

**UNIVERSIDAD AUTÓNOMA AGRARIA ANTONIO NARRO**

**DIVISIÓN DE INGENIERÍA**

**DEPARTAMENTO DE RIEGO Y DRENAJE**



**Asimilación de bióxido de carbono de una plantación de vid (*Vitis vinífera*  
L.), relación con la humedad del suelo y su efecto en rendimiento y calidad  
de frutos**

**Por:**

**GERMÁN VALERO RODRÍGUEZ**

**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

Asimilación de bióxido de carbono de una plantación de vid (*Vitis vinífera* L.), relación con la humedad del suelo y su efecto en rendimiento y calidad de frutos

POR:

Germán Valero Rodríguez

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 Zermeño González  
Asesor Principal

Ing. Aarón Isain Melendres Álvarez  
Asesor

Dr. Javier De Jesús Cortés Bracho  
Asesor

Universidad Autónoma Agraria  
"ANTONIO NARRO"

Dr. Luis Samaniego Moreno  
Coordinador de la División de Ingeniería



Coordinación de  
Buenavista, Saltillo, Coahuila, México

Diciembre del 2015

## **AGRADECIMIENTOS**

### **A nuestro señor Dios**

En primer lugar agradezco a nuestro señor Dios, por darme fuerza y coraje para hacer realidad este sueño, por darme bendiciones siempre y en toda mi vida, quien me ayudo en cada paso de mi vida, gracias a ti por todo lo que has hecho en mi vida y espero que a donde quiera que valla tu estés a mi lado.

### **A mi Alma Terra Mater**

Ala universidad autónoma agraria Antonio narro, por haberme brindado sus instalaciones, por haberme dado lo necesario y más en mi estancia en ella, por brindarme la oportunidad de terminar un sueño donde pude conocer nuevas personas que ahora son parte de mi vida, y siempre lo serán.

### **Dr. Alejandro Zermeño González**

Por todo su valioso tiempo, apoyo, paciencia y los conocimientos brindados al resolver tantas dudas durante la elaboración y corrección de este trabajo de tesis, pero además agradezco por la amistad y confianza que me brindo, así como los conocimientos brindados en todas sus clases.

### **Ing. Aarón Isain Melendres Álvarez**

Por su amistad, atención, palabras de ánimo que me ayudaron a seguir adelante, por su valioso tiempo para la realización y revisión de este trabajo, además por apoyar moralmente, ser un amigo a pesar del poco tiempo, gracias por las enseñanzas.

**Dr. Javier de Jesús Cortés Bracho**

Por sus conocimientos compartidos a lo largo de mi carrera, las materias cursadas con usted son de mucha importancia para mí, gracias por su valioso tiempo en la revisión de este trabajo de tesis.

**A mis compañeros de carrera**, Pinto, El Roy, Matius, Manuel, Posada, Vaca, Cosme, Piter, Chuy, Alfaro, Beymar, Rudy. Pero en especial a mis amigos Irving (El Timy), Cristino (El Chivo), Martin (Vaquita), Mario (Barreto). Y a mis mejores amigos Luis Alberto (El Wicho) y Orlando (Jalisco) gracias por estar conmigo toda la carrera, saber llevarla de la mejor manera, los momentos a su lado fueron de los mejores, siempre los llevare conmigo. Saludos ingenieros, Buitres Por Siempre.

Y a todos aquellos profesores, conocidos, compañeros y amigos que de alguna u otra manera contribuyeron en mi formación profesional muchas gracias.

## DEDICATORIAS

**Dios** gracias a ti todo es posible, gracias a ti esto fue posible tu estuviste conmigo siempre y sé que nunca me abandonarás a donde valla ahí estarás.

A mi padre **Victorio Valero Ortiz** (†), la verdad no se cuanta falta me hiciste en la vida porque nunca supe que lo que fue tenerte, pero te agradezco a ti por ser mi padre sé que dios te llevo con él porque sabía que estabas mejor con él y nosotros podíamos aprender a vivir sin ti, te agradezco todo lo bueno en mi vida y sé que las bendiciones que a mi llegan son porque tú abogas por mí.

A mi madre **Columba Rodríguez Ortiz**, por aprender a ser una madre y un padre para mí y para mis hermanos, sé que velaste por nosotros todas de las noches de tu vida, nunca acabare de pagarte todo lo que has hecho por mí, siempre me has brindado el cariño sin dudar ni pedir nada a cambio, por ser la base más importante en toda mi vida, un cimiento que siempre tendré presente serán tus consejos, tus platicas, ya que usted sabe todo lo que ha pasado en mi vida mamá gracias por todo, nunca terminaría de decir todo lo que hiciste por mí.

A mis hermanos **Fidel y Saulo Valero**, no sé si ustedes algún día puedan leer esto pero les agradezco por todo el apoyo moral y económico, por los momentos de la niñez que pase junto a ustedes, los extraño.

A mis hermanas **Gregoria y Eusebia Valero**, gracias por tanto cariño y amor que siempre me han demostrado sin pedir nada a cambio, ustedes son como otras mamás para mí, siempre preocupándose por mí, les doy las gracias por todo.

A mi tío **Emigdio Valero Ortiz**, por apoyarme en todo le doy gracias a Dios porque personas como usted existen y más porque me dio el privilegio de que estén a mi lado y sé que siempre me apoyara en todo muchas gracias.

A **Etelberto Cortes Solórzano**, por ser como un padre para mí, apoyarme en todo y siempre ser sincero conmigo, sin andar con rodeos me has apoyado en todo de la mejor manera, muchas gracias espero poder pagarte algún día todo.

A mis hermanos que la vida me dio **Beatriz y Etelberto Cortez**, ustedes han sido unos hermanos más en mi vida, doy gracias a dios por ponerlos en mi camino y espero haber sido una persona de bien en sus vidas, gracias por poder compartir su vida y su casa conmigo y mi mamá.

**A mis sobrinos y sobrinas**, José miguel, Ángeles, Brayán, Henri, Linet, Luis, Britany, Dylan.

**A mis primos** de sangre y que la vida me dio les doy gracias aquellos que estuvieron en mi niñez y los de mi adolescencia, Antonio (Antoniooo), Gustavo (Panda - ing. Chocorrol), Eslit (La lisa), Rubén (El Rufis), Alfonso (El telas), Benjamin (La Bola), Zury (zurita). Pero en especial a mi primo y amigo de vida, Fernando (Feñi) con quien he convivido desde primaria hasta ahora, y espero siempre.

Y en especial a ti **Verenice Quevedo Gadea**, por ser la mujer de mi vida, por estar conmigo en cada momento de mi carrera, por tu apoyo incondicional, sabes que esto lo hice por ti, por mí, por nosotros, que lo hicimos juntos gracias por todos y cada uno de los momentos a tu lado, le pido a Dios que sean muchos más ya que ahora comenzara una nueva etapa en mi vida y me gustaría que tu estés en ella.

## ÍNDICE DE CONTENIDO

AGRADECIMIENTOS.....	III
DEDICATORIAS.....	V
ÍNDICE DE CONTENIDO.....	VII
ÍNDICE DE FIGURAS.....	IX
ÍNDICE DE CUADROS.....	X
RESUMEN.....	XI
I. INTRODUCCIÓN.....	1
HIPÓTESIS.....	4
OBJETIVO.....	4
II. REVISIÓN DE LITERATURA.....	5
2.1 Origen y características botánicas de la vid.....	5
2.1.1 Origen.....	5
2.1.2 Características botánicas de la vid.....	6
2.2 Importancia de la vid a nivel mundial y para México.....	7
2.2.1 A nivel mundial.....	7
2.2.2 En México.....	8
2.3 Manejo agronómico del cultivo de la vid.....	10
2.3.1 Establecimiento.....	10
2.3.2 Propagación.....	10
2.3.3 Sistema de conducción.....	11
2.3.4 Podas.....	12
2.3.5 Nutrición.....	14
2.3.5 Riego.....	15
2.4 Importancia del riego oportuno en la producción.....	17
2.5 Intercambio neto de carbono de un ecosistema vegetal.....	19
2.6 Estudios previos de mediciones de NEE sobre diferentes superficies vegetales.....	20
2.7 Reportes previos de reportes de NEE en plantaciones de vid.....	21
2.8 Estudios previos sobre la relación entre NEE y el contenido de agua en el suelo en diferentes superficies vegetales.....	22

III. MATERIALES Y MÉTODOS.....	23
3.1 Ubicación del sitio de estudio .....	23
3.2 Características físicas y químicas del suelo del área de estudio.....	24
3.3 Manejo agronómico de la plantación .....	24
3.4 Mediciones e instrumentación .....	25
IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN .....	30
4.1 Propiedades físicas y químicas del suelo de cada sección .....	30
4.2 Contenido de humedad del suelo .....	31
4.3 Tasa de asimilación de bióxido de carbono.....	36
4.4 Rendimiento y calidad de frutos .....	43
V. CONCLUSIONES.....	46
VI. BIBLIOGRAFÍA.....	47



## ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. El viñedo en el mundo, datos 2008-2014 OIV. Fuente: OIV 2014. ....	8
Figura 2. Producción nacional de uva por entidad 2012. Fuente SIAP-SAGARPA.....	9
Figura 3. Ubicación de los sensores de medición en la parte media del extremo oeste de cada sección (mayor y menor porosidad), donde los vientos dominantes provienen del este. ....	26
Figura 4. Cambios en la humedad del suelo (promedios de 30 min) durante el ciclo de producción del viñedo (Mayo-Agosto, 2014), a) Desarrollo Vegetativo, b) Floración y c) Fructificación. En dos viñedos (cv Shiraz) en suelo de diferente porosidad. Vinícola San Lorenzo, Parras, Coahuila, México. ....	33
Figura 5. 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. ....	40
Figura 6. 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). ....	41

## ÍNDICE DE CUADROS

Cuadro 1. Propiedades químicas del suelo de cada una de las plantaciones con mayor y menor porosidad, Vinícola San Lorenzo, Parras de la fuente, Coahuila, México. ....	31
Cuadro 2. Propiedades físicas del suelo de cada una de las plantaciones con mayor y menor porosidad, Vinícola San Lorenzo, Parras de la fuente, Coahuila, México. ....	31
Cuadro 3. Valores promedio (segmentos de 30 min) de contenido de humedad volumétrico del suelo ( $\theta_v$ ) a través del ciclo de producción (Mayo – Agosto 2014), de dos secciones de un viñedo (cv Shiraz) con suelo de diferente porosidad. Vinícola San Lorenzo, Parras, Coahuila, México. ....	34
Cuadro 4. Resultados de la prueba no paramétrica para poblaciones de contenido de humedad (Wilcoxon $\alpha \leq 0.01$ ). En el suelo de mayor porosidad (HUM1) contra suelo de menor porosidad (HUM2).....	35
Cuadro 5. Tasa mensual del intercambio diurno neto de bióxido de carbono (NEE) en dos secciones de un viñedo cv Shiraz de diferente porosidad. Vinícola San Lorenzo, Parras de la Fuente, Coahuila, México, año de producción 2014. ....	42
Cuadro 6. Resultados de la prueba no paramétrica para poblaciones de NEE (Wilcoxon $\alpha \leq 0.01$ ). En el suelo de mayor porosidad (NEE1) contra suelo de menor porosidad (NEE2). ....	43
Cuadro 7. Rendimiento y calidad de frutos correspondientes al ciclo de producción (Mayo – Agosto 2014). En dos secciones de un viñedo (cv Shiraz) con suelo de diferente porosidad. Vinícola San Lorenzo, Parras de la fuente, Coahuila, México. ....	45

**Asimilación de bióxido de carbono de una plantación de vid (*Vitis vinífera* L.), relación con la humedad del suelo y su efecto en rendimiento y calidad de frutos.**

