

# BIOFERTILIZACIÓN DE VID EN RELACIÓN CON FOTOSÍNTESIS, RENDIMIENTO Y CALIDAD DE FRUTOS

## BIOFERTILIZATION OF A VINEYARD AND ITS RELATIONSHIP TO PHOTOSYNTHESIS, YIELD AND FRUIT QUALITY

Alejandro Zermeno-González<sup>1\*</sup>, Gildardo Mendez-López<sup>1</sup>, Raúl Rodríguez-García<sup>1</sup>, Martín Cadena-Zapata<sup>1</sup>, José O. Cárdenas-Palomo<sup>2</sup>, Ernesto A. Catalán-Valencia<sup>3</sup>

<sup>1</sup>Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro. Calzada Antonio Narro 1923, Buenavista Saltillo, Coahuila. México. <sup>2</sup>Palau Bioquim S.A. de C.V. Salvador González Lobo 280 Altos, Republica Oriente, Saltillo Coahuila, México. <sup>3</sup>Centro Nacional de Investigación Disciplinaria en Relaciones Agua Suelo Planta Atmosfera (CENID RASPA). Instituto Nacional de Investigaciones Forestales Agrícolas y Pecuarias (INIFAP). Canal Sacramento Km 6.5, Gómez Palacio, Durango

### RESUMEN

La aplicación al suelo y follaje de extractos de algas marinas, como biofertilizantes al suelo y follaje aumenta el rendimiento y la calidad de la cosecha de diversos cultivos, lo cual está relacionado con un aumento en la tasa de fotosíntesis de las plantas. Por tanto, el objetivo de este estudio fue evaluar el efecto de la aplicación de un biofertilizante a base de extractos de algas marinas al suelo y follaje de una plantación de vid (*Vitis vinifera*) cv. Shiraz, en la tasa de asimilación de bióxido de carbono (CO<sub>2</sub>), y su relación con el rendimiento y calidad de frutos. Para esto, se usaron dos plantaciones de vid cv. Shiraz de 5.2 ha, en la Vinícola San Lorenzo, Municipio de Parras, Coahuila, México. A una de estas, al inicio del ciclo de producción (15 de marzo del 2013), se aplicaron al suelo 2 L ha<sup>-1</sup> del biofertilizante Algaenzims y el 3 de abril del 2013 se aplicaron vía foliar 0.5 L ha<sup>-1</sup> del mismo producto. La tasa de asimilación de CO<sub>2</sub> de cada plantación durante su ciclo productivo se evaluó instalando un sistema eddy con sus sensores correspondientes. Los tratamientos fueron con y sin aplicación del biofertilizante. La diferencia estática en la tasa de asimilación de CO<sub>2</sub> entre tratamientos se evaluó con la prueba no paramétrica de Wilcoxon para poblaciones pareadas ( $p \leq 0.05$ ), mientras que para las diferencias en rendimiento y calidad de frutos se usó un diseño completamente al azar y las medias se compararon con la prueba de Tukey ( $p \leq 0.05$ ). Para evaluar el balance de energía en cada superficie, se midió la radiación neta, flujo de calor latente y sensible, y flujo de calor en el suelo. Con base en la prueba de Wilcoxon ( $p \leq 0.05$ ), los resultados del estudio mostraron que

### ABSTRACT

Seaweeds extracts applied to soil and foliage as biofertilizers increase yield and quality of diverse crops. This is related to an increase in the rate of plant photosynthesis. Therefore, the objective of this study was to evaluate the effect of applying a seaweed-extract-based biofertilizer to the soil and foliage of a vineyard of cv. Shiraz grape (*Vitis vinifera*, L.), on the carbon dioxide (CO<sub>2</sub>) assimilation rate and its relationship to fruit yield and quality. For this purpose, two 5.2 ha sections of cv. Shiraz grape vineyards were delimited in the wine company San Lorenzo, Municipality of Parras, Coahuila, Mexico. One of the sections was fertilized with the biofertilizer Algaenzims at the beginning of the production cycle (March 15, 2013) at a dosage of 2 L ha<sup>-1</sup> applied to the soil, and on April 3, 2013, it was applied to foliage at 0.5 L ha<sup>-1</sup>. Assimilation rate of CO<sub>2</sub> for each section of vineyard was evaluated during its productive cycle by installing an eddy system with its corresponding sensors. The treatments were with and without application of the biofertilizer. Static differences in CO<sub>2</sub> assimilation rate between treatments was assessed with the Wilcoxon non-parametric test for paired populations ( $p \leq 0.05$ ), whereas for differences in fruit yield and quality a completely randomized design was utilized and treatments means were compared with the Tukey test ( $p \leq 0.05$ ). To evaluate the energy balance over each surface, net radiation, latent and sensible heat flux and soil heat flux were measured. Based on the Wilcoxon test ( $p \leq 0.05$ ), the results of the study showed that the application of the biofertilizer increased the CO<sub>2</sub> assimilation rate by 7.72 %. Because of this, fruit yield was 13.9 % higher and °Brix was 3.04 % higher (Tukey,  $p \leq 0.05$ ) in the plantation where the biofertilizer was applied.

\* Autor responsable ♦ Author for correspondence.

Recibido: enero, 2015. Aprobado: junio, 2015.

Publicado como ARTÍCULO en Agrociencia 49: 875-887. 2015.

**Key words:** Seaweed, *Vitis vinifera*, net carbon dioxide exchange, energy balance, eddy covariance.

**la aplicación del biofertilizante aumentó en 7.72 % la tasa de asimilación de CO<sub>2</sub>, por lo cual el rendimiento de frutos fue 13.9 % mayor y el de grados Brix 3.04 % (Tukey,  $p \leq 0.05$ ) en la plantación con el biofertilizante.**

**Palabras clave:** Algas marinas, *Vitis vinifera*, intercambio neto de bióxido de carbono, balance de energía, covarianza eddy.

## INTRODUCCIÓN

Los biofertilizantes a base de extractos de algas marinas son materiales bioactivos naturales solubles en agua que promueven la germinación de semillas e incrementan el desarrollo y el rendimiento de cultivos (Norrie y Keathley, 2005). Los extractos de algas marinas se usan como suplementos nutricionales, bioestimulantes o biofertilizantes en la agricultura y horticultura (Hernández-Herrera *et al.*, 2014). El uso de extractos de algas marinas como biofertilizantes permite la sustitución parcial de fertilizantes minerales convencionales (Sathya *et al.*, 2010; Zodape *et al.*, 2010), y también como extractos líquidos, aplicados en forma foliar o granular (polvo), como mejoradores del suelo y abono (Lingakumar *et al.*, 2004; Thirumaran *et al.*, 2009).

Los extractos de algas marinas contienen varias sustancias promotoras del crecimiento de plantas, como auxinas, citoquininas, betainas, giberelinas; y sustancias orgánicas como aminoácidos, macronutrientes y oligoelementos, los cuales mejoran el rendimiento y la calidad de cultivos (Khan *et al.*, 2009; Sathya *et al.*, 2010).

La aplicación de algas marinas al suelo y follaje induce una mayor absorción de nutrientes, aumenta el contenido de clorofila, y el tamaño de las hojas, por lo cual hay un mayor rendimiento y calidad de las cosechas (Kumari *et al.*, 2011). La aplicación de extracto de algas marinas (*Ascophyllum nodosum*) aumentó el contenido de clorofila en las hojas de vid (*Vitis vinifera*), lo cual aumentó el rendimiento y la calidad de los frutos (Sabir *et al.*, 2014). Según Selvam y Sivakumar (2014), la aplicación foliar de extractos líquidos de algas marinas rojas *Hypnea musciformis* (Wulfen) Lamouroux a una concentración de 2 %, aumentó el contenido de clorofila en hojas de las plantas de un cultivo de cacahuete (*Arachis hypogaea* L.), dando un mayor vigor y rendimiento.

