

# MICROORGANISMOS PROMOTORES DE CRECIMIENTO SOBRE EL RENDIMIENTO Y CALIDAD DE NOGAL PECANERO CULTIVADO EN EL VALLE DEL YAQUI, SONORA, MÉXICO

## GROWTH PROMOTING MICROORGANISMS ON YIELD AND QUALITY OF PECAN GROWN IN THE YAQUI VALLEY, SONORA, MEXICO

Paola Carolina Cantú-Nava<sup>1</sup>, Marco Antonio Gutiérrez-Coronado<sup>1\*</sup>, Luciano Castro-Espinoza<sup>1</sup>, Juan Manuel Soto-Parra<sup>2</sup>, Juan Manuel Cortez-Jiménez<sup>3</sup>, Humberto Núñez-Moreno<sup>3</sup>

<sup>1</sup>Instituto Tecnológico de Sonora. 85000. Calle 5 de febrero 818 sur, Colonia Centro, Cajeme Sonora. ([marco.gutierrez@itson.edu.mx](mailto:marco.gutierrez@itson.edu.mx)). <sup>2</sup>Universidad de Chihuahua. <sup>3</sup>Instituto Nacional de Investigación Forestal Agrícola y Pecuaria. 85000. Calle Dr. Norman E. Borlaug km 12, Colonia Valle del Yaqui, Cajeme, Sonora.

### RESUMEN

El nogal pecanero (*Carya illinoensis* Koch) es una especie hortofrutícola de rentabilidad alta, por lo que en México ha aumentado el área dedicada a este frutal. Dentro de los métodos nuevos utilizados para mejorar cultivos está la incorporación de organismos seleccionados por sus beneficios en el metabolismo vegetal, aplicados al sistema de la planta receptora como productos biológicos. Entre estos productos biológicos están los microorganismos promotores del crecimiento vegetal. Con la hipótesis de que al menos uno de estos productos biológicos favorecería el cultivo y rendimiento del nogal, el objetivo de este estudio fue analizar el efecto de la aplicación de microorganismos promotores de crecimiento para mejorar la productividad y calidad del nogal pecanero. La aplicación se realizó durante tres ciclos de 2017 a 2019; se utilizaron *Bacillus subtilis*, *Bacillus cereus*, *Pseudomonas fluorescens* y *Trichoderma harzianum*, en una concentración de  $10^8$  UFC mL<sup>-1</sup> m<sup>-2</sup>. El diseño fue en bloques al azar, con dos tratamientos; y se utilizó ANDEVA para la comparación de datos. Un conteo microbiológico en suelo se realizó y se evaluaron el rendimiento y la calidad del nogal. El conteo microbiológico dio como resultado de  $10^5$  a  $10^7$  poblaciones en el suelo inoculado. Los tratamientos mostraron diferencias significativas ( $p \leq 0.05$ ) e incrementaron la productividad del nogal un 27.7% al utilizar el consorcio microbiano en el ciclo 2019, y además una calidad mejor se obtuvo en la nuez durante los tres ciclos consecutivos.

### ABSTRACT

Pecan (*Carya illinoensis* Koch) is a highly profitable horticultural species, which is why the area dedicated to this fruit tree has increased in Mexico. Among the new methods used to improve crops there is the incorporation of organisms selected for their benefits in plant metabolism, applied to the host plant system as biological products. Among these biological products are plant growth promoting microorganisms. With the hypothesis that at least one of these biological products would favor pecan crop and yield, the objective of this study was to analyze the effect of the application of growth promoting microorganisms to improve pecan productivity and quality. The application was carried out during three cycles since 2017 to 2019; *Bacillus subtilis*, *Bacillus cereus*, *Pseudomonas fluorescens* and *Trichoderma harzianum* were used, at a concentration of  $10^8$  UFC mL<sup>-1</sup> m<sup>-2</sup>. The experimental design was complete randomized blocks, with two treatments; ANOVA was used for data comparison. A microbiological count was performed in the soil, and pecan yield and quality were evaluated. The microbiological count resulted in  $10^5$  to  $10^7$  populations in the inoculated soil. The treatments showed significant differences ( $p \leq 0.05$ ) and increased pecan productivity by 27.7% when using the microbial consortium in the 2019 cycle, and better pecan quality was obtained during the three consecutive cycles.

**Key words:** *Carya illinoensis*, growth promoting microorganisms, microbial consortium, yield, nut percentage.

\* Autor para correspondencia ♦ Author for correspondence.

ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-5956-9945>

Recibido: marzo, 2020. Aprobado: junio, 2021.

Publicado en *Agrociencia* 55: 347-355. 2021.

**Palabras clave:** *Carya illinoensis*, microorganismos promotores del crecimiento, consorcio microbiano, rendimiento, porcentaje nuez.

## INTRODUCCIÓN

El nogal pecanero (*Carya illinoensis* Koch) es una especie hortofrutícola de rentabilidad alta, por lo que en el país ha aumentado el área dedicada a este frutal (Zaragoza-Lira *et al.*, 2011). México se ha posicionado como un productor importante de nuez pecana y Sonora es el segundo estado con mayor volumen de producción. Ya que ha aumentado el área de siembra de este cultivo, por lo que se espera que esta tendencia se mantenga (Coronado *et al.*, 2015). En el Valle del Yaqui, Sonora, las plantaciones de nogal aumentaron; la superficie total llegó a 2516 ha (SIAP, 2017). Sin embargo, existen limitantes para la producción, como los desequilibrios ecológicos del suelo provocados por el uso indiscriminado de agroquímicos que han afectado su fertilidad y causan degradación (Creus, 2017).

