

BIOFERTILIZACIÓN FOLIAR CON ALGAS MARINAS (*Algae* (L.)) A UN VIÑEDO Y SU RELACIÓN CON CONTENIDO DE HIERRO, FOTOSÍNTESIS Y RENDIMIENTO

FOLIAR BIOFERTILIZATION WITH SEA WEEDS (*Algae* (L.)) ON A VINEYARD IN RELATION TO IRON CONTENT, PHOTOSYNTHESIS AND YIELD

Saúl Alejandro **Salmerón-Bravo**¹, Alejandro **Zermeño-González**^{1*}, Jorge **Méndez-González**², Homero **Ramírez-Rodríguez**³, Martín **Cadena-Zapata**⁴

¹Departamento de Riego y Drenaje. ²Departamento Forestal. ³Departamento de Horticultura. ⁴Departamento de Maquinaria Agrícola. Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro, Calzada Antonio Narro 1923, Buenavista. 25315. Saltillo, Coahuila. México. (azermenog@hotmail.com).

RESUMEN

Uno de los problemas que limitan el desarrollo de los viñedos es la clorosis de las plantas por la deficiencia de Fe, la cual es muy frecuente en los suelos calizos. La aplicación foliar de biofertilizantes con Fe puede incrementar el contenido de este elemento en las hojas de las plantas de vid (*Vitis vinifera* L.) y reducir la clorosis. Por lo tanto, el objetivo de este estudio fue evaluar el efecto de un fertilizante foliar, orgánico, elaborado con extractos de algas marinas (*Algae* (L.)), adicionado con Fe (6%) y Mn (3%), en el contenido de Fe y clorofila de las hojas, tasa de fotosíntesis foliar y rendimiento de frutos de plantas de vid del cultivar (cv.) Sauvignon Blanc. El diseño experimental fue completamente al azar con cuatro tratamientos (sin aplicación del biofertilizante, con una, dos y tres aplicaciones) y cuatro repeticiones. Las aplicaciones foliares iniciaron al final de la etapa vegetativa en intervalos de 15 d. La comparación de medias de tratamientos se realizó con la prueba de Tukey ($p \leq 0.05$). Los resultados del estudio mostraron que cada aplicación del biofertilizante incrementó proporcionalmente el contenido de hierro de las hojas. Dos aplicaciones aumentaron el contenido relativo de clorofila y se necesitaron tres aplicaciones para incrementar la tasa de fotosíntesis foliar. El efecto de las aplicaciones del biofertilizante en el contenido de Fe, contenido relativo de clorofila y la tasa de fotosíntesis foliar incrementaron el rendimiento de fruto del cv. Sauvignon Blanc.

Palabras clave: vid, *Vitis vinifera*, cv. Sauvignon Blanc, clorofila, clorosis férrica.

* Autor para correspondencia ♦ Author for correspondence.

Recibido: enero, 2020. Aprobado: junio, 2020.

Publicado como ARTÍCULO en *Agrociencia* 54: 967-976. 2020.

ABSTRACT

One of the problems that restrict the development of the vineyards is the chlorosis of the plants due to the deficiency of Fe, which is very frequent in limy soils. Foliar application of biofertilizers with Fe can increase the content of this element in the leaves of vine plants (*Vitis vinifera* L.) and reduce chlorosis. Therefore, the objective of this study was to evaluate the effect of a foliar, organic fertilizer, elaborated with seaweed extracts (*Algae* (L.)), added with Fe (6%) and Mn (3%), on the Fe and chlorophyll content of the leaves, rate of foliar photosynthesis and fruit yield of Sauvignon Blanc cultivar variety (cv.) vine plants. The experimental design was completely randomized with four treatments (without application of the biofertilizer, with one, two, three applications) and four replicates. Foliar applications started at the end of the vegetative stage in intervals of 15 d. The comparison of treatment means was made with the Tukey test ($p \leq 0.05$). Results showed that each application of the biofertilizer increased proportionally the iron content in leaves. Two applications increased relative chlorophyll content, and three applications were needed to increase the rate of foliar photosynthesis. The effect of the biofertilizer applications on the Fe content, relative chlorophyll content and the rate of foliar photosynthesis increased the fruit yield of cv. Sauvignon Blanc.

Key words: vine, *Vitis vinifera*, Sauvignon Blanc cv., chlorophyll, iron chlorosis.

INTRODUCTION

Seaweeds (*Algae* (L.)) are photosynthetic eukaryotic organisms with potential use in animal and human food; they also have industrial applications (Dominguez, 2013), but are

INTRODUCCIÓN

Las algas marinas (*Algae* (L.)) son organismos eucariotas fotosintéticos con potencial de uso en la alimentación animal y humana y tienen aplicaciones industriales (Domínguez, 2013), pero se usan poco como fuentes de nutrimentos para las plantas. Las algas se diferencian de las plantas superiores porque carecen de tallos, hojas, raíces y sistemas vasculares; se anclan a objetos sólidos, absorben los nutrimentos directamente del agua, y elaboran compuestos estructurales través de la fotosíntesis.

Debido a su capacidad para absorber y concentrar de modo selectivo sustancias inorgánicas del mar, el contenido de minerales de las algas marinas es mayor que el de las plantas terrestres. Las algas tienen contenidos altos de Mg, Ca, P, K y Na (macronutrientes) y, además, tienen I, Fe, Cu, Cd, Ni, Hg y Zn. Los extractos de algas marinas se pueden usar como suplementos nutricionales o fertilizantes en la agricultura y horticultura, y como biofertilizantes en extracto líquido o granular (polvo) de aplicación foliar o en el suelo (Hernández-Herrera *et al.*, 2013).