La vid es un cultivo predominante en el hemisferio norte. Su importancia radica en la diversificación

## INTRODUCTION

Biofertilizers formulated with seaweed extracts are natural water-soluble bioactive materials that promote seed germination and increase crop development and yield (Norrie and Keathley, 2005). Seaweed extracts are used as nutrient supplements, bio-stimulants or bio-fertilizers in agriculture and horticulture (Hernández-Herrera *et al.*, 2014). The use of seaweed extracts as biofertilizers permits partial substitution of conventional mineral fertilizers (Sathya *et al.*, 2010; Zodape *et al.*, 2010). Besides, they can be used as liquid extracts for foliar application or in powder form as soil amendments and organic fertilizer (Lingakumar *et al.*, 2004; Thirumaran *et al.*, 2009).

Seaweed extracts contain several substances that promote plant growth, such as auxins, cytokines, betaines, gibberellins, and organic substances, such as amino acids, macronutrients and oligoelements, which improve crop yield and quality (Khan *et al.*, 2009; Sathya *et al.*, 2010).

Application of seaweeds to the soil and foliage induces greater absorption of nutrients and increases leaf chlorophyll content and size, leading to higher harvest yields and quality (Kumari *et al.*, 2011). Application of seaweed extracts (*Ascophyllum nodosum*) increased the content of chlorophyll in grape leaves (*Vitis vinifera*), which caused better fruit yield and quality (Sabir *et al.*, 2014). According to Selvam and Sivakumar (2014), foliar application of liquid extracts from red seaweed (*Hypnea musciformis* (Wulfen) Lamouroux at a concentration of 2 % increased leaf chlorophyll content of a peanut crop (*Arachis hypogaea* L.), resulting in greater vigor and higher yields.

Grape is cultivated predominantly in the northern hemisphere. Its importance lies in the diversification of its markets: fresh consumption (mainly the domestic market), and the juice industry; but the wine industry has better opportunity for short-term growth because of the domestic and international demand for table wines (El Economista, 2013). In Mexico, grape production is concentrated in Sonora, Zacatecas, Baja California, Aguascalientes and Coahuila, with 98.2 % of the annual domestic production (El Economista, 2013).

Application of organic fertilizers derived from seaweed increases leaf vigor and chlorophyll content,

de los mercados: consumo en fresco (principalmente en el mercado nacional), y la industria de jugos; pero la industria vitivinícola tiene mayor oportunidad de crecimiento a corto plazo debido a la demanda nacional e internacional del vino de mesa (El Economista, 2013). En México, la producción de vid se concentra en Sonora, Zacatecas, Baja California, Aguascalientes y Coahuila, con 98.2 % de la producción anual (El Economista, 2013).

La aplicación de fertilizantes orgánicos derivados de algas marinas aumenta el vigor y contenido de clorofila de las hojas, y este efecto se debe reflejar en una mayor tasa de asimilación de bióxido de carbono ( $\text{CO}_2$ ). Por tanto, el objetivo de este estudio fue evaluar el efecto de la aplicación de un biofertilizante, formulado a base de extractos de algas marinas, a una plantación de vid cv. Shiraz, en la tasa de fotosíntesis del dosel, y su relación con el rendimiento y calidad de frutos.

## MATERIALES Y MÉTODOS

### Sitio de estudio

El estudio se realizó en la vinícola San Lorenzo, en Parras de la Fuente, Coahuila, México, a 25° 26' N, 102° 10' O y una altitud de 1500 m. El clima de la región es seco semicálido, con temperatura media anual de 20.2 °C, precipitación promedio de 374.2 mm y tasa de evaporación de 2 118 mm (CNA, 2015).

Esta investigación se realizó en dos plantaciones de vid cv. Shiraz de 5.2 ha cada una, (204 m E-O, por 256 m N-S). Las plantaciones tenían siete años de edad y una altura de 2 m en su máximo desarrollo foliar. El espacio es 1.5 m entre plantas y 2.5 m entre hileras, en un sistema de espaldera vertical de conducción en cordón bilateral con poda corta a pulgares, con una densidad de 2 620 plantas  $\text{ha}^{-1}$ .

### Manejo agronómico de la plantación y biofertilizante aplicado

Las plantaciones se riegan por goteo (0.75 m entre emisores), aplicando 2.0 L  $\text{h}^{-1}$  (4.0 L  $\text{planta}^{-1}$ ). El tiempo de riego a través del ciclo del cultivo fue 2 h  $\text{d}^{-1}$ , que, para una cama de mojado de 0.90 m de ancho, correspondió a una lámina de 5.9 mm  $\text{d}^{-1}$ . Cada superficie recibió el mismo manejo del cultivo (poda, riego, fertilización y control fitosanitario), de acuerdo con las normas establecidas por la vinícola San Lorenzo.

Al suelo de una de las plantaciones, al inicio del ciclo de producción (15 de marzo, 2013), se aplicó 2 L  $\text{ha}^{-1}$  del biofertilizante Algaenzims (formulado con extractos de algas marinas), y el 3 de

and the effect should be reflected in a higher rate of carbon dioxide ( $\text{CO}_2$ ) assimilation. Therefore, the objective of this study was to assess the effect of a biofertilizer formulation based on seaweed extracts on the rate of photosynthesis in the canopy of a vineyard of cv. Shiraz grape (*Vitis vinifera*, L.) and its relationship to fruit yield and quality.

## MATERIALS AND METHODS

### Study site

The study was carried out in the wine company San Lorenzo located in Parras de la Fuente, Coahuila, Mexico, 25° 26' N, 102° 10' W, at an altitude of 1500 m. The climate in the region is warm and dry, with 20.2 °C mean annual temperature, 374.2 mm average precipitation and 2 118 mm evaporation rate (CNA, 2015).

This research was carried out in two vineyards of cv. Shiraz, 5.2 ha each (204 m E-W by 256 m N-S). The plantations were seven years old and had a height of 2 m at maximum leaf development. Spacing is 1.5 m between plants and 2.5 m between rows in a vertical trellis driving system in bilateral cordon with short pruning to spurs; density was 2 620 plants  $\text{ha}^{-1}$ .

### Agronomic management of the plantation and biofertilizer applied

The vineyards are drip irrigated (0.75 m between emitters), supplying a flow of 2.0 L  $\text{h}^{-1}$  (4.0 L  $\text{plant}^{-1}$ ). Irrigation time throughout the crop cycle was 2 h  $\text{d}^{-1}$ , which, for a 0.90 m wide wetting bed, corresponded to a daily depth of 5.9 mm. Each area received the same crop management (pruning, irrigation, fertilization and plant health control), complying with the norms established by the San Lorenzo wine company.

In one of the plantations, at the beginning of the production cycle (March 15, 2013), 2 L  $\text{ha}^{-1}$  of the biofertilizer Algaenzims (formulated with seaweed) was applied to the soil, and on April 3, 2013, 0.5 L  $\text{ha}^{-1}$  of the same product was applied on foliage (0.191 mL  $\text{plant}^{-1}$ ) with a Turmatic sprayer (DEFENDER OVER DP 81/3000). Algaenzims<sup>TM</sup> (Palau Bioquim S.A. de C.V.) is a biofertilizer based on seaweed (*Sargassum spp.*) extracts and contains a complex of viable (live) sea microorganisms, which includes air-nitrogen-fixing organisms, halophiles, molds and yeasts, and macro and micro elements in different proportions.

### Measurements

The rate of photosynthesis was determined through net ecosystem exchange (NEE) of ( $\text{CO}_2$ ), which was obtained from

abril del 2013 se aplicó vía foliar 0.5 L ha<sup>-1</sup> (0.191 mL planta<sup>-1</sup>) del mismo producto, con una Aspersora Turmatic (DEFENDER OVER DP 81/3000). Algaenzims<sup>MR</sup> (Palau Bioquim S.A. de C.V.) es un biofertilizante elaborado a base de extractos de algas marinas (*Sargassum spp.*) y contiene un complejo de microorganismos marinos en estado viable (vivos) que son fijadores de nitrógeno del aire, halófilos, mohos y levaduras, y elementos mayores y menores en diferentes proporciones.