Correo electrónico; Germán Valero Rodríguez, [ger.roval@hotmail.com](mailto:ger.roval@hotmail.com)

**RESUMEN**

El crecimiento y rendimiento de un cultivo está relacionado con la tasa de asimilación de bióxido de carbono (CO<sub>2</sub>) del dosel, que depende del contenido de agua en el suelo. Este a su vez, es función de la porosidad del suelo, ya que esta determina la capacidad de retención de agua del suelo. Por lo que, el objetivo de este estudio fue evaluar el efecto de la porosidad del suelo en el contenido de agua y su impacto en la tasa de intercambio neto de bióxido de carbono (NEE) del dosel de un viñedo (cv Shiraz) a través de su ciclo de producción, y su relación con el rendimiento y calidad del fruto. El estudio se realizó en la Vinícola San Lorenzo, Parras, Coahuila, durante el ciclo de producción de abril a septiembre de 2014 en dos secciones de 5.2 ha dentro del viñedo mencionado. La porosidad se determinó por medio de la densidad aparente y la densidad de partículas. Los cambios en la humedad del perfil superior del suelo se midieron continuamente utilizando sondas TDR fijas en cada sección. El NEE se obtuvo midiendo la asimilación de CO<sub>2</sub> colocando un sistema eddy en cada sección. El valor de la porosidad promedio del suelo de la sección del viñedo (orientación Este) fue 0.385 cm<sup>3</sup> cm<sup>-3</sup> y 0.306 en la de

orientación Oeste. Esto representó una diferencia de 25.82 %, que tuvo un marcado efecto en la humedad del suelo a través del ciclo de producción del viñedo, ya que el contenido volumétrico de agua promedio del suelo fue 23.73 % mayor (Wilcoxon,  $\alpha \leq 0.01$  %) en el suelo con más porosidad. La mayor disponibilidad de agua en el suelo aumentó la tasa promedio diaria de asimilación de CO<sub>2</sub>, ya que en la sección de mayor porosidad fue -49.46 mol CO<sub>2</sub> m<sup>-2</sup> y en la de menor porosidad -37.98 mol CO<sub>2</sub> m<sup>-2</sup>, que correspondió a una diferencia de 30.22 % (Wilcoxon,  $\alpha \leq 0.01$  %). La tasa superior de NEE por efecto de un contenido más alto de humedad del suelo, resultó en un incremento de 13.53 % kg de fruto por planta y 3.78 % en el pH del jugo de las uvas (Tukey,  $\alpha \leq 0.05$  %), pero no hubo efecto ni en los grados Brix ni en la acidez.

**Palabras clave:** Porosidad del suelo, fotosíntesis, covarianza eddy, *Vitis vinifera*

## I. INTRODUCCIÓN

El intercambio neto de bióxido de carbono de un ecosistema se define como el balance entre la captación de bióxido de carbono mediante fotosíntesis de las plantas y la emisión de bióxido de carbono a través de la respiración de las plantas y el suelo (Martens *et al.*, 2004; Chapin *et al.*, 2006).

La captación de CO<sub>2</sub> por los ecosistemas vegetales terrestres constituye un componente importante en el balance global de carbono (UNESA, 2005). Estudio realizado por la NASA (por sus siglas en inglés: National Aeronautics and Space Administration) reveló que los bosques tropicales absorben anualmente 1.4 mil millones de toneladas métricas de CO<sub>2</sub> de los 2.5 mil millones que son absorbidos de forma natural en el planeta (Schimel *et al.*, 2015).

La disponibilidad del agua es un aspecto importante en muchas áreas de producción de uva de vinificación, principalmente durante la temporada de crecimiento (Jones *et al.*, 2005). El rendimiento mayor de un viñedo (*Vitis vinifera* L.) se obtuvo con la frecuencia de riego más alta (Myburgh, 2012).

Martínez-ballesta *et al.*, (2009) mencionan que la falta de humedad en los suelos, altera la estructura y metabolismo de las plantas, afectando su crecimiento y su función como secuestradoras de CO<sub>2</sub>. La baja disponibilidad de humedad en el suelo limita la actividad fotosintética, incluso más que las altas temperaturas. La máxima asimilación neta de CO<sub>2</sub> se produce en ausencia

de estrés hídrico (Baeza, 1994). El aumento de la disponibilidad de humedad en el suelo, es un factor que favorece la asimilación neta de CO<sub>2</sub>, al disminuir la fotorrespiración (Foyer *et al.*, 2009). Así mismo, Guo *et al.*, (2014) mencionan que el intercambio neto de CO<sub>2</sub> de una plantación de vid aumentó significativamente después de la aplicación del riego, debido al incremento de la conductancia de los estomas.

La vid generalmente se planta en forma de enrejado vertical en fila única con amplios espacios de pasillo a fin de asegurar suficiente iluminación y una ventilación favorable. Debido a esto, la vid se considera como un cultivo en hileras, y al tener una mayor área de suelo desnuda (pasillo) con una menor superficie del dosel, tiene un menor intercambio neto de CO<sub>2</sub> que las vegetaciones de cobertura completa como maíz, sorgo, trigo, alfalfa (Li *et al.*, 2015; Wang *et al.*, 2015).

El intercambio neto de bióxido de carbono en el cultivo de vid depende de la etapa fenológica, ya que las hojas jóvenes y turgentes muestran mayor tasa de asimilación (Guo *et al.*, 2014). Adicionalmente, el intercambio neto de bióxido de carbono depende de la variedad y la edad de las plantas en la que se realicen las mediciones (Alsina *et al.*, 2011).

Diversos estudios previos se han realizado para evaluar la relación entre el intercambio neto de CO<sub>2</sub> (NEE) de diferentes ecosistemas con las variables climáticas y biológicas. Por ejemplo, Ohkubo *et al.*, (2015) analizaron la tasa de cambio del NEE de un cultivo de trigo (*Triticum aestivum* L.) en sus diferentes

etapas de desarrollo y diferentes condiciones meteorológicas. Cabral *et al.*, (2011) observaron una tasa mayor de NEE de una plantación de eucalipto (*Eucalyptus sp. Div*) en un año de mayor contenido de agua en el suelo. Rutledge *et al.*, (2015) reportaron que el NEE de un pastizal Rye Grass perenne (*Lolium perenne*) y trébol blanco (*Trifolium repens*) en un ciclo de cuatro años dependía de la humedad del suelo y la temperatura del aire. Zhang *et al.*, (2013) observaron en una huerta de Peral (*Pyrus bretschneideri Rehd*) que la tasa de NEE fue mayor en condiciones de alto contenido de humedad en el suelo.

Para una plantación de olivo (*Olea europaea L.*), la mayor asimilación de CO<sub>2</sub> se observó en la huerta donde el riego se aplicó en forma óptima (frecuencia y cantidad) con respecto a la huerta con riego deficitario (Villalobos *et al.*, 2012). De igual forma, Guo *et al.*, (2014) observaron una tasa mayor de NEE de una plantación de vid (*Vitis vinífera L.*) en condiciones de alto contenido de agua en el suelo. Debido a que el contenido de humedad del suelo afecta el intercambio neto de dióxido de carbono, el objetivo de este estudio fue evaluar el efecto del contenido de humedad del suelo en la tasa de intercambio neto de dióxido de carbono, su relación con el desarrollo del cultivo y las condiciones meteorológicas.

## **HIPÓTESIS**

El contenido de humedad del suelo de una plantación de vid tiene relación con la tasa de intercambio neto de bióxido de carbono y con el rendimiento y calidad de los frutos.

## **OBJETIVO**

Evaluar el efecto del contenido de humedad del suelo en la tasa de intercambio neto de bióxido de carbono, y su efecto en el rendimiento y calidad de los frutos.



## II. REVISIÓN DE LITERATURA

### 2.1 Origen y características botánicas de la vid

#### 2.1.1 Origen

Las primeras plantas de vid aparecieron hace, aproximadamente, 6.000 años (Enjalbert, 1975; Martínez de Toda y Sancha, 1997). La vid en estado silvestre era una liana dioica, trepadora que crecía, durante la Era Terciaria, apoyada sobre los árboles del bosque templado del Círculo Polar Ártico, donde se encuentra la levadura exógena llamada *Saccharomyces cerevisiae*, responsable de la fermentación del mosto (jugo de uva) y su posterior transformación en vino (Martínez de Toda y Sancha, 1997). Así apareció la *Vitis praevinifera* que es la forma más antigua de hoja pentalobulada, el *V. salyorum* de hoja no recortada y el *V. teutónica*, posteriormente en la Era Cuaternaria se tienen fósiles del *V. aussoniae* y el *V. vinífera* (Duque y Yáñez, 2005).

De la especie *V. vinífera* se derivan las principales variedades comerciales cultivadas, tanto para consumo en fresco como para elaboración de vino (Almanza, 2011).

El género *Vitis* comprende aproximadamente 65 especies de arbustos o parras caducifolias, reptantes o trepadoras, de la familia de las vitáceas. (Columela, 2011).

Históricamente, en América el cultivo de la vid comenzó hasta 1942 con la llegada de los españoles, al ser un pueblo que tenía tradicionalmente

incorporado el vino en su dieta y debido a que solicitaban grandes cantidades de vino para su consumo, las cuales eran difíciles de satisfacer por las dificultades de navegación y lejanía de los puertos de origen (Navarro, 2008).

### **2.1.2 Características botánicas de la vid**

La vid (*Vitis vinifera* L.), podría definirse como aquel arbusto o planta leñosa trepadora, caducifolia, que se cultiva por sus frutos comestibles y viníficos (Sánchez-Monge y Parellada, 2001).

La planta de vid está formada por el patrón (*Vitis spp.*) y por la parte aérea (*Vitis vinifera* L.), denominada púa o variedad (Martínez de Toda, 1991).

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

Las Cormofitas (plantas con raíz, tallo y hoja, autótrofas con clorofila y reproducción constante sexual además de la vegetación).

Tipo fanerógama o espermafita (plantas con flores y semillas)

Subtipo angiospermas (plantas con semillas cerradas en un ovario).

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

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

Familia vitácea (flores con corola de pétalos soldados superiormente y de prefloración valvar, con cáliz poco desarrollados, gineceo generalmente bicarpelar y bilocular, con fruto en baya).

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

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

### **2.2.1 A nivel mundial**

Tradicionalmente, la vid es cultivada entre los paralelos 30 y 50 del hemisferio Norte y 30 y 45 del hemisferio Sur; en longitudes superiores, los viñedos sufren daños a nivel celular por los rigores del invierno, y la uva no logra la maduración, según Fregoni (2007).

La vid se cultiva en los cinco continentes: teniendo Europa alrededor del 46% del total de la superficie y el resto los continentes restantes, los principales países son: con la mayor superficie España con 1, 021,000 ha (13.52%), en este año China ocupa el segundo lugar con 779,000 ha (10.58%) y tercero Francia 690,000 ha (10.48%). Según datos de la OIV (Organización Internacional de la Viña y el Vino), en 2014 la superficie vitícola mundial se mantiene estable respecto a 2013, estimándose el total mundial en 7.554.000 ha (OIV, 2014).

Aproximadamente, un 66% de la recolección mundial de la uva se dedica a la producción vinícola; el resto es para su consumo como fruta (OIV, 2012). En la Figura 1 se muestra la superficie de vid establecida en los diferentes países del mundo de 2008 al 2014 (OIV, 2014).