Por su importancia económica y cultural, el cultivo de la vid (*Vitis vinífera* L.) es uno de los más antiguos del mundo. Debido a su consumo diversificado, la uva se caracteriza por su valor económico alto. Por ejemplo, el 31% de la producción mundial se destina al mercado en fresco, 67% para elaborar vinos y otras bebidas alcohólicas, y el 2% restante se consume como fruta seca (OIV, 2012; FAO, 2013).

En México, la producción de vid se concentra en los estados de Baja California, Sonora, Aguascalientes, Coahuila y Zacatecas, con 98.2% de la producción anual (El Economista, 2013), y Sonora con 7% tiene la producción mayor (Hidroponía, 2017). El 63% se consume en fresco, 24.4% para la elaboración de vinos y jugos, y 12.6% se deshidrata (SAGARPA, 2017).

Entre las variedades viníferas se tiene al cv Sauvignon Blanc originaria de la región de Burdeos, Francia, y se le considera después de la Chardonnay, la variedad más fina entre las cepas blancas de origen francés. La planta es resistente al frío, de brotación temprana. El racimo es de tamaño mediano y forma cilíndrica; las bayas son de tamaño mediano, forma redonda y color amarillo dorado, produce vinos elegantes, secos y ácidos; de color amarillo brillante con matices verdes (BBvinos, 2017). Este cultivar presenta a

little used as plant nutrient sources. Algae differ from higher plants because they lack stems, leaves, roots and vascular systems. They anchor themselves to solid objects, absorb nutrients directly from the water, and elaborate structural compounds through photosynthesis.

Due to their ability to selectively absorb and concentrate inorganic substances from the sea, the mineral content of seaweed is higher than that of terrestrial plants. Algae have a high content of Mg, Ca, P, K and Na (macronutrients) and, in addition, they have I, Fe, Cu, Cd, Ni, Hg and Zn. Seaweed extracts can be used as nutritional supplements or fertilizers in agriculture and horticulture, and as biofertilizers in liquid or granular (powder) extract for foliar or soil application (Hernández-Herrera *et al.*, 2013).

Due to economic and cultural importance, the cultivation of the vine (*Vitis vinífera* L.) is one of the oldest in the world. Due to diversified consumption, grapes are characterized by a high economic value. As an example, 31% of world production is destined for the fresh market, 67% for making wine and other alcoholic beverages, and the remaining 2% is consumed as dried fruit (OIV, 2012; FAO, 2013).

In Mexico, vine production is concentrated in the states of Baja California, Sonora, Aguascalientes, Coahuila and Zacatecas, with 98.2% of annual production (El Economista, 2013), and Sonora has the highest production with 7% (Hidroponía, 2017). Fresh consumption is reported at 63%, 24.4% for the making of wines and juices, and 12.6% is dehydrated (SAGARPA, 2017).

Among the wine varieties we have cv. Sauvignon Blanc from Bordeaux, France, that is considered, after the Chardonnay, the finest variety among the white varieties of French origin. It is a cold-resistant plant of early sprouting. The cluster is medium sized and cylindrical shaped; berries are medium sized, round and golden yellow in color, producing elegant, dry and acid wines; bright yellow with green hues (BBvinos, 2017). This cultivar is often deficient in Mg, the need of this mineral along with P and N are high during the first part of the vegetative cycle, which favors a particular sensitivity to iron chlorosis (Fernandez-Cano and Togoies, 2011).

The most characteristic effect of Fe deficiency is the inability of young leaves to synthesize chlorophyll (Briat *et al.*, 2015). Chlorosis in plants due to Fe deficiency is not only an indication of the effect of

menudo deficiencias de Mg, las necesidades de dicho mineral junto con P y N son altas durante la primera parte del ciclo vegetativo, que favorece una sensibilidad particular a la clorosis férrica (Fernández-Cano y Togores, 2011).

El efecto más característico de la deficiencia de Fe es la incapacidad de las hojas jóvenes para sintetizar clorofila (Briat *et al.*, 2015). La clorosis en plantas por la deficiencia de Fe, no es sólo una expresión del efecto del Fe en el desarrollo y la función de los cloroplastos para la biosíntesis de clorofila, ya que también la concentración de carbohidratos menor en las plantas deficientes de Fe da como resultado actividad fotosintética baja (Kyrkby y Römheld, 2008).

Las características del suelo influyen en el desarrollo de la vid y en la composición de la baya. Contenidos altos de arcilla y materia orgánica afectan la disponibilidad del Fe y en los suelos arcillosos hay una tendencia a retener más Fe. El contenido alto de Ca en el suelo insolubiliza el Fe y dificulta su absorción por las plantas, lo cual impacta el rendimiento y la calidad de las cosechas (Arizmendi-Galicia *et al.*, 2011).

La deficiencia de Fe en los cultivos se manifiesta como un amarillamiento intervenal de las hojas jóvenes conocido como “clorosis férrica”. Una de las principales causas de esta deficiencia es la alcalinidad de los suelos. El pH del suelo determina la disponibilidad de Fe y de otros micro nutrientes al afectar su solubilidad. La deficiencia de Fe afecta la morfología y fisiología de las hojas (Bertamini y Nedunchezian, 2005) y es uno de los principales estreses abióticos que afectan a los cultivos de frutales en suelos calcáreos (Tagliavini y Rombolá, 2001). Cuando el estrés es severo, la actividad fotosintética disminuye en forma drástica (Larbi *et al.*, 2006). Debido a que el Fe interviene en la síntesis de clorofila, la carencia del elemento modifica la concentración de clorofila y por lo tanto la funcionalidad del aparato fotosintético. La deficiencia de clorofila afecta el cuajado del fruto, el diámetro de la baya (por el corrimiento de la flor) y problemas de maduración, lo cual limita la expresión vegetativa del vigor del viñedo, rendimiento y calidad de fruto (González y Martin, 2006).