### Mediciones realizadas

La tasa de fotosíntesis se determinó mediante el intercambio neto del (CO<sub>2</sub>) del ecosistema (NEE), el cual se obtuvo de mediciones de flujo de CO<sub>2</sub> entre la plantación y la atmósfera. También se midió el flujo de calor latente y sensible en cada plantación. Para esto, en cada sección se instaló un sistema eddy con los sensores correspondientes. Las mediciones de flujo de calor sensible (H), calor latente (LE) y flujo de CO<sub>2</sub> (FCO<sub>2</sub>) entre el dosel de la plantación y la atmósfera se obtuvieron aplicando el método de la covarianza eddy (Ham y Heilman, 2003), con las siguientes ecuaciones:

$$H = \rho_a C_p \overline{w'Ts'} - 0.51Ta \frac{\rho_a C_p}{L} LE \quad (1)$$

$$LE = \overline{Lw'\rho_{wv}} \quad (2)$$

$$FCO_2 = \overline{w'\rho_{co_2}} \quad (3)$$

donde  $\rho_a$ ,  $C_p$  y  $Ta$  son la densidad, capacidad calorífica y temperatura del aire, respectivamente;  $Ts$  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 CO<sub>2</sub>. 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, USA); para obtener  $\rho_{wv}$  y  $\rho_{co_2}$  se usó un analizador infrarrojo de CO<sub>2</sub> y vapor de agua de sendero abierto (Open Path CO<sub>2</sub>/H<sub>2</sub>O analyzer, LI-7500. LI-COR, Lincoln, Nebraska, USA). La temperatura del aire ( $Ta$ ) se midió a la misma altura que  $Ts$ , con un sensor de temperatura y humedad relativa (HP45C, Vaisala, Inc., Woburn, MA, USA). Los sensores se montaron en un poste a 3 m de altura (1.2 m sobre el dosel de la vegetación), instalado en la parte media del extremo oeste de cada plantación.

El anemómetro sónico tridimensional se orientó hacia el

CO<sub>2</sub> flows between the plantation and the atmosphere. Latent and sensible heat flux was also measured in each plantation. To this end, an eddy system, with its corresponding sensors, was installed in each section. Measurements of sensible (H) and latent (LE) heat fluxes and CO<sub>2</sub> flows (FCO<sub>2</sub>) between the vineyard and the atmosphere were obtained by applying the method of eddy covariance (Ham and Heilman, 2003) with the following equations:

$$H = \rho_a C_p \overline{w'Ts'} - 0.51Ta \frac{\rho_a C_p}{L} LE \quad (1)$$

$$LE = \overline{Lw'\rho_{wv}} \quad (2)$$

$$FCO_2 = \overline{w'\rho_{co_2}} \quad (3)$$

where  $\rho_a$ ,  $C_p$  and  $Ta$  are air density, heat capacity and temperature, respectively;  $Ts$  is the sonic temperature;  $\rho_{wv}$  is the air water vapor density;  $w$  is the vertical wind speed;  $L$  is heat of vaporization; and  $\rho_{co_2}$  is the density of CO<sub>2</sub>. The variables with prime symbols represent deviations from the mean and the horizontal bar over two variables denotes the covariance between the variables for a given segment of time (30 min).

Vertical wind speed and sonic temperature were measured with a tri-dimensional sonic anemometer (CSI-CSAT3, Campbell, Scientific, Inc., Logan, Utah, USA). To obtain  $\rho_{wv}$  and  $\rho_{co_2}$ , an infrared carbon dioxide and open path water vapor analyzer was used (Open Path CO<sub>2</sub>/H<sub>2</sub>O analyzer, LI-7500. LI-COR, Lincoln, Nebraska, USA). Air temperature ( $Ta$ ) was measured at the same height as  $Ts$  with a temperature and relative humidity sensor (HP45C, Vaisala, Inc., Woburn, MA, USA). The sensors were mounted on a 3 m high post (1.2 m above vegetation canopy), installed in the middle of the west end of each vineyard.

The tri-dimensional sonic anemometer was directed toward the east so that the wind had at least 200 m of contact with the planted area in the east-west direction and 125 m in the north-south direction, before contact with the sensors. Winds from the west were ruled out because they hit the backside of the sensors. Vertical wind speed, sonic temperature, air temperature, and water vapor and carbon dioxide density were measured at a frequency of 10 Hz, and the corresponding covariances were calculated every 30 min with a data logger CR1000 (Campbell, Scientific, Inc., Logan, Utah, USA).

To check the precision of the flux measurements described, the energy balance over the vineyard canopy was determined with the following equation:

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 se descartaron por impactar en la parte posterior de los sensores. La velocidad vertical del viento, temperatura sónica, temperatura del aire, y la densidad de vapor de agua y del bióxido de carbono se midieron a una frecuencia de 10 Hz, y las covarianzas correspondientes se calcularon cada 30 min con un datalogger CR1000 (Campbell, Cientific, Inc., Logan, Utah, USA).

Para evaluar la precisión de las mediciones de los flujos descritos, se determinó el balance de energía sobre la superficie vegetal con la siguiente relación:

$$Rn = H + LE + G \quad (4)$$

donde Rn es la radiación neta, H flujo de calor sensible, LE flujo de calor latente (del cual 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 Rn se midió con un radiómetro neto (LITE, Keep and Zonen, Inc., Delft, Holanda) colocado a 1 m sobre el dosel de cada plantación; G se midió con dos transductores de calor (modelo HFT3, Campbell Scientific, Inc., Logan, Utah, USA), colocados 0.08 m bajo la superficie del suelo: uno al punto medio entre dos plantas de una hilera y el otro al centro de un pasillo. El flujo de calor en la superficie del suelo se obtuvo sumando al flujo medido a 0.08 m los cambios de temperatura sobre el transductor de calor (Kustas *et al.*, 2000).

H y LE se corrigieron por efecto de diferencia de densidad entre las masas de aire ascendentes y descendentes (Webb *et al.*, 1980). El flujo de  $CO_2$  se corrigió con el mismo factor (Ham and Heilman, 2003). La lámina de agua evapotranspirada en un determinado intervalo se obtuvo dividiendo el valor de LE integrado en dicho tiempo por el calor de vaporización del agua ( $2.44\ MJ\ kg^{-1}$ ).

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

$$NEE = FCO_2 + \frac{\Delta\rho_{CO_2}}{\Delta t} \times \Delta z \quad (5)$$

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

$$Rn = H + LE + G \quad (4)$$

where Rn is net radiation, H the sensible heat flux, LE the latent heat flux (derived from the evapotranspiration rate), and G is the soil heat flux at the surface; all of the variables are expressed in  $W\ m^{-2}$ .

Rn was measured with a net radiometer (LITE, Keep and Zonen, Inc., Delft, Holand) placed 1 m above the canopy of each vineyard section. G was measured with two heat transducers (model HFT3, Campbell Scientific, Inc., Logan, Utah, USA), placed 0.08 m below the soil surface: one at midpoint between two plants in the same row, and the other at the center of a path. The heat flux on the soil surface was obtained by adding the flux measured at 0.08 m to the temperature changes above the heat transducer (Kustas *et al.*, 2000).

H and LE were corrected by effect of difference in density between the ascending and descending air masses (Webb *et al.*, 1980). The flow of  $CO_2$  was corrected with the same factor (Ham and Heilman, 2003). The depth of water evapotranspired within a given interval was obtained by dividing the value of LE integrated in that time by the heat of water vaporization ( $2.44\ MJ\ kg^{-1}$ ).

The net exchange (NEE) of carbon dioxide between the plant canopy and the atmosphere ( $\mu mol\ CO_2\ m^{-2}s^{-1}$ ) was obtained with the following equation (Marterns *et al.*, 2004):

$$NEE = FCO_2 + \frac{\Delta\rho_{CO_2}}{\Delta t} \times \Delta z \quad (5)$$

where  $FCO_2$  is the  $CO_2$  measured with the eddy covariance method (negative toward the plant surface),  $\Delta\rho_{CO_2}$  is the change in  $CO_2$  density measured at the height  $\Delta z$ ,  $\Delta t$  is the time (30 min),  $\Delta z$  is the height above the soil surface at which the flow measurements were taken (3 m).