Además, hay deficiencias nutrimentales derivadas de las características edáficas de las regiones productivas, en las cuales la acumulación de nutrimentos se debe reconocer con el propósito de favorecer la composición nutrimental. Dentro de las nuevas estrategias amigables con el ambiente utilizadas para plantar cultivos, se encuentran los productos biológicos que consisten en incorporar al sistema organismos seleccionados por sus beneficios en el metabolismo vegetal. Entre estos productos están los microorganismos promotores del crecimiento vegetal (Bashan *et al.*, 2013), cuya aplicación permite reducir el uso de productos químicos (Hassen *et al.*, 2016).

Entre los géneros que destacan, están las especies del género *Bacillus* que promueven el crecimiento vegetal y ejercen control biológico de patógenos en los cultivos (Tejera-Hernández *et al.*, 2011). También se encuentra *Pseudomonas fluorescens*, bacteria que estimula el desarrollo por medio de la síntesis de reguladores del crecimiento vegetal que ha demostrado una gran capacidad para solubilizar fracciones orgánicas e inorgánicas de fósforo presentes en el suelo (Patiño-Torres y Sanclemente-Reyes, 2014). Además, especies de *Trichoderma* se utilizan como bioestimulantes del crecimiento y biocontroles de enfermedades (Cubillos-Hinojosa *et al.*, 2009).

## INTRODUCTION

Pecan (*Carya illinoensis* Koch) is a highly profitable fruit tree species, which is why the area dedicated to their cultivation has increased in the country (Zaragoza *et al.*, 2011). Mexico is positioned as an important pecan nut producer; and Sonora is the second state with the second largest production volume. The planting area of this crop has increased, so it is expected that this trend shall continue (Coronado *et al.*, 2015). In the Yaqui Valley, Sonora, pecan plantations increased; the total area reached 2516 ha (SIAP, 2017). However, there are production constraints, such as soil ecological imbalances caused by the indiscriminate use of agrochemicals that have affected fertility and have caused soil degradation (Creus, 2017).

In addition, there are nutritional deficiencies derived from the edaphic characteristics of the productive regions, in which the accumulation of nutrients must be recognized with the purpose of favoring the nutrient composition. Some contemporary and environmentally friendly strategies used for planting crops include biological products which incorporate into the agricultural system, organisms selected for enhancing plant metabolism. Plant growth promoting microorganisms are among these products (Bashan *et al.*, 2013), whose application allows reducing the use of chemicals (Hassen *et al.*, 2016).

Among the outstanding genera there are species of the *Bacillus* genus that promote plant growth and exert biological control of pathogens in crops (Tejera-Hernández *et al.*, 2011). There is also *Pseudomonas fluorescens*, a bacterium that stimulates development through the synthesis of plant growth regulators. *P. fluorescens* has demonstrated a great capacity to solubilize organic and inorganic fractions of phosphorus present in the soil (Patiño-Torres and Sanclemente-Reyes, 2014). Also, some *Trichoderma* species are used as growth bio-stimulants and disease bio-controls (Cubillos-Hinojosa *et al.*, 2009).

The search for technologies to optimize production, such as the use of biological inoculants together with the balance of nutrition in pecan, derives from their contribution to the yield and quality of the crop, as well as helping to preserve the environment. It is possible that greater efficiency

La búsqueda de tecnologías para la optimización de la producción, como el uso de inoculantes biológicos junto con el balance de la nutrición en nogal, se debe a su contribución en el rendimiento y la calidad del cultivo, además de ayudar a preservar el ambiente. Es posible que se logre una eficiencia mayor al utilizar este tipo de recursos; sin embargo, no existe información suficiente acerca de las interacciones de microorganismos benéficos en el cultivo de nogal pecanero. Por tal motivo, el objetivo de este estudio fue evaluar el efecto de la aplicación de microorganismos promotores de crecimiento (*Bacillus subtilis*, *B. cereus*, *Pseudomonas fluorescens* y *Trichoderma harzianum*), para mejorar la producción y calidad del cultivo del nogal. Con la hipótesis de que al menos una de las bacterias o la acción conjunta de ellas, promoverá las mejoras esperadas en producción o calidad de la nuez pecan.

## MATERIALES Y MÉTODOS

La investigación se realizó en una huerta comercial de nogal pecanero de 13 años, localizada en el Valle del Yaqui, Sonora, bloque 1010, en los 27° 20' 23.26" N y 109° 55' 42.83" O. La plantación fue en marco real de 6 x 12 m con las variedades Western Schley y Wichita. El sistema de riego es por goteo, y drenaje parcelario de 1.40 m. El suelo del cultivo se determinó como franco arcilloso, con 0.86% de materia orgánica, un pH de 7.7, conductividad eléctrica de 0.345 dS m<sup>-1</sup>, con densidad aparente de 1.71 g cm<sup>-3</sup> y CIC de 33.21 mEq 100 g<sup>-1</sup>; y concentración nutrimental de 0.3, 9.2 y 2 g kg<sup>-1</sup> N:P:K. Respecto al manejo del cultivo, la fertilización anual de la huerta completa fue en proporción 150-50-100 N: P: K, distribuida de manera semanal desde el inicio de cada ciclo con UAN 28, fosfato monoamónico y nitrato de potasio.