**El viñedo en el mundo**  
Fuente: Datos OIV; elaboración OeMv

Datos (miles Ha)	Datos					Prov.	Prev.	% s/ total
	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	
España	1.165	1.113	1.082	1.032	1.017	1.021	1.021	13,52%
Francia	858	836	818	796	792	793	792	10,48%
Italia	825	812	795	720	712	705	690	9,13%
Portugal	246	244	244	236	233	229	224	2,97%
Rumania	207	206	204	191	192	192	192	2,54%
Otros UE	491	479	474	461	483	478	480	6,35%
<b>Total UE</b>	<b>3.792</b>	<b>3.692</b>	<b>3.654</b>	<b>3.468</b>	<b>3.429</b>	<b>3.418</b>	<b>3.399</b>	<b>45,00%</b>
EEUU	402	403	404	413	412	424	425	5,63%
Turquía	518	515	514	508	497	504	502	6,65%
China	480	518	539	633	709	760	799	10,58%
Argentina	226	229	217	219	222	224	227	3,01%
Chile	198	199	200	206	206	208	211	2,79%
Sudáfrica	132	132	132	133	135	133	132	1,75%
Australia	173	176	171	170	162	157	152	2,01%
<b>Total no UE</b>	<b>3.945</b>	<b>4.009</b>	<b>3.933</b>	<b>3.324</b>	<b>3.386</b>	<b>3.443</b>	<b>3.525</b>	<b>46,66%</b>
<b>TOTAL MUNDO</b>	<b>7.737</b>	<b>7.702</b>	<b>7.672</b>	<b>7.497</b>	<b>7.498</b>	<b>7.546</b>	<b>7.554</b>	<b>100,00%</b>

Figura 1. El viñedo en el mundo, datos 2008-2014 OIV. Fuente: OIV 2014.

## 2.2.2 En México

En México la superficie cultivada de vid en el año 2014 fue de 29 466.33 ha con un rendimiento medio de 12.33 ton ha<sup>-1</sup>, a pesar de tener poca área sembrada en el país la vid ocupa el lugar 26 en valor de la producción, con el 1.09% del total. Hoy en día, el 75% del volumen se consume como fruta, el 22%

se procesa industrialmente ya sea para elaboración de vino, brandy, jugos, mermeladas, etc., y el 3% restante se consume como uva pasa (SIAP ,2014).

En México son quince las entidades que producen vid, pero el estado de Sonora es el principal productor por mucho, ya que en el 2012 apporto el 80.8% del total de producción y el 91.9% del valor de la producción, los estados que le siguen son Zacatecas, Baja California, Aguascalientes y Coahuila (SHCP, 2012).

En el país existen aproximadamente 3,600 hectáreas de uva para vino, 110 productores y alrededor de 400 etiquetas diferentes, además, el vino es el producto agroindustrial más globalizado del mundo (El Economista, 2013).

### Producción Nacional de Uva por Entidad en 2012

Estado	Volumen		Valor	
	Miles de Toneladas	Participación	mdp	Participación
Sonora	303.1	80.8%	6,518.4	91.9%
Zacatecas	28.6	7.6%	200.3	2.8%
Baja California	25.3	6.8%	266.8	3.8%
Aguascalientes	11.4	3.0%	41.6	0.6%
Coahuila	2.7	0.7%	29.0	0.4%
Querétaro	1.8	0.5%	21.1	0.3%
Resto del país	2.3	0.6%	16.5	0.2%
<b>Total Nacional</b>	<b>375.3</b>	<b>100.0%</b>	<b>7,093.7</b>	<b>100.0%</b>

Fuente: SIAP-SAGARPA.

Figura 2. Producción nacional de uva por entidad 2012. Fuente SIAP-SAGARPA.

El vino mexicano ocupa 30% del mercado en el país, es decir, todo el vino que se produce se consume. El consumo de México entre el 2000 y el 2010 se duplicó, de 27 millones de litros a 55 millones de litros de vino.

Se estima que en el 2020 se va a triplicar el consumo, a 180 millones de litros anuales. De éstos, se espera que la mitad sea de vinos mexicanos, es decir, la industria vitivinícola espera crecer en participación de mercados de 30 a 50 por ciento (El Economista, 2013).

## **2.3 Manejo agronómico del cultivo de la vid**

### **2.3.1 Establecimiento**

El viñedo se debe establecer después de analizar los factores edafoclimáticos de la región seleccionada; en uvas para elaborar vinos, estos factores son importantes para asegurar la denominación de origen (DO). Después de abordar estas consideraciones, Reynier (1995) señala que se debe realizar un análisis de suelo, seguido de la preparación del terreno, el diseño de la plantación y las diferentes labores correspondientes a la siembra.

### **2.3.2 Propagación**

Las vides pueden ser propagadas sexualmente, mediante semillas, y a través de métodos asexuales por: acodos, estacas, injerto (púa o de yema) y micropropagación. Comercialmente, los métodos de propagación más utilizados

para el establecimiento de viñedos son los injertos y las estacas. Las semillas se utilizan para trabajos de producción de nuevas variedades (Reynier, 1995).

La mayoría de variedades se propagan fácilmente mediante estacas. El material que se va a establecer en el vivero se colecta durante el periodo de reposo, normalmente como resultado de la poda. Se utilizan sarmientos bien desarrollados, que tengan entre 0,80 y 1,20 cm de diámetro, y entre 30 y 40 cm de longitud (Reynier, 1995).

### **2.3.3 Sistema de conducción**

En lo que entra al sistema de conducción Salazar y Melgarejo (2005) afirman que se conocen más de 50 sistemas de conducción, pero los más usuales no pasan de una decena; estos sistemas dependen de las condiciones agroclimáticas y de las variedades; los más conocidos son: espaldera en Guyot simple y doble, emparrado alto en tres o cuatro brazos, sistema lira y cordón royat.

El soporte o sistema de conducción utilizado en el cultivo de uva de vinificación es llamado espaldera; consiste en instalar una serie de postes en línea, formando un soporte de tres alambres número 12 o 14, que se colocan a una altura de 50, 90 y 1,30 cm sobre el suelo. Los postes, de madera o concreto, se ubican cada 6 m sobre las líneas de los surcos, y van enterrados 30 o 40 cm; en los extremos de cada espaldera se colocan cabeceras para

tensionar los alambres. Este soporte facilita las labores culturales del cultivo, y aumenta la insolación de los racimos, mejorando la maduración y síntesis de polifenoles (Reynier, 1995).

#### **2.3.4 Podas**

El control de la vegetación y el equilibrio entre vegetación y frutos son considerados una actividad importante en la viticultura (Salazar y Melgarejo, 2005). Ryugo (1993) afirma que una técnica de poda adecuada y un buen sistema de conducción son los factores reguladores de la producción de frutos, de la calidad y del vigor de la planta. Una poda excesiva acelera el vigor y estimula el crecimiento vegetativo, pero fomenta el aborto de flores y frutos, originando bajos rendimientos; los frutos resultantes son grandes, sin la coloración típica de la variedad y con bajos contenidos de azúcar. En tanto, la falta de poda fomenta la emisión de brotes pequeños y débiles, con frutos pequeños que maduran lentamente, los contenidos de sólidos solubles son bajos y los ácidos orgánicos, muy altos, produciendo frutos de mala calidad. Además, se presenta un desbalance entre las demandas fisiológicas y la fuente, que debilita la planta a largo plazo. El secreto de una exitosa producción reside en balancear el rendimiento con el vigor de la planta; por ello es necesario dar un tiempo suficiente para que se trastoquen los carbohidratos hacia los órganos de reserva.



La poda es una práctica que busca conducir cepas a una iluminación óptima y conseguir que los racimos tengan buena aireación e iluminación. El objetivo de la poda comienza con la formación de las cepas para adaptarlas al sistema en donde se hará el manejo de la plantación; a continuación se realizan las podas de producción, destinadas a conseguir la calidad y cantidad de uva deseada; dentro del cultivo se pueden realizar podas de rejuvenecimiento o de transformación, para cambiar el tipo de conducción o de variedad (Salazar y Melgarejo, 2005).

- Poda de formación. En vides para vino, la rama se deja crecer hasta el alambre superior del sistema de espaldera y se poda sobre el alambre inferior, dejando crecer las dos ramas que nacen en el extremo superior del tronco; en algunas variedades se requieren varios ciclos de crecimiento para formar el tronco.
- Poda de producción. En las variedades para vino la primera poda de producción se realiza entre los 21 y los 28 meses después de siembra; se parte de los dos sarmientos (ramas) dejados en la poda de formación, cuando está en reposo se corta una rama larga (8-12 yemas) y otra corta (2-3 yemas), para formar el sistema de conducción llamado Guyot simple. A partir de este momento y cada 6-7 meses, cuando las plantas están en reposo, se realizan podas de producción, siempre dejando un pulgar y una rama larga; en algunos casos se dejan dos ramas largas que se doblan para formar un Guyot doble. Después de cada poda es

necesario proteger los cortes con un cicatrizante; comúnmente se utilizan pinturas a base de agua (colores claros), a las que se les agregan productos para control de hongos.

En algunos cultivos de vid se realizan poda de rejuvenecimiento o de renovación, que consiste en hacer cortes en el tronco para obligar a la cepa a emitir nuevos pámpanos que se pueden injertar y convertir en nuevos troncos. Reynier (1995), Martínez de Toda (1991) y Salazar y Melgarejo (2005) mencionan que este tipo de poda no es conveniente cuando las plantas están demasiado viejas, pues los rendimientos son bajos, debido a que la raíz envejece y se pierde vigorosidad. En variedades para vino se pierde, con el tiempo, producción, pero mejora la calidad; la vida útil es de 25 a 30 años (Reynier, 1995).

### **2.3.5 Nutrición**

En el cultivo de la vid para realizar una adecuada fertilización es necesario ajustar los aportes de los fertilizantes, en cada etapa fenológica, con las necesidades del cultivo, el análisis de la planta da una información precisa y rápida del estado nutritivo de la vid. 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), es recomendable realizar análisis foliares, por lo menos, cada tres a cuatro cosechas. Algunos países utilizan el análisis de la hoja completa –método francés–; otros, solo el

peciolo –método de California–, o bien, solo el limbo de la hoja –método sudafricano– (Rojas, 2009).

En la etapa de producción es recomendable establecer un plan de fertilización, con el objetivo de restituir al suelo los elementos extraídos durante el desarrollo vegetativo, la fructificación y la acumulación como reserva. Champagnol (1990) afirma que el 50% de los fertilizantes son utilizados por los frutos; el 25%, por las hojas, y el 25% son restituidos a los sarmientos, tronco y raíces. Martínez de Toda (1991) indica que el 42% de los azúcares de los frutos de la siguiente cosecha es aportado por las reservas, y el 58% restante son elaborados durante el metabolismo en curso. 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.

### **2.3.5 Riego**

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).

Veihmeyer y Hendrickson (1950), citado por Pire *et al.* (1989), catalogaron a la vid como un cultivo resistente por su poder de supervivencia en condiciones de extrema sequía. Los requerimientos de humedad en *V. vinífera* dependen de la variedad y el ciclo fenológico en que se encuentre la planta. Al respecto, Sellés *et al.* (2000) Mencionan que es necesario contar con un coeficiente del cultivo ( $K_c$ ), que relacione la demanda evaporativa de la atmósfera y un factor que relacione esta evapotranspiración con la de la vid, a través de sus distintos periodos fenológicos, demostró 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. Para programar el riego es esencial estimar la evapotranspiración real de la vid y la cantidad de agua que puede almacenar el suelo en la zona de raíces. La programación del riego, es entonces un procedimiento que permite establecer el momento oportuno del riego y la cantidad exacta de agua a aplicar en el viñedo. Sin embargo, esta técnica requiere de la calibración local de algunos parámetros incorporados en su algoritmo tales como: coeficiente de cultivo, criterio de riego y componentes del balance de energía (Ortega-Farias *et al.*, 2004).

Los riegos localizados (goteros) presentan ventajas frente a los demás porque son económicos, aumentan la eficiencia de la aplicación, hay mayor

control sobre el tiempo y la frecuencia del riego, la aplicación de fertilizantes es exacta y oportuna (fertirriego), mayor facilidad de manejo, menor empleo de mano de obra y disposición para utilizarlos en terrenos planos o en pendiente (Sellés *et al.*, 2000).

