

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA AGRARIA ANTONIO NARRO
SUBDIRECCIÓN DE POSTGRADO



TASA DE ASIMILACIÓN Y LIBERACIÓN DE BIÓXIDO DE CARBONO DE UN
VIÑEDO (*Vitis Vinífera* L.) DURANTE SU CICLO DE PRODUCCIÓN.

TESIS

Que presenta ADDY PATRICIA BRAVO ESCALANTE

Como requisito parcial para obtener el Grado de
MAESTRO EN CIENCIAS EN INGENIERÍA DE SISTEMAS DE PRODUCCIÓN.

Saltillo, Coahuila, México.

Diciembre 2019

TASA DE ASIMILACIÓN Y LIBERACIÓN DE BIÓXIDO DE CARBONO DE UN
VIÑEDO (*Vitis Vinífera* L.) DURANTE SU CICLO DE PRODUCCIÓN

Tesis

Elaborada por ADDY PATRICIA BRAVO ESCALANTE 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. Santos Gabriel Campos Magaña
Asesor



Dr. Homero Ramírez Rodríguez
Asesor



Dr. Jorge Méndez González
Asesor



Dr. Marcelino Cabrera De la Fuente
Subdirector de Postgrado
UAAAN

Agradecimiento

A mi **Madre** le agradezco por su apoyo y confianza incondicional que siempre me ha brindado y por todo ese esfuerzo realizado para seguir adelante y acompañarme en mi camino por esta vida.

A **Dios** por darme la oportunidad de vivir esta experiencia más y por la oportunidad de seguir aprendiendo y avanzando por el camino.

Al **Dr. Alejandro Zermeño G.** por brindarme su tiempo, conocimiento y apoyo para llevar a cabo la investigación.

A mis **asesores** por la colaboración brindada en este proyecto.

A mi **alma mater** la Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro por recibirme y formar parte nuevamente de este proyecto.

Al Consejo Nacional de Ciencias y Tecnologías (**CONACYT**) por el apoyo económico brindado para llevar a cabo el trabajo de investigación.

A mi **amigo Saúl** por sus buenos consejos y dedicación para brindarme su ayuda, así como también su colaboración para llevar a cabo el trabajo en campo.

A las **amistades** que se tomaron el tiempo para ayudarme y compartir buenos momentos en esta etapa de mi vida.

A mi **familia** por darme buenos consejos sobre la vida y por el apoyo que me han dado.

A todas las personas que hicieron posible directa e indirectamente la realización de este proyecto.

Dedicatoria

El presente trabajo está dedicado de manera especial a mi madre y a mi hermanito que siempre me han brindado su apoyo y amor incondicional y me han enseñado nuevas cosas para que sea una mejor persona en esta vida. Los admiro y los quiero mucho.

ÍNDICE GENERAL

Agradecimientos	iii
Dedicatoria	iv
Lista de cuadros.....	vi
Lista de figuras.....	vii
RESUMEN.....	viii
ABSTRACT.....	x
INTRODUCCIÓN.....	1
REVISIÓN DE LITERATURA.....	3
Intercambio neto de bióxido de carbono de las superficies vegetales.....	3
Origen y clasificación botánica de la vid.....	4
Importancia económica y social de la vid.....	5
Superficies establecidas en México y cultivares más importantes.....	7
Intercambio neto de bióxido de carbono de los viñedos.....	8
Importancia de los viñedos como reservorio de carbono.....	9
MATERIALES Y MÉTODOS.....	11
Ubicación y características del sitio de estudio.....	11
Instrumentación y mediciones.....	11
RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....	14
Tasa instantánea de intercambio neto de bióxido de carbono.....	14
Tasa diaria de intercambio neto de bióxido de carbono del viñedo.....	16
Eficiencia cuántica del viñedo.....	18
CONCLUSIONES.....	20
REFERENCIAS.....	21

LISTA DE CUADROS

- Cuadro 1.** Promedio diario mensual del intercambio neto de bióxido de carbono (NEE) diurno y nocturno y el balance diario mensual. Vinícola San Lorenzo, ciclo de producción 2018. Parras, Coahuila, México.....16
- Cuadro 2.** Eficiencia cuántica (mmol de CO₂ por mol de fotones absorbidos) promedio diario mensual del viñedo durante el ciclo de producción de 2018. Vinícola San Lorenzo, Parras, Coahuila.....18

LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Áreas bajo viñas destinadas a la producción de uvas para vino, uvas de mesa o uvas secas (OIV, 2019).....	5
Figura 2. Importaciones en valor (USD) (Amo, 2018).....	7
Figura 3. Sensores de un sistema eddy para la medición del flujo de bióxido de carbono entre el dosel del viñedo y la atmosfera. Ciclo de producción 2018. Vinícola San Lorenzo, Parras, Coahuila.....	12
Figura 4. Tasa de intercambio neto de bióxido de carbono (NEE) promedios de 30 min, y de asimilación de radiación fotosintéticamente activa (PAR) absorbida por el dosel del viñedo, durante los meses de abril a agosto de 2018, en la Vinícola San Lorenzo, Parras, Coahuila.....	14
Figura 5. Tasa de intercambio neto de bióxido de carbono (NEE) promedios de 30 min, y de asimilación de radiación fotosintéticamente activa (PAR) absorbida por el dosel del viñedo, durante los meses de septiembre a diciembre de 2018, en la Vinícola San Lorenzo, Parras, Coahuila.....	15

RESUMEN

TASA DE INTERCAMBIO DE BIÓXIDO DE CARBONO DE UN VIÑEDO (*Vitis
vinífera* L.) DURANTE EL CICLO DE PRODUCCIÓN.

POR

ADDY PATRICIA BRAVO ESCALANTE
MAESTRÍA EN CIENCIAS EN INGENIERÍA DE SISTEMAS DE PRODUCCIÓN

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA AGRARIA ANTONIO NARRO
DR. ALEJANDRO ZERMEÑO GONZÁLEZ –ASESOR–

SALTILLO, COAHUILA

DICIEMBRE 2019.

Además de la cosecha de uva para consumo en fresco, elaboración de jugos y la producción de vinos, los viñedos por su condición de plantas leñosas y longevas pueden tener una participación importante en la asimilación y retención del carbono atmosférico. El objetivo de este estudio fue evaluar el intercambio neto de bióxido de carbono de un viñedo durante su ciclo de producción, y su relación con el secuestro de carbono atmosférico. El estudio se realizó en un viñedo del cultivar Shiraz de 11 años de edad, de la Vinícola San Lorenzo, Parras, Coahuila. La tasa de flujo de bióxido de carbono entre el dosel del viñedo y la atmósfera, a través de los meses de crecimiento se midió con los sensores de un sistema de covarianza eddy. Los resultados del estudio muestran que de abril a noviembre el viñedo actúa como un sumidero de carbono atmosférico y que a partir de diciembre se convierte en una fuente de liberación de bióxido de carbono. Por el carbono retenido en la madera de las plantas, la tasa anual de retención de bióxido de carbono y las grandes superficies establecidas de viñedos en México y el mundo, los viñedos son sistemas de producción agrícola que tienen una participación importante en la mitigación del bióxido de carbono atmosférico.

Palabras clave: *Vitis vinífera*, fotosíntesis, radiación fotosintéticamente activa, secuestro de carbono.

ABSTRACT

CARBON DIOXIDE NET ECOSYSTEM EXCHANGE OF A VINEYARD (*Vitis*
vinífera L.) DURING THE GROWING CYCLE.

BY:

ADDY PATRICIA BRAVO ESCALANTE
MASTER OF SCIENCE PRODUCTION SYSTEM ENGINEERING

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA AGRARIA ANTONIO NARRO
DR. ALEJANDRO ZERMEÑO GONZÁLEZ –ADVISOR–

SALTILLO, COAHUILA

DECEMBER 2019.

Besides the grape harvest for fresh consumption, juice elaboration and the wine production, the vineyards for their condition of woody and long-lived plants, may have an important role in the assimilation and withhold of the atmospheric carbon. The objective of this study was to evaluate the net ecosystem exchange of carbon dioxide of a vineyard during the growing cycle, and its relation to the atmospheric carbon sequestration. The study was carried out in a vineyard of the cv Shiraz, 11 years old, of the wine company San Lorenzo, Parras, Coahuila. The carbon dioxide flux between the vineyard canopy and the atmosphere, throughout months of growing was measured with the sensors of an eddy covariance system. The results of the study showed that from april to november the vineyard acts as a carbon sink and from december is a carbon dioxide source. Because of the carbon stored in the plants wood, the annual rate of carbon fixation and the large surface of vineyards established in Mexico and the world, the vineyards are agricultural systems that have an important role in the mitigation of atmospheric carbon dioxide.