La aplicación foliar de biofertilizantes con contenido mayor de Fe puede incrementar la presencia del elemento en las hojas de las plantas de vid y reducir el efecto de la clorosis. El objetivo del estudio fue evaluar el efecto de un fertilizante foliar orgánico

Fe on the development and function of chloroplasts for chlorophyll biosynthesis, since also the lower carbohydrate concentration in Fe deficient plants results in low photosynthetic activity (Kyrkby and Römheld, 2008).

The characteristics of the soil influence the development of the vine and the composition of the berry. High clay and organic matter contents affect the availability of Fe and in clay soils there is a tendency to retain more Fe. The high content of Ca in the soil insolubilizes Fe and makes it difficult for plants to absorb it, which impacts crop yield and quality (Arizmendi-Galicia *et al.*, 2011).

Fe deficiency in crops manifests itself as an interveinal yellowing of young leaves known as “iron chlorosis”. One of the main causes of this deficiency is the alkalinity of the soil. The pH of the soil determines the availability of Fe and other micronutrients by affecting its solubility. Fe deficiency affects leaf morphology and physiology (Bertamini and Nedunchezian, 2005), and is one of the main abiotic stresses affecting fruit crops in limy soils (Tagliavini and Rombolá, 2001). When stress is severe, photosynthetic activity decreases dramatically (Larbi *et al.*, 2006). Because Fe intervenes in the synthesis of chlorophyll, the lack of Fe modifies chlorophyll concentration and, therefore, the functionality of the photosynthetic apparatus. Chlorophyll deficiency affects fruit set, berry diameter (because of millerandage, a weather-related condition which causes uneven berries and infertile flowers) and ripening problems, which limits the vegetative expression of the vineyard in vigour, yield and fruit quality (Gonzalez and Martin, 2006).

Foliar application of biofertilizers with higher Fe content can increase the presence of such element in vine plant leaves and reduce the effect of chlorosis. The objective of the study was to evaluate the effect of an organic foliar fertilizer made with seaweed extracts added with Fe and Mn, on the Fe content in leaves, as well as Fe relationship with chlorophyll content, photosynthesis rate and fruit yield of cv. Sauvignon Blanc.

MATERIALS AND METHODS

Study location

The study was carried out in the San Lorenzo, Parras de la Fuente winery, Coahuila, Mexico, 25° 26' N, 102° 10' W and

elaborado con extractos de algas marinas adicionado con Fe y Mn, en el contenido de Fe en las hojas, así como su relación con contenido de clorofila, tasa de fotosíntesis y rendimiento de frutos del cv Sauvignon Blanc.

MATERIALES Y MÉTODOS

Lugar del estudio

El estudio se realizó en la vinícola San Lorenzo, Parras de la Fuente, Coahuila, México, 25° 26' N, 102° 10' O y a 1500 m de altitud. El experimento se estableció en el viñedo con el cv Sauvignon Blanc, clon 316, porta injerto Gravesac, de 13 años de edad, durante el ciclo de producción de abril a septiembre de 2018. El viñedo está en un marco de plantación de 1.0 m entre plantas y 2.5 m entre hileras, con una densidad de 4000 plantas por hectárea.

Manejo agronómico del viñedo

El lote del estudio recibió el mismo manejo agronómico aplicado al viñedo por la Vinícola San Lorenzo, respecto a riegos, fertilización, control fitosanitario y podas. Las aplicaciones fueron 80 u de N ha⁻¹ de N y 20 u de P ha⁻¹. El agua se suministró con un sistema de riego por goteo (15 h por semana) con emisores espaciados a 0.60 m y gasto de 2.3 L h⁻¹ lo cual equivale a un volumen promedio por planta de 8.21 L d⁻¹.

Tratamientos aplicados y diseño experimental

La fertilización foliar se realizó con el biofertilizante Ferrum® (Palau Bioquim, SA de CV), elaborado con algas marinas, que contienen reguladores de crecimiento naturales (auxinas 0.0510%, citocininas 0.0499% y giberelinas 0.0207%), adicionado con Fe (6%) y Mn (3%). Tres aplicaciones se dieron vía foliar (con una mochila de aspersión de aplicación manual) en dosis de 0.5%, el 13 y 28 de abril y el 11 de mayo de 2018, de acuerdo con la siguiente distribución de tratamientos: sin aplicación del biofertilizante (T1), aplicación solo en la primera fecha (T2), las dos primeras aplicaciones (T3) y tres aplicaciones (T4). Los tratamientos se repitieron cuatro veces en un diseño completamente al azar; la unidad experimental la formaron cuatro plantas con una separación de tres plantas entre parcelas. Para la comparación de medias de tratamientos se usó la prueba de Tukey ($p \leq 0.05$). El análisis de varianza y la prueba de medias se realizó con R-Studio versión 3.0 (paquete agricolae).

1500 m altitud. The experiment was established in a vineyard cv. Sauvignon Blanc, clone 316, Gravesac rootstock, 13 years old, during April to September 2018 production cycle. The vineyard was established in a planting frame of 1.0 m between plants and 2.5 m between rows, with a density of 4000 plants per hectare.

Agronomic management of the vineyard

The study lot received the same agronomic management applied to the vineyard by Vinícola San Lorenzo in regard to irrigation, fertilization, phytosanitary control and pruning. The applications were 80 u of N ha⁻¹ and 20 u of P ha⁻¹. Water was supplied with a drip irrigation system (15 h per week) with emitters spaced at 0.60 m and a flow rate of 2.3 L h⁻¹, which is equivalent to an average volume per plant of 8.21 L d⁻¹.