## **2.4 Importancia del riego oportuno en la producción**

Existen variados métodos para conocer el estado hídrico del viñedo y van desde los que evalúan el contenido de agua en el suelo hasta determinaciones directas sobre las plantas. A modo de ejemplo se mencionan algunos de los más conocidos (Prichard *et al.*, 2003, Vallone 2003, Vallone *et al.*, 2004). En suelo, se pueden dividir dos grandes categorías los que miden el contenido de agua en el suelo y los que miden la energía de retención. Dentro del primer grupo están los métodos directos como el gravimétrico y los indirectos neutrométricos, dieléctricos, etc. Los que miden la energía de retención también se clasifican en directos ejemplo tensiómetros e indirectos como los bloques de resistencia eléctrica.

Para la producción de cultivos, el agua lo es todo. Aunque el agua es fundamental para el crecimiento de las plantas y su supervivencia, las fuentes de agua y el control sobre ellas pueden variar de manera sustancial entre los diferentes cultivos, las uvas viníferas (*Vitis vinífera* L.) se adaptan bien a la escasez de agua debido a que sus raíces pueden buscar eficazmente la humedad.

En general, cuando se les suministra suficiente agua o exceso de la misma, todas las variedades de uva prefieren crecer vegetativamente, las estrategias de irrigación en regiones áridas, en donde se cultivan uvas para vino, están designadas a optimizar la calidad de la fruta, influenciar el potencial del estilo de vino deseado y controlar el vigor del dosel. Por ejemplo, se ha visto que existe una influencia considerable del régimen hídrico sobre las características organolépticas del vino (Acevedo *et al.*, 2004). Lo anterior concuerda con lo obtenido por varios autores, quienes observaron diferencias importantes en la composición química del fruto, mostos y vinos, regados con distintas cargas de agua. En consecuencia, la calidad del vino puede ser asociada en términos de tamaño de bayas, acumulación de azúcares, acidez total, intensidad colorante, pigmentos totales y concentración de polifenoles, antocianinas y taninos (Peterlunger *et al.*, 2002). Así mismo, La disminución del aporte hídrico reduce en forma significativa el crecimiento vegetativo, el peso y diámetro de bayas, lo que se traduce en una disminución del rendimiento. El periodo comprendido entre brotación y pinta determina las mayores disminuciones de estas variables (Ferreira *et al.*, 2000).

El intercambio neto de bióxido de carbono es un factor que se ve afectado por el aporte hídrico a las plantas, esto debido a que el estrés aumenta el ácido abscísico (ABA), una hormona vegetal que es comúnmente producida como respuesta a factores de estrés ambiental y en este caso se produce en las raíces como consecuencia de la sequedad del suelo Moyer *et al.*, (2015). El

ABA se transporta a través del xilema de la planta (vasos conductores de agua) a los brotes, lo que le indica a las hojas que deben de cerrar sus estomas (poros diminutos en el envés de las hojas que facilitan la entrada del dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>) y la salida de agua y oxígeno). El ABA puede inhibir el crecimiento de brotes y puede también impedir otras actividades hormonales. Según Moyer *et al.*, (2015) desafortunadamente, una consecuencia de esta reacción al estrés hídrico es que el cierre de los estomas evita la pérdida de agua, pero también reduce la entrada de CO<sub>2</sub>. Esta reducción en la entrada de CO<sub>2</sub> a la planta disminuye la fotosíntesis y consecuentemente la asimilación de carbono (la producción de carbohidratos de uso inmediato y de reserva).

## **2.5 Intercambio neto de carbono de un ecosistema vegetal**

El intercambio neto de bióxido de carbono de un ecosistema se define como el balance entre la captación de bióxido de carbono mediante fotosíntesis de las plantas y la emisión de bióxido de carbono a través de la respiración de las mismas y el suelo (Martens *et al.*, 2004, Chapin *et al.*, 2006). La diferencia es convertida en biomasa. El contenido de carbono en ésta suele oscilar entre el 45-50 % del peso seco de la planta (FAO, 2002). En la vid, la cantidad de materia seca de los racimos corresponde aproximadamente al 45-50% de la materia seca de la planta (Mota *et al.*, 2010; Williams, 1996). Por otra parte, según Mota *et al.* (2010) el contenido de carbono (en base al peso seco) de los racimos de la vid corresponden al 45-50% aproximadamente. Existen distintas

formas de cuantificar los flujos de carbono dependiendo de la escala de análisis utilizada, definiéndose el área de observación, el tiempo en que se llevan a cabo las mediciones y la continuidad de los datos obtenidos (Baldocchi, 2003). Entre los nuevos métodos micrometeorológicos, la técnica de “Eddy covariance” se está consolidando como la principal, gracias al continuo apoyo mostrado por la comunidad científica mundial (Ingwersen *et al.*, 2011., Ward *et al.*, 2012).

$$NEE = FCO_2 + \frac{\Delta\rho CO_2 * \Delta z}{\Delta t}$$

Dónde:  $FCO_2$ , es el flujo de bióxido de carbono medido con el método de la covarianza Eddy,  $\Delta\rho CO_2$  es el cambio en la densidad del  $CO_2$  medido a la misma altura a la que se midió el flujo de  $CO_2$ ,  $\Delta t$  es el intervalo de tiempo y  $\Delta z$  es la altura a la que se realizaron las mediciones. La retención de  $CO_2$  por el ecosistema se estimó con la diferencia entre la integración de los valores negativos (durante el día) y positivos (durante la noche) de NEE.

## **2.6 Estudios previos de mediciones de NEE sobre diferentes superficies vegetales**

Rutledge *et al.*, (2014) calcularon el intercambio de  $CO_2$  de un pastizal en Nueva Zelanda bajo pastoreo durante cuatro años mediante el método de covarianza Eddy en dos años sucesivos con un clima contrastante, otras importaciones de C (alimentación) y las exportaciones (leche, metano, lixiviación, y de biomasa cosechada) se calcularon a partir de los datos de producción agrícola y valores de la literatura, obteniendo valores de 189.5,



183.7, 61 y 227.1 g C m<sup>-2</sup> año<sup>-1</sup> observando un valor menor en el año de poca precipitación pluvial.

Vote *et al.*, (2014) midieron la tasa de asimilación de CO<sub>2</sub> de maíz de verano, arroz y trigo de invierno en la región semiárida de Australia, y observaron que la tasa de asimilación se ve afectada por la diferencia estacional de los cultivos y de su vía fotosintética, reportando valores en maíz de -1327 g C m<sup>-2</sup> (158 días), arroz -836 g C m<sup>-2</sup> (160 días) y trigo -388 g C m<sup>-2</sup> (211 días) donde se observó claramente que los cultivos C4 tienen un NEE mayor que los cultivos C3.

Wang *et al.*, (2015) midieron en una sucesión de trigo en invierno y maíz en verano el intercambio de CO<sub>2</sub> en el norte de China, para observar como el manejo del cultivo, las variables climáticas y de cosecha ejercen una influencia en el intercambio de CO<sub>2</sub> de dichos cultivos, obteniendo una NEE de -359 g C m<sup>-2</sup> para el trigo de invierno (235 días) y -143 g C m<sup>-2</sup> para el maíz de verano (113 días).

## **2.7 Reportes previos de reportes de NEE en plantaciones de vid**

Spano *et al.*, (2007) midieron el intercambio neto de bióxido de carbono de una plantación de vid (*Vitis vinífera* L.) en Italia, usando técnicas micrometeorológicas, obteniendo una NEE de -730 g C m<sup>-2</sup> año<sup>-1</sup>.

Pitacco & Meggio, (2015) midieron el NEE de un cultivo de vid (*Vitis vinífera* L.) en el noreste de Italia, observaron que la vid es un cultivo que secuestra

carbono desde el inicio del ciclo, donde obtuvieron un intercambio neto de bióxido de carbono de alrededor de  $-800 \text{ g C m}^{-2} \text{ año}^{-1}$ , según su estudio la cosecha de la uva representa del 20 - 25 % del carbono.

## **2.8 Estudios previos sobre la relación entre NEE y el contenido de agua en el suelo en diferentes superficies vegetales**

Cabral *et al.*, (2011) en el sur este de Brasil realizaron mediciones del intercambio neto de bióxido de carbono en una plantación de eucaliptos (*clonal E. grandis x E. urophylla*), observando una mayor NEE en los años donde la precipitación fue mayor, dando esto una disponibilidad de humedad en el suelo mayor, obteniendo valores de  $-330 \text{ g C m}^{-2} \text{ año}^{-1}$  en el año de mayor humedad y  $-87 \text{ g C m}^{-2} \text{ año}^{-1}$  cuando hubo menor precipitación.

Zhang *et al.*, (2013) realizaron mediciones del intercambio neto de bióxido de carbono observaron en una huerta de Peral (*Pyrus bretschneideri Rehd*) en el norte de China, donde observaron una asimilación de  $\text{CO}_2$  donde había una mayor disponibilidad de la humedad del suelo, obteniendo una NEE de  $-600 \text{ g C m}^{-2} \text{ año}^{-1}$ .

Guo *et al.*, (2014) realizaron mediciones por tres años del intercambio neto de bióxido de carbono de una plantación de vid (*Vitis vinífera L*) en China, obteniendo una mayor asimilación de bióxido de carbono al tener una mayor disponibilidad de humedad del suelo, encontrando valores de  $-820$ ,  $-824$  y  $-961 \text{ g C m}^{-2} \text{ año}^{-1}$  respectivamente para los tres años de medición.

### III. MATERIALES Y MÉTODOS

#### 3.1 Ubicación 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 7 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 dentro de un viñedo dos secciones 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 (Figura 3). Las plantas están alineadas en la dirección Norte-Sur, a 1.5 m entre plantas y 2.5m entre hileras en una densidad de 2 620 plantas/ha. La altura máxima de plantas (etapa de floración) fue 2 m.

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. Cada superficie recibió el mismo manejo agronómico (riego, poda, fertilización y control fitosanitario) de acuerdo a las normas establecidas por Vinícola San Lorenzo.

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

Las características físicas y químicas del suelo de cada sección del viñedo se obtuvieron del promedio de 5 muestras de la parte central de cada sección. 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:

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

### 3.3 Manejo agronómico de la plantación

El viñedo se riega con un sistema de riego por goteo (0.75 m entre emisores), aplicando un gasto de  $2.1 \text{ L h}^{-1}$ . El tiempo de riego a través del ciclo del cultivo es de 2 h diarias, que para una cama de mojado de 0.80 m corresponde a una lámina diaria de 7 mm. Cada superficie recibió el mismo manejo del cultivo (poda, fertilización y control fitosanitario) de acuerdo con las normas establecidas por la Vinícola San Lorenzo.

### 3.4 Mediciones e instrumentación

Para determinar la relación del intercambio neto de bióxido de carbono y contenido de humedad de suelo de cada sección durante el ciclo de producción de 2014, se obtuvo el flujo de calor sensible (H), calor latente (LE) y flujo de bióxido de carbono ( $FCO_2$ ) 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  $CO_2/H_2O$

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.). 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.

