

Fertilización biológica del cultivo de maíz*

Biological fertilization of maize

Alejandro Zermeño-González¹, José Omar Cárdenas-Palomo², Homero Ramírez-Rodríguez³, Adalberto Benavides-Mendoza³, Martín Cadena-Zapata⁴ y Santos Gabriel Campos-Magaña⁴

¹Departamento de Riego y Drenaje, ²Departamento de Horticultura, ³Departamento de Maquinaria Agrícola, Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro. Calzada Antonio Narro 1923, Saltillo, Coahuila, México. (hrr_homero@hotmail.com; abenmen@uaaan.mx; martincadena@uaaan.mx; camposmsg@hotmail.com). ⁴Palau Bioquim, S. A. de C. V. Saltillo, Coahuila, México. (cardenasjomar@gmail.com). ⁵Autor para correspondencia: azermenog@hotmail.com.

Resumen

Por la creciente demanda de productos agrícolas y el incremento en los costos de los fertilizantes químicos, asociado a la contaminación que éstos pueden ocasionar al medio ambiente, es necesario desarrollar otras alternativas sustentables para la producción agrícola. Con la biofertilización, se podrían mitigar estos problemas, y a su vez incrementar el rendimiento de los cultivos. El objetivo de este estudio fue evaluar el efecto de la aplicación de fertilizantes biológicos derivados de algas marinas aplicados al suelo y al follaje en un maíz forrajero (*Zea mays* L.). Las variables de respuesta fueron: contenido relativo de clorofila, tasa de transporte de electrones, altura de planta, diámetro del tallo y peso seco de la planta. La investigación se realizó durante el ciclo verano-otoño 2011 en Torreón, Coahuila, México. Se evaluaron dos tratamientos. Con y Sin fertilizantes biológicos, Los fertilizantes derivados de extractos de algas marinas aplicados fueron: 1 L ha⁻¹ del compuesto Algaenzims^{MR} y 0.5 L ha⁻¹ de AlZincB^{MR}. El diseño fue completamente al azar. Cada tratamiento se repitió 10 veces. Las plantas que recibieron fertilización biológica mostraron valores mayores ($p \leq 0.05$) de contenido relativo de clorofila (32.4%) y tasa de transporte de electrones (17.8%), que resultó en un incremento ($p \leq 0.05$) en: altura de planta (17.3%), diámetro de tallo (10.5%) y peso seco de planta (14.8%) respecto a las plantas sin aplicación de fertilizantes biológicos.

Abstract

By the growing demand for agricultural products and increased costs of chemical fertilizers, associated to pollution that this may cause to the environment, it is necessary to develop other sustainable alternatives for agricultural production. Biofertilization could mitigate these problems, and in turn increase crop yields. The aim of this study was to evaluate the effect of the application of biological fertilizers derived from seaweed applied to the soil and foliage on forage maize (*Zea mays* L.). The response variables were: relative chlorophyll content, electron transport rate, plant height, stem diameter and dry weight of the plant. The research was conducted during the summer-fall cycle 2011 in Torreón, Coahuila, Mexico. Two treatments were evaluated. With and without biological fertilizers; the fertilizers derived from seaweed extracts were: 1 L ha⁻¹ compound Algaenzims^{MR} and 0.5 L ha⁻¹ AlZincB^{MR}. The experimental design was completely random. Each treatment was replicated 10 times. Plants receiving biological fertilization showed higher values ($p \leq 0.05$) for relative chlorophyll content (32.4%) and electron transport rate (17.8%), which resulted in an increase ($p \leq 0.05$) in plant height (17.3%), stem diameter (10.5%) and plant dry weight (14.8%) compared to plants without application of biological fertilizers.

Keywords: *Zea mays* L., chlorophyll content, electron transport rate, seaweed.

* Recibido: marzo de 2015
Aceptado: junio de 2015

Palabras clave: *Zea mays* L., algas marinas, contenido relativo de clorofila, tasa de transporte de electrones.

