, M.C. and Martínez-Casasnovas, J. A. 2006. Impact of land levelling on soil moisture and runoff variability in vineyards under different rainfall distributions in a Mediterranean climate and its influence on crop productivity. *Journal of Hydrology*, 321: 131–146.
- Ruiz-Colmenero, M., Bienes, R. and Marques, M. J. 2011. Soil and water conservation dilemmas associated with the use of green cover in steep vineyards. *Soil and Tillage Research*, 117: 211–223.
- Rutledge, S., Mudge, P. L., Wallace, D. F., Campbell, D. I., Woodward, S. L., Wall, A. M. and Schipper, L. A. 2014. CO<sub>2</sub> emissions following cultivation of a temperate permanent pasture. *Agric. Ecosyst. Environ.* 184: 21–33.
- Scanlon, M. T. and Albertson, J. D. 2004. Canopy scale measurements of CO<sub>2</sub> and water vapor exchange along a precipitation gradient in southern Africa. *Glob. Chang. Biol.* 10: 329-341.
- Schmidt, M., Reichenau, T. G., Fiener, P., and Schneider, K. 2012. The carbon budget of a winter wheat field: An eddy covariance analysis of seasonal and inter-annual variability. *Agric. For. Meteorol.*, 165: 114–126.
- Shimoda, S. et al., 2009. Seasonal contribution of C3 and C4 species to ecosystem respiration and photosynthesis estimated from isotopic measurements of atmospheric CO<sub>2</sub> at a grassland in Japan. *Agric. For. Meteorol.*, 149(3-4): 603–613.
- Shimoda, S., Murayama, S., Mo, W., and Oikawa, T. 2009. Seasonal contribution of C3 and C4 species to ecosystem respiration and photosynthesis estimated from isotopic measurements of atmospheric CO<sub>2</sub> at a grassland in Japan. *Agric. For. Meteorol.* 149(3-4): 603–613.
- SIAP, 2015. Servicio de información agroalimentaria y pesquera (2015). Consulta 16 de octubre del 2015. Disponible en: <http://www.siap.gob.mx/cierre-de-la-produccion-agricola-por-cultivo/>.
- Singh, N., Patel, N. R., Bhattacharya, B. K., Soni, P., Parida, B. R., & Parihar, J. S. 2014. Analyzing the dynamics and inter-linkages of carbon and water fluxes in subtropical pine (*Pinus roxburghii*) ecosystem. *Agric. For. Meteorol.*, 197: 206–218.

- Song, L., Zhu, J., Yan, Q., Li, M., and Yu, G. 2015. Comparison of intrinsic water use efficiency between different aged *Pinus sylvestris* var. *mongolica* wide windbreaks in semiarid sandy land of northern China. *Agrofor. Syst.* 89(3): 477–489.
- Spinelli, R., Nati, C., Pari, L., Mescalchin, E. and Magagnotti, N. 2011. Production and quality of biomass fuels from mechanized collection and processing of vineyard pruning residues. *Applied Energy.* 89(1): 374–379.
- Strilesky, S.L. and Humphreys, E.R., 2012. A comparison of the net ecosystem exchange of carbon dioxide and evapotranspiration for treed and open portions of a temperate peatland. *Agric. For. Meteorol.*, 153:45–53.
- Sun, X. P., Yan, H. L., Kang, X. Y. and Ma, F. W. 2013. Growth, gas exchange, and water-use efficiency response of two young apple cultivars to drought stress in two scion-one rootstock grafting system. *Photosynthetica.* 51(3): 404–410.
- Suyker, A.E. and Verma, S.B., 2012. Gross primary production and ecosystem respiration of irrigated and rainfed maize-soybean cropping systems over 8 years. *Agric. For. Meteorol.*, 165: 12–24.
- Szymański, W., Skiba, M., Wojtuń, B. and Drewnik, M. 2015. Soil properties, micromorphology, and mineralogy of Cryosols from sorted and unsorted patterned grounds in the Hornsund area, SW Spitsbergen. *Geoderma.* 253: 1–11.
- Tagesson, T., Fensholt, R., Cropley, F., Guiro, I., Horion, S., Ehammer, A. and Ardö, J. 2015. Dynamics in carbon exchange fluxes for a grazed semi-arid savanna ecosystem in West Africa. *Agric. Ecosyst. Environ.* 205: 15–24.