Applied treatments and experimental design

The foliar fertilization was carried out with the Ferrum® biofertilizer (Palau Bioquim, SA de CV), elaborated with marine algae, which contains natural growth regulators (auxins 0.0510%, cytokinins 0.0499% and gibberellins 0.0207%), added with Fe (6%) and Mn (3%). Three applications were given via foliar (with a manual spraying backpack) in doses of 0.5%, on April 13th and 28th, and on May 11th, 2018, according to the following distribution of treatments: without biofertilizer application (T1), only the first application date (T2), two application dates (T3) and three application dates (T4). Treatments were repeated four times in a completely randomized design; the study plots were formed by four plants with a separation of three plants between the plots. Tukey test ($p \leq 0.05$) was used to compare treatment means. The analysis of variance and mean test was performed with R-Studio, version 3.0 (agricolae package).

Iron content, chlorophyll and foliar photosynthesis rate

The Fe content in the leaves was determined with the ICP-OES plasma spectrometry method (ppm) and for the statistical evaluation, the experimental units were the extract obtained from five leaves of each of the four plants in the study plots (20 leaves per replicate). Leaf samples were taken one week before fruit harvest (August 10).

The chlorophyll content and rate of foliar photosynthesis among the plants of the four treatments (without biofertilizer and with 1, 2 or 3 applications), were evaluated biweekly between 12:00 and 14:00 h, from April to September 2018. For chlorophyll content, the experimental unit was the average

Contenido de hierro, clorofila y tasa de fotosíntesis foliar

El contenido de Fe en las hojas se determinó con el método de espectrometría de plasma ICP-OES (ppm) y para la evaluación estadística, las unidades experimentales fueron el extracto obtenido de cinco hojas de cada una de las cuatro plantas de las parcelas de estudio (20 hojas por repetición). Las muestras foliares se tomaron una semana antes de la cosecha de los frutos (10 agosto).

El contenido de clorofila y la tasa de fotosíntesis foliar entre las plantas de los cuatro tratamientos (sin biofertilizante y con 1, 2 o 3 aplicaciones), se evaluaron quincenalmente entre las 12:00 y las 14:00 h, de abril a septiembre de 2018. Para el contenido de clorofila, la unidad experimental fue el promedio de tres mediciones por hoja, de cuatro hojas de cada parcela de estudio (12 mediciones por repetición de cada tratamiento). El contenido de clorofila de las hojas se obtuvo con un medidor portátil (SPAD 502 Plus, Konica Minolta Optics, Inc., Japón). Para la tasa de fotosíntesis, la unidad experimental fue el promedio de tres hojas por parcela de estudio. La tasa fotosintética foliar se obtuvo con un medidor portátil de fotosíntesis LI-6800 (LI-COR, Lincoln, Nebraska, USA). Las hojas para la muestra se seleccionaron de la región media del dosel de las plantas.

Rendimiento de fruto

El efecto de la aplicación del biofertilizante en el rendimiento de fruto se evaluó en cada unidad experimental (repetición) como el promedio del rendimiento de frutos de las cuatro plantas de cada parcela de estudio de los cuatro tratamientos. La cosecha se realizó el 17 de agosto de 2018.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Contenido de hierro en las hojas

En los tres tratamientos con aplicación el biofertilizante, el contenido de Fe en las hojas fue mayor que en las hojas del testigo; además, con cada aplicación adicional el contenido de Fe fue mayor (Cuadro 1; $p \leq 0.05$). El efecto del incremento en el contenido de Fe destacó visualmente por un color verde de intensidad mayor en las hojas respecto a las plantas del testigo, porque la síntesis de clorofila en las hojas requiere presencia y contenido adecuado de Fe (Shehata *et al.*, 2011). El color de las hojas permite detectar la clorosis férrica; Razeto y Palacios (2005) observaron una correlación alta entre el color de las hojas de un cultivo de aguacate (*Persea americana* Mill.) y la

of three measurements per leaf, of four leaves from each study plot (12 measurements per repetition of each treatment). The chlorophyll content of the leaves was obtained with a portable meter (SPAD 502 Plus, Konica Minolta Optics, Inc., Japan). For photosynthesis rate, the experimental unit was the average of three leaves per study plot. The photosynthetic leaf rate was obtained with a portable photosynthesis meter LI-6800 (LI-COR, Lincoln, Nebraska, USA). The leaves sampled were selected from the mid-foliage region of the plants.

Fruit yield

The effect of biofertilizer application on the fruit yield was evaluated on experimental units (repetition) as the average of fruit yield belonging to the four plants of each study plot within the four treatments. The harvest was carried out on August 17, 2018.

RESULTS AND DISCUSSION

Iron content in the leaves

Fe content in the leaves was higher than in the control leaves in the three treatments with biofertilizer application; also, with each additional application, Fe content was higher (Table 1; $p \leq 0.05$). The effect of the increase in Fe content was noticeable by a green color of greater intensity in the leaves respect to control plants, because synthesis of chlorophyll in leaves requires presence and adequate Fe content (Shehata *et al.*, 2011). Leaf color allows detecting iron chlorosis; Razeto and Palacios (2005) observed a high correlation in color of leaves of avocado crop (*Persea americana* Mill.) with the concentration of chlorophyll; low concentration of chlorophyll is a good indicator of iron chlorosis. The application of iron chelates to a limy soil increased the amount of active Fe on the leaves of 'Concordia' (*Vitis labruscona* Bailey) vine plants in proportion to the application doses, which affected the chlorophyll content, the CO₂ assimilation rate, and stomata conductance (Smith and Cheng, 2006). The use of an organic fertilizer based on bovine blood meal (BB, 0.125% Fe) applied to an alkaline limestone soil had the same effect as the application of iron chelates on increasing the chlorophyll content (SPAD units) of the vine leaves of cv. Sangiovese, cv. Cabernet Sauvignon and cv. Ruggeri (Tessarini *et al.*, 2013).