Key words: *Vitis vinifera*, photosynthesis, photosynthetically active radiation, carbon sequestration.

INTRODUCCIÓN

La vid (*Vitis vinífera*) es una planta trepadora, leñosa cuyo fruto es la uva con la que se elaboran los vinos, es originaria de Asia y es conocida desde la prehistoria. Los españoles introdujeron este cultivo a América del Norte (Vinetur, 2017). En México, la siembra de vid para la producción de vino inicio en 1597 en el Valle de Parras en la Hacienda San Lorenzo (CMV, 2018). Actualmente, la producción de uva para vino asciende a 6 474 hectáreas, donde Baja California concentra el mayor porcentaje de producción con 57 % del total de los 11 estados productores (SADER, 2018).

Aunado al consumo en fresco, la uva es el principal insumo para el sector vitivinícola, la cual representó 22.93 % de la producción total de uva en 2016 (SAGARPA, 2017). Este cultivo involucra 2 900 productores, que generan más de 3 000 empleos de manera directa e indirecta y participan más de 500 mil jornaleros agrícolas en apoyo a las actividades de poda y cosecha (EL FINANCIERO, 2018). Además de la importancia económica y social de la vid, los viñedos pueden tener una participación importante en la asimilación y retención del carbono atmosférico, ya que son plantas leñosas y longevas que puede estar en producción por más de 40 años. La vid tiene una vida media de aproximadamente 50 años, aunque algunas viñas pueden vivir hasta 100 años (Cano, 2015; Domínguez de la Iglesia, 2018).

La tasa de intercambio neto de bióxido de carbono (NEE) entre una superficie vegetal y la atmósfera es muy variable y depende del tipo de vegetación y estado de crecimiento, condiciones climáticas y humedad del suelo. Diversos estudios han reportado la tasa de NEE de diferentes tipos de bosques y localidades (Goulden *et al.*, 1996; Desai *et al.*, 2005; Carrara *et al.*, 2003; Yi *et al.*, 2008). En diferentes huertas de frutales (Testi *et al.*, 2008; Martin-Gorriz *et al.*, 2011; Zanotelli *et al.*, 2013). Y en diferentes viñedos (Nardino, *et al.*, 2007; Smart *et al.*, 2009; Vendrame, 2016).

Los valores integrados diarios, mensuales o por ciclo de crecimiento del NEE (mol m^{-2}), pueden indicar la capacidad de retención del bióxido de carbono atmosférico de un determinado ecosistema vegetal. Estudios previos han evaluado la tasa de fijación de bióxido de carbono de viñedos de diferentes cultivares y varias edades (Mota *et al.*, 2003; Guo *et al.*, 2014; Pitacco y Meggio, 2015).

El carbón asimilado y que se integra al crecimiento de la madera se define como secuestro de carbono. Esto depende del tipo de ecosistema vegetal, condiciones climáticas y humedad del suelo. Por su longevidad y el volumen de biomasa acumulada, los bosques en condiciones climáticas favorables, tienen un alto potencial de secuestro de carbono. (Ramos *et al*, 2001; Nowak y Crane, 2002; Pimienta de la Torre *et al.*, 2007; Rodríguez-Larramendi *et al.*, 2016). A diferencia de los bosques, los viñedos tienen un volumen mucho menor de biomasa acumulada, pero bajo un buen manejo agronómico, la tasa anual de secuestro de carbono puede ser alta (Funes *et al.*, 2014; Brunori *et al.*, 2016). Por su condición de plantas leñosas y longevas, los viñedos fijan y retienen parte del bióxido de carbono asimilado para el crecimiento de la madera, por lo que pueden tener una participación importante en el secuestro de carbono atmosférico. Por lo que, el objetivo de este estudio fue determinar el intercambio neto de bióxido de carbono de un viñedo (cv Shiraz), su variación a través de los meses de crecimiento y su relación con el secuestró de carbono atmosférico.

REVISIÓN DE LITERATURA

Intercambio neto de bióxido de carbono de las superficies vegetales

El intercambio neto del ecosistema se define como la medida de la cantidad neta del carbón que entra y sale del ecosistema, usualmente asociada con el flujo de dióxido de carbono del ecosistema a la atmósfera (USDA, 2013). Los ecosistemas vegetales tienen la capacidad de asimilar el carbono, mediante la fotosíntesis e incorporación a su estructura, por lo cual son importantes las reservas de carbono para la planta (Benjamín y Masera, 2001). El balance de los flujos de CO₂ 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 CO₂, 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). Además de las hojas, comúnmente consideradas como las fuentes primarias de la producción de fotosíntesis, las plantas superiores pueden utilizar potencialmente casi todas las estructuras vegetativas y reproductivas, para llevar a cabo la asimilación fotosintética del CO₂ atmosférico. Las hojas, los tallos y las porciones verdes estériles, optimizados para la recolección de luz y el rendimiento fotosintético, se caracterizan por la asimilación fotosintética neta utilizando principalmente el dióxido de carbono atmosférico. La actividad fotosintética no realizada por las hojas y relacionada con la re-fijación del CO₂, se considera una estrategia vegetal adicional de gran importancia para la adquisición del carbono, debido a que éste constituye hasta un 50% de la biomasa producida (Aschan y Pfanz, 2003). La tierra de cultivo cubren el 12,6% de la superficie terrestre (FAO, 2014) y por lo general poseen un mayor intercambio neto de bióxido de carbono que los ecosistemas naturales (Verma *et al.*, 2005, Barford *et al.*, 2001). La técnica de la covarianza Eddy es un método ampliamente utilizado y eficaz para el estudio de las características del microclima y flujo de CO₂ en diferentes ecosistemas (Gou *et al.*, 2014). Diversos estudios se han realizado para cuantificar el NEE utilizando el método de la covarianza eddy sobre diferentes ecosistemas: por ejemplo, Dolman *et al.* (2004) midieron el intercambio neto de CO₂ sobre un bosque de alerce (*Larix cajanderii*) en el lejano oriente de Siberia y estimaron un secuestro anual de 160 g C m⁻². 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 diurna de NEE vario sustancialmente durante el crecimiento entre las estaciones del año. Las tasas máximas de asimilación instantáneas de CO₂ fueron 3,74 y 3,44 $\mu\text{mol CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$ en agosto de 2008 y 2009, respectivamente. En cultivo de caña (*Saccharum officinarum*) Zermeño-González *et al.* (2012) reportan una tasa instantánea de NEE de una plantación de caña de azúcar de $-28 \mu\text{mol CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$.

Origen y clasificación botánica de la vid.

Lo primero que sorprende al indagar en los orígenes del cultivo de la vid es saber desde cuándo esta planta acompaña al hombre. Originaria de Asia occidental y del Cáucaso, un inicio de cultivo que se remonta al año 6.000 a.C. y que no sería hasta más de 3.000 años después cuando alcanzaría un auténtico desarrollo (Serres, 2018).

La uva es el fruto de la vid (*Vitis vinífera*). Se cultivan muchas variedades de esta especie, siendo uno de los principales factores que influyen en las características del vino producido además de las condiciones agronómicas y de elaboración (Gancedo, 2018).

La vid es un arbusto o liana trepadora de tallo herbáceo o sarmentoso, presentando zarcillos opuestos a las hojas. La familia comprende 14 géneros, destacando el género *Vitis* (Viticultura, 2005).

Su clasificación botánica es la siguiente:

- ⊙ Familia *Vitácea*.
- ⊙ Genero *Vitis*. Todas las especies del género *Vitis* son plantas con tallos sarmentosos provistos de zarcillos o inflorescencias opuestas a las hojas.
- ⊙ Subgénero: Dividido en dos: *Muscadinea* y *Euvitis*. El género *Muscadinea* presenta zarcillos bifurcados, corteza exfoliable, nudos sin diafragma y 40 cromosomas, mientras que el género *Euvitis* presenta 38 cromosomas, nudos con diafragma, zarcillos simples y corteza no exfoliable. Esta es la clasificación de Foëx (1888), posteriormente modernizada por Galet (1967).

- El subgénero *Muscadinea* comprende tres especies originarias del sureste de EE.UU. y México, pero sólo se cultiva una de ellas, *Vitis rotundifolia* para su consumo en fresco, jaleas, helados, vinos. Es de gran interés en mejora varietal, pues es resistente a la filoxera y diversas enfermedades.
- En el subgénero *Euvitis* se concentran las especies de mayor interés. Para estudiarlas se agrupan geográficamente:
 - ✓ Vides americanas, las cuales constituyen la base para la obtención de patrones utilizados en viticultura. Alrededor de 20 especies.
 - ✓ Vides asiáticas. Apenas han contribuido al cultivo y desarrollo de la vid. Sin interés. Entre 10 y 15 especies.
 - ✓ Vides europeas: 1 sola especie. Se cultiva en gran parte del mundo por la calidad de sus frutos *Vitis vinífera*.