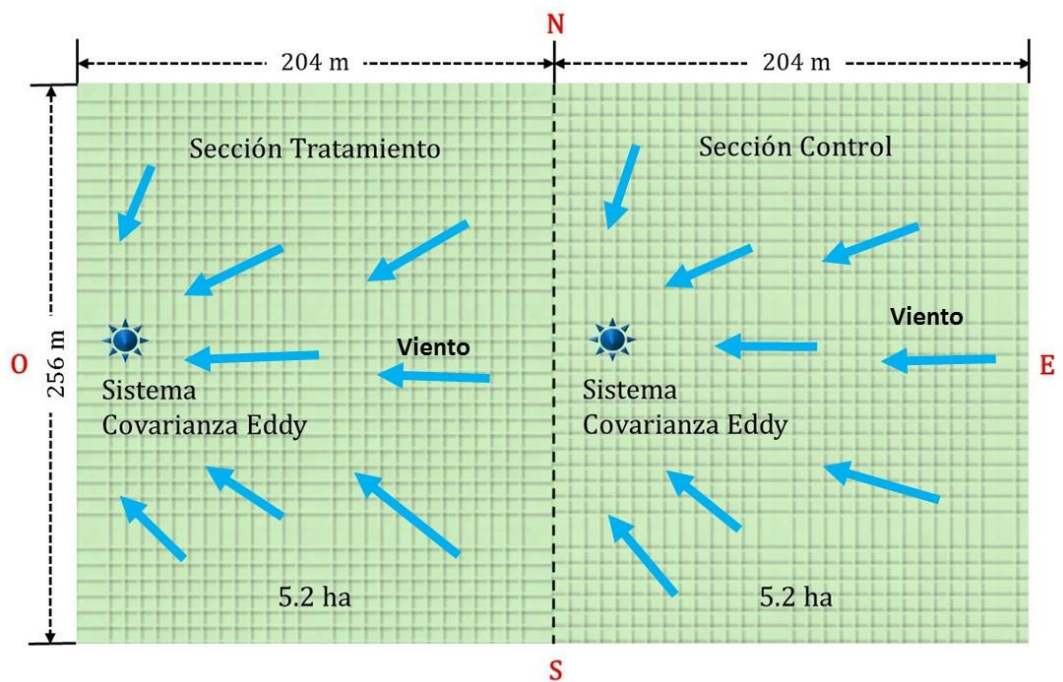


Figura 3. Ubicación de los sensores de medición en la parte media del extremo oeste de cada sección (mayor y menor porosidad), donde los vientos dominantes provienen del este.

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 (Kim y Verma, 1990; Zermeño-González, 2007; Pardo *et al.*, 2015) 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, 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 otro al centro del pasillo (suelo desnudo) con un transductor de calor (modelo HFT3, Campbell Scientific, Inc., Logan, Utah, EE.UU.). Al flujo de calor medido 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). El flujo de CO<sub>2</sub> 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 (μmol de CO<sub>2</sub> m<sup>-2</sup> s<sup>-1</sup>) se obtuvo con la siguiente relación (Materns *et al.*, 2004):

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

Dónde: FCO<sub>2</sub> es el flujo de bióxido de carbono medido con el método de la covarianza Eddy (Ec. 4) (negativo hacia la superficie vegetal), ΔpCO<sub>2</sub> es el cambio en la densidad de CO<sub>2</sub> medido a la altura Δz, Δt es el intervalo de tiempo (30 min), Δz es la altura sobre la superficie del suelo a la que se realizan las mediciones de flujo (3 m).

La radiación fotosintéticamente activa absorbida por el dosel de cada plantación (PAR<sub>abs</sub>) 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 en las dos secciones del viñedo, 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 media 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 contenido de la humedad del suelo y en la tasa de asimilación de bióxido de carbono (NEE), de cada sección del viñedo de diferente porosidad se evaluó con la prueba no paramétrica Wilcoxon para poblaciones pareadas (Wilcoxon,  $\alpha \leq 0.01$ )

El efecto de los diferentes contenidos de humedad, en el rendimiento de frutos, se evaluó con un diseño completamente al azar de dos tratamientos (la porosidad del suelo de cada sección del viñedo) y cinco repeticiones, donde el promedio de la suma del peso de los frutos de 20 plantas fue la unidad experimental. La calidad de los frutos se determinó con los grados Brix (con un refractómetro), acidez (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. Se utilizó de prueba de comparación de medias de Tukey ( $\alpha \leq 0.05$ ), para evaluar la diferencia entre los tratamientos.

## IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

### 4.1 Propiedades físicas y químicas del suelo de cada sección

La sección del lado Este del viñedo tuvo una mayor porosidad que la ubicada en la sección Oeste. Las características del suelo de las dos secciones del viñedo (mayor y menor porosidad) muestran un pH moderadamente alcalino, un bajo contenido de sales (nitrógeno y fosforo), contenido de carbonatos muy similar. El suelo del viñedo con menor porosidad tiene 2.5 % más potasio que el suelo con mayor porosidad (Cuadro 1). Con relación a las propiedades físicas, se observó un contenido medio de materia orgánica del suelo en ambas superficies. El viñedo con mayor porosidad tuvo 25.82 % más de contenido de poros y la densidad aparente fue 14.29 % mayor, esto debido a un mayor contenido de arcilla (Cuadro 2). La densidad de partículas fue muy similar en ambos viñedos.

Cuadro 1. 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 (%)	Fósforo (Kg/ha)	Potasio (Kg/ha)	Carbonatos 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 2. 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	M. O. (%)	Arcilla (%)	Limo (%)	Arena (%)	Textura	Densidad bruta (g/cm3)	Densidad de partículas (g/cm3)	Porosidad (%)
Mayor porosidad	1.9 8	50.0	26	24	Arcilla	1.26	2.048	38.5
Menor porosidad	2.0 1	46.40	31.20	22.40	Migajón- Arcilloso	1.44	2.075	30.6

#### 4.2 Contenido de humedad del suelo

La diferencia en la porosidad de cada sección del viñedo, tuvo 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 producción (Figura 4), observándose también una menor variabilidad del contenido de humedad (promedios de media hora) en esta sección. 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 2 se muestra que la porosidad está relacionada con un mayor contenido de arcilla y una menor densidad bruta (aparente) del suelo.

El contenido volumétrico promedio de agua en el suelo durante el ciclo de producción (mayo a agosto) fue mayor (Wicloxon,  $\alpha \leq 0.01$ ) en la plantación de mayor porosidad (Cuadro 3). 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 representó una diferencia de 26.07 %. Una mayor disponibilidad de agua en el suelo para las plantas puede resultar en una tasa de asimilación de bióxido de carbono más alta (Tagesson *et al.*, 2015). Al respecto Otieno *et al.* (2010) observaron que en una sábana de Kenia cubierta principalmente de árboles de acacia (*Acacia tortilis*) y hierba (*Themeda triandra forssk*), la asimilación de bióxido de carbono fue mayor cuando la humedad del suelo fue más alta, así mismo (Reis y Shugart, 2008; Xu *et al.* 2005) mencionan que la disponibilidad de la humedad del suelo aumenta la fotosíntesis y respiración de los ecosistemas.

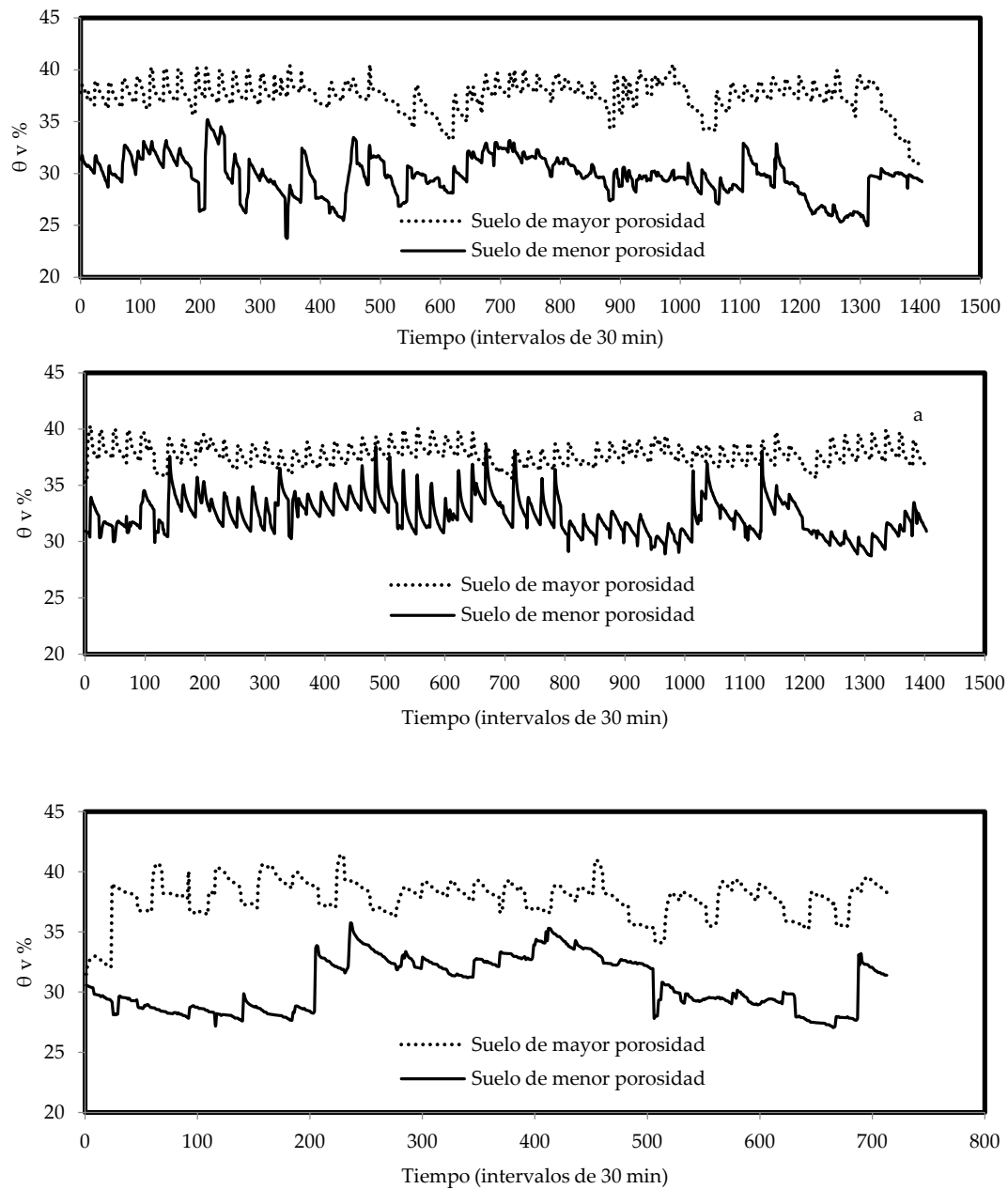


Figura 4. Cambios en la humedad del suelo (promedios de 30 min) durante el ciclo de producción del viñedo (Mayo-Agosto, 2014), a) Desarrollo Vegetativo, b) Floración y c) Fructificación. En dos viñedos (cv Shiraz) en suelo de diferente porosidad. Vinícola San Lorenzo, Parras, Coahuila, México.

Cuadro 3. Valores promedio (segmentos de 30 min) de contenido de humedad volumétrico del suelo ( $\theta_v$ ) a través del ciclo de producción (Mayo – Agosto 2014), de dos secciones de un viñedo (cv Shiraz) con suelo de diferente porosidad. Vinícola San Lorenzo, Parras, Coahuila, México.

Mes	Suelo de mayor porosidad	Suelo de menor porosidad
	$\theta_v$ %	$\theta_v$ %
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 entre las columnas son estadísticamente diferente (Wilcoxon 0.01).

Estadísticos descriptivos					
	N	Media	Desviación típica	Mínimo	Máximo
HUM1	3519	37.6501	1.39524	30.89	41.46
HUM2	3519	30.9463	2.20892	23.74	38.50

**Prueba de los rangos con signo de Wilcoxon**

Rangos				
		N	Rango promedio	Suma de rangos
HUM2 - HUM1	Rangos negativos	3519 <sup>a</sup>	1760.00	6193440.00
	Rangos positivos	0 <sup>b</sup>	.00	.00
	Empates	0 <sup>c</sup>		
	Total	3519		

a. HUM2 < HUM1  
b. HUM2 > HUM1  
c. HUM2 = HUM1

Estadísticos de contraste <sup>a</sup>	
	HUM2 - HUM1
Z	-51.377 <sup>b</sup>
Sig. asintót. (bilateral)	0.000000E+000

a. Prueba de los rangos con signo de Wilcoxon  
b. Basado en los rangos positivos.