Introducción

El maíz (*Zea mays* L.) se cultiva mundialmente en más de 168 mil millones de hectáreas con una producción anual de más de 876 mil millones de toneladas, por lo que actualmente éste es el segundo cultivo de importancia en el mundo después del trigo (Cotriza, 2012). Su importancia económica a nivel mundial se debe al hecho anterior y a que es un grano fundamental para la alimentación animal y, en muchos países, humana (Zarkadas *et al.*, 1995). Recientemente este grano se ha empleado para producir etanol, compitiendo con las funciones tradicionales (Bothast y Schlierher, 2005; Vermis *et al.*, 2007), por lo que se requiere incrementar su productividad. La aplicación de fertilizantes biológicos ha sido una alternativa que permite mejorar la productividad de cultivos por área cultivada y se reduce la contaminación del suelo y el agua (Carvajal-Muñoz y Mera-Benavides, 2010; Chisti *et al.*, 2013).

La práctica de fertilización biológica con base en algas marinas de especies con valor agrícola ha demostrado incrementos en rendimiento y buena calidad de las cosechas a partir de la aplicación directa o de sus derivados. (Painter, 1995; Canales-López, 2001). Las respuestas de las plantas a la aplicación de algas marinas son mayor rendimiento, mejor absorción de nutrientes, mejoran la germinación de la semilla, incrementa el contenido de clorofila y el tamaño de las hojas (Metting *et al.*, 1990; Crouch y van Staden, 1992).

El contenido de clorofila en la hoja está estrecha y directamente relacionado con el estado nutrimental del cultivo (Moran *et al.*, 2000; Chang y Robinson, 2003; Berg y Perkins, 2004). Estudios previos muestran que los extractos de algas marinas contienen citoquininas, auxinas y betaínas que incrementan significativamente la concentración de clorofila en las hojas de las plantas (Whapham *et al.*, 1993; Blunden *et al.*, 1996; Schwab y Raab, 2004; Thirumaran *et al.*, 2009).

La fluorescencia de la clorofila es un indicador importante para determinar el nivel de estrés en los procesos fotosintéticos de las plantas (Krause y Weis, 1991; Schreiber y Bilger, 1993), y para comparar el rendimiento fotosintético entre especies de plantas (Brodribb y Feild, 2000; Jones *et al.*, 2010). Con base en la medición de la fluorescencia de la clorofila, se obtiene la tasa de transporte de electrones (ETR,

Introduction

Maize (*Zea mays* L.) is cultivated worldwide in more than 168 billion hectares with an annual production of more than 876 billion tons, so now this is the second most important crop in the world after wheat (Cotriza, 2012). Its economic importance worldwide is due to the above fact as it is a fundamental grain for animal feed and in many countries, human (Zarkadas *et al.*, 1995). Recently this grain has been used to produce ethanol, competing with traditional functions (Bothast and Schlierher, 2005; Vermis *et al.*, 2007), so it is necessary to increase productivity. The application of biological fertilizers have been an alternative that allows to improve crop productivity by acreage and soil and water pollution is reduced (Carvajal-Muñoz and Mera-Benavides, 2010; Chisti *et al.*, 2013).

The practice of biological fertilization based on seaweed species with agricultural value has shown increases in yield and good quality of crops from direct application or its derivatives (Painter, 1995; Canales-Lopez, 2001). Plants response to the application of seaweed are increased yields, better nutrients absorption, improve seed germination, increases chlorophyll content and leaves size (Metting *et al.*, 1990; Crouch and van Staden, 1992).

Chlorophyll content in the leaf is closely and directly related to the nutritional status of the crop (Moran *et al.*, 2000; Chang and Robinson, 2003; Berg and Perkins, 2004). Previous studies show that seaweed extracts contain cytokinins, auxins and betaines which significantly increase chlorophyll content in leaves (Whapham *et al.*, 1993; Blunden *et al.*, 1996; Schwab and Raab, 2004; Thirumaran *et al.*, 2009).