Importancia económica y social de la vid.

La producción mundial de uvas en el año 2018 se situó en las 78,8 millones de toneladas, de las que un 57% aproximadamente fueron destinadas a la producción de vino. España es el país con mayor superficie de viñedos pese a ser el quinto productor mundial de uvas del mundo por detrás de China, Italia, Francia y Turquía (Figura 1).

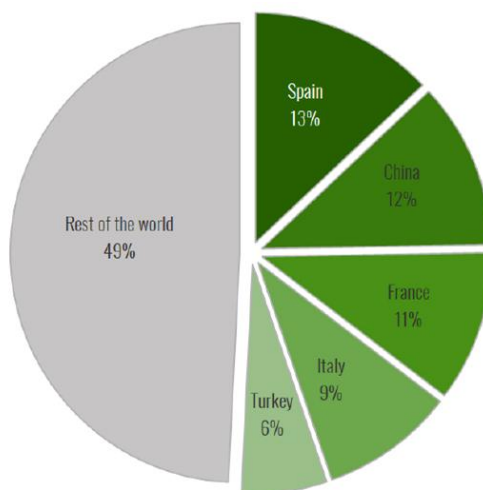


Figura 1. Áreas bajo viñas destinadas a la producción de uvas para vino, uvas de mesa o uvas secas (OIV, 2019).

En México se destinan poco más de 30 mil hectáreas para llevar a cabo este tipo de cultivo, éstas se encuentran divididas en 14 estados de la República, siendo Sonora la

entidad con mayor aporte, ya que nueve de cada 10 toneladas son producidas en este estado, esto representa un total de 266 mil 107 toneladas equivalentes al 76% del volumen total que se produce en todo el país, las cuales son cultivadas en más de 20 mil hectáreas. De estas se destinan siete mil hectáreas para la producción de uva industrializada, la cual se utiliza principalmente para elaborar jugos y licores, con un rendimiento de 73 mil 467 toneladas donde destacan Sonora, Baja California, Zacatecas, Aguascalientes, Querétaro y Coahuila como productores. Del mismo modo, también se producen 14 mil toneladas de uva pasa al año, esto gracias a la importancia que tiene dentro de la elaboración de diferentes alimentos. Por consiguiente, en México al año se cultiva un total de 282 mil 552 toneladas de uva de mesa al año, lo cual figura un aumento importante del 14.5% en comparación con años anteriores, gracias a esto en el país se obtiene una derrama económica de 394 millones de pesos anuales, siendo los meses de junio, julio, agosto y septiembre la época con mayor rendimiento. (Hidroponía, 2017).

Según Amo, (2018) actualmente, la producción de vino en México sigue siendo muy inferior al volumen de vino importado, aunque va ganando presencia en el mercado, al mismo tiempo que va aumentando su consumo por parte del público joven y del público femenino. Aproximadamente el 65% del vino que se consume en México viene del exterior. En 2017, se importaron 71,9 millones de litros, la cifra más alta de la historia. Las importaciones en valor también continúan con su ascenso tras el periodo anterior en el que se habían estancado. En 2017 se importó vino por valor de 250 millones de dólares, frente a los 236 millones de 2016 y los 224 de 2015. Con estos datos, el precio medio del vino se mantuvo en 2017 en 3,47 dólares por litro, un 10% menos que en 2016. Por tanto, comparando los datos de 2017 con los de 2016, las importaciones de vino han aumentado un 5,58% en volumen y un 5,85% en valor, lo que refleja que en 2017 se ha importado más vino a un precio medio menor. Sin embargo, el consumo per cápita en México sigue distando mucho (0,78 litros per cápita) del de países eminentemente productores, como España (20,08 litros per cápita), Italia o Francia. México cuenta con una población de 123 millones de habitantes. Sin embargo, se trata de un país de grandes contrastes y complejidad, cuya población es además muy joven, por lo que el número de potenciales consumidores de un producto como el vino es

inferior a lo que puede parecer por el número total de habitantes. No obstante, el perfil del consumidor de vino en México ha variado.

A continuación, en la Figura 2. Se analiza la evolución de las importaciones de vino en México (vino de uvas frescas) desde 2008 hasta 2017.

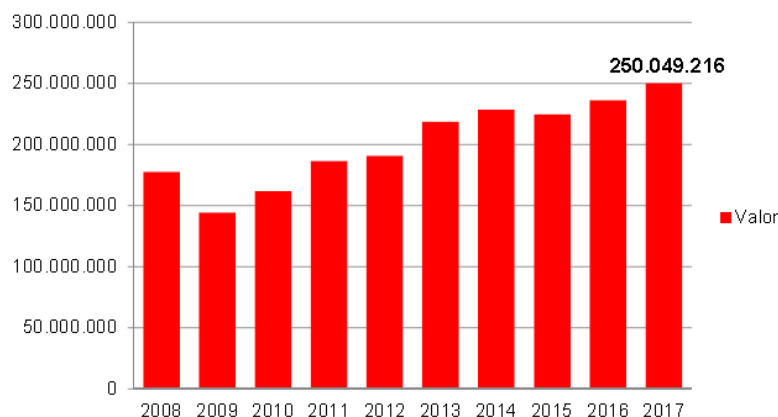


Figura 2. Importaciones en valor (USD) (Amo, 2018).

Como se puede observar, el volumen de vino importado por México continuó su crecimiento en 2017, alcanzando su máximo en el ejercicio analizado.

Superficies establecidas en México y cultivares más importantes.

Hoy nuestro país posee 32.000 hectáreas de viñedos, 8 % más que en 2015, sin embargo, la mayoría está dedicada al cultivo de uva de mesa. En conjunto, se destinan cerca de 5000 hectáreas al cultivo de uva para producir vino (Boullosa, 2017). En uva industrial, la producción fue de 73 mil 467 toneladas con una superficie de más de siete mil hectáreas, destacando los estados de Sonora, Baja California, Zacatecas, Aguascalientes, Querétaro y Coahuila, entre otros. El valor de la producción se situó en 394 millones de pesos; en este rubro Baja California, Zacatecas y Sonora, son los estados que más aportan. A pesar de que la producción de Coahuila es mucho menor que la de Baja California, esta entidad tiene un papel muy especial en la historia del vino en México, pues fue aquí donde se estableció la primera bodega de América. Los usos para la uva industrial son fruta y jugo concentrado, vinos de mesa y licores. En los estados de Coahuila, Zacatecas, Aguascalientes y Querétaro son producidos vinos blancos, tintos y

rosados, en tanto que en Baja California la producción se centra en vinos tintos y blancos.

El 70% de los vinos en México se elaboran de 10 variedades de mayor consumo. En tintas destacan: Cabernet Sauvignon (20%), Merlot (8%), Syrah (5%), Nebbiolo (5%), Tempranillo (4%), Zinfandel (4%), Cabernet Franc (3%), y en variedades blancas: Chardonnay (8%), Chenin Blanc (5%), Sauvignon Blanc (4%) (CMV, 2019).

El estado de Coahuila hasta el 2018 cuenta con alrededor de 636 hectáreas sembradas logrando una producción de 4,804 toneladas. (SIAP, 2019). De las cuales se encuentran las cepas, Blancas: Chardonnay – Chenin blanc – Semillos – Colombard. Tintas: Carbenet Sauvignon – Merlot – Syrah – Tempranillo – Uva Lenoir y Rosa del Perú (CMV, 2018).

Intercambio neto de bióxido de carbono de los viñedos.

La técnica de covarianza eddy determina la tasa de intercambio de CO₂ 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 de CO₂. Hace dos décadas, el método se empleó para estudiar el intercambio de CO₂ de cultivos agrícolas en condiciones ideales durante campañas de campo cortas. Durante la última década, el método de la covarianza eddy se ha convertido en una herramienta importante para evaluar los flujos de dióxido de carbono entre los ecosistemas terrestres y la atmósfera en el transcurso de un año, y más (Baldocchi, 2003). A continuación se presentan unos resultados de estudios sobre la medición de bióxido de carbono:

Li *et al.* (2005) utilizando en método de covarianza eddy realizaron un estudio para medir la NEE en una estepa típica del centro de Mongolia, cuya especie predominante eran plantas C3 en la que obtuvieron valores de NEE de 4.1 t C ha⁻¹ año⁻¹.

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

Otro estudio realizado por Vendrame, (2016) calcularon el intercambio neto de carbono en un viñedo durante tres años consecutivos utilizando el método de la covarianza eddy y demostraron que los flujos se comportaban de manera similar, y en el primer años el

flujo de carbono continuo en aumento constante durante la temporada de crecimiento (junio-septiembre) alcanzando un valor de -250 g C m^{-2} .