concentración de clorofila; la concentración baja de clorofila es un buen indicador de la clorosis férrica. La aplicación de quelatos de Fe a un suelo calcáreo aumentó la cantidad de Fe activo de las hojas de plantas de vid ‘Concordia’ (*Vitis labruscona* Bailey) en proporción con las dosis de aplicación, lo cual incidió en el contenido de clorofila, la tasa de asimilación de CO₂ y la conductancia estomática (Smith y Cheng, 2006). El uso de un fertilizante orgánico con base en harina de sangre de bovino (BB, 0.125% Fe), aplicado a un suelo calcáreo alcalino, tuvo el mismo efecto que la aplicación de quelatos de Fe en el incremento del contenido de clorofila (unidades SPAD) de las hojas de planta de vid de los cultivares Sangiovese, Cabernet Sauvignon y Ruggeri (Tessarín *et al.*, 2013)

Contenido relativo de clorofila en las hojas

Dos aplicaciones del biofertilizante aumentaron el contenido relativo de clorofila (unidades SPAD) respecto al de las hojas de las plantas testigo (sin biofertilizante) (Figura 1; $p \leq 0.05$), pero una sola

Cuadro 1. Contenido de hierro en las hojas de vid del cv. Sauvignon Blanc, en los tratamientos con aplicación del biofertilizante de extracto de Alga.

Table 1. Iron content in vine leaves of cv. Sauvignon Blanc, in Algae extract biofertilizer application treatments.

Tratamientos	Contenido de Fe (ppm)
Tres aplicaciones	416.75 a
Dos aplicaciones	297.00 b
Una aplicación	213.25 c
Sin aplicaciones (testigo)	118.00 d

Medias con letra diferente indican diferencia estadística (Tukey; $p \leq 0.05$). ♦ Means with different letter indicate statistical difference (Tukey; $p \leq 0.05$).

Relative content of chlorophyll in leaves

Two applications of the biofertilizer increased the relative chlorophyll content (SPAD units) respect to the leaves of the control plants (without biofertilizer) (Figure 1; $p \leq 0.05$), but only one application did not

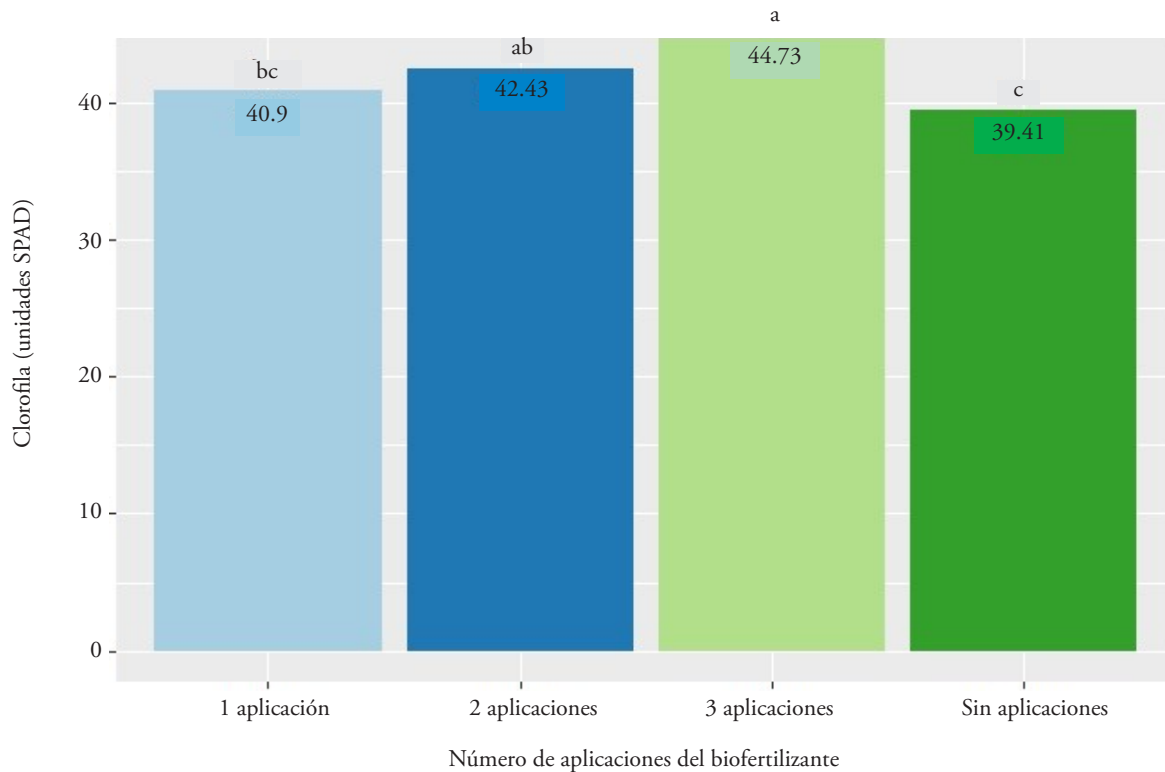


Figura 1. Contenido relativo de clorofila en las hojas (unidades SPAD) en vid del cv Sauvignon Blanc, en función del número de aplicaciones del biofertilizante foliar.

Figure 1. Relative content of chlorophyll in vine leaves (SPAD units) of cv. Sauvignon Blanc, according to foliar biofertilizer applications.

aplicación no afectó el contenido relativo de clorofila en las hojas (Figura 1). Brunetto *et al.* (2012) mostraron una buena correlación entre la concentración de clorofila en unidades SPAD con las mediciones en laboratorio.