The total daytime NEE values (08:00 to 19:00 h) were obtained by integrating the instantaneous values (averages of 30 min) through the crop growth cycle.

Fruit yield per plant of each section (with and without application of the biofertilizer) was obtained by averaging the weight of fruits harvested from nine plants. °Brix was also determined (with a refractometer Atago 053 PAL-1) in the juice of 40 fruits from the nine harvested plants of each section. The harvest index used was °Brix, total acidity and pH.

### Statistical evaluation

Statistical differences in NEE between vineyard sections with and without application of the biofertilizer during the growing

Los valores del NEE totales diurnos (08:00 a 19:00 h) se obtuvieron integrando los valores instantáneos (promedios de 30 min) a través del ciclo de crecimiento del cultivo.

El rendimiento de frutos por planta de cada plantación (con y sin aplicación del biofertilizante) se obtuvo cosechando y promediando los frutos de nueve plantas. Los grados Brix se determinaron (con un refractómetro Atago 053 PAL-1) del jugo de 40 frutos de las nueve plantas de cada sección. El índice de cosecha usado fue grados Brix, acidez total y pH.

### Evaluación estadística

Las diferencias estadísticas del NEE entre las plantaciones con y sin aplicación del biofertilizante durante el ciclo de crecimiento de las plantas, se evaluaron con la prueba no paramétrica de Wilcoxon para poblaciones pareadas ( $p \leq 0.05$ ).

Para evaluar el efecto de la aplicación del biofertilizante en el rendimiento de fruto se usó un diseño estadístico completamente al azar con dos tratamientos (con y sin aplicación del biofertilizante) y nueve repeticiones, donde cada planta representó una unidad experimental. La diferencia estadística en los grados Brix también se determinó con un diseño completamente al azar con dos tratamientos (con y sin aplicación del biofertilizante) y 12 repeticiones, y la unidad experimental fue el jugo de 40 frutos de los racimos de las nueve plantas de cada tratamiento. Las medias se compararon con la prueba de Tukey ( $p \leq 0.05$ ).

## RESULTADOS Y DISCUSIÓN

### Variación diurna de los flujos de energía

La variación diurna de los flujos de energía: radiación neta ( $R_n$ ), flujo de calor latente (LE) y sensible (H) y el flujo de calor en el suelo (G) fueron similares en la sección sin (testigo) y con (tratamiento) aplicación del biofertilizante (Figura 1). En promedio y en ambas secciones,  $R_n$  se disipó principalmente en LE (60 %), seguido por G (23 %) y H (11 %). Estos resultados son similares a los reportados para varios cultivos agrícolas bajo condiciones de riego y diferentes ecosistemas naturales en condiciones de humedad (Hao *et al.*, 2008; Hammerle *et al.*, 2008). Desde las 18:00 h y en ambas plantaciones de los días evaluados, el flujo de calor latente fue mayor que la radiación neta (Figura 1), lo cual indica la presencia de un flujo advectivo. Esto es similar a lo reportado por Li y Yu (2007) y Zermeño-González *et al.* (2010) para varios tipos de superficies agrícolas bajo riego en las zonas áridas.

cycle of the plants were assessed with the non-parametric Wilcoxon test for paired populations ( $p \leq 0.05$ ).

To evaluate the effect of biofertilizer application on fruit yield, a completely randomized statistical design with two treatments (with and without biofertilizer application) and nine replications was used. Each plant was one experimental unit. Statistical differences in °Brix were also determined with a completely randomized design with two treatments (with and without biofertilizer application) and 12 replications. The experimental unit was the juice of 40 fruits from the racemes of nine plants from each treatment. Treatment means were compared with the Tukey test ( $p \leq 0.05$ ).

## RESULTS AND DISCUSSION

### Daytime variation of energy fluxes

Daytime variation of the energy fluxes-net radiation ( $R_n$ ), latent (LE) and sensible (H) heat flux and soil heat flux (G)-of the control (without application of biofertilizers) was similar to that of the treatment with biofertilizers (Figure 1). On average, and in both vineyard sections,  $R_n$  dissipated mainly in LE (60 %), followed by G (23 %) and H (11 %). These results are similar to those reported for several irrigated crops and different natural ecosystems in conditions of high soil moisture (Hao *et al.*, 2008; Hammerle *et al.*, 2008). As of 18:00 h and in both vineyard sections on the days evaluated, latent heat flux was greater than net radiation (Figure 1), indicating the presence of an advective flow. Similar reports on several types of areas cultivated under irrigation in arid regions were published by Li and Yu (2007) and Zermeño-González *et al.* (2010).

### Energy balance of surface fluxes

The sum of sensible and latent heat fluxes (H+LE) was 6.05 % less than the available energy ( $R_n$ -G) in the vineyard with the biofertilizer treatment and 9.44 % less than in the control section (Figure 2). This small energy imbalance is within the acceptable interval for measurements of surface fluxes (H and LE) when using the eddy covariance method (Foken, 2008; Zermeño-González *et al.*, 2012).

Available energy ( $R_n$ -G) was higher in the control section (Figure 2), probably because of a higher value of  $R_n$  caused by a lower reflectance index of incident solar radiation from the plant canopy, due

### Balance de energía de los flujos superficiales

La suma del flujo de calor sensible y latente (H+LE) fue 6.05 % menor que la energía disponible (Rn-G) en la sección con tratamiento y 9.44 % menor en la testigo (Figura 2). Este pequeño desbalance de energía está dentro del intervalo de aceptación para las mediciones de los flujos superficiales (H y LE) al usar el método de la covarianza eddy (Foken, 2008; Zermeno-González *et al.*, 2012).

La energía disponible (Rn-G) fue mayor en la sección testigo (Figura 2), probablemente por un valor mayor de la Rn ocasionado por un menor índice de reflectividad a la radiación solar incidente del dosel de la plantación, debido a un mayor contenido de clorofila de las hojas por la aplicación del biofertilizante. Gitelson *et al.* (2003) y Zhang *et al.* (2005) indican que una mayor concentración de clorofila en las hojas de las plantas aumenta la absorción (reduce la reflectancia) a ciertas longitudes de onda del espectro visible.