Cuadro 4. Resultados de la prueba no paramétrica para poblaciones de contenido de humedad (Wilcoxon  $\alpha \leq 0.01$ ). En el suelo de mayor porosidad (HUM1) contra suelo de menor porosidad (HUM2).

### 4.3 Tasa de asimilación de bióxido de carbono

La tasa instantánea (promedios de 30 min) del intercambió neto de bióxido de carbono (NEE) durante el día (8:00 a 19:00 h) a través de los meses del ciclo de producción (abril a agosto de 2014) fue mayor en la sección del viñedo de mayor porosidad del suelo (Figura 5). La tasa mayor de asimilación se observó entre las 11:00 y las 14:00 h, que corresponde con las horas de mayor incidencia de radiación solar. La tasa instantánea de NEE más alta para días despejados, fue de hasta  $-30 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$  y se observó en agosto, cuándo las plantas del viñedo estuvieron en su máximo desarrollo foliar, pero también los pasillo entre las hilera de plantas presentaron mayor crecimiento de yerba por la ocurrencia de lluvias frecuentes (Figura 5). Yan *et al.* (2015) encontraron que la tasa de NEE alcanza su valor máximo cuando el ecosistema experimenta altos niveles de humedad en el suelo. Resultados reportados por Guo *et al.* (2014) en viñedo mencionan que la tasa de NEE tuvo un acelerado aumento durante la antesis y desarrollo del fruto atribuyéndolo al rápido incremento de la capacidad fotosintética y a la disponibilidad de la humedad del suelo. Tanto la fotosíntesis como la respiración se activan con un alto contenido de humedad del suelo y son suprimidas durante los períodos de déficit hídrico (Flexas *et al.*, 2010; Keith *et al.*, 2012). Rutledge *et al.* (2014) en estudios realizados en pasto (*Lolium perenne*) encontraron que la asimilación de CO<sub>2</sub> tiene una fuerte correlación con el contenido de humedad del suelo lo cual explica el 99% de las variaciones.



La tasa integrada diaria de NEE de abril hasta la segunda semana de Julio fue mayor en la sección del viñedo de mayor porosidad (Wilcoxon,  $\alpha \leq 0.01$ ). Esto debido a mayor disponibilidad de agua por mayor porosidad (Figura 6). Sin embargo de esta fecha a finales de septiembre (inicio de senescencia), la tasa diaria de NEE fue igual en las dos secciones (Wilcoxon,  $\alpha \leq 0.01$ ), lo que probablemente se debió a las condiciones de nubosidad que se observan en esta época del año en esta localidad. Esto tuvo un mayor efecto en la tasa de NEE que la diferencia en la disponibilidad de agua en el suelo de cada sección.

En la Figura 6, también se observa que en ambas secciones, la tasa de NEE mostró una tendencia creciente del 1 de abril al 31 de mayo (valores más negativos), esto debido al crecimiento foliar de las plantas. En junio se observó una reducción seguida de un incremento que fue causado por las condiciones de nubosidad parcial. En julio y agosto, la tasa de NEE fue menor y más estable debido básicamente a una mayor nubosidad. En septiembre se observó una notable disminución de la tasa diaria de NEE (valores menos negativos) debido a la pérdida de clorofila de las hojas por la senescencia de las plantas (Figura 6). La tasa promedio diaria integrada (8:00 a 19:00 hr) de NEE del ciclo de producción (1 de abril a 30 de septiembre) fue  $-269.57 \text{ mmol m}^{-2}$  en la sección del viñedo de mayor porosidad, mientras que en la sección de menor porosidad fue  $-206.59 \text{ mmol m}^{-2}$ , esto representó una diferencia de 30.48 %, (Wilcoxon  $\alpha \leq 0.01$ ) que se debió a una mayor disponibilidad de agua en el suelo por una porosidad más alta. La asimilación neta de  $\text{CO}_2$  promedio diaria del ciclo de

producción de las dos secciones del viñedo ( $-238.08 \text{ mmol CO}_2 \text{ m}^{-2}$ ) fue ligeramente mayor a la que observaron Guo *et al.* (2014) en un viñedo cv Merlot ( $-219 \text{ mmol CO}_2 \text{ m}^{-2}$ ), a la que se reportó por Wang *et al.* (2015) de un cultivo de trigo de invierno (*Triticum aestivum* L.) ( $-127.3 \text{ mmol m}^{-2}$ ). Pero menor a la de un cultivo de caña de azúcar (*Saccharum officinarum* L.) ( $-374.46 \text{ mmol m}^{-2}$ ) reportada por Zermeño-González *et al.* (2012).

La sumatoria diaria (8:00 a 19:00 h) de la tasa de NEE de cada uno de los meses del ciclo de producción (abril a septiembre de 2014) fue también mayor en la sección del viñedo de mayor porosidad (Cuadro 5). La tasa de asimilación de  $\text{CO}_2$  del ciclo de producción en la sección del viñedo de mayor porosidad fue  $49.5 \text{ mol m}^{-2}$  que equivale a  $594 \text{ g C m}^{-2}$  o  $5.94 \text{ t ha}^{-1}$ , y para la sección de menor porosidad fue  $38.0 \text{ mol m}^{-2}$  ( $456 \text{ g C m}^{-2}$  o  $4.56 \text{ t ha}^{-1}$ ), esto representó una diferencia de 30.26 % (Wilcoxon  $\alpha \leq 0.01$ ), esto nuevamente se debió a que la mayor porosidad resultó en más humedad del suelo, que incrementó la apertura de los estomas y causó mayor asimilación de  $\text{CO}_2$ . Los viñedos de la región vitivinícola de Cataluña, España tienen una tasa promedio de asimilación por ciclo de producción de  $4.68 \text{ t C ha}^{-1}$  (Savé *et al.*, 2014), valor similar al observado en este estudio. En una plantación de eucaliptos (*clonal E. grandis*  $\times$  *E. urophylla*) Cabral *et al.* (2011) observaron una tasa de asimilación de carbono de  $3.3 \text{ t ha}^{-1} \text{ año}^{-1}$  en alto contenido de humedad del suelo mientras que para bajos contenidos de humedad solo fue de  $0.87 \text{ t ha}^{-1} \text{ año}^{-1}$ . Similarmente, Zhang *et al.* (2013) reportan que en una plantación de Peral

(*Pyrus bretschneideri* Rehd), la tasa de asimilación de carbono fue  $6 \text{ t ha}^{-1} \text{ año}^{-1}$  en condiciones de alta disponibilidad de agua en el suelo, mientras que en una plantación de caña de azúcar híbrida, la tasa de asimilación de carbono fue  $19.5 \text{ t ha}^{-1}$  en 13 meses (Cabral *et al.*, 2013).

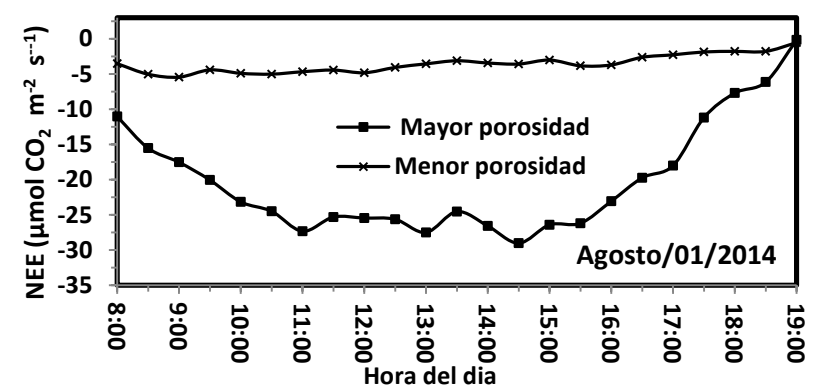
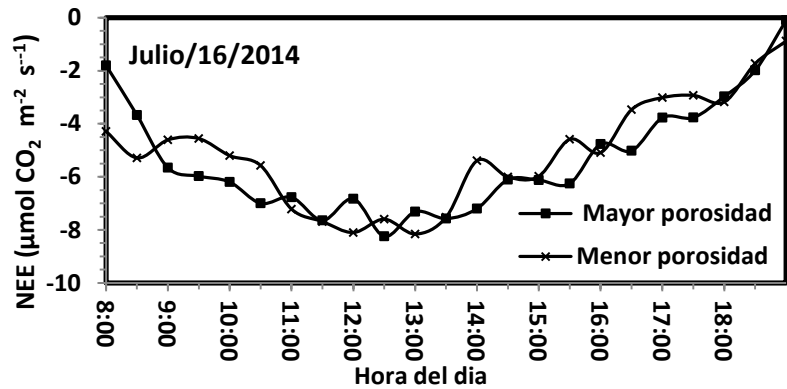
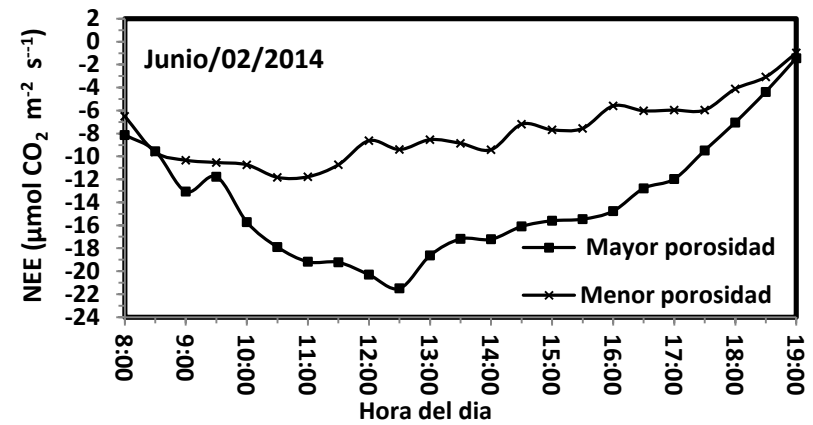
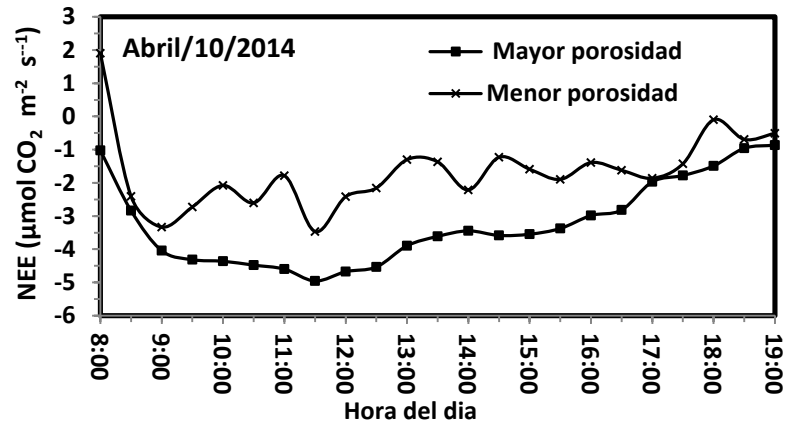


Figura 5. Tasa instantánea de intercambio neto de bióxido de carbono (NEE) de cuatro días representativos del ciclo de producción de la vid (cv Shiraz), Vinícola San Lorenzo, Parras de la Fuente, Coahuila, México.