El experimento se realizó durante los ciclos 2017, 2018 y 2019. El diseño experimental fue en bloques completos al azar con dos tratamientos. En el área del huerto, se tomó una fracción de superficie de 5000 m<sup>2</sup> para la aplicación del consorcio de microorganismos promotores de crecimiento (*Bacillus subtilis*, *Bacillus cereus*, *Pseudomonas fluorescens* y *Trichoderma harzianum*), y otra área de 5000 m<sup>2</sup> se dejó como control sin inóculo. En cada sección se seleccionaron 13 repeticiones (unidades experimentales) de la variedad Wichita. La dosis fue 10<sup>8</sup> UFC mL<sup>-1</sup> m<sup>2</sup> para cada microorganismo, los cuales se aplicaron en los tres ciclos (años) cada 15 d desde la brotación (abril) hasta el estado acuoso-lechoso del fruto (agosto); por medio del sistema de riego entre las 8:00 y 10:00 h del día, para un total de 10 aplicaciones por cada ciclo.

can be achieved by using this type of resources; however, there is not enough information about the interactions of beneficial microorganisms in pecan. For this reason, With the hypothesis that at least one of the bacteria or their joint action, will promote the expected improvements in production or quality of pecan nut, the objective of this study was to evaluate the effect of the application of growth promoting microorganisms (*Bacillus subtilis*, *B. cereus*, *Pseudomonas fluorescens* and *Trichoderma harzianum*) to improve the production and quality of pecan.

## MATERIALS AND METHODS

The research was carried out in a 13-year-old commercial pecan orchard, located in the Yaqui Valley, Sonora, block 1010, at coordinates 27° 20' 23.26" N and 109° 55' 42.83" W. The plantation was made in a 6 x 12 m frame with the Western Schley and Wichita varieties. The irrigation system was drip irrigation and at 1.40 m plot drainage. The crop soil was determined as clay loam, with 0.86% organic matter, 7.7 pH, electrical conductivity of 0.345 dS m<sup>-1</sup>, bulk density of 1.71 g cm<sup>-3</sup> and CIC of 33.21 mEq 100 g<sup>-1</sup>; and nutrient concentrations of 0.3, 9.2 and 2 g kg<sup>-1</sup> N:P:K. Regarding crop management, the annual fertilization of the entire orchard was in the ratio of 150-50-100 N: P: K, distributed weekly from the beginning of each cycle with UAN 28, monoammonium phosphate and potassium nitrate.

The experiment was conducted during 2017, 2018 and 2019 harvest cycles. The experimental design was set in randomized complete blocks with two treatments. In the orchard area, a section of 5000 m<sup>2</sup> was used for the application of the consortium of growth promoting microorganisms (*Bacillus subtilis*, *Bacillus cereus*, *Pseudomonas fluorescens* and *Trichoderma harzianum*), and another area of 5000 m<sup>2</sup> was used as a control without inoculum. In each section, 13 replicates (experimental units) of the Wichita variety were selected. The dose was 10<sup>8</sup> CFU mL<sup>-1</sup> m<sup>2</sup> for each microorganism, which were applied in the three cycles (years) every 15 d from sprouting (April) to the watery-milky stage of the fruit (August) by means of the irrigation system between 08:00 and 10:00 am, for a total of 10 applications in each cycle.

### Measurement variables

#### Quantification of CFU per g of soil

Microbiological viability analyses were performed on soil microorganisms to monitor their population density. Samples were taken according to NOM-021-RECNAT-2000 (SEMARNAT, 2002) 7 d after the fifth application in June in

## Variables de medición

### Cuantificación de UFC por g de suelo

Análisis microbiológicos de viabilidad se realizaron en los microorganismos del suelo para monitorear la densidad de las poblaciones de cada uno. Las muestras se tomaron según la NOM-021-RECNAT-2000 (SEMARNAT, 2002) a los 7 d después de la quinta aplicación en el mes de junio de cada ciclo de cultivo. Después se utilizó la técnica de diluciones  $10^{-4}$ ,  $10^{-5}$  y  $10^{-6}$  para vaciado en placa, por triplicado en medio agar manitol-yema de huevo-polimixina (agar MYP), para la identificación de *B. subtilis* y *B. cereus*; agar dextrosa de papa, para *T. harzianum*; y para *P. fluorescens* se usó agar aislamiento de *Pseudomonas F*. Las bacterias se mantuvieron a 30 °C y los hongos a 25 °C. El conteo microbiológico se realizó a las 24, 48 y 120 h con un contador manual de colonias; los resultados se registraron como UFC g<sup>-1</sup> de suelo (Pepper y Gerba, 2004).