Importancia de los viñedos como reservorio de carbono.

La vigilancia de los intercambios de vegetación en la atmósfera ha cobrado gran importancia en las últimas décadas. En la segunda mitad del siglo pasado, la investigación se centró principalmente en mejorar la productividad agrícola. Por lo tanto, se ha hecho un gran esfuerzo estudiando la respuesta de los cultivos agrícolas al forzamiento ambiental, con especial atención en flujo de evapotranspiración para gestionar correctamente los requisitos de riego. Sin embargo, a principios de la década de 1990, la atención se centró en el estudio de las respuestas de los ecosistemas naturales al clima. Este cambio fue impulsado por la creciente conciencia de los efectos del calentamiento global debido a emisiones de gases de efecto invernadero. Dado que la vegetación juega un papel activo en la atmósfera global el presupuesto de CO_2 a través de la absorción por fotosíntesis y la liberación por respiración, era obligatorio para aclarar la magnitud de estos flujos para los principales tipos de vegetación. Gracias a estas investigaciones esfuerzo, se ha confirmado que la vegetación es un sumidero de CO_2 , que hoy se estima que es alrededor del 30% de las emisiones totales (Le Quéré *et al.*, 2015). Además, los estudios sobre el desempeño de los ecosistemas bajo condiciones ambientales diferentes y extremas son fundamentales para mejorar la capacidad de modelar y predecir el papel de la vegetación en el futuro escenarios climáticos. En este contexto, el monitoreo de la vegetación – intercambios de atmósfera en los ecosistemas naturales, especialmente los bosques, recibieron una atención cada vez mayor que condujo a establecimiento de redes regionales de mediciones de flujo en América del Norte (Running *et al.*, 1999) y Europa (Aubinet *et al.*, 2000) a fines de la década de 1990.

Entre ellos, se ha demostrado que los cultivos agrícolas logran el mayor corto–tasas de absorción de carbono a plazo, pero su presupuesto anual suele ser positivo o cercano a neutral debido a largos períodos cuando la tierra está desnuda, por lo tanto, pierde carbono. Sin embargo, perenne los cultivos (por ejemplo, viñedos, huertos, olivos) pueden comportarse de manera diferente: crecen de forma permanente estructura leñosa,

permanecen intactos en el mismo campo durante décadas, originan poda leñosa escombros, y a menudo están cubiertos de hierba. Solo se han realizado pocos estudios a largo plazo durante este tipo de cultivos (Pitacco y Meggio, 2015).

MATERIALES Y MÉTODOS

Ubicación y características del sitio de estudio.

El estudio se realizó durante el ciclo de producción de abril a diciembre del año 2018 en un viñedo cv. Shiraz de once años de edad, propiedad de la Vinícola San Lorenzo, Parras de la Fuente, Coahuila, México (25° 26' N, 102° 10' O, a 1500 msnm) con clima seco semicálido, con temperatura media anual de 15 a 20 °C, precipitación promedio anual de 374.2 mm y tasa de evaporación de 2118 mm (CNA, 2017). El estudio se realizó en el lote 32 que corresponde a una superficie de 6.37 ha del cv Shiraz, con 1.5 m de distancia entre plantas y 2.5 m entre hileras (2 666 planta ha⁻¹). El cultivo recibió el manejo agronómico (fertilización, poda, riego y control fitosanitario) de acuerdo a las normas establecidas por la Vinícola.

Instrumentación y mediciones.

Se usó el método eddy covarianza para medir los flujos de bióxido de carbono entre el dosel del viñedo y la atmosfera de acuerdo con las siguientes ecuaciones (Martens *et al.*, 2004):

$$NEE = FCO_2 + \frac{\Delta\rho CO_2 * \Delta z}{\Delta t} \quad (1)$$

donde FCO₂, es el flujo de CO₂, ΔρCO₂ es el cambio en la densidad del CO₂ en un determinado segmento de tiempo Δt (30 min) y Δz es la altura (3 m sobre la superficie del suelo) a la que se realizaron las mediciones.

El FCO₂ se obtuvo con la siguiente relación:

$$FCO_2 = \overline{w' * \rho CO_2}' \quad (2)$$

Donde: w es la velocidad vertical del viento, ρCO₂ 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). Los sensores del sistema eddy para realizar las mediciones de los flujos de CO₂, se colocaron en un poste a 3 m de altura (1.2 m sobre el dosel del viñedo) (Figura 3). La temperatura sónica se midió con un anemómetro sónico tridimensional (CSI-CSAT3, Campbell, Scientific, Inc., Logan, Utah, EE.UU.); para obtener ρCO₂ se usó un analizador infrarrojo de bióxido de carbono

y vapor de agua de sendero abierto (Open Path CO₂/H₂O analyzer, LI- 7500. LI-COR, Lincon, Nebraska, EE.UU.). Los sensores se conectaron a un datalogger CR1000 (Campbell, Sci., Inc, Logan, Utah) para realizar mediciones a una frecuencia de 10 Hz y generar promedios de 30 min. La retención de CO₂ del viñedo (mmol m⁻²) se obtuvo integrando la tasa de NEE (promedio de 30 min) diurna (valores negativos), mientras que la tasa de liberación fue la integración de la tasa de NEE nocturna (valores positivos). La retención neta, fue la diferencia de los valores integrados diurnos y nocturnos.

La tasa de radiación fotosintéticamente activa (PAR) absorbida se obtuvo colocando dos sensores cuánticos (modelo SQ-512, Apogge Inst., Logan, Utah, USA) a un metro sobre el dosel de las plantas, uno orientado hacia el punto medio del dosel y el otro hacia el zénit. La diferencia entre la PAR incidente y la PAR reflejada correspondió a la PAR absorbida por el dosel del viñedo. Las mediciones se realizaron a una frecuencia de un Hz y promedios 30 min con otro datalogger CR1000.



Figura 3. Sensores de un sistema eddy para la medición del flujo de bióxido de carbono entre el dosel del viñedo y la atmósfera. Ciclo de producción 2018. Vinícola San Lorenzo, Parras, Coahuila.

El carbono almacenado en las plantas del viñedo se determinó midiendo el diámetro y la longitud del tronco y las ramas de cinco plantas del viñedo. El volumen promedio de la madera por planta se multiplicó por el número de plantas por ha (2 666) para obtener el volumen total de la madera por ha. El peso total de la madera se obtuvo considerando una densidad de madera de 0.597 g cm^{-3} (Munaluna-Mienken, 2008). El carbono almacenado se obtuvo asumiendo que el 45% de la composición de la materia seca es carbono (Yerena *et al.*, 2012).

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Tasa instantánea de intercambio neto de bióxido de carbono

La máxima tasa instantánea de intercambio neto de bióxido de carbono (NEE) diurno a través de los meses de crecimiento del viñedo (abril a diciembre), se observó a alrededor de las 12:00 h del día (Figuras 4 y 5). En las mismas figuras también se observa que la tasa de intercambio neto de CO₂ diurno tiene el mismo patrón de variación que la tasa de radiación fotosintéticamente activa absorbida por el dosel del viñedo (PAR_abs), pero con signo contrario (ya que el flujo de CO₂ hacia el dosel se establece como negativo). Nótese que la tasa de PAR_abs máxima también ocurre a alrededor de las 12:00 h, y que es muy sensible a los cambios en las condiciones de nubosidad (Figuras 4 y 5), al igual que la tasa de NEE pero en menor magnitud (Figuras 4 y 5). Entre abril y agosto ocurrió la tasa instantánea máxima de NEE, donde mayo y junio tuvieron los valores mayores (hasta $-9 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$).