Según Díaz *et al.* (2017), el contenido relativo de clorofila (unidades SPAD) de las hojas de un cultivo de soya (*Glycine max*, ‘Vernal’) aumentó con dos aplicaciones foliares al 1.5% de FeSO₄. En un cultivo de trigo (*Triticum aestivum* L.), el contenido de clorofila en las hojas tuvo un aumento proporcional con el incremento de la aplicación foliar de diferentes compuestos de Fe (Ghafari y Razmjoo, 2013). La aplicación foliar de Fe, Zn, Mn y Br en concentraciones de 50 y 100 mg L⁻¹ a plantas de vid (cv Bez El Naka) incrementó el contenido total de clorofila en las hojas (Abdel-Salam, 2016).

Tasa de fotosíntesis foliar

Tres aplicaciones del biofertilizante se requirieron para aumentar la tasa de fotosíntesis foliar (Cuadro 2; p≤0.05), y esto correspondió con el contenido relativo mayor de clorofila en las hojas (Figura 1). Enciso y Gómez (2004) mostraron una relación directa entre el contenido de clorofila y la tasa de fotosíntesis foliar. En un cultivo de fresa (*Fragaria moschata*), el incremento del contenido de clorofila correspondió con una tasa mayor de fotosíntesis foliar (Spinelli *et al.*, 2010).

Lebon *et al.* (2005) observaron una correlación positiva entre la tasa de fotosíntesis y la concentración de clorofila en plantas de vid de los cv. ‘Gwwurztraminar’ y ‘Pinot noir’. En plantas de vid (cv. Reisling), el déficit de agua redujo el contenido de clorofila y afectó la tasa de fotosíntesis neta (Bertamini *et al.*, 2006). Además, la aplicación de 250 mM de cloruro de sodio al suelo redujo el contenido de clorofila a y b, y disminuyó la tasa de fotosíntesis de plantas de vid de los cv. Soltanin y Fakhri (Bybordi, 2012).

Rendimiento de frutos

El rendimiento promedio de frutos aumentó con dos y tres aplicaciones del biofertilizante, comparado con el testigo (sin aplicación) y solo una aplicación (Cuadro 3; p≤0.05), lo cual se relacionó con el incremento de la tasa promedio de fotosíntesis foliar (Cuadro 2) y el contenido relativo de clorofila (Figura

affect the relative chlorophyll content of the leaves (Figure 1). Brunetto *et al.* (2012) showed a good correlation between chlorophyll concentration in SPAD units and laboratory measurements.

According to Díaz *et al.* (2017), the relative chlorophyll content (SPAD units) of the leaves of a soybean crop (*Glycine max*, ‘Vernal’) increased with two foliar applications at 1.5% FeSO₄. In wheat crop (*Triticum aestivum* L.), chlorophyll content of leaves had a proportional increase with the increase of foliar application of iron compounds (Ghafari and Razmjoo, 2013). Foliar application of Fe, Zn, Mn and Br in concentrations of 50 and 100 mg L⁻¹ to vine plants (cv Bez El Naka) increased total chlorophyll content in leaves (Abdel-Salam, 2016).

Foliar photosynthesis rate

Three applications of the biofertilizer were required to increase the rate of foliar photosynthesis (Table 2; p≤0.05), and this corresponded to the higher relative content of chlorophyll in the leaves (Figure 1). Enciso and Gomez (2004) showed a direct relationship between chlorophyll content and rate of foliar photosynthesis. In a strawberry crop (*Fragaria moschata*), the increase in chlorophyll content corresponded to a higher rate of foliar photosynthesis (Spinelli *et al.*, 2010).

Lebon *et al.* (2005) observed a positive correlation between the photosynthesis rate and the chlorophyll concentration in vine plants of cv. ‘Gwwurztraminar’ and cv. ‘Pinot noir’. In vine plants (cv. Reisling), water deficit reduced chlorophyll content and affected

Cuadro 2. Tasa promedio de fotosíntesis foliar en vid del cv Sauvignon Blanc con diferentes aplicaciones del biofertilizante foliar.

Table 2. Average rate of leaf photosynthesis in vines cv. Sauvignon Blanc with different applications of foliar biofertilizer.

Tratamiento	Fotosíntesis (mmol m ⁻² s ⁻¹)
Tres aplicaciones	12.85 a
Una aplicación	10.60 b
Dos aplicaciones	10.47 b
Sin aplicaciones (testigo)	10.23 b

Medias con letra diferente indican diferencia estadística (Tukey; p≤0.05). ♦ Means with different letter indicate statistical difference (Tukey; p≤0.05).

Cuadro 3. Rendimiento promedio de frutos por planta en vid del cv Sauvignon Blanc con diferentes aplicaciones del biofertilizante.

Table 3. Average fruit yield per plant of cv. Sauvignon Blanc vines with different biofertilizer application.

Tratamiento	(kg por planta)
Tres aplicaciones	2.478 a
Dos aplicaciones	2.445 a
Una aplicación	1.712 b
Sin aplicaciones (testigo)	1.662 b

Medias con letra diferente indican diferencia estadística (Tukey; $p \leq 0.05$). ♦ Means with different letter indicate statistical difference (Tukey; $p \leq 0.05$).

1). El incremento en el rendimiento de frutos probablemente se debió a que el contenido del extracto de algas marinas enriquecido con los micronutrientes Fe y Mn mejoró el cuajado y crecimiento de los frutos. Además, el contenido mayor de clorofila de las hojas aumentó la tasa de asimilación foliar (Lebon *et al.*, 2005), y en consecuencia, el rendimiento de fruto (Sabir *et al.*, 2014).

La aplicación foliar de ácidos húmicos a plantas de uva de mesa (cv. Italia) aumentó el contenido de clorofila de las hojas, lo cual dio como resultado uvas de tamaño mayor con más rendimiento (Ferrera and Brunetti, 2008). Aplicaciones foliares de quitosano, ácido salicílico y fúlvico a plantas de vid (cv Thompson) incrementaron el contenido de clorofila total de las hojas y el rendimiento de frutos (El-Kenawy, 2017).