### Análisis nutrimental en hoja

La concentración de macro- (N, P, K, Ca, Mg) y micronutrientes (Fe, Cu, Zn) se determinó en una muestra compuesta de tejido vegetal, colectada el mes de junio de cada ciclo. Los dos folíolos centrales de una hoja ubicada en la parte media de la rama se tomaron de las secciones baja y alta de la copa del árbol. El análisis se realizó con un espectrofotómetro (DR3900 HACH®, EUA) y los métodos de Alcántar y Sandoval (1999) (manual HACH®), con modificaciones ajustadas a la naturaleza de las muestras.

### Rendimiento y calidad

La estimación del rendimiento se realizó por secciones alrededor de cada árbol, según la metodología descrita por Worley y Smith (1984). Por árbol se tomaron cuatro muestras, las cuales se limpiaron para eliminar ruzno y residuos, y se secaron al aire. Después se pesaron y los valores se extrapolaron a Mg ha<sup>-1</sup> con base al área total de cada árbol. La calidad se obtuvo al descascarar 1 kg de nueces de cada árbol, para determinar el porcentaje de nuez comestible en relación con el porcentaje de cáscara.

### Análisis estadístico

Con los datos de tres años de las unidades experimentales en los bloques completos al azar se realizó un ANDEVA y comparación de medias de Tukey con ( $p \leq 0.05$ ) en el programa estadístico Statgraphics Plus 5.1 (Statpoint Technologies Inc., 2000).

each year. Then, the technique of  $10^{-4}$ ,  $10^{-5}$  and  $10^{-6}$  dilutions was used for pouring on mannitol-egg yolk-polymyxin agar (MYP agar) in plates in triplicate, for the identification of *B. subtilis* and *B. cereus*; in potato dextrose agar, for *T. harzianum*; and for *P. fluorescens* agar isolation of *Pseudomonas F* was used. Bacteria were kept at 30 °C and fungi at 25 °C. Microbiological counts were performed at 24, 48 and 120 h with a manual colony counter; the results were recorded as CFU g<sup>-1</sup> soil (Pepper and Gerba, 2004).

### Leaf nutritional analysis

The concentration of macro (N, P, K, Ca, Mg) and micronutrients (Fe, Cu, Zn) was determined in a composite sample of plant tissue, collected in June of each cycle. The two central leaflets of a leaf located in the middle section of a branch were taken from the lower and upper sections of the tree canopy. The analysis was performed with a spectrophotometer (DR3900 HACH®, USA) and according to the methods of Alcántar and Sandoval (1999) (HACH® manual), with modifications adjusted to the nature of the samples.

### Yield and quality

Yield estimation was done by sections around each tree, according to the methodology described by Worley and Smith (1984). Four samples were taken per tree, which were cleaned to remove debris and residues and then air-dried. Afterwards, they were weighed, and the values extrapolated to Mg ha<sup>-1</sup> based on the total area of each tree. Quality was obtained by shelling-off 1 kg of nuts from each tree to determine the percentage of edible nut in relation to the percentage of shell.

### Statistical analysis

Data from the experimental units at the complete randomized blocks for three years were assembled into a single data base. An ANOVA and a mean comparison test (Tukey,  $p \leq 0.05$ ) were performed in Statgraphics Plus 5.1 (Statpoint Technologies Inc, 2000).

## RESULTS AND DISCUSSION

### Microbiological soil analysis

Microflora count was carried out in each crop cycle and the number of microorganisms of each species per gram of soil was determined. The results showed the prevalence and population increase of

## RESULTADOS Y DISCUSIÓN

### Análisis microbiológico de suelo

El conteo de microflora se realizó en cada ciclo del cultivo y se determinó el número de microorganismos de cada especie por gramo de suelo. Los resultados demuestran la prevalencia y el aumento de la población en la rizósfera de cada especie, en comparación con el control (Cuadro 1). Condiciones buenas de humedad son importantes para promover a las poblaciones presentes en el suelo, de un estado latente de células microbianas a un estado metabólicamente activo. Los periodos de inoculación de las cepas permiten que las poblaciones no se vean limitadas (Buysens *et al.*, 2016).

El mantenimiento de densidades adecuadas de microorganismos benéficos en la rizósfera es de suma importancia debido a los aportes que brinda a la planta; por tanto, la viabilidad de la cepa es clave (Keswani *et al.*, 2014). Las condiciones de fertilidad del suelo dependen de la actividad microbiana que ocurre en él. Además, la mejora posible del equilibrio microbiológico del suelo para favorecer el desarrollo y la productividad de un cultivo es mayor al utilizar microorganismos benéficos y efectivos que sean compatibles unos con otros (Higa y Parr, 2013); esto se evidenció en las poblaciones obtenidas en este estudio. Leal-Almanza *et al.* (2018) cuantificaron densidades de microorganismos similares en rizósfera, los cuales tuvieron un efecto positivo en la productividad en el cultivo de papa.

### Análisis nutrimental de hoja

Valores inferiores a los recomendados para producción comercial se encontraron en la concentración

each species in the rhizosphere, compared to the control plots (Table 1). Good moisture conditions are important to promote the populations present in the soil, from a dormant state of microbial cells to a metabolically active state. The inoculation periods of the strains allow the populations not to be limited (Buysens *et al.*, 2016).