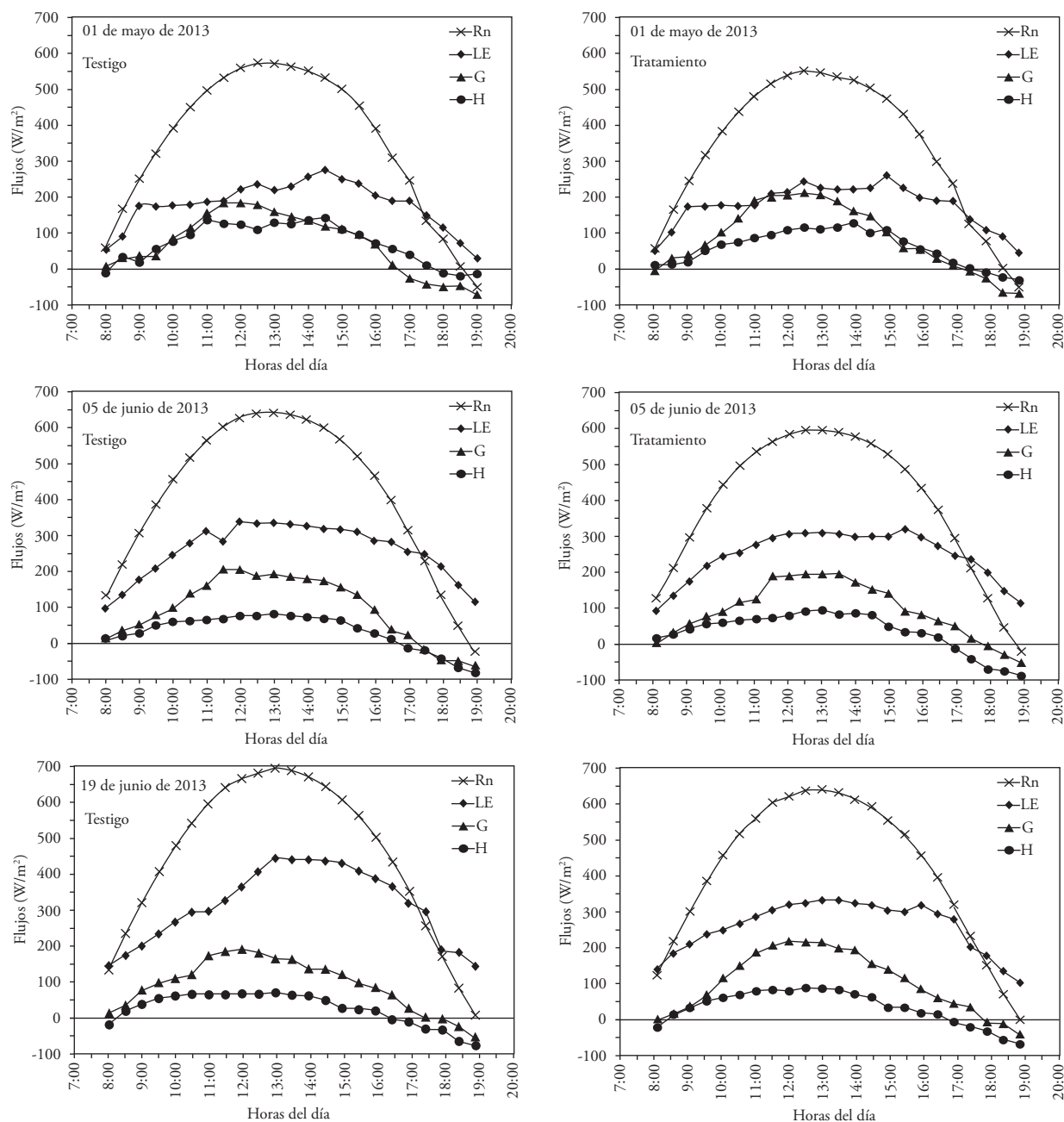
### Tasa de intercambio neto de bióxido de carbono

El intercambio neto del CO<sub>2</sub> del ecosistema (NEE) a través del día (promedios de 30 min) fue mayor en la plantación con aplicación del biofertilizante (Wilcoxon;  $p \leq 0.05$ ) (Figura 3). Esto probablemente se debió a un mayor contenido de clorofila de las hojas de las plantas (Jothinayagi y Anbazhagan, 2009; Erulan *et al.*, 2009). La máxima tasa de NEE fue entre las 12:00 y las 14:00 h del día y se presentó el mismo patrón de cambio de NEE en las dos plantaciones. El máximo valor de NEE fue  $-12.7 \mu\text{mol m}^{-2}\text{s}^{-1}$  en la plantación con aplicación, ocurrió el 28 de mayo del 2013 (Figura 3). Los máximos valores de intercambio neto de CO<sub>2</sub> observados en este estudio fueron pequeños, comparados con cultivos de cobertura mayor, ya que las líneas de plantas solo cubrieron 47 % de la superficie total (2.5 m entre líneas y 0.80 m ancho del dosel). Los valores de NEE van desde  $-30 \mu\text{mol m}^{-2}\text{s}^{-1}$  en una huerta de nogal pecanero (*Carya illinoensis*) (Wang *et al.*, 2007), hasta  $39 \mu\text{mol m}^{-2}\text{s}^{-1}$  en un cultivo de alfalfa (*Medicago sativa*) (Asseng y Hsiao, 2000) y  $-28 \mu\text{mol m}^{-2}\text{s}^{-1}$  para una plantación de caña de azúcar (*Saccharum officinarum* L.) (Zermeno-González, *et al.*, 2012). La aplicación del biofertilizante al suelo y follaje también aumentó el NEE integrado diario (08:00 a

to a higher content of chlorophyll in the leaves as an effect of application of the biofertilizer. Gitelson *et al.* (2003) and Zhang *et al.* (2005) show that a higher concentration of chlorophyll in plant leaves increases absorption (reduces reflectance) at certain wavelengths of the visible spectrum.

### Net rate of carbon dioxide exchange

Daytime net ecosystem exchange (NEE) of CO<sub>2</sub> (averages of 30 min) was higher in the vineyard section with biofertilizer (Wilcoxon;  $p \leq 0.05$ ) (Figure 3). This is likely due to a higher content of chlorophyll in the plant leaves (Jothinayagi and Anbazhagan, 2009; Erulan *et al.*, 2009). The highest rate of NEE was observed between 12:00 and 14:00 h, and the same NEE pattern occurred in the two sections. The highest NEE value observed on May 28, 2013 was  $-12.7 \mu\text{mol m}^{-2}\text{s}^{-1}$  in the vineyard section with biofertilizer application (Figure 3). The highest values of net CO<sub>2</sub> exchange observed in this study were small, compared with crops that cover more ground, since the rows of plants cover only 47 % of the total area (2.5 m between rows and 0.80 m canopy width). NEE values range from  $-30 \mu\text{mol m}^{-2}\text{s}^{-1}$  in a pecan (*Carya illinoensis*) orchard (Wang *et al.*, 2007), to  $39 \mu\text{mol m}^{-2}\text{s}^{-1}$  in an alfalfa crop (*Medicago sativa*) (Asseng and Hsiao, 2000) and  $-28 \mu\text{mol m}^{-2}\text{s}^{-1}$  in a sugarcane (*Saccharum officinarum* L.) plantation (Zermeno-González, *et al.*, 2012). Application of the biofertilizer to the soil and foliage also increased NEE integrated daily (08:00 a 19:00 h) of the plant canopy during the production cycle (Table 1) (Wilcoxon;  $p \leq 0.05$ ). This was due to the fact that the biofertilizer increases the chlorophyll content of the leaves (Thirumaran *et al.*, 2009; Latique *et al.*, 2013), which is related to a higher rate of photosynthesis (Spinelli *et al.*, 2009; Peng *et al.*, 2011). The average daily rate of CO<sub>2</sub> assimilation during the production cycle (April to September) was  $247.08 \text{ mmol m}^{-2}$  in the vineyard section with biofertilizer application, while in the vineyard section with no application, it was  $229.34 \text{ mmol m}^{-2}$ , an increase of 7.73 %. The assimilation rate of both plantations tended to increase from April to June (due to plant leaf development) and decrease from June to September. Moreover, every month the NEE rate was higher in the plantation where the biofertilizer was applied (Table 1). The content

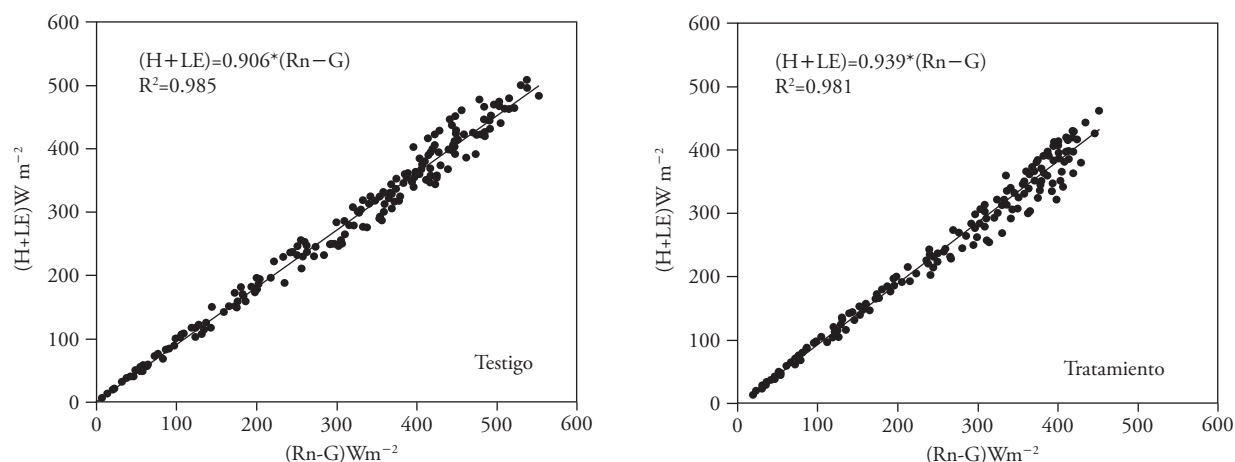


**Figura 1.** Variación diaria (08:00 a 19:00 h) de la radiación neta (Rn), el flujo de calor latente (LE), sensible (H), y flujo de calor en la superficie del suelo (G) sobre una plantación de vid cv Shiraz observada entre el 1 de mayo y el 19 de junio de 2013, sin (testigo) y con (tratamiento) aplicación del biofertilizante. Vinícola San Lorenzo, Parras, Coahuila, México.