- Tong, X. et al., 2014. Biophysical Controls on Light Response of Net CO<sub>2</sub> Exchange in a Winter Wheat Field in the North China Plain. *PLoS ONE*, 9(2): 1–7.
- Tunc, T. and Sahin, U. 2015. The changes in the physical and hydraulic properties of a loamy soil under irrigation with simpler-reclaimed wastewaters. *Agric. Water Manag.* 158: 213–224.
- Wang, Y., Hills, A. and Blatt, M. R. 2014. Systems Analysis of Guard Cell Membrane Transport for Enhanced Stomatal Dynamics and Water, *Plant Phytologist* 164: 1593–1599.
- Webb, E. K., Pearman, G. I. and Leuning, R. 1980. Correction of flux measurements for density effects due to heat and water vapor transfer. *Quart. J. Roy. Meteorol. Soc.* 106(447): 85–100.
- Xiao, J., Sun, G., Chen, J., Chen, H., Chen, S., Dong, G., Gao, S., Guo, H., Guo, J., Han, S., Kato, T., Li, Y., Lin, G., Lu, W., Ma, M., McNulty, S., Shao, C., Wang, X., Xie, X., Zhang, X., Zhang, Z., Zhao, B., Zhou, G., Zhou, J. 2013. Carbon fluxes, evapotranspiration, and water use efficiency of terrestrial ecosystems in China. *Agric. For. Meteorol.*, 182-183: 76–90.

- Xu, Y., Li, W., Shao, X., Xu, Z. and Nugroho, P. 2014. Long-term trends in intrinsic water-use efficiency and growth of subtropical *Pinus tabulaeformis* Carr. and *Pinus taiwanensis* Hayata in central China. *Journal of Soils and Sediments*. 917–927.
- Yamori, W., and von Caemmerer, S. 2009. Effect of Rubisco activase deficiency on the temperature response of CO<sub>2</sub> assimilation rate and Rubisco activation state: insights from transgenic tobacco with reduced amounts of Rubisco activase. *Plant Physiology*, 151(4): 2073–2082.
- Yan, F., Wu, B. and Wang, Y. 2015. Estimating spatiotemporal patterns of aboveground biomass using Landsat TM and MODIS images in the Mu Us Sandy Land, China. *Agric. For. Meteorol.* 200: 119–128.
- Yan, W., Hu, Z., Zhao, Y., Zhang, X., Fan, Y., Shi, P. and Li, Y. 2015. Modeling Net Ecosystem Carbon Exchange of Alpine Grasslands with a Satellite-Driven Model. *Plos One* 200: 119-128.
- Zermeño-González, A. 2007. Balance de energía sobre superficies vegetales y su aplicación en la agricultura, memorias del XVII Congreso Nacional de Ingeniería Agrícola. Bermejillo, Dgo, México, Noviembre de 2007.
- Zermeño-González, A., Ríos-Estudillo, J. . A., Gil-Marin, J. . A., Cadena-Zapata, M., & Villarreal-Quintanilla, J. A. 2011. Dynamics of the energy and carbon dioxide flux above a natural grassland of northern Mexico. *Dinámica Del Flujo de Bióxido de Carbono Y de Energía Sobre Un Pastizal Natural Del Norte de México*, 23(1): 35–42.
- Zermeño-Gonzalez, A., Villalatoro-Moreno, S., Cortes-Bracho, J. Jesus Cadena-Zapata, M., Catalan-Valencia, E. A., Garcia-Delgado, M. A. and Munguia-Lopez, J. P.(2012. Estimación del intercambio neto de CO<sub>2</sub> en un cultivo de caña de azúcar durante el ciclo de plantilla. *Agrociencia* 46: 579–591.
- Zhang, Q., Wang, S., Li, L., Inoue, M., Xiang, J., Qiu, G. and Jin, W. 2014. Effects of mulching and sub-surface irrigation on vine growth, berry sugar content and water use of grapevines. *Agric. For. Meteorol.* 143: 1–8.
- Zhou, L., Zhou, G., and Jia, Q. 2009. Annual cycle of CO<sub>2</sub> exchange over a reed (*Phragmites australis*) wetland in Northeast China. *Aquatic Botany*, 91(2): 91–98.
- Zhu, Z., Ma, Y., Li, M., Hu, Z., Xu, C., Zhang, L. and Ichiro, T. 2015. Carbon dioxide exchange between an alpine steppe ecosystem and the atmosphere on the Nam Co area of the Tibetan Plateau. *Agric. For. Meteorol.* 203: 169–179.