Maintaining adequate densities of beneficial microorganisms in the rhizosphere is of utmost importance due to the contributions it provides to the plant; therefore, strain viability is key (Keswani *et al.*, 2014). Soil fertility conditions depend on the microbial activity occurring in the soil. Moreover, the possible improvement of the microbiological balance of the soil to favor the development and productivity of a crop is greater when using beneficial and effective microorganisms that are compatible with each other (Higa and Parr, 2013); this was evidenced in the populations obtained in this study. Leal-Almanza *et al.* (2018) quantified densities of similar microorganisms in the rhizosphere, which had a positive effect on productivity in potato crop.

### Leaf nutritional analysis

Values lower than those recommended for commercial production were found in the N concentration due to the time of sampling, during almond filling (Table 2). At this stage there is a high demand for this nutrient to supply the fruit (Smith *et al.*, 2012). This author also indicated the sufficiency ranges for both native and producing trees; specifying which values were high and which were low, and explained the reasons why, depending on the stage, N values may drop.

The solubilizing action of the microorganisms allows an improvement in the availability, and further,

**Cuadro 1. Microorganismos viables en suelo de nogal pecanero (UFC g<sup>-1</sup> de suelo seco).**  
**Table 1. Viable microorganisms in pecan soil (UFC g<sup>-1</sup> of dry soil).**

Tratamiento	Conteo de microorganismos viables (UFC g <sup>-1</sup> de suelo)					
	Control			Consorcio microbiano		
	2017	2018	2019	2017	2018	2019
<i>Bacillus subtilis</i>	3.1 x 10 <sup>2</sup>	2.2 x 10 <sup>3</sup>	2.2 x 10 <sup>3</sup>	1.2 x 10 <sup>5</sup>	2 x 10 <sup>6</sup>	9.2 x 10 <sup>7</sup>
<i>Bacillus cereus</i>	ND <sup>†</sup>	ND <sup>†</sup>	ND <sup>†</sup>	2.5 x 10 <sup>3</sup>	4 x 10 <sup>5</sup>	4 x 10 <sup>5</sup>
<i>Pseudomonas fluorescens</i>	1 x 10 <sup>3</sup>	3 x 10 <sup>4</sup>	4.1 x 10 <sup>4</sup>	6 x 10 <sup>5</sup>	1.5 x 10 <sup>5</sup>	3 x 10 <sup>7</sup>
<i>Trichoderma harzianum</i>	ND <sup>†</sup>	ND <sup>†</sup>	ND <sup>†</sup>	1.5 x 10 <sup>4</sup>	1 x 10 <sup>5</sup>	2 x 10 <sup>5</sup>

<sup>†</sup>ND: No detectado. ♦ <sup>†</sup>ND: Not detected.

de N debido al momento del muestreo, durante el llenado de almendra (Cuadro 2). En dicha etapa existe demanda alta de este nutrimento para abastecer el fruto (Smith *et al.*, 2012). Este autor indicó los intervalos de suficiencia tanto de arboles nativos como en producción; además especificó cuáles valores son altos y bajos, y explicó las razones por las cuales, dependiendo la etapa, los valores de N pueden bajar.

La acción solubilizadora de los microorganismos permite una mejora en la disponibilidad, y por tanto en la absorción y transporte de N y otros nutrimentos en la hoja. Todo lo cual produce un llenado mejor de fruto. Al utilizar el consorcio microbiano la concentración de P fue superior a los valores estándar, debido a que *P. fluorescens* y *B. subtilis* activaron el fósforo insoluble en el suelo, y lo convirtieron en formas disponibles para las plantas (Ávila *et al.*, 2015). Los valores del resto de los macro y micro nutrimentos en hoja se cuantificaron dentro del intervalo de referencia.

### Rendimiento y porcentaje de nuez

El rendimiento mayor, 27.7% de incremento respecto al control se obtuvo con el tratamiento del consorcio microbiano durante el ciclo 2019 (Cuadro 3). Este valor representa una mejora, comparado con la productividad esperada para dicho ciclo (año OFF), un año de producción menor y calidad de fruto baja

En el estado de Sonora se alcanza una producción media en toneladas de 2.03 Mg ha<sup>-1</sup> (Orona *et al.*,

in the absorption and transport of N and other nutrients in the leaf. All of which produces a better fruit filling. When using the microbial consortium, P concentration was higher than standard values, because *P. fluorescens* and *B. subtilis* activated insoluble phosphorus in the soil and converted it into plant-available chemical forms (Ávila *et al.*, 2015). The values of the rest of the macro and micro-nutrients in leaf were quantified within the reference range.

### Yield and nut percentage

The highest yield, 27.7% increase over the control was obtained with the microbial consortium treatment during the 2019 cycle (Table 3). This value represents an improvement compared to the expected productivity for that cycle (an OFF-year), which is a year of lower production and low fruit quality.

In the state of Sonora, an average production in tons of 2.03 Mg ha<sup>-1</sup> is reached (Orona *et al.*, 2019); however, in this study the treatment with microbial inoculation exceeded these values ( $p \leq 0.05$ ) consecutively in the 2018 and 2019 cycles (Table 3). These data are evidence of the action of the microorganisms used for their growth promotion function based on phytohormone production and nutrient solubilization (Santos *et al.*, 2020). In addition, by degrading materials present in soil to be better utilized by plants, and increasing productivity and quality in crops (Feijoo, 2016).