**Figure 1.** Daytime variation (08:00 to 19:00 h) of net radiation (Rn), latent (LE) and sensible (H) heat flux and soil surface heat flux (G) over a cv. Shiraz vineyard observed between May 1 and June 19, 2013, without (control) and with (treatment) application of biofertilizer. Vinícola San Lorenzo, Parras, Coahuila, México.

19:00 h) del dosel de la plantación durante el ciclo de producción (Cuadro 1) (Wilcoxon;  $p \leq 0.05$ ). Esto se debió a que el biofertilizante aumenta el contenido de clorofila de las hojas (Thirumaran *et al.*,

of chlorophyll of different crops increases by effect of application of seaweed extracts. Spinelli *et al.* (2010) reported an increase of 11 % in chlorophyll content in strawberry leaves (*Fragaria x annanasa*)



**Figura 2.** Relación entre la energía disponible ( $Rn-G$ ) y la suma de los flujos por turbulencia ( $H+LE$ ), promedios de 30 min sobre una plantación de vid cv Shiraz con (tratamiento) y sin (testigo) aplicación del biofertilizante. Vinícola San Lorenzo, Parras, Coahuila, México.

**Figure 2.** Relationship between available energy ( $Rn-G$ ) and the sum of turbulence fluxes ( $H+LE$ ), averages of 30 min over the cv. Shiraz vineyard with (treatment) and without (control) application of biofertilizer. Vinícola San Lorenzo, Parras, Coahuila, México.

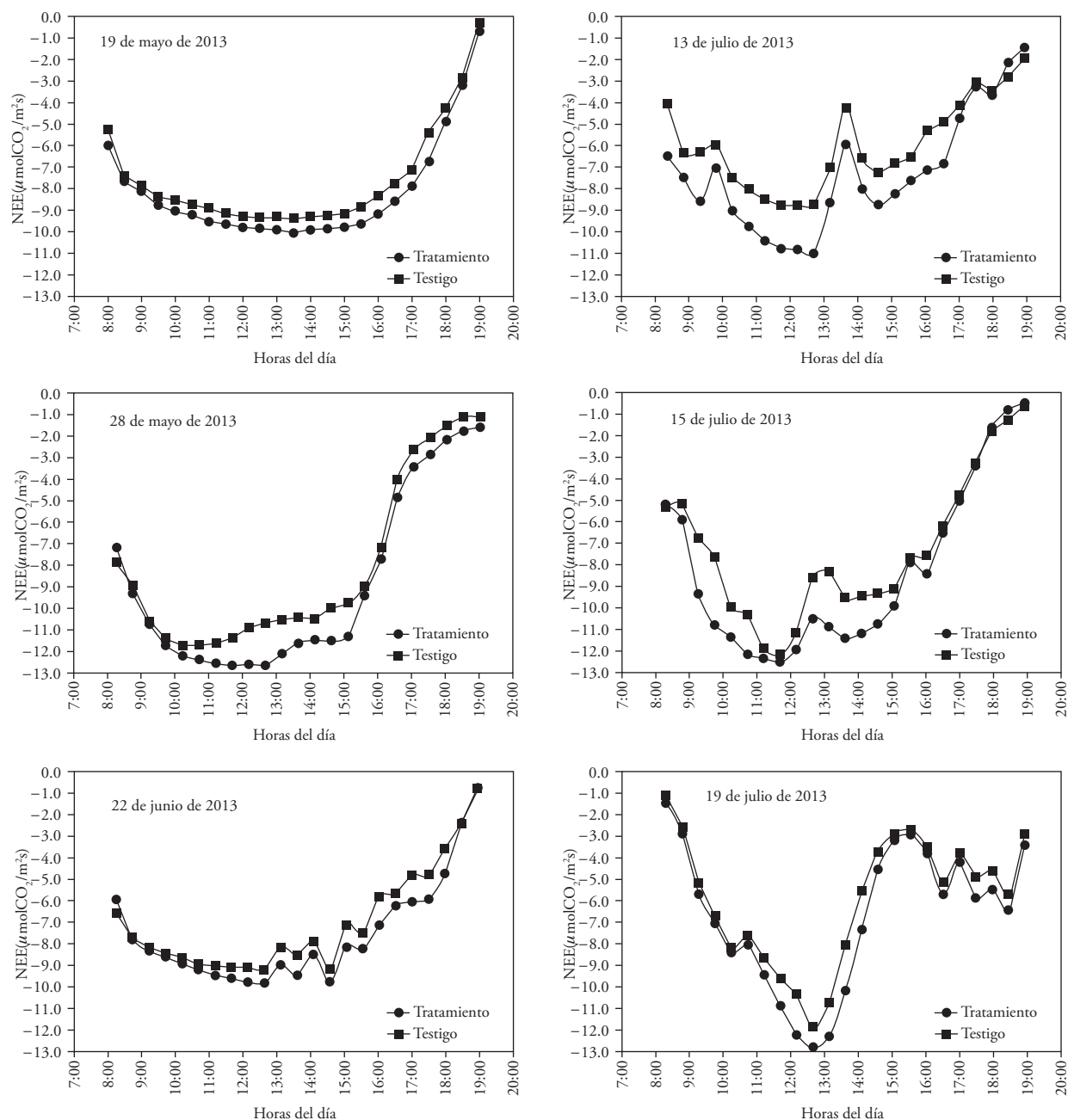
2009; Latique *et al.*, 2013) y ese mayor contenido está relacionado con una mayor tasa de fotosíntesis (Spinelli *et al.*, 2009; Peng *et al.*, 2011). La tasa de asimilación de  $CO_2$  promedio diaria durante el ciclo de producción (abril-septiembre) fue  $247.08 \text{ mmol m}^{-2}$  en la plantación con aplicación del biofertilizante, mientras que sin aplicación fue  $229.34 \text{ mmol m}^{-2}$ , lo cual es un aumento de 7.73 %. La tasa de asimilación en ambas plantaciones mostró una tendencia creciente de abril a junio (debido al desarrollo foliar de las plantas) y decreciente de junio a septiembre; también, para cada mes la tasa de NEE fue mayor en la plantación donde se aplicó el biofertilizante (Cuadro 1). El contenido de clorofila de diferentes cultivos aumenta por efecto de la aplicación de extractos de algas marinas Spinelli *et al.* (2010) muestran un aumento de 11 % en el contenido de clorofila de las hojas de un cultivo de fresa (*Fragaria x annanasa*) por efecto de la aplicación de extractos de alga marinas, que resultó en un aumento de 27 % de la producción de frutos. De manera similar, Khan *et al.* (2012) reportan un aumento del contenido de clorofila de las hojas de un cultivo de vid (cv Perlette) por la aplicación foliar de extractos de algas marinas (*Ascophyllum nodosum*).

and a 27 % increase in fruit production by effect of application of seaweed extracts. Likewise, Khan *et al.* (2012) found an increase in chlorophyll content in leaves of a grape (cv. Perlette) crop resulting from foliar application of seaweed (*Ascophyllum nodosum*) extracts.