Chlorophyll fluorescence is an important factor to determine the level of stress on photosynthetic processes in plants (Krause and Weis, 1991; Schreiber and Bilger, 1993) and to compare photosynthetic yield between plant species (Brodribb and Feild, 2000; Jones *et al.*, 2010). Based on the measurement of chlorophyll fluorescence, the electron transport rate (ETR) in light saturation, which is also called photosynthetic capacity, is obtained and is used to express photosynthesis rate and physiological traits of leaves (Genty *et al.*, 1989). ETR is the flow of electrons through the photosynthetic transport chain, so low levels of ETR may indicate that the plant is under stress which limits the photosynthesis rate. Comparisons of relative values of ETR between plants should be conducted under the same light

por sus siglas en inglés) en saturación de luz, que también se denomina capacidad fotosintética, y se utiliza para expresar la tasa de fotosíntesis y los rasgos fisiológicos de las hojas (Genty *et al.*, 1989). La ETR representa el flujo de electrones a través de la cadena de transporte fotosintético, por lo que niveles bajos de ETR pueden indicar que la planta está bajo condiciones de estrés que limita la tasa de fotosíntesis. Las comparaciones de los valores relativos de ETR entre plantas, deben realizarse bajo las mismas condiciones de luz. Las características de absorción de la luz por la hoja pueden variar según la especie y el grado de estrés hídrico (Eichelman *et al.*, 2004).

El objetivo de este estudio fue evaluar el efecto de la aplicación de fertilizantes biológicos derivados de algas marinas aplicados al suelo y al follaje en el cultivo de maíz forrajero (*Zea mays* L.), el contenido relativo de clorofila, tasa de transporte de electrones y su relación con la altura de planta, diámetro del tallo y el peso seco de planta.

Materiales y métodos

Ubicación y características del área de estudio

La investigación se realizó durante el ciclo verano-otoño de 2011, en la localidad "Ampuero" ubicada en el municipio de Torreón, Coahuila, México (25° 27' latitud norte y 103° 22' longitud oeste), a una altitud de 1 137 m. Los análisis físicos y químicos del suelo realizados en el estrato de 0 a 0.3 m de profundidad, indicaron una textura franco arcillo-arenosa, moderadamente alcalino (pH=8.5), sin problemas de sales (CE del extracto de saturación 1.48 dS m⁻¹), porcentaje de materia orgánica 1.59% y densidad aparente de 1.31 g cm⁻³.

Manejo agronómico del cultivo

Se estableció el híbrido amarillo de alto rendimiento (HT-7887), que corresponde a un maíz cuya área de adaptación es el norte y centro de México, la altura de plantas es de 2.5 a 2.7 m, de ciclo intermedio, con buen rendimiento y calidad de follaje. La siembra se realizó el 30 de junio de 2011. Las semillas se depositaron en surcos separados 0.75 y 0.13 m entre semillas, para una densidad de siembra de 102 564 plantas ha⁻¹. Se establecieron dos melgas de 10 m de ancho por 250 m de largo (2 500 m²). El riego de pre siembra se aplicó el 15 de mayo. Posteriormente se aplicaron tres riegos de una lámina promedio de 17 cm y un intervalo

conditions. The characteristics of light absorption by the leaves may vary depending on the species and the degree of water stress (Eichelman *et al.*, 2004).

The aim of this study was to evaluate the effect of the application of biological fertilizer derived from seaweed applied to soil and foliage in forage maize (*Zea mays* L.), the relative chlorophyll content, electron transport rate and its relation with plant height, stem diameter and plant dry weight.

Materials and methods

Location and characteristics of the study area

The research was conducted during the summer-fall 2011 cycle in the locality "Ampuero" located in Torreón, Coahuila, Mexico (25° 27' north latitude and 103° 22' west longitude), at an altitude of 1 137 m. The physical and chemical soil analysis made in the substrate 0 to 0.3 m deep, clay-sandy texture moderately alkaline (pH= 8.