**Cuadro 2. Efecto de la aplicación de microorganismos promotores de crecimiento en la concentración nutrimental de hoja de nogal pecanero.**

**Table 2. Effect of the application of growth promoting microorganisms on the nutrient concentration of pecan leaves.**

Treatment	Cycle	N	P	K g kg <sup>-1</sup>	Ca	Mg	Fe	Cu mg kg <sup>-1</sup>	Zn
Consortio microbiano	2017	21.4 bc ± 2.5	41.1 b ± 2.5	13.1 e ± 0.3	11.2 b ± 0.5	3.8 b ± 0.4	201 b ± 5.8	20 b ± 1.2	65 ab ± 1.8
	2018	26.0 ab ± 1.2	55.5 a ± 2.2	26.3 a ± 0.6	12.4 ab ± 1.1	4.1 a ± 0.2	223 a ± 4.6	25 a ± 0.9	76 a ± 1.5
	2019	26.3 a ± 0.8	58.0 a ± 2.1	23.5 b ± 0.5	13.5 a ± 0.6	3.7 b ± 0.6	214 b ± 5.1	24 a ± 1.1	67 ab ± 0.9
Control	2017	21.1 c ± 2.1	28.0 c ± 0.5	12.1 e ± 1.06	10.8 c ± 0.6	3.0 c ± 0.5	162 c ± 6.5	18 c ± 1.3	54 c ± 0.8
	2018	23.9 abc ± 1.2	33.0 c ± 1.6	18.4 c ± 0.6	11.4 b ± 0.5	3.2 bc ± 0.5	184 bc ± 4.3	20 b ± 0.8	62 b ± 1.2
	2019	23.7 abc ± 0.8	33.0 c ± 2.0	16.3 d ± 0.4	11.3 b ± 0.4	3.1 bc ± 0.6	176 c ± 5.2	21 ab ± 1.1	64 ab ± 1.3
Referencia <sup>†</sup>		24-30	14-30	10-25	7-17.5	3-6	50-300	6.0-30	60-150

a,b Letras distintas en una columna indican diferencias significativas (Tukey,  $p \leq 0.05$ ). ♦ a,b Different letters in columns indicate significant differences (Tukey,  $p \leq 0.05$ ).

<sup>†</sup>Smith *et al.*, (2012).

**Cuadro 3. Efecto de la aplicación de microorganismos promotores de crecimiento en la productividad de nogal pecanero.**

**Table 3. Effect of the application of growth promoting microorganisms on pecan productivity.**

Tratamiento	2017	Rendimiento	
		2018	2019
		Mg ha <sup>-1</sup>	
Consortio microbiano	0.544 ± 0.14 a	3.393 ± 0.24 a	2.260 ± 0.48 a
Control	0.524 ± 0.18 a	3.204 ± 0.37 a	1.881 ± 0.34 b

a,b Letras distintas en una columna indican diferencias significativas (Tukey,  $p \leq 0.05$ ). ♦ a,b Different letters in columns indicate significant differences (Tukey,  $p \leq 0.05$ ).

2019); sin embargo, en este estudio el tratamiento con la inoculación microbiana superó dichos valores ( $p \leq 0.05$ ) de forma consecutiva en los ciclos 2018 y 2019 (Cuadro 3). Estos datos son evidencia de la acción de los microorganismos utilizados por su función de promoción de crecimiento basada en la producción de fitohormonas y en la solubilización de nutrientes (Santos *et al.*, 2020). Además, por degradar materiales presentes en suelo para ser mejor aprovechados por las plantas y aumentar la productividad y calidad en los cultivos (Feijoo, 2016).

La utilización de cantidades grandes de fertilizantes químicos para asegurar rendimientos altos en los cultivos es una práctica no deseable desde el punto de vista ambiental, debido al tiempo que permanecen en el suelo. Por eso que el utilizar este tipo de microorganismos favorece una agricultura sustentable y mejora los rendimientos de los cultivos (Patiño-Torres y Sanclemente-Reyes, 2014). La mejora de las condiciones del suelo y la productividad del cultivo de nogal se han buscado con base en productos orgánicos como compostas, humus, etc., con los cuales se han obtenido resultados favorables, tanto en condiciones de suelo como en productividad (Soto-Parra *et al.*, 2016).

Para evaluar la calidad de nuez, uno de los principales factores a considerar es el porcentaje de nuez comestible (Zaragoza-Lira *et al.*, 2011). En esta variable se presentaron diferencias ( $p \leq 0.05$ ) entre los tratamientos (Cuadro 4).

Los rendimientos obtenidos en el estudio cumplieron o excedieron el porcentaje de nuez establecido (53-55%) en los requerimientos comerciales

The use of large amounts of chemical fertilizers to ensure high crop yields is an undesirable practice from an environmental point of view, due to the time they remain in the soil. That is why using this type of microorganisms favors sustainable agriculture and improves crop yields (Patiño-Torres and Sanclemente-Reyes, 2014). The improvement of soil conditions and pecan crop productivity have been searched based on organic products such as composts, humus, etc., with which favorable results have been obtained, both in soil conditions and productivity (Soto-Parra *et al.*, 2016).