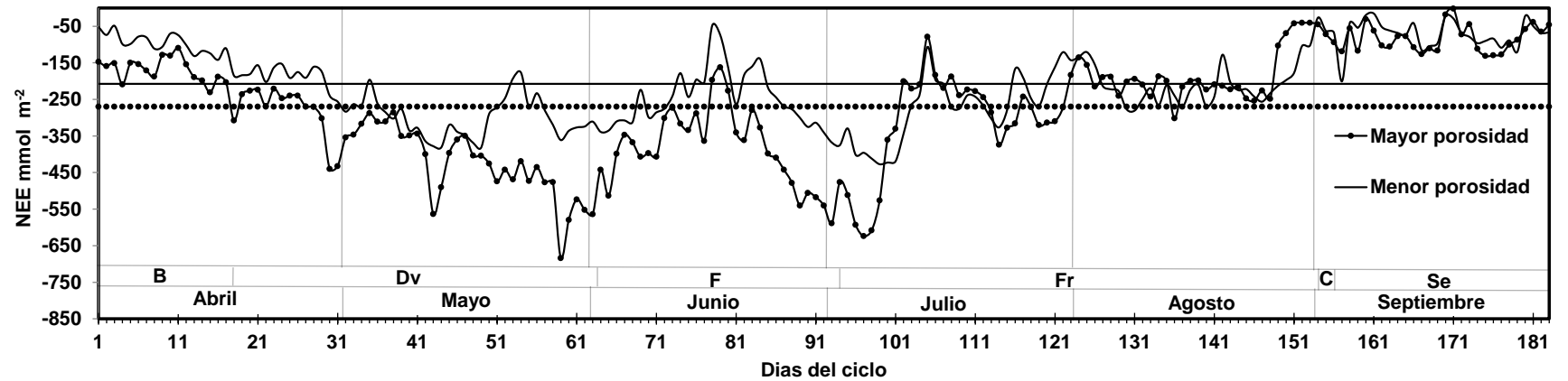


Figura 6. Valores integrados diarios de intercambio neto de bióxido de carbono (NEE) ( $\text{mmol m}^{-2}$ ) de una plantación de Vid (cv. Shiraz), a través del ciclo de producción (Abril-Septiembre, 2014). Vinícola San Lorenzo, Parras de la Fuente, Coahuila, México. (B=brotación, D=desarrollo vegetal, F=floración, Fr=fructificación, C=cosecha, Se=senescencia).

Cuadro 5. Tasa mensual del intercambio diurno neto de bióxido de carbono (NEE) en dos secciones de un viñedo cv Shiraz de diferente porosidad. Vinícola San Lorenzo, Parras de la Fuente, Coahuila, México, año de producción 2014.

Mes	Sección del viñedo de mayor porosidad del suelo NEE (mol m <sup>-2</sup> )	Sección del viñedo de menor porosidad el suelo NEE (mol m <sup>-2</sup> )
Abril	-6.4 <sup>a</sup>	-4.0 <sup>b</sup>
Mayo	-12.9 <sup>a</sup>	-9.2 <sup>b</sup>
Junio	-11.5 <sup>a</sup>	-7.4 <sup>b</sup>
Julio	-10.4 <sup>a</sup>	-8.8 <sup>b</sup>
Agosto	-5.8 <sup>b</sup>	-6.5 <sup>a</sup>
Septiembre	-2.5 <sup>a</sup>	-2.1 <sup>b</sup>

•Medias con diferente letra dentro de las hileras son estadísticamente diferente (Wilcoxon,  $\leq 0.01$ ).

Estadísticos descriptivos					
	N	Media	Desviación típica	Mínimo	Máximo
NEE1	183	-270.3010	149.73707	-684.16	-2.30
NEE2	183	-207.5298	102.91487	-427.30	-15.24

**Prueba de los rangos con signo de Wilcoxon**

Rangos				
		N	Rango promedio	Suma de rangos
NEE2 - NEE1	Rangos negativos	41 <sup>a</sup>	63.34	2597.00
	Rangos positivos	142 <sup>b</sup>	100.27	14239.00
	Empates	0 <sup>c</sup>		
	Total	183		

a. NEE2 < NEE1  
b. NEE2 > NEE1  
c. NEE2 = NEE1

**Estadísticos de contraste<sup>a</sup>**

	NEE2 - NEE1
Z	-8.112 <sup>b</sup>
Sig. asintót. (bilateral)	4.973E-016

a. Prueba de los rangos con signo de Wilcoxon  
b. Basado en los rangos negativos.

Cuadro 6. Resultados de la prueba no paramétrica para poblaciones de NEE (Wilcoxon  $\alpha \leq 0.01$ ). En el suelo de mayor porosidad (NEE1) contra suelo de menor porosidad (NEE2).

#### 4.4 Rendimiento y calidad de frutos

El rendimiento de frutos en la sección del viñedo con mayor porosidad fue 13.53 % mayor (Tukey,  $\alpha \leq 0.05$ ) que el rendimiento en la sección de menor porosidad (Cuadro 7), esto debido a una mayor disponibilidad de agua en el suelo (por una porosidad más alta) que resultó en una mayor tasa de asimilación de CO<sub>2</sub>. Zhang *et al.* (2014) también observaron un mayor rendimiento de un cultivo de vid (cv. Gross colman) debido al alto contenido de

humedad del suelo. De igual forma, Ramos y Martínez-Casasnovas (2006) reportaron un mayor rendimiento de vid (cv Chardonnay) debido a un mayor contenido de agua en el 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 la sección del 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) observaron que en condiciones óptimas de riego, el pH del jugo de los frutos del cv Moscatel fue 3.78 y para el cv Castelao 3.82, que son resultados similares observados en este estudio.

Cheppi de Lecco y Castillo. (2008) observaron en un estudio realizado en la variedad Shiraz en Bolivia bajo características similares de suelo y clima a las de Parras, Coahuila, una acidez de 4.9 g L<sup>-1</sup>, un pH de 3.89 y 25.25 grados Brix. Dichos 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 (2015) en México la norma vigente para comercializar vinos es la 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 g L<sup>-1</sup> 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 y azúcares requiere un equilibrio específico.

Cuadro 7. Rendimiento y calidad de frutos correspondientes al ciclo de producción (Mayo – Agosto 2014). En dos secciones de un viñedo (cv Shiraz) con suelo de diferente porosidad. Vinícola San Lorenzo, Parras de la fuente, Coahuila, México.

Suelo	Rendimiento (kg/planta)	Grados Brix	Acidez	pH
Mayor porosidad	10.32 <sup>a</sup>	27.10 <sup>a</sup>	4.44 <sup>b</sup>	3.83 <sup>a</sup>
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  $\alpha \leq 0.05$ ).

## **V. CONCLUSIONES**

En la sección del viñedo con mayor porosidad del suelo, se tuvo mayor disponibilidad de agua para las plantas durante todo el ciclo de producción. Esto resultó en tasas más altas de asimilación de bióxido de carbono por el dosel de la plantación, que arrojó mayor rendimiento de frutos con más acidez y menor pH. La diferencia en contenido de humedad no afectó los grados Brix.

## VI. BIBLIOGRAFÍA

- Acevedo, e, Ortega-Farías, S., Moreno, Y. and Córdova, F. 2004. Effects of different levels of water application in pre- and post-veraison on must composition and wine color (cv. Cabernet Sauvignon. Acta Hort. (ISHS) 664:483-489
- Almanza-Merchán, P. 2011. El cultivo de la vid (*Vitis vinifera* L.) En: Manual de frutales. Tomo 2. Editor: G. Fischer. Ed. Produmedios. (En imprenta).
- Alsina, M. M., Smart, D. R., Bauerle, T., de Herralde, F., Biel, C., Stockert, C., ... Save, R. (2011). Seasonal changes of whole root system conductance by a drought-tolerant grape root system. Journal of Experimental Botany, 62(1), 99–109.
- Baeza P. 1994. Caracterización ecofisiológica y evaluación agronómica de diferentes sistemas de conducción del viñedo (*Vitis vinifera* L.) en regadío. Tesis doctoral del Departamento de Producción Vegetal: Fitotecnia. Universidad Politécnica de Madrid. 209 p
- Balbontín-Nesvara, C., Calera-Belmonte, A., González-Piqueras, J., Campos-Rodríguez, I., López-González, M. L. and Torres-Prieto, E. (2011). Comparación de los sistemas covarianza y relación de Bowen en la evapotranspiración de un viñedo bajo clima semi-árido. Agrocienca. 45(1): 87–103.
- 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.
- Cabral, O. M. R., Gash, J. H. C., Rocha, H. R., Marsden, C., Ligo, M. A. V., Freitas, H. C., Gomes, E. (2011). Fluxes of CO<sub>2</sub> above a plantation of Eucalyptus in southeast Brazil. Agricultural and Forest Meteorology, 151(1), 49–59.
- 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. Agricultural and Forest Meteorology. 182-183: 54–66.
- Champagnol F. 1983. Incidentes, sue la Physiologie de la Vigne, de la Disposition du Feuillage et des Operations en Vert. Le progrès Agricole et Viticole, 1993, 110, Nö 13,-14 p.295-301.
- Chapin, F. S., Woodwell, G. M., Randerson, J. T., Rastetter, E. B., Lovett, G. M., Baldocchi, D. D., ... Schulze, E. D. (2006). Reconciling carbon-cycle concepts, terminology, and methods. Ecosystems, 9(7), 1041–1050.
- 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.

- 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): 62–69.
- Columela, F. 2011. Viticultura y enología. Manuales formativos para la vid y el vino. *Vinificatum.bolgspot.mx*. Diciembre 2015.
- Duque, M. C y F. Yáñez. 2005. Origen, historia y evolución del cultivo de la vid. Instituto de la vid y del vino de Castilla-La Mancha. IVICAM. Toledo, España. *Enólogos*, 38.
- El Economista 2013. [www.com.mx/columnas/agro-negocios-produccion-vid-alternativa-rentable-productor](http://www.com.mx/columnas/agro-negocios-produccion-vid-alternativa-rentable-productor). Diciembre del 2015.
- Enjalbert, H. 1975. *Historie de la vigne et du vin. L'avènement de la qualité*. Editorial Bordás, París. pp. 11- 22.
- FAO. 2002. Captura de carbono en los suelos para un mejor manejo de la tierra. Organización de las Naciones Unidas para la agricultura y la alimentación, Roma. 73p.
- Ferreira R E., G. Sellés V., J. Peralta A. y J. Valenzuela B. Effect of water stress applied at different development periods of Cabernet Sauvignon grapevine on production and wine quality. *Acta Horticulturae* 646: 27-33, 2004
- 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.
- Foyer, C. H., Bloom, A. J., Queval, G., & Noctor, G. (2009). Photorespiratory Metabolism: Genes, Mutants, Energetics, and Redox Signaling. *Annual Review of Plant Biology*, 60(1), 455–484.
- Fregoni, M. 2007. Viticultura y cambio climático. *Revista Enología* 2, 1-9.
- Galindo, J. y J. Toro. 1995. Manejo integrado de las enfermedades de importancia económica de la vid en Colombia. En: *Memorias XVI Congreso de Fitopatología, ASCOLFI*. Medellín, 47 p.
- Guo, W. H., Kang, S. Z., Li, F. S., & 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 J. L. Heilman. 2003. Experimental test of density and energy-balance corrections on carbon dioxide flux as measured using open-path eddy covariance. *Agronomy Journal* 95(6): 1393-1403.
- Holland, J. E., & Biswas, A. (2015). Predicting the mobile water content of vineyard soils in New South Wales, Australia. *Agricultural Water Management*, 148, 34–42.
- Ingwersen, J., Steffens, K., Högy, P., Warrach-Sagi, K., Zhunusbayeva, D., Poltoradnev, M., Gäbler, R., Wize mann, H. D., Fangmeier, A., Wulfmeyer,