La aplicación al suelo de ácidos húmicos ($2.5 \text{ g L}^{-1} \text{ ha}^{-1}$) aumentó el contenido de clorofila (unidades SPAD), el peso de racimos y rendimiento por planta de un viñedo del cv 'Askari' (Mohamadineia, *et al.*, 2015). De acuerdo con González *et al.* (2019), el efecto combinado de la deficiencia de Fe y el estrés hídrico de viñedos en condiciones de temporal reduce el rendimiento de fruto. La aplicación de 5 Mg ha^{-1} de composta (estiércol de bovino y paja de trigo) a un suelo arcilloso, calcáreo y alcalino, aumentó el contenido de clorofila de las hojas (unidades SPAD), el peso de frutos y el rendimiento total de plantas de vid del cv. Merlot (Ponchia *et al.*, 2012).

net photosynthesis rate (Bertamini *et al.*, 2006). In addition, the application of 250 mM of sodium chloride to the soil reduced a and b chlorophyll contents, and decreased the photosynthesis rate in vine plants of cv. Soltanin and cv. Fakhri (Bybord, 2012).

Fruit yield

The average fruit yield increased with two and three applications of the biofertilizer, compared to the control (without application), or only one application (Table 3; $p \leq 0.05$), which was related to the increase in the average rate of foliar photosynthesis (Table 2) and the relative chlorophyll content (Figure 1). The increase in fruit yield was probably due to the fact that the content of seaweed extract enriched with Fe and Mn micronutrients improved set and growth of fruits. In addition, higher chlorophyll content of the leaves increased the rate of foliar assimilation (Lebon *et al.*, 2005), and consequent fruit yield (Sabir *et al.*, 2014).

Foliar application of humic acids to meal grape plants (cv. Italia) increased chlorophyll content in leaves, resulting in larger grapes with higher yields (Ferrera and Brunetti, 2008). Foliar applications of chitosan, salicylic and fulvic acid to vine plants (cv. Thompson) increased total chlorophyll content of leaves and fruit yield (El-Kenawy, 2017).

The application of humic acids on soil ($2.5 \text{ g L}^{-1} \text{ ha}^{-1}$) increased the chlorophyll content (SPAD units), cluster weight and yield per plant in a vineyard of cv. 'Askari' (Mohamadineia, *et al.*, 2015). According to González *et al.* (2019), the combined effect of Fe deficiency and water stress in vineyards under rainfall conditions reduces fruit yield. The application of 5 Mg ha^{-1} of compost (bovine manure and wheat straw) to a clayey, limy and alkaline soil, increased the chlorophyll content of leaves (SPAD units), fruit weight and total yield of vine plants cv. Merlot (Ponchia *et al.*, 2012).

CONCLUSIONS

Seaweed extract biofertilizer enriched with iron and manganese increased the iron content in

CONCLUSIONES

El biofertilizante de extracto de algas marinas enriquecido con hierro y manganeso incrementó el contenido de hierro en las hojas. Esto dio como resultado un contenido mayor significativo de clorofila, tasa mayor de fotosíntesis foliar y rendimiento mayor de frutos de vid del cultivar (cv.) Sauvignon Blanc en Coahuila, México.

vine leaves. This resulted in a significant increase in chlorophyll content, a higher rate of leaf photosynthesis and higher yield of vine fruits of the Sauvignon Blanc cultivar (cv. Sauvignon Blanc) in Coahuila, Mexico.