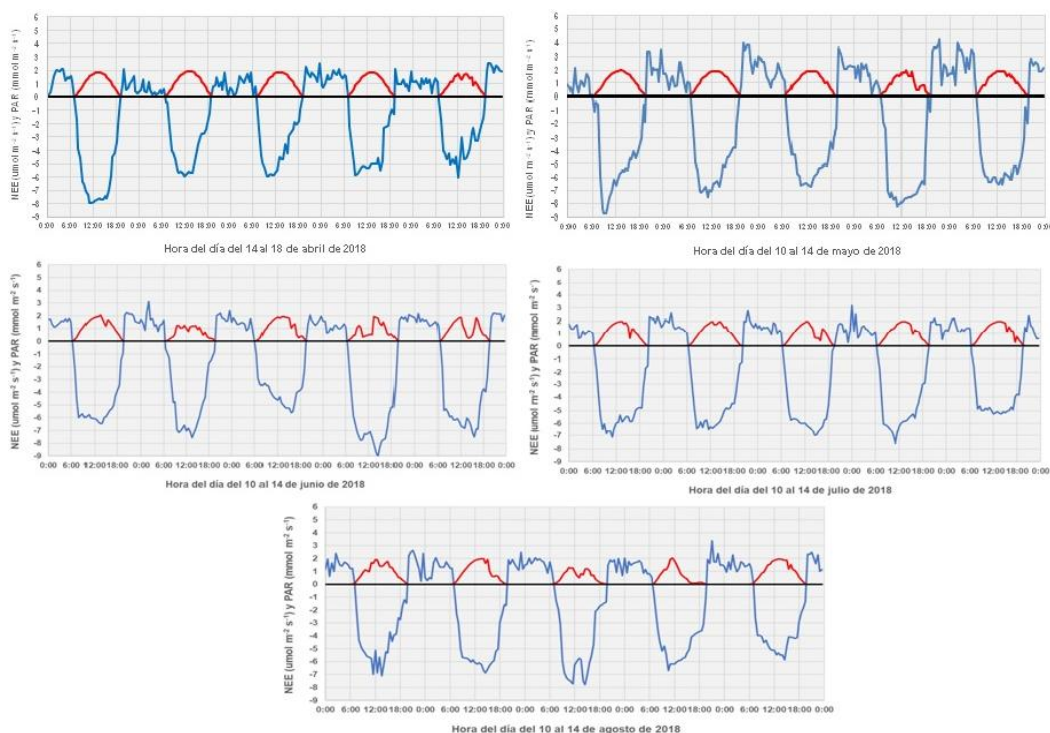


Figura 4. Tasa de intercambio neto de bióxido de carbono (NEE) promedios de 30 min, y de asimilación de radiación fotosintéticamente activa (PAR) absorbida por el dosel del viñedo, durante los meses de abril a agosto de 2018, en la Vinícola San Lorenzo, Parras, Coahuila.

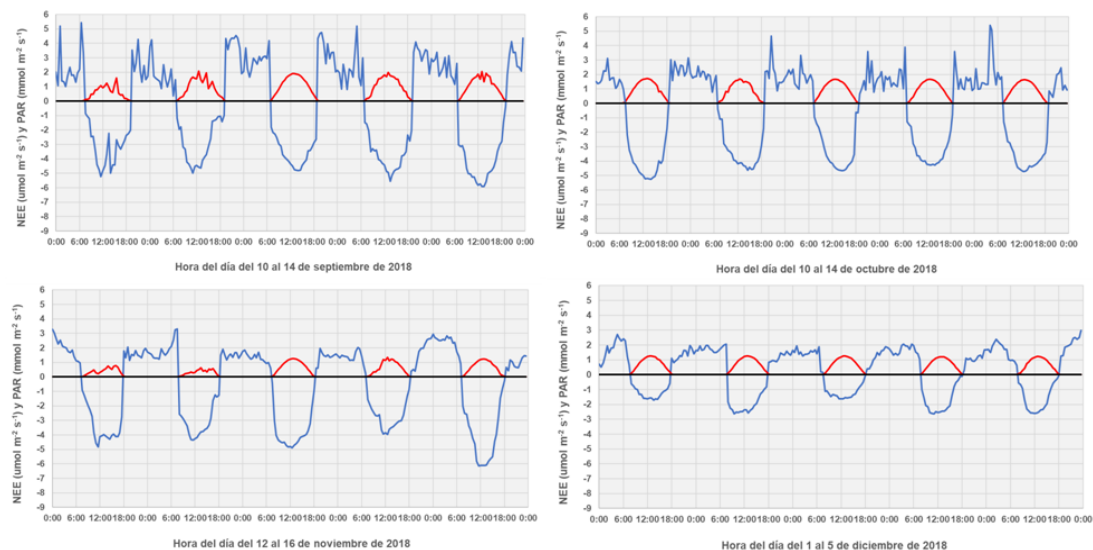


Figura 5. Tasa de intercambio neto de bióxido de carbono (NEE) promedios de 30 min, y de asimilación de radiación fotosintéticamente activa (PAR) absorbida por el dosel del viñedo, durante los meses de septiembre a diciembre de 2018, en la Vinícola San Lorenzo, Parras, Coahuila.

De septiembre a diciembre se tuvo una reducción progresiva de la tasa de NEE (Figura 5). Estudios previos en este cultivo y otras superficies vegetales han mostrado relaciones similares. Por ejemplo, Wofsy *et al.* (1993) observaron que la tasa de NEE se incrementa sistemáticamente con la incidencia de la PAR en un bosque de latitud media, los valores mayores de NEE también se observaron alrededor de las 12:00 h, y durante el mes de julio el NEE fue más alto ($-11 \text{ kg CO}_2 \text{ ha}^{-1} \text{ h}^{-1}$). En un viñedo del noroeste árido de China, la tasa horaria de NEE fue positiva (liberación de CO_2) al inicio del ciclo de producción, valores negativos altos en la etapa media del ciclo de producción y valores negativos pequeños al final del ciclo; la radiación neta fue el factor ambiental que mas efecto tuvo en la tasa de NEE (Guo *et al.*, 2014). Para una huerta de olivos en una superficie horizontal y un índice de área foliar de 1.9, la tasa máxima fue $-17.045 \mu\text{mol m}^{-2} \text{ s}^{-1}$ que se observó durante la mañana del verano (Testi *et al.*, 2008). En un viñedo de uva de mesa del sur de Italia, la tasa de NEE fue de -5 a $-11 \mu\text{mol m}^{-2} \text{ s}^{-1}$ (Nardino *et al.*, 2007).

Otros estudios en viñedo de diferentes cultivares y edades, han reportado tasas de NEE similares a las observadas en este estudio. Por ejemplo, en un viñedo de uva de mesa de

cultivar Regina, durante el verano en el sur de Italia, la tasa máxima de NEE fue de -5 a -11 $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ (el signo negativo indica asimilación) (Nardino, *et al.*, 2007). En un cabernet Sauvignon de 7 años de edad, de California, USA, durante el verano fue de hasta -13 $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-2}$ (Smart *et al.*, 2009), para el cv Sauvignon Blanc, durante junio en Portogruaro ubicado en el norte de Italia, el NEE fue de hasta -15 $\text{mmol m}^{-2} \text{s}^{-1}$, (Vendrame, 2016).

Tasa diaria de intercambio neto de bióxido de carbono del viñedo

Los valores de la tasa instantánea (promedio de 30 min) de intercambio neto de bióxido de carbono, se integraron para condiciones diurnas (valores negativos) y nocturnas (valores positivos), para los meses de crecimiento del viñedo (abril a diciembre) (Cuadro 1). La diferencia de los valores integrados diurnos y nocturnos representa el carbono que queda fijado para la elaboración de compuestos de carbono (Meggio y Pitacco, 2016; Zanotelli *et al.*, 2018).

Cuadro 1. Promedio diario mensual del intercambio neto de bióxido de carbono (NEE) diurno y nocturno y el balance diario mensual. Vinícola San Lorenzo, ciclo de producción 2018. Parras, Coahuila, México.

Mes	NEE diurno (mmol/m^2)	NEE nocturno (mmol/m^2)	NEE (mmol/m^2)
Abril	-215.647	63.882	-151.765
Mayo	-265.710	66.258	-199.452
Junio	-258.261	60.483	-197.77
Julio	-229.645	51.097	-178.548
Agosto	-195.903	68.516	-127.387
Septiembre	-163.033	94.433	-68.600
Octubre	-151.000	89.214	-61.786
Noviembre	-120.964	73.179	-47.786
Diciembre	-53.200	65.800	12.600

De abril a agosto se observó el mayor NEE diurno donde mayo y junio tuvieron los valores más altos (Cuadro 1). De septiembre a diciembre se observó una reducción progresiva de la tasa diurna diaria de NEE, mientras que de agosto a noviembre se presentaron los valores mayores de NEE nocturno (liberación de CO₂). El balance neto de NEE promedio diario mensual (Diferencia entre el NEE diurno y nocturno) fue mayor de abril a agosto, con valores más altos en mayo y junio (Cuadro 1). Los valores menores de balance neto de NEE fueron de septiembre a diciembre con una disminución progresiva. En diciembre el balance neto fue positivo, indicando que el viñedo se comporto como fuente de liberación de CO₂ a la atmosfera. El promedio del NEE diurno de los meses de mayo, junio y julio (meses de mayor asimilación) fue 251.205 mmol m⁻² (Cuadro 1), que corresponde a 3.014 g C m⁻². Este valor es ligeramente mayor (2.079 g C m⁻²) al reportado por Nardino *et al.* (2007) de un viñedo de uva de mesa del sur de Italia.