To evaluate nut quality, one of the main factors to consider is the percentage of edible nut (Zaragoza *et al.*, 2011). In this variable, there were differences ( $p \leq 0.05$ ) among treatments (Table 4).

The yields obtained in the study met or exceeded the established nut percentage (53-55%) in the traditional commercial requirements (Godoy and López, 2000). The orchard section with application of the microorganism consortium showed higher quality during the three consecutive growing cycles. Nutrient deficiencies that cause poor fruit filling (Acevedo-Barrera *et al.*, 2013), are reasons why nut quality is affected in pecan cultivation. Consequently, it is important to use this type of microorganisms because they facilitate the solubilization of organic compounds and the production of secondary metabolites, thus influencing the availability of nutrients (Cano, 2011). In addition, in fruit trees they favor integrated plant development, crop nutrition and consequently increase the quality of production (Cubillos-Hinojosa *et al.*, 2009).

**Cuadro 4. Efecto de la aplicación de microorganismos promotores de crecimiento en la calidad de nuez en nogal pecanero.****Table 4. Effect of the application of growth promoting microorganisms on nut quality in pecan trees.**

Tratamiento	Porcentaje de nuez comestible (%)		
	2017	2018	2019
Consortio microbiano	54.3 ± 3.5 a	53.1 ± 3.1 a	56.6 ± 1.6 a
Testigo	53.2 ± 3.9 a	50.5 ± 2.4 b	55.0 ± 1.9 b

a,b Letras distintas en una columna indican diferencias significativas (Tukey,  $p \leq 0.05$ ).

❖ a,b Different letters in columns indicate significant differences (Tukey,  $p \leq 0.05$ ).

tradicionales (Godoy y López, 2000). La sección de la huerta con aplicación del consorcio de microorganismos mostró calidad mayor durante los tres ciclos de cultivo consecutivos.

Las deficiencias nutrimentales que causan un mal llenado del fruto (Acevedo-Barrera *et al.*, 2013), son razones por las cuales se afecta la calidad de nuez en el cultivo del nogal. En consecuencia, es importante utilizar este tipo de microorganismos porque facilitan la solubilización de compuestos orgánicos y la producción de metabolitos secundarios, e influyen en la disponibilidad de nutrimentos (Cano, 2011). Además, en frutales favorecen el desarrollo vegetal integrado, la nutrición de los cultivos y en consecuencia incrementan la calidad de la producción (Cubillos-Hinojosa *et al.*, 2009).

## CONCLUSIONES

Con la aplicación de microorganismos como *Bacillus subtilis*, *B. cereus*, *Pseudomonas fluorescens* y *Trichoderma harzianum* se obtuvieron diferencias en el rendimiento de nogal durante el ciclo 2018-2019. Así mismo, favoreció la absorción de nutrientes, lo cual se vio reflejado en el aumento del porcentaje de nuez.

Este tipo de productos biológicos, denominados consorcios de bacterias promotoras del crecimiento, tienen potencial para utilizarse durante más ciclos e incrementar la productividad del cultivo.

## LITERATURA CITADA

Acevedo-Barrera, A. A., J. Soto-Parra, y R. M. Yáñez-Muñoz. 2013. Impacto de la fertilización nutricional en la calidad de la nuez pecanera. *Juyyaania* 1:105-113.

## CONCLUSIONS

With the application of microorganisms such as *Bacillus subtilis*, *B. cereus*, *Pseudomonas fluorescens* and *Trichoderma harzianum*, differences in pecan yield were obtained during the 2018-2019 cycle. Likewise, it favored the absorption of nutrients, which was expressed through increasing the nut percentage. This type of biological products, called consortia of growth promoting bacteria, have the potential to be used during more cycles and to increase crop productivity.

—End of the English version—

-----\*-----

Ávila, E., L. Lizarazo, y F. Cortés. 2015. Promoción del crecimiento de *Baccharis macrantha* (Asteraceae) con bacterias solubilizadoras de fosfatos asociados a su rizósfera. *Acta Biol. Colombiana* 20: 121-131.

Bashan, Y., E. E. de-Bashan, and J. Hernández. 2013. Advances in plant growth-promoting bacterial inoculant technology: formulations and practical perspectives (1998- 2013). *Plant Soil* 378:1-33.

Buysens, C., V. César, F. Ferrais, H. Boulois y S. Declerck. 2016. Inoculation of *Medicago sativa* cover crop with *Rhizopagus irregularis* and *Trichoderma harzianum* increases the yield of subsequently-grown potato under low nutrient conditions. *Appl. Soil Ecol.* 105:137-143.

Cano, M. A. 2011. Interacción de microorganismos benéficos en plantas: micorrizas, *Trichoderma* spp. y *Pseudomonas* spp. Una revisión. *Rev. UDCA Actual. Divulg. Cient.* 14:15-31.

Creus, C. M. 2017. Inoculantes microbianos: piezas de un rompecabezas que aún requiere ser ensamblado. *Rev. Argentina Microbiol.* 49: 207-209.