- V. and Streck, T. (2011). Comparison of Noah simulations with eddy covariance and soil water measurements at a winter wheat stand. *Agricultural and Forest Meteorology*, 151(3), 345–355.
- Inifap (Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias). 2015. (<http://clima.inifap.gob.mx/redinifap/est.aspx?est=26796>), Octubre del 2015.
- Jones, G. V., Duchêne, E., Tomasi, D., Yuste, J., Braslavská, O., Schultz, H., Guimberteau, G. (2005). Changes in European winegrape phenology and relationships with climate. XIV International GESCO Viticulture Congress, 54–61.
- 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.
- Kim, J. and Verma, S. B. (1990). Components of the surface energy balance in a temperate grassland ecosystem. *Boundary- Layer Meteorol.* 51(4): 401-417
- Kustas, W. P., Prueger, J. H., Hatfield, J. L., Ramalingam, K. and Hipps, L. E. (2000). Variability in soil heat flux from a mesquite dune site. *Agric. For. Meteorol.* 103(3): 249–264.
- Li, S., Kang, S., Zhang, L., Du, T., Tong, L., Ding, R., Xiao, H. (2015). Ecosystem water use efficiency for a sparse vineyard in arid northwest China. *Agricultural Water Management*, 148, 24–33.
- Martens, C. S., Shay, T. J., Mendlovitz, H. P., Matross, D. M., Saleska, S. R., Wofsy, S. C., 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. *Global Change Biology*, 10(5), 618–629.
- Martínez de Toda, F. y J. Sancha. 1997. Caractérisation ampélographique des cultivars rouges de *Vitis vinifera* L. conservés en Rioja. *Bulletin de L'OIV* (793-794), 221234.
- Martínez de Toda, F. (1991). *Biología de la Vid. Fundamentos Biológicos de la Viticultura*. Ed. Mundi Prensa S.A., Madrid, España.
- Martínez-ballesta, M. C., López-pérez, L., Muries, B., & Carvajal, M. (2009). *Climate Change, Intercropping, Pest Control and Beneficial Microorganisms*,
- Mota, C., C. Alcaraz-López, M. Iglesias, M. Martínez-Ballesta y M. Carvajal. 2010. Investigación sobre la absorción de CO<sub>2</sub> por los cultivos más representativos de la región de Murcia. Departamento de Nutrición vegetal, CEBAS-Consejo Superior de Investigaciones Científicas. Murcia, España. 41p. Disponible en:

- [http://www.lessco2.es/pdfs/noticias/ponencia\\_cisc\\_espanol.pdf](http://www.lessco2.es/pdfs/noticias/ponencia_cisc_espanol.pdf). Octubre 2015.
- Moyer M., Troy Peters R., Hamman R., 2015. Conceptos básicos de riego para los viñedos del este de Washington. Washington State University, USA. 14p.
- Myburgh, P. a. (2012). Comparing irrigation systems and strategies for table grapes in the weathered granite-gneiss soils of the Lower Orange River region. *South African Journal of Enology and Viticulture*, 33(2), 184–197.
- Navarro, O. 2008. Charlas sobre vinos: La viticultura en América. En: <http://charlassobrevinos.blogspot.com/2008/07/.html>. Diciembre de 2015.
- 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>.
- Ohkubo, S., Nagata, O., & Hirota, T. (2015). Estimating NEE in a wheat-planted plot with an automatically controlled chamber. *Soil Science and Plant Nutrition*, 61(1), 76–87.
- OIV (Organización Internacional de la Viña y el Vino). 2012. <http://www.oiv.int/oiv/info/espublicationsstatistiques>. Noviembre 2015.
- OIV (Organización Internacional de la Viña y el Vino). 2014. <http://www.oiv.int/oiv/info/espublicationsstatistiques>. Noviembre 2015
- Ortega-Farías, S., Acevedo, e, Acevedo, A. and Leyton, B. 2004. Talca Irrigation Management System(TIMAS)for Grapevine. *Acta Hort. (ISHS)* 664:499-504
- Otieno, D. O., K’Otuto, G. O., Maina, J. N., Kuzyakov, Y. and Onyango, J. C. (2010). Responses of ecosystem carbon dioxide fluxes to soil moisture fluctuations in a moist Kenyan savanna. *Journal of Tropical Ecology*. 26(06): 605–618.
- Pardo, N., Sánchez, M. L., Pérez, I. A. and García, M. A. (2015). Energy balance and partitioning over a rotating rapeseed crop. *Agric. Water Manag.* 161, 31–40.
- Pascal C. (2005). II encuentro enológico, informe técnico. Gestión de pH en el vino de calidad. pp 1-10.
- Payero, J. O., Neale, C. M. U. and Wright, J. L. (2005). Estimating soil heat flux for alfalfa and clipped tall fescue grass. *Applied Engineering in Agriculture*. 21(3): 401–409.
- Peterlunger, E., Sivilotti, P., Bonetto, e, and Paladin, M. 2002. Water stress induces changes in polyphenol concentration in Merlot grapes and wines. *Riv. Vitic. Enol.*, 1: 51-66.

- Pire, R.; E. Tortolero, Y. de Fréitez y M. de Pire. 1989. El riego de la vid (*Vitis vinifera* L.) en Tocuyo, Estado Lara. I. Relaciones suelo-agua. *Agronomía Tropical*. 38(1-3), 135-154.
- Pitacco, A., & Meggio, F. (2015). Carbon budget of the vineyard – A new feature of sustainability. *BIO Web of Conferences*, 5(July 2005), 01024.
- Prichard T., Hanson B., Schwank L. L., Verdegel P., and Smith R. 2003. *Irrigation of Quality Winegrapes Using Micro-Irrigation Techniques*. University of California Cooperative Extension, Department of Land, Air and Water Resources. University of California Davis. 83 p.
- 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.
- Reynier, A. 1995. *Manual de viticultura*. Madrid: Mundi-Prensa. 407 p
- Ries, L. P. and Shugart, H. H. (2008). Nutrient limitations on understory grass productivity and carbon assimilation in an African woodland savanna. *Journal of Arid Environments*. 72(8): 1423–1430.
- 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.
- Rutledge, S., Mudge, P. L., Campbell, D. I., Woodward, S. L., Goodrich, J. P., Wall, A. M., ... Schipper, L. A. (2015). Carbon balance of an intensively grazed temperate dairy pasture over four years. *Agriculture, Ecosystems & Environment*, 206, 10–20.
- Rutledge, S., Mudge, P. L., Wallace, D. F., Campbell, D. I., Woodward, S. L., Wall, a. M., & Schipper, L. a. (2014). CO<sub>2</sub> emissions following cultivation of a temperate permanent pasture. *Agriculture, Ecosystems and Environment*, 184, 21–33.
- Ryugo, K. 1993. *Fruticultura. Ciencia y arte: cosechas de enredaderas y arbustos frutales*. México: AGT. 520 p.
- Salazar, D. y P. Melgarejo. 2005. *Viticultura. Técnicas de cultivo de la vid, calidad de la uva y atributos de los vinos*. Madrid; Mundi-Prensa. 325 p.
- Sánchez-Monge y Parellada, E. (2001). *Diccionario de Plantas de Interés Agrícola*. Ministerio de Agricultura, Pesca y Alimentación, Secretaría General Técnica, Madrid, España.
- Savé, R., Biel, C., Funes, I., de Herralde, F. and Aranda, X. (2014). El cultivo de la vid como sumidero de carbono en Cataluña. *Enoviticultura*. 31: 106-128.
- Schimel, D., Stephens, B. B., & Fisher, J. B. (2015). Effect of increasing CO<sub>2</sub> on the terrestrial carbon cycle. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 112(2), 436–441.

- Sellés, G.; E. Ferreyra e I. Sellés. 2000. Riego. En: Valenzuela, J. (ed.): Uva de mesa en Chile; pp. 145-166. Santiago de Chile: Instituto de Investigaciones Agropecuarias (INIA). 338 p.
- SHCP (Secretaría de Hacienda y Crédito Público) 2012. <http://www.hacienda.gob.mx/Paginas/default.aspx>. Noviembre 2015.
- SIAP (Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera) 2012. <http://www.siap.gob.mx/cierre-de-la-produccion-agricola-por-cultivo/>. Noviembre 2015.
- SIAP (Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera) 2014. <http://www.siap.gob.mx/cierre-de-la-produccion-agricola-por-cultivo/>. Noviembre 2015.
- Spano, Sirca, C., Marras, S., Duce, P., & Zara, P. (2007). E N E R G Y AND CO<sub>2</sub> EXCHANGES OVER V I N E Y A R D USING MICROMETEOROLOGICAL TECHNIQUES.
- 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.
- 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.
- UNESA, (2005). Forestación y Reforestación. Sumideros de Carbono. En: Metodologías para la Implementación de los Mecanismos flexibles de Kioto – Mecanismo de Desarrollo Limpio en Latinoamérica. Rivero Torre, Pedro, León, Gonzalo, Eichhamer, Wolfgang, Deputy, Gázquez Mateos, José Luis, González Santaló, José Miguel, Ferrando Bravo, Gerardo, Cisneros Gárate, Pablo, Pérez Pallarés, Diego. Capítulo 8.
- Vallone R. 2003. Módulo Relación Agua-Planta, clases de la Maestría de Viticultura & Enología, ciclo 2002/2003. Facultad de Ciencias Agrarias UNCuyo, INTA, INRA, Agro Montpellier.
- Vallone, R., Nijensohn J., Cavagnaro B., Maffei J. and Ojeda H. 2004. Validation of a simple biological indicator of plant water status to determinate irrigation timing of grapevines. Simposio Internacional Riego y Relaciones Hídricas en Vid y Frutales. Mendoza 4-6 de diciembre de 2001. p. 77-89.
- Veihmeyer, F. and A. Hendrickson. 1950. Responses of fruit trees and vines to soil moisture. *Am. Soc. Hort. Sci. Proc.* 55, 11-15.



- Villalobos, F. J., Perez-Priego, O., Testi, L., Morales, A., & Orgaz, F. (2012). Effects of water supply on carbon and water exchange of olive trees. *European Journal of Agronomy*, 40, 1–7.
- Vote, C., Hall, A., & Charlton, P. (2014). Carbon dioxide, water and energy fluxes of irrigated broad-acre crops in an Australian semi-arid climate zone. *Environmental Earth Sciences*, 73(1), 449–465.
- Wang, Y., Hu, C., Dong, W., Li, X., Zhang, Y., Qin, S., & Oenema, O. (2015). Carbon budget of a winter-wheat and summer-maize rotation cropland in the North China Plain. *Agriculture, Ecosystems & Environment*, 206, 33–45.
- Ward, P. R., Micin, S. F., & Fillery, I. R. P. (2012). Application of eddy covariance to determine ecosystem-scale carbon balance and evapotranspiration in an agroforestry system. *Agricultural and Forest Meteorology*, 152(1), 178–188.
- Webb, E.K., Pearman, G.I. and Leuning, R., 1980. Correction of flux measurements for density effects due to heat and water vapour transfer. *Quarterly Journal of the Royal Meteorological Society*, 106(447), pp. 85-100.
- Williams, L. 1996. Grape, p. 851-881. In: E. Zamski and A. Schaffer (eds.), *Photoassimilate distribution plants and crops: Source-sink relationships*. Marcel Dekker, New York.
- Xu, L., Baldocchi, D. D. and Tang, J. (2005). How soil moisture, rain pulses, and growth alter the response of ecosystem respiration to temperature. *Global Biogeochemical Cycles*. 18(4): 1–10.
- 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*. 10(4): 1-16.
- 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-Gonzalez, A., Villalobos-Moreno, S., Cortes-Bracho, J. Jesus Cadena-Zapata, M., Catalan-Valencia, E. A., Garcia-Delgado, M. A., & 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, 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.
- Zhang, Y., Shen, Y., Xu, X., Sun, H., Li, F., & Wang, Q. (2013). Characteristics of the water-energy-carbon fluxes of irrigated pear (*Pyrus bretschneideri* Rehd) orchards in the North China Plain. *Agricultural Water Management*, 128, 140–148.