De abril a noviembre, la asimilación neta total de bióxido de carbono fue 378.72 g C m⁻², que corresponde a 3.78 t C ha⁻¹. El potencial de asimilación de CO₂ de este viñedo es parecido al que se observa en huertas de frutales. Por ejemplo, en una huerta comercial de manzano (*Malus domestica*), la asimilación neta anual de CO₂ de un promedio de cuatro años de medición fue 403 g C m⁻² (Zanotelli *et al.*, 2015). La tasa de asimilación neta de bióxido de carbono del ciclo de producción de diferentes viñedos es muy variable, ya que depende del cultivar, edad, condiciones climáticas, humeado del suelo y manejo agronómico. Por ejemplo, en un viñedo del cv Merlot de 9 años de edad ubicado en Wuwei China, el NEE del ciclo de producción fue 961 g C m⁻² (Gou *et al.*, 2014). Pitacco y Meggio (2015), observaron que el NEE de un viñedo cv. *Carmenere* N. de 23 años de edad en el noreste de Italia fue de 800 g C m⁻² año⁻¹. En Murcia, España, en un viñedo de uva de mesa variedad *perlette*, de 17 años de edad, el NEE del ciclo de producción fue 520 g C m⁻² (Mota *et al.*, 2003).

Si consideramos que solo el 20 % del carbón asimilado se destina al crecimiento de la madera (Zanotelli *et al.*, 2015) entonces, la tasa de secuestro de carbono del viñedo fue 756 kg C ha⁻¹. Aunque este valor es pequeño comparado con los reportados para bosques de diferentes especies (Benjamín y Masera, 2001; Pacheco *et al.*, 2007; Ray *et al.*, 2011), los viñedos pueden tener una participación importante en la mitigación del

bióxido de carbono atmosférico, por su condición de plantas leñosas y que pueden estar en producción hasta por 40 años. Además de la gran extensión de superficie en que se cultiva, en México se tienen 32 000 ha (Boullosa, 2017) y nivel mundial se manejan 7.4 millones de ha (OIV, 2018).

El carbono almacenado en las plantas del viñedo fue $2.857 \text{ t C ha}^{-1}$. Este valor es similar a las mediciones realizadas por Funes *et al.* (2014) en los viñedos de la Rioja España ($2.030 \text{ t C ha}^{-1}$), y a los reportados para los viñedos del centro de Italia (2.565 a 3.24 t C ha^{-1}) (Brunori *et al.*, 2016). El carbono almacenado en los viñedos es muy pequeño con relación al que se almacena en bosques de diferentes especies y localidades (Nowak y Crane, 2002; Pimienta de la Torre *et al.*, 2007; Rodríguez-Larramendi *et al.*, 2016;), sin embargo, los viñedos son ecosistemas agrícolas, que tienen una participación importante en el secuestro de carbono atmosférico por su condición de plantas leñosas y longevas.

Eficiencia cuántica del viñedo

La eficiencia cuántica (mmol de CO_2 por mol de fotones) del viñedo durante los meses del ciclo de producción (abril a diciembre) fue muy similar con muy poca variación entre los diferentes meses (Cuadro 2). El valor menor fue $4.118 \text{ mmol mol}^{-1}$ en el mes de agosto y el mayor $5.456 \text{ mmol mol}^{-1}$ en junio. El valor medio de los meses del ciclo de producción fue $4.25 \text{ mmol mol}^{-1}$ con un pequeño coeficiente de variación de 8.99 %. La uniformidad de la eficiencia cuántica del viñedo es un indicador del manejo agronómico estable y la adecuada y uniforme irrigación del viñedo durante los meses de crecimiento.

Cuadro 2. Eficiencia cuántica (mmol de CO_2 por mol de fotones absorbidos) promedio diario mensual del viñedo durante el ciclo de producción de 2018. Vinícola San Lorenzo, Parras, Coahuila.

Mes	NEE diurno (mmol/m²)	PAR_abs (mol/m²)	Ef cuántica (mmol/mol)
Abril	-215.647	47.558	4.534
Mayo	-265.710	51.499	5.160
Junio	-258.261	47.333	5.456

Julio	-229.645	47.159	4.870
Agosto	-195.903	47.570	4.118
Septiembre	-163.033	34.306	4.752
Octubre	-151.000	32.150	4.696
Noviembre	-120.964	26.614	4.541
Diciembre	-53.200	12.600	4.222

Los valores de rendimiento cuántico de la fotosíntesis que se reportan en este estudio, son menores que los observados en estudios previos (Peri *et al.*, 2005; Fleisher *et al.*, 2006; Kakani *et al.*, 2008), debido a que las eficiencias de este estudio representan la relación de los valores integrados diarios (8:00 a 19:00 h), de la tasa de asimilación de CO₂ (NEE) y la de absorción de la radiación fotosintéticamente activa absorbida (PAR), mientras que en estudios previos se reportan la relación de las tasas de flujo puntuales de asimilación de CO₂ y de PAR absorbida. Otra diferencia es que las mediciones de este estudio fueron a nivel dosel, mientras que en los estudios previos son mediciones foliares. Por ejemplo, mediciones del rendimiento cuántico de hojas de vid del cultivar Semillon fueron 53.6 mmol mol⁻¹ a una temperatura de 25 °C y decreció a 34.7 mmol mol⁻¹ cuando la temperatura aumenta a 35°C (Greer y Weedon, 2012). Para hojas de vid de los cultivares Pinot Noir y Chardonnay, la eficiencia cuántica fue 7.6 mmol mol⁻¹ (Bica *et al.*, 2000). En otro estudio, el rendimiento cuántico de la vid cv Chardonnay fue 50 mmol mol⁻¹, que decreció a 41 y a 16 mmol mol⁻¹ debido a la aplicación del herbicida flumioxazin a dosis de 0.5 mM y 5 mM respectivamente (Bigot *et al.*, 2007). El rendimiento cuántico que se obtiene con la tasa de NEE y de PAR absorbida con promedios de 30 min (Figuras 4 y 5), fue de hasta 35 mmol mol⁻¹ y se observan antes del mediodía, cuando la tasa de PAR incidente es menor. Este valor es más parecido a los reportes de mediciones a nivel foliar.

CONCLUSIONES

La tasa máxima tasa de intercambio neto de bióxido de carbono (NEE) (promedios de 30 min), a través de los meses del ciclo de producción (abril a diciembre) se observó alrededor del mediodía y en mayo y junio se presentan los valores más altos. La tasa de NEE sigue el mismo patrón de variación que la radiación fotosintéticamente activa (PAR) absorbida por el dosel del viñedo. De abril a noviembre la tasa promedio diaria mensual diurna fue mayor que la nocturna, indicando que el viñedo fue sumidero de carbono atmosférico. A partir de diciembre, debido a la senescencia y caída de las hojas, el NEE nocturno fue mayor que el diurno y el viñedo fue fuente de liberación de CO₂.

Por el carbono almacenado, la tasa anual de secuestro de carbono y las grandes extensiones de superficie establecida en México y el mundo, los viñedos son sistemas agrícolas de importancia para la asimilación y retención de carbono atmosférico. El rendimiento cuántico promedio diario del viñedo fue muy estable a través de los meses del ciclo de crecimiento del viñedo, lo que indico un manejo uniforme del viñedo y de la aplicación de los riegos.

REFERENCIAS

- Amo, F. J. 2018. El mercado de vino en México. Estudios de mercado (ed.). ICEX España Exportación e Inversiones, E.P.E., M.P. pp 5-66.
- Aschan, H. & Pfanz, H. 2003. Non-foliar photosynthesis: A strategy of additional carbón acquisition. *Flora* 198(2):81-97.
- Aubinet, M., Grelle, A., Ibrom, A., Rannik, U., Moncrieff, J., Foken, T., Kowalski, A.S., Martin, P.H., Berbigier, P., Bernhofer, C., Clement, R., Elbers, J., Granier, A., Grünwald, T., Morgenstern, K., Pilegaard, K., Rebmann, C., Snijders, W., Valentini, R., Vesala, T. 2000. Estimates of the annual net carbon and water exchange of forests: the EUROFLUX methodology. *Adv. Ecol. Res.* 30, 113–117.
- 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.
- Baldocchi, D., 2003. Assessing the eddy covariance technique for evaluating carbón dioxide exchange rates of ecosystems: past, present and future. *Glob. Chang. Biol.* 9, 479–492.
- Barford, C. C., C. Wofsy Steven, Michael L. Goulden, J. William Munger, Elizabeth Hammond Pyle, Shawn P. Urbanski, Lucy Hutyla, Scott R. Saleska, David Fitzjarrald and Kathleen Moore. 2001. Factors Controlling Long- and Short- Term Secuestration of Atmospheric CO₂ in a Mid-latitude Forest. *Science*. Vol. 294: pp. 1688-1691.
- Benjamín, O. J. A., y Masera, O. 2001. Captura de carbono ante el cambio climático. *Madera y Bosque* 7(1): 3-12.
- Bica, D., G. Gay, A. Morando and E. Soave. 2000. Effects of rootstock and vitis vinifera genotype on photosynthetic parameters. *Acta Hort.* 526: 373-380.
- Bigot, A., F. Fontaine, C. Clément, N. Vaillant-Gaveau. 2007. Effect of the herbicide flumioxazin on photosynthetic performance of grapevine (*Vitis vinifera* L.). *Chemosphere* 67: 1243-1251.
- Boullosa, R. 2017. Producción en Mexico. <https://revistaelconocedor.com/produccion-nacional-la-industria-del-vino-mexicano/>. (Consulta: julio, 2019).
- 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.