### Fruit yield and quality

Application of the biofertilizer to soil and foliage increased fruit yield 13.9 % (Tukey;  $p \leq 0.05$ ) (Table 2). This was probably due to a higher rate of  $CO_2$  assimilation (Table 1) in the vineyard section where biofertilizer was applied. There are studies on the effect of applying seaweed extracts to different crops. Kumar and Sahoo (2011) report an 11 % increase in cv. Pusa Gold wheat (*Triticum aestivum*) grain yield with application of liquid seaweed (*Sargassum wightii*) extract to seeds. Pramanick *et al.* (2014) reported a 41.5 % increase in rice (*Oryza sativa*) grain with foliar application of seaweed extracts (*Kappaphycus alvarezii* and *Gracilaria* sp.).

Application of the biofertilizer to the soil and foliage increased °Brix in juice 3.04 % (Tukey;  $p \leq 0.05$ ) (Table 2). This result is similar to that



**Figura 3.** Intercambio neto de bióxido de carbono (NEE) a través del día (promedios de 30 min) observados en una plantación de vid cv Shiraz con (tratamiento) y sin (testigo) aplicación del biofertilizante durante el ciclo de crecimiento del año 2013 (abril a septiembre). Vinícola San Lorenzo, Parras, Coahuila, México.

**Figure 3.** Net daytime exchange (NEE) of carbon dioxide (averages of 30 min) observed in a cv. Shiraz vineyard with (treatment) and without (control) application of biofertilizer during the growth cycle of 2013 (April to September). Vinícola San Lorenzo, Parras, Coahuila, México.

### Rendimiento y calidad del fruto

La aplicación del biofertilizante al suelo y el follaje aumentó 13.9 % el rendimiento de frutos (Tukey;

reported by Colapietra and Alexander (2005), who found an increase of up to 17 °Brix in a cv. Italia table grape crop with foliar application of seaweed (*Ascophyllum nodosum*) extracts (Khan *et al.*, 2012).

$p \leq 0.05$ ) (Cuadro 2). Esto probablemente se debió a una mayor tasa de asimilación de  $\text{CO}_2$  (Cuadro 1) en la plantación donde se aplicó el biofertilizante. Hay estudios aceca del efecto de la aplicación de extractos de algas marinas en el crecimiento y rendimiento de diferentes cultivos. Así, Kumar y Sahoo (2011) reportan un aumento de 11 % en rendimiento de grano de trigo (*Triticum aestivum*) cv. Pusa Gold con aplicación líquida a las semillas de extractos de algas marinas (*Sargassum wightii*). Mientras que Pramanick *et al.* (2014) reportaron un incremento de grano de arroz (*Oryza sativa*) de hasta 41.5 % con aplicación foliar de extractos de algas marinas (*Kappaphycus alvarezii* y *Gracilaria* sp.).

La aplicación del biofertilizante al suelo y el follaje aumentó 3.04 % los grados Brix del jugo de los frutos (Tukey;  $p \leq 0.05$ ) (Cuadro 2). Este resultado es similar al reportado por Colapietra y Alexander (2005) de aumento hasta 17 °Brix en un cultivo de uva de mesa cv. Italia con aplicación foliar de extractos de algas marinas (*Ascophyllum nodosum*). Además, el incremento en azúcares totales para una plantación de vid (cv. Perlette) fue 28 %, por la aplicación foliar de extractos de algas marina (*Ascophyllum nodosum*) (Khan *et al.*, 2012).

## CONCLUSIONES

El análisis de los resultados del estudio muestra que la aplicación del biofertilizante con base a extractos

**Cuadro 1. Intercambio neto de bióxido de carbono (NEE) promedio diario mensual de los valores diarios integrados (08:00 a 19:00 h) ( $\text{mmol m}^{-2}$ ) observado de abril a septiembre de 2013 en una plantación de vid cv Shiraz con (tratamiento) y sin (testigo) aplicación del biofertilizante.**

**Table 1. Net exchange of carbon dioxide (NEE), monthly averages of the integrated daily values (08:00 to 19:00 h) ( $\text{mmol m}^{-2}$ ) observed from April to September 2013, in a cv. Shiraz vineyard with (treatment) and without (control) application of the biofertilizer.**

| Mes        | Tratamiento | Testigo |
|------------|-------------|---------|
| Abril      | 96.60       | 74.43   |
| Mayo       | 275.48      | 261.60  |
| Junio      | 337.97      | 336.10  |
| Julio      | 307.91      | 273.56  |
| Agosto     | 285.64      | 259.18  |
| Septiembre | 178.86      | 171.16  |

**Cuadro 2. Rendimiento promedio de frutos por planta y °Brix de los frutos con (tratamiento) y sin (testigo) aplicación del biofertilizante en una plantación de vid cv Shiraz, en el ciclo de producción 2013. Vinícola San Lorenzo, Parras, Coahuila, México.**

**Table 2. Average fruit yield per plant and °Brix of fruits with (treatment) and without (control) application of the biofertilizer in a cv. Shiraz vineyard, in the 2013 production cycle. Vinícola San Lorenzo, Parras, Coahuila, México.**

| Tratamiento                                      | Rendimiento promedio de frutos por planta (kg) | °Brix |
|--------------------------------------------------|------------------------------------------------|-------|
| Sin aplicación del biofertilizante (testigo)     | 4.25a                                          | 26.3a |
| Con aplicación del biofertilizante (tratamiento) | 4.84b                                          | 27.1b |

Medias con letra diferente en una columna son estadísticamente diferentes (Tukey;  $p \leq 0.05$ ) x Means with different letters in a column are statistically different (Tukey;  $p \leq 0.05$ ).

## CONCLUSIONS

Analysis of the results of the study show that application of biofertilizer from seaweed extracts to soil and foliage of a cv. Shiraz grape vineyard increased the rate of carbon dioxide assimilation, which caused higher fruit yield and higher °Brix in the juice.

—End of the English version—

-----\*

de algas marinas, al suelo y follaje de una plantación de vid cv. Shiraz aumentó la tasa de asimilación de bióxido de carbono, lo cual causó un mayor rendimiento y una mayor concentración de grados Brix en los frutos.

## LITERATURA CITADA

- Asseng, S., and T. C. Hsiao. 2000. Canopy  $\text{CO}_2$  assimilation, energy balance, and water use efficiency of an alfalfa crop before and after cutting. *Field Crop Res.* 67(3): 191-206.
- Colapietra, M., and A. Alexander. 2005. Effect of foliar fertilization on yield and quality of table grapes. *Acta Hort.* V International symposium on mineral nutrition of fruit plants 721(1): 213-218.