—End of the English version—



LITERATURA CITADA

- Abdel-Salam, M. M. 2016. Effect of foliar application of salicylic acid and micronutrients on the berries quality of “Bez El Naka” local grape cultivar. *Middle East J. Appl. Sci.* 6: 178-188.
- Arizmendi-Galicia, N., P. Rivera-Ortiz, F. De la Cruz-Salazar, B. I. Castro-Meza, y F. De la Garza-Requena. 2011. Lixiviación de hierro quelatado en suelos calcáreos. *Terra Latinoam.* 29: 231-237.
- BBvinos. 2017. Importaciones BB Vino, Catalogo de Uvas. http://www.bbvino.com.mx/wp-content/uploads/Pdf/Cat_Uvas.pdf (Consulta: junio 2018).
- Bertamini, M., and N. Nedunchezian. 2005. Grapevine growth and physiological responses to iron deficiency. *J. Plant Nutr.* 28: 737-749.
- Bertamini, M., L. Zukin, K. Muthuchelim, and N. Nedunchezian. 2006. Effect of water deficit on photosynthetic and other physiological responses in grapevine (*Vitis vinifera* L. cv Reisling) plants. *Photosynthetica* 44: 151-154.
- Briat, J.F., C. Dubos, and F. Gaymard. 2015. Iron nutrition, biomass production, and plant product quality. 2015. *Trends Plant Sci.* 20: 33-40.
- Brunetto, G., G. Trentin, C. C. Carreta, E. Giroto, F. Lorenzini, A. Miotto, G. R. Zaferi Moser, and G. Wellington de Melo. 2012. Use of the SPAD-502 in estimating Nitrogen content in leaves and grape yield in grapevines in soils with different texture. *Am. J. Plant Sci.* 3: 1546-1561.
- Bybordí, A. 2012. Study effect of salinity on some physiological and morphologic properties of two grape cultivars. *Life Sci.* 9: 1092-1101.
- Díaz, F. A., M. Espinosa R., y F. E. Ortiz C. 2017. Corrección de la clorosis férrica con quelato EDDHA en cultivos sembrados en suelo alcalino y calcáreo. *Terra Latinoam.* 36: 23-30.
- Domínguez, H. 2013. Algae as a Source of Biologically Active Ingredients for the Formulation of Functional Foods and Nutraceuticals. *Functional Ingredients from Algae for Foods and Nutraceuticals*. Ed. Woodhead Publishing Series in Food, Technology and Nutrition. pp: 1-19.
- El Economista. 2013. Producción de vid, México. <<https://www.economista.com.mx/columnas/agro-negocios-produccion-vid-alternativa-rentable-productor>>. (Consulta: septiembre 2018).
- El-Kenawy, M. E. 2017. Effect of chitosan, salicylic acid and fulvic acid on vegetative growth, yield and fruit quality of Thompson seedless grapevines. *Egyptian J. Hortic.* 44: 45-49.
- Enciso, B. E., y C. Gómez. 2004. Comparación de las respuestas de cuatro cultivares de mora (*Rubus* sp.) a las variaciones del factor luz. *Agron. Colomb.* 22: 46-52.
- FAO (Food and Agriculture Organization of the United Nations). 2013. FAO: Grape. Post-harvest operations. http://www.fao.org/fileadmin/user_upload/inpho/docs/Post_Harvest_Compendum_-_Grape.pdf. (Consulta: junio 2019)
- Fernández-Cano, L. H., y J. H. Togores. 2011. Tratado de Viticultura. 4a ed. rev. Mundi-Prensa, Madrid, España. 2096 p.
- Ferrera, G., and G. Brunetti. 2008. Influence of foliar application of humic acids on yield and fruit quality of table grape cv. Italia. *J. Inter. Scienc. Vigne et Vin* 42: 79-87.
- Ghafari, H., and J. Razmjoo. 2013. Effect of foliar application of nano-iron oxidase, iron chelate and iron sulfate rates on yield and quality of wheat. *Int. J. Agron. Plant Prod.* 4: 2997-3003.
- González, M. R., G. Hailemichael, C. Grima, A. Catalina, and P. Martin. 2019. Combined effects of water status and iron deficiency chlorosis on grape composition in non-irrigated vineyards. *Scientia Agric.* 76: 473-480.
- González M., R., y P. Martin. 2006. Prevención y tratamiento de la clorosis férrica del viñedo. *Vida Rural* 226:30-33.
- Hernández-Herrera, R. M., F. Santacruz-Ruvalcaba, M. A. Ruiz-López, J. Norrie, y G. Hernández-Carmona. 2013. Effect of liquid seaweed extracts on growth of tomato seedlings (*Solanum lycopersicum* L.). *J. Appl. Phycol.* 26: 619-628.
- Hidroponía. 2017. Producción de uva, un impulso a la economía mexicana. <http://hidroponia.mx/produccion-de-uva-un-impulso-a-la-economia-mexicana>. (Consulta: noviembre 2018).
- Kyrkby, E., y V. Römheld. 2008. Micronutrientes en la fisiología de las plantas: Funciones, absorción y movilidad. *Informaciones Agron.* 68: 1-6.
- Larbi, A., A. Abadía, J. Abadía, y F. Morales. 2006. Down regulation of light absorption, photochemistry, and carboxylation in Fe-deficient plants growing in different environments. *Photosynthesis Res.* 89: 113-126.
- Lebon, G., O. Brun, C. Magné, and C. Clément. 2005. Photosynthesis of the grapevine (*Vitis vinifera*) inflorescence. *Tree Physiol.* 25: 633-639.
- Mohamadineia, G., M. H. Farahi, and M. Dastaryan. 2015. Foliar and soil drench application of humic acid on yield

- and berry properties of 'Askari' grapevine. *Agric. Comm.* 3: 21-27.
- OIV (Organización Internacional de la Viña y el Vino). 2012. Informe estadístico 2012 de la OIV sobre la vitivinicultura mundial. <http://www.oiv.int/oiv/info/esizmiroivreport> (Consulta: junio 2019).
- Ponchia, G., A. Bozzolo, F. Tateo, and G. Concheri. 2012. Compost application in the vineyard and its influence on soil characteristics, vegetative and productive behavior of grapevine. *Acta Hort.* 938: 437-444.
- Razeto, B., y J. Palacios. 2005. Efecto de la clorosis férrica en el tamaño y la concentración de aceite en el fruto del palto (*Persa americana* Mill.). *Agric. Téc.* 65: 105-111.
- 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. *Scientia Hort.* 175: 1-8.
- SAGARPA (Secretaría de Agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación). 2017. Planificación Agrícola Nacional 2017-2030: Uva Mexicana. <https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/257085/Potencial-Uva.pdf> (Consulta: noviembre 2018).
- Shehata, S., M., S. Abdel-Azem H., A. El-Yazied A., and M. El-Gizawy A. 2011. Effect of foliar spraying with amino acids and seaweed extract on growth chemical constituents yield and its quality of celeriac plant. *Eur. J. Scient. Res.* 58: 257-265.
- Smith B. R., and L. Cheng. 2006. Fe-EDDH alleviates chlorosis in concord grapevines growing at high pH. *HortScience* 41: 1498-1501.
- Spinelli, F., G. Fiori, M. Nofereni, M. Sproctti, and G. Costa. 2010. A novel type of seaweed extract as a natural alternative to the use of iron chelates in strawberry production. *Scientia Hort.* 125: 263-269.
- Tagliavini, M., and A. D. Rombolá. 2001. Iron deficiency and chlorosis in orchard and vineyard ecosystems. *Eur. J. Agron.* 15: 71-92.
- Tessarín, P., E. Ingrosso, A. D. Rombola, A. C. Boliani, J. I. Covarrubias and F. Yunta. 2013. Improvements of grapevine iron nutrition by a bovine blood-derived compound. *Acta Hort.* 984: 335-338.