- Brunori, E., Farina, R., and Biasi, R. 2016. Sustainable viticulture: The carbon-sink function of the vineyard agro-ecosystem. *Agriculture, Ecosystems & Environment* 223: 10-21.
- Cano, P. 2015. La vida de la vid. *Vínica*. <http://vinica.es/la-vida-de-la-vid/>. (Consulta: agosto, 2019).
- Carrara, A., A. Skowalski, J. Neiryneck, I.A. Janssens, J.C. Yuste & R. Ceulemans. 2003. Net ecosystem CO₂ exchange of mixed forest in Belgium over 5 years. *Agricultural and Forest Meteorology* 119: 209-227.
- CMV (Consejo Mexicano Vitivinícola). 2018. Línea del tiempo. http://uvayvino.org.mx/index.php/inicio/linea_tiempo. (Consulta: enero, 2019).
- CMV (Consejo Mexicano Vitivinícola). 2018. Producción de vino en México. https://uvayvino.org.mx/docs/produccion_consumo_vino.pdf. (Consulta: enero, 2019).
- CMV (Consejo Mexicano Vitivinícola). 2019. Uva Vino. https://uvayvino.org.mx/index.php/inicio/datos_industria. (Consulta: julio, 2019).
- CNA (Comisión Nacional del Agua). 2017. Información climatológica por estado. <https://smn.conagua.gob.mx/es/informacion-climatologica-por-estado?estado=coah>. (Consulta: febrero, 2018).
- Desai, A.R., P.V. Bolstad, B.D. Cook, K.J Davis and E.V. Carey. 2005. Comparing net ecosystem exchange of carbon dioxide between an old-growth and mature forest in the upper Midwest, USA. *Agricultural and Forest Meteorology* 128: 33-55.
- Dolman, A.J., T.C. Maximov, E.J. Moors, A.P. Maximov, J.A. Elbers, A.V. Kononov, M.J. Waterloo, M.K. van der Molen. 2004. Net ecosystem exchange of carbon dioxide and water of far eastern Siberian Larch (*Larix cajanderii*) on permafrost. *Biogeosciences* 1: 133–146.
- Domínguez de la Iglesia, E. 2018. El ciclo vegetativo de la vid. *Campus internacional del vino*. <https://www.campusdelvino.com/blog/item/95-ciclo-vegetativovid%20dominguez,2018>. (Consulta: agosto, 2019).
- El FINANCIERO, (Economía, mercados y negocios en alianza). 2018. El mercado de vino en México, francamente verde. <https://www.elfinanciero.com.mx/bajio/el-mercado-de-vino-en-mexico-francamente-verde>. (Consulta: agosto, 2019).
- FAO (Organización de las naciones unidas para la alimentación y la agricultura). 2014. La FAO logra unificar la información sobre la cubierta vegetal mundial. <http://www.fao.org/news/story/es/item/216816/icode/>. (Consulta: noviembre, 2019).

- Fleisher D.H., D.J. Timlin & V.R. Reddy. 2006. Temperature influence on potato leaf and branch distribution and on canopy photosynthetic rate. *Agronomy Journal* 98: 442–1452.
- Funes, *1 R., C. Savé, J. Biel., Vayreda, E., García, E. X., Aranda y F. de Herralde. 2014. El cultivo de la vid como sumidero de carbono en La Rioja. *E-mail: immaculada.funes@irta.cat. *Actas de horticultura*, pp: 199-199.
- Gancedo, S. A. 2018. Impactos ambientales derivados de la producción de vino de D.O.P. Cangas. Tesis de maestría en biotecnología alimentaria. pp 1-89.
- 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.
- Goulden, M.L., J.W. Munger, S.M. Fan, B.C. Daube and S.C. Wofsy. 1996. Exchange of Carbon Dioxide by a Deciduous Forest: Response to Interannual Climate Variability. *Science* 271: 1576-1578.
- Greer, D.H & M.M. Weedon. 2012. Modelling photosynthetic responses to temperature (*Vitis vinifera* cv. Semillon) leaves on vines grown in a hot climate. *Plant Cell & Environment* 35: 1050-1064.
- Hidroponía. 2017. Producción de uva, un impulso a la economía mexicana. <https://hidroponia.mx/produccion-de-uva-un-impulso-a-la-economia-mexicana/> (Consulta: Noviembre 2019).
- Kakani, V.G., K.J. Boote, K.R. Reddy & D.J. Land. 2008. Response of Bahia grass carbon assimilation and photosystem activity to below optimum temperatures. *Functional Plant Biology* 35:1243–1254.
- Le Quéré, C., Moriarty, R., Andrew, R.M., Canadell, J.G., Sitch, S., Korsbakken, J.I., Friedlingstein, P., Peters, G.P., Andres, R.J., Boden, T.A., Houghton, R.A., House, J.I., Keeling, R.F., Tans, P., Arneeth, A., Bakker, D.C.E., Barbero, L., Bopp, L., Chang, J., Chevallier, F., Chini, L.P., Ciais, P., Fader, M., Feely, R.A., Gkritzalis, T., Harris, I., Hauck, J., Ilyina, T., Jain, A.K., Kato, E., Kitidis, V., Klein Goldewijk, K., Koven, C., Landschützer, P., Lauvset, S.K., Lefèvre, N., Lenton, A., Lima, I.D., Metzl, N., Millero, F., Munro, D.R., Murata, A., S. Nabel, J.E.M., Nakaoka, S., Nojiri, Y., O'Brien, K., Olsen, A., Ono, T., Pérez, F.F., Pfeil, B., Pierrot, D., Poulter, B., Rehder, G., Rödenbeck, C., Saito, S., Schuster, U., Schwinger, J., Séférian, R., Steinhoff, T., Stocker, B.D., Sutton, A.J., Takahashi, T., Tilbrook, B., Van Der Laan-Luijkx, I.T., Van Der Werf, G.R., Van Heuven, S., Vandemark, D., Viovy, N., Wiltshire, A., Zaehle, S., Zeng, N. 2015. Global Carbon Budget 2015. *Earth Syst. Sci. Data* 7, 349–396.

- Li, S. G., Asanuma, J. Eugster, W. A., Kotani, J.-J. Lui, T., Urano, T., Oikawa, G. Davaas, Oyubaatars, D. and Sugita, M. 2005. Net ecosystem carbon dioxide exchange over grazed steppe in central Mongolia. *Global Change Biology*. 11: 1941-1955.
- Martens, C. T., Thomas, J.S., Mendlovitz, H. P., Matross, D. M., Saleska, S. R., Wofsy, S. C., Woodward, W. S., Menton, M. C., De Moura, J. M. S., Crill, P. M., De Moraes, O. L. and Lima, R. L. 2004. Radon fluxes in tropical forest ecosystem of Brazilian Amazonia: night-time CO₂ net ecosystem exchange derived from random and eddy covariance methods. *Global Change Biol*. 10: 618-629.
- Martin-Gorriz, B., G. Egea, P.A. Nortes, A. Baile, M.M. González-Real, I. Ruiz-Salleres and A. Verhoef. 2011. Effects of high temperature and vapour pressure deficit on net ecosystem exchange and energy balance of an irrigated orange orchard in a semi-arid climate (southern Spain). *Acta Hort*. 922:149-156.
- Meggio, F. and A. Pitacco. 2016. Carbon budget of a temperate-climate vineyard – a green future for viticulture? *Acta Hort*. 1112:455-460.
- Mota, C., Alcaraz, L. C., María, I. M., Martínez, B. M. C. y Carvajal, M. 2003. Investigación sobre la absorción de CO₂ por los cultivos más representativos de la región de Murcia. pp 1-41. Consejo Superior de Investigaciones Científicas.
- Munaluna, F. y Miencken, M. 2008. An evaluation of South African fuel wood with regards calorific value and environmental impact. *Biomass and bioenergy*, 33, pp 415-420.
- Nardino, M., Facini, O., Georgiadis, T. and Rossi, F. 2007. Canopy observations of a table grape vineyard: radiation balance, energy partitioning and CO₂ fluxes. *Acta Horticulturae* 732: 611-615.
- Nowak, D. J. & Crane, D. E. 2002. Carbon storage and sequestration by urban trees in the USA. *Environmental Pollution*: 116: 381-389.
- OIV (Organisation International of Vine and Wine). 2018. Aspectos de la coyuntura mundial. <http://www.oiv.int/public/medias/5960/aspectos-de-la-coyuntura-mundial-oiv-abril-2018.pdf>. (Consulta: Noviembre, 2019).
- OIV (Organisation International of Vine and Wine). 2019. Statistical Report on World Vitiviniculture?. <file:///C:/Users/SAMSUNG/Desktop/articulo/oiv-2019-statistical-report-on-world-vitiviniculture.pdf>. (Consulta: Noviembre, 2019).
- Pacheco-Escalona, F. C., A. Alderete, A. Gómez-Guerrero, A. M. Fierros-González, V. M. Cetina-Alcalá y H. Vaquera-Huerta. 2007. Almacenamiento de carbono en la biomasa aérea de una plantación joven de *Pinus greggii* Engelm. *Revista Fitotecnia Mexicana* 30 (3): 251-254.