- Coronado, M. A., J. Meza, M. García P., V. Santiago, y A. Córdova Y. 2015. Análisis de la inversión bajo distintos escenarios productivos del nogal pecanero en la Sierra de Sonora. *Rev. Mex. Cienc. Agríc.* 6: 407-415.
- Cubillos-Hinojosa, J., N. Valero, y L. Mejía. 2009. *Trichoderma harzianum* como promotor del crecimiento vegetal del maracuyá (*Passiflora edulis* var. *flavicarpa* Degener). *Agron. Colombiana* 27: 81 - 86.
- Feijoo, M. A. L. 2016. Microorganismos eficientes y sus beneficios para los agricultores. *Rev. Cient. Agroecos.* 4: 31-40.
- Godoy, C., e I. López. 2000. Desarrollo de la almendra y germinación del fruto del nogal pecanero bajo cuatro calendarios de riego. *Terra Latinoam.* 18: 305 - 311.
- Hassen, A. I., F. L. Bopape, and L. K. Sanger. 2016. Microbial Inoculants as Agents of Growth Promotion and Abiotic Stress Tolerance in Plants. *In: Singh D., H. Singh, and R. Prabha.* (eds). *Microbial Inoculants in Sustainable Agricultural Productivity.* Springer, New Delhi. pp: 23 - 36.
- Higa, T., y J. F. Parr. 2013. Microorganismos benéficos y efectivos para una agricultura y medio ambiente sostenibles. Maryland (USA): Centro internacional de Investigación de Agricultura Natural, Departamento de Agricultura de los Estados Unidos. 13 p.
- Keswani, C., S. Mishra, B. Sarma, S. Singh, and H. Singh. 2014. Unraveling the efficient applications of secondary metabolites of various *Trichoderma* spp. *Appl. Microbiol. Biotechnol.* 98: 533-544.
- Leal-Almanza, J., M. A. Gutiérrez-Coronado, L. Castro-Espinoza, F. Lares-Villa, J. M. Cortes-Jiménez, y S. de los Santos-Villalobos. 2018. Microorganismos promotores de crecimiento vegetal con yeso agrícola en papa (*Solanum tuberosum* L.) bajo casa sombra. *Agrociencia* 52: 1149 - 1159.
- Orona, I., D. Sangerman, M. G. Cervantes, J. Espinoza, y J. H. Nuñez. 2019. La producción y comercialización de nuez pecanera en México. *Rev. Mex. Cienc. Agríc.* 10: 1797-1808.
- Patíño-Torres, C., y O. Sanclemente-Reyes. 2014. Los microorganismos solubilizadores de fósforo (MSF): una alternativa biotecnológica para una agricultura sostenible. *Entramado.* 10: 288-297.
- Pepper, I. L. and C. P. Gerba. 2004. *Environmental Microbiology a Laboratory Manual.* 2nd. ed. Elsevier Academic Press. USA. 197 p.
- Santos, C. H. B., F. C. do Nascimento, L. L. Lobo, A. B. Martins, G. H. de Almeida Teixeira, and E. C. Rigobelo. 2020. Effect of encapsulated plant growth promoting microorganisms on soil biochemical parameters and development of fruit tree seedlings. *Australian J. Crop Sci.* 14: 3006-3014.
- SEMARNAT (Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales) 2002. NOM-021-RECNAT-2000. NORMA Oficial Mexicana que establece las especificaciones de fertilidad, salinidad y clasificación de suelos. Estudios, muestreo y análisis. SEMARNAT. Diario Oficial de la Federación (Segunda sección) México, D. F. pp: 1 - 85.
- SIAP (Sistema de Información Agrícola y Pesquera). 2017. Avance de Siembras y Cosechas Resumen Nacional por cultivo. [http://infosiap.siap.gob.mx:8080/agricola\\_siap\\_gobmx/AvanceNacionalSinPrograma.do](http://infosiap.siap.gob.mx:8080/agricola_siap_gobmx/AvanceNacionalSinPrograma.do) (Consulta: abril 2019).
- Smith, M. W., C. T. Rohla, C. T. and W. D. Goff. 2012. Pecan leaf elemental sufficiency ranges and fertilizer recommendations. *HortTechnology* 22: 594-599.
- Soto-Parra, J. M., F. Piña, E. Sánchez, R. Pérez, y M. Basurto. 2016. Alternativas orgánicas para disminuir la aplicación de nitrógeno en nogal pecanero. *Nova Scientia* 8:140-161.
- Statpoint Technologies Inc. 2000. Statgraphics Plus, version 5.1. Reference Manual, Manugistics. Rockville. 305 p.
- Tejera-Hernández, B., M. Rojas-Badía, y M. Heydrich-Pérez. 2011. Potencialidades del género *Bacillus* en la promoción del crecimiento vegetal y el control biológico de hongos fitopatógenos. *Rev. CENIC Cienc. Biol.* 42: 131-138.
- Worley, E., and M. Smith. 1984. Estimating Pecan Yield. *Hort. Science* 19: 664.
- Zaragoza-Lira, M. M., P. Preciado-Rangel, U. Figueroa-Viramontes, J. L. García-Hernández, M. Fortis-Hernández, M. A. Segura-Castruita, A. Lagarda-Murrieta, and E. Madero-Tamargo. 2011. Application of compost and pecan yield. *Rev. Chapingo Ser. Hort.* 17: 33 - 37.