- CNA. 2015. Comisión Nacional de Agua (www.smn.conagua.gob.mx) (Consulta: Enero 2015)
- El Economista. 2013. www.com.mx/columnas/agro-negocios-produccion-vid-alternativa-rentable-productor. (Consulta: Octubre de 2013).
- Erulan, V., G. Thirumaran, P. Soundarapandian, and G. Ananthan. 2009. Studies on the effect of *Sargassum polycystum* (C. agardh, 1824) extract on the growth and biochemical composition of *Cajanus cajan* (L.) Mill sp. American-Eurasian J. Agric. Environ. Sci. 6(4): 392-399.
- Foken, T. 2008. The energy balance closure problem: an overview. Ecol. Appl. 18(6): 1351-1367.
- Gitelson, A.A., Y. Gritz, and M.N. Merzlyak. 2003. Relationships between leaf chlorophyll content and spectral reflectance and algorithms for non-destructive chlorophyll assessment in higher plant leaves. J. Plant Physiol. 160(3): 271-282.
- Ham, J. M., and J. L. Heilman. 2003. Experimental test of density and energy-balance corrections on carbon dioxide flux as measured using open-path eddy covariance. Agron. J. 95(6): 1393-1403.
- Hammerle, A., A. Haslwanter, U. Tappeiner, A. Cernusca, and G. Wohlfahrt. 2008. Leaf area controls on energy partitioning of a temperate mountain grassland. Biogeosciences 5(2): 421-431.
- Hao, Y., Y. Wang, X. Mei, X. Huang, X. Cui, X. Zhou, and H. Niu. 2008. CO<sub>2</sub>, H<sub>2</sub>O and energy exchange of an Inner Mongolia steppe ecosystem during a dry and wet year. Acta Oecol. 33(2): 133-143.
- Hernández-Herrera, R. M., F. Santacruz-Ruvalcaba, M. A. Ruiz-López, J. Norrie, and G. Hernández-Carmona. 2014. Effect of liquid seaweed extracts on growth of tomato seedlings (*Solanum lycopersicum* L.). J. Appl. Phycol. 26(1): 619-628.
- Jothinayagi, N., and C. Anbazhagan. 2009. Effect of seaweed liquid fertilizer of *Sargassum wightii* on the growth and biochemical characteristics of *Abelmoschus esculentus* (L.) Medikus. Recent Res. Sci. Tech. 1(4): 155-158.
- Khan, W., U. P. Rayirath, S. Subramanian, M. N. Jithesh, P. Rayorath, D. M. Hodges, A. T. Critchley, J. S. Craigie, J. Norrie, and B. Prithiviraj. 2009. Seaweed extracts as biostimulants of plant growth and development. J. Plant Growth Regul. 28(4): 386-399.
- Khan, A. S., B. Ahmad, M. J. Jaskani, R. Ahmad, and A. U. Malik. 2012. Foliar application of mixture of amino acids and seaweed (*Ascophyllum nodosum*) extract improve growth and physicochemical properties of grapes. Int. J. Agric. Biol. 14(3): 383-388.
- Kumar, G., and D. Sahoo. 2011. Effect of seaweed liquid extract on growth and yield of *Triticum aestivum* var. Pusa Gold. J. Appl. Phycol. 23:251-255.
- Kumari, R., I. Kaur, and A. K. Bhatnagar. 2011. Effect of aqueous extract of *Sargassum johnstonii* Setchell & Gardner on growth, yield and quality of *Lycopersicon esculentum* Mill. J. Appl. Phycol. 23(3): 623-633.
- Kustas, W. P., J. H. Prueger, and J. L. Hatfield. 2000. Variability in soil heat flux from a mesquite dune site. Agric. For. Meteorol. 103: 249-264.
- Latique, S., H. Chernane, M. Mansori, and M. El Kaoua. 2013. Seaweed liquid fertilizer effect on physiological and biochemical parameters of bean plant (*Phaseolus vulgaris* variety Paulista) under hydroponic system. Eur. Sci. J. 9:1857-7881.
- Li, L., and Q. Yu. 2007. Quantifying the effects of advection on canopy energy budgets and water use efficiency in an irrigated wheat field in the North China Plain. Agr. Water Manage. 89(1): 116-122.
- Lingakumar, K., R. Jeyaprakash, C. Manimuthu, and A. Haribaskar. 2004. Influence of *Sargassum* sp. crude extract on vegetative growth and biochemical characteristics in *Zea mays* and *Phaseolus mungo*. Seaweed Res. Utilisation 26(1): 155-160.
- Martens, C. S., T. J. Shay, H. P. Mendlovitz, D. M. Matross, S. R. Saleska, S. C. Wofsy, W. S. Woodward, M. C. Menton, J. M. S. De Moura, P. M. Crill, O. L. L. De Moraes, and R. L. Lima. 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 Biol. 10(5): 618-629.
- Norrie, J., and J. P. Keathley. 2005. Benefits of *Ascophyllum nodosum* marine-plant extract applications to 'Thompson seedless' grape production. (Proceedings of the Xth International Symposium on Plant Bioregulators in Fruit Production). Acta Hort. 727(1):243-248.
- Peng, Y., A. A. Gitelson, G. Keydan, D. C. Rundquist, and W. Moses. 2011. Remote estimation of gross primary production in maize and support for a new paradigm based on total crop chlorophyll content. Remote. Sens. Environ. 15(4): 978-989.
- Pramanick, B., K. Brahmachari, A. Ghosh, and S. T. Zodape. 2014. Effect of seaweed saps on growth and yield improvement of transplanted rice in old alluvial soil of West Bengal. Bangladesh J. Bot. 43(1): 53-58.
- Sabir, A., K. Yazar, F. Sabir, Z. Kara, M. A. Yazici, and N. Goksu. 2014. Vine growth, yield, berry quality attributes and leaf nutrient content of grapevines as influenced by seaweed extract (*Ascophyllum nodosum*) and nanosize fertilizer pulverizations. Sci. Hort. 175(15): 1-8.
- Sathya, B., H. Indu, R. Seenivasan, and S. Geetha. 2010. Influence of seaweed liquid fertilizer on the growth and biochemical composition of legum crop, *Cajanus cajan* L.) mill sp. J. Phytol. 2(5): 50-63.
- Selvam, G. G., and K. Sivakumar. 2014. Influence of seaweed extract as an organic fertilizer on the growth and yield of *Arachis hypogea* L. and their elemental composition using SEM-Energy Dispersive Spectroscopic analysis. Asian Pacific J. Reprod. 3(1): 18-22.
- Spinelli, F., G. Fiori, M. Noferini, M. Sprocati, and G. Costa. 2009. Perspectives on the use of a seaweed extract to moderate the negative effects of alternate bearing in apple trees. J. Hort. Sci. Biot. 84(1): 131-137.
- Spinelli, F., G. Fiori, M. Noferini, M. Sprocati, and G. Costa. 2010. A novel type of seaweed extract as a natural alternative to the use of iron chelates in strawberry production. Sci. Hort. 125(3): 263-269.
- Thirumaran, G., M. Arumugam, R. Arumugam, and P. Anantharaman. 2009. Effect of seaweed liquid fertilizer on growth and pigment concentration of *Abelmoschus esculentus*(I) Medikus. American-Eurasian J. Agron. 2(2): 57-66.
- Wang, J. M., D. R. Miller, T. W. Sammis, V. P. Gutschick, L. J. Simmons, and A. A. Andales. 2007. Energy balance measurements and a simple model for estimating pecan water use efficiency. Agric. Water Manage. 91: 92-101.

- Webb, E. K., G. I. Pearman, and R. Leuning. 1980. Correction of flux measurements for density effects due to heat and water vapor transfer. *Quart. J. Roy. Meteorol. Soc.* 106(447): 85-100.
- Zermeño-González, A., J. A. Flores-Guerrero, J. P. Munguía-López, J. A. Gil-Marín, R. Rodríguez-García, E. A. Catalán-Valencia, L. Ibarra-Jiménez, y H. Zermeño-González. 2010. Evapotranspiración y su relación con la evapotranspiración a equilibrio de una huerta de nogal pecanero (*Carya illinoensis*) del norte de México. *Agrociencia* 44(8): 885-893.
- Zermeño-González, A., S. Villatoro-Moreno, J. J. Cortés-Bracho, M. Cadena-Zapata, E. A. Catalán-Valencia, M. A. García-Delgado, y J. P. Munguía-López. 2012. Estimación del intercambio neto de CO<sub>2</sub> en un cultivo de caña de azúcar durante el ciclo de plantilla. *Agrociencia* 46(6): 579-591.
- Zhang, Q., X. Xiao, B. Braswell, E. Linder, F. Baret and B. More. 2005. Estimating light absorption by chlorophyll, leaf and canopy in a deciduous broadleaf forest using MODIS data and a radiative transfer model. *Remote Sens. Environ.* 99(3): 357-371.
- Zodape, S.T., S. Mukhopadhyay, K. Eswaran, M. P. Reddy, and J. Chikara. 2010. Enhanced yield and nutritional quality in green gram (*Phaseolus radiata* L.) treated with seaweed (*Kappaphycus alvarezii*) extract. *J. Sci. Ind. Res.* 69(6): 468-471.