- Peri, P.L., D.J. Moot & D.L. McNeil. 2005. Modelling photosynthetic efficiency (a) for the light-response curve of cocksfoot leaves under temperate field conditions. *European Journal of Agronomy* 22:277–292.
- Pimienta de la Torre, D. de J., Domínguez, C. G., Aguirre, C. O. Javier, H. F. & Jiménez, P. J. 2007. Estimación de biomasa y contenido de carbono de *Pinus cooperi* Blanco, en Pueblo Nuevo, Durango. *Madera y bosques*, 13(1), 35-46.
- Pitacco, A. and Meggio, F. 2015. Carbon Budget of the vineyard—A new feature off sustainability. 38th World Congr. Vine Wine. BIO Web of Conferences 5, 01024-01024-p.3 doi: 10.1051/bioconf/20150501024. (disponible en línea desde enero 2015).
- Ramos, V. S., y Ferreira, R. O. 2001. Determinación de la cantidad y composición química de la biomasa aérea y subterránea del *Pinus oocarpa*. *Escuela Nacional de Ciencias Forestales*. 13: 3-17.
- Ray, D., D. Ganguly, C. Chowdhury, M. Dey, S. Das, M. K. Dutta, S.K. Mandal, N. Majumder, T.K. De, S.K. Mukhopadhyay, T.K. Jana. 2011. Carbon sequestration an annual increase of carbon stock in a mangrove forest. *Atmospheric Environment* 45(28): 5016-5024.
- Rodríguez L., Luis Alfredo, Guevara H., Francisco, Reyes M., Luis, Ovando C., Jesús, Nahed T., José, Prado L., Miguel, y Campos Saldaña, Rady Alejandra. 2016. Estimación de biomasa y carbono almacenado en bosques comunitarios de la región Frailesca de Chiapas, México. *Revista mexicana de ciencias forestales*, 7(37), 77-94.
- Running, S.W., Baldocchi, D.D., Cohen, W.B., Gower, S.T., Turner, D.P., Bakwin, P.S., Hibbard, K.A. 1999. A Global Terrestrial Monitoring Network intergrating Tower Fluxes with ecosystem modeling and EOS satellite data. *Remote Sens. Environ.* 70, 108–127.
- SADER (Secretaria de Agricultura y Desarrollo Rural). 2018. Fomento a la industria vitivinícola impulso y desarrollo del vino mexicano. <https://www.gob.mx/sader/es/articulos/fomento-a-la-industria-vitivinicola-impulso-y-desarrollo-del-vino-mexicano>. (Consulta: Diciembre, 2018).
- SAGARPA (Secretaria de Agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación). 2017. Planeación agrícola Nacional 2017-2030 parte tres.pdf. https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/255626/Planeaci_n_Agr cola_Nacional_2017-2030-_parte_tres.pdf. (Consulta: Diciembre, 2018).
- Serres C. 2018. Origen, historia y evolución del cultivo de la vid. <https://www.carlosserres.com/origen-historia-y-evolucion-del-cultivo-de-la-vid/>. (Consulta: julio, 2019).

- SIAP Servicio de información agroalimentaria y pesquera 2019. Disponible en <https://nube.siap.gob.mx/cierreagricola/>. (Consulta: octubre, 2019).
- Smart, R. D., Wolff, W. M., Carlisle, E., and María del Mar, A. M. 2009. Reducing Greenhouse Gas Emissions in the Vineyard: Advances Search to Develop More Sustainable Practices. pp 1-13. Department of Viticulture & Enology University of California.
https://www.academia.edu/2518357/Reducing_Greenhouse_Gas_Emissions_in_the_Vineyard_Advances_in_the_Search_to_Develop_More_Sustainable_Practices (Consulta: enero 2018).
- Spano, S. C., Marras, S., Duce, P., & Zara, P. 2007. Energy and CO₂ exchanges over vineyard using micrometeorological techniques.
- USDA (U.S. DEPARTMENT OF AGRICULTURE). 2013. Tesauro y glosario de la biblioteca agrícola nacional. <https://boletinagrario.com/ap-6,intercambio+neto+del+ecosistema,3015.html>. (Consulta: noviembre, 2019).
- Testi, L., F. Orgaz, F. Villalobos. 2008. Carbon Exchange and water use efficiency of a growing, irrigated olive orchard. *Environmental and Experimental Botany* 63: 168-177.
- Vendrame, N. 2016. Study of vegetation-atmosphere interactions over vineyards: CO₂ fluxes and turbulent transport mechanics. pp 1-16. Padova Digital University Archive.
- Verma, S. B., A. Bobermann, K. G. Cassman, D. T. Walters, J. M. Knops, T. J. Arkebauer, A. E. Suyker, G.G. Burba, B. Amos, H. Yang, D. Ginting, K. G. Hubbard, A. A. Gitelson and E.A. Water-Shea. 2005. Annual carbón dioxide exchange in irrigated and rainfed maize-based agroecosystems. *Agricultural and Forest Meteorology*. Vol. 131: pp. 77-96.
- Vinetur, (La revista digital del vino). 2017. La vid, el origen del vino <https://www.vinetur.com/2017032827627/la-vid-el-origen-del-vino.html>. (Consulta: diciembre, 2018).
- Viticultura. 2005. Botánica Organografía y Ciclo Anual de la Vid. (ed.). Cañete, V. M. L. Apuntes de viticultura. pp: 2-20.
- Wofsy, S.C., Goulden, M. L., Munger, J.W., Fan, S. M., Bakwin, P.S., Daube, B.C and Bazzaz, F.A. 1993. Net Exchange of CO₂ in a Mid-Latitude Forest. *Science*. 260: 1314-1317.
- 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.

- Yerena, Y, J. I., Jiménez, P. J., Aguirre, C. O. A y Treviño, G. E. J. 2012. Contenido de carbono total en los componentes de especies arbóreas y arbustivas en áreas con diferente uso, en el matorral espinoso tamaulipeco, en México. *Bosque (Valdivia)*, 33(2), 145-152.
- Yi, C., D.E. Anderson, A.A. Turnipseed, S.P. Burns, J. P. Sparks, D.I. Stannard and R.K. Monson. 2008. The contribution of advective fluxes to net ecosystem exchange in a high elevation, subalpine forest. *Ecological Applications* 18(6): 1379-1390.
- Zanotelli, D., Montagnani, L., Manca, G., Tagliavini, M. 2013. Net primary productivity, allocation pattern and carbón use efficiency in an apple orchard assessed by integrating eddy covariance, biometric and continuous soil chamber measurements. *Biogeosciences* 10: 3089–3108.
- Zanotelli, D., L. Montagnani, G. Manca, F. Scandellari, M. Tagliavini. 2015. Net ecosystem carbon balance of an apple orchard. *European Journal of Agronomy* 63: 97-104.
- Zanotelli, D., Vendrame, N., Lopez- Bernal, A. y Caruso, G.2018. Carbon sequestration in orchards and vineyards. *Italus Hortus*. 25: 13-28.
- Zermeño-González, A., Villatoro, M. S., Cortes, B. J. J. Cadena, Z. M., Catalan, V. E. A., Garcia, D. M. A. y Munguía, L. J. P. 2012. Estimación del intercambio neto de CO₂ en un cultivo de caña de azúcar durante el ciclo de plantilla. *Agrociencia* 46: 579–591.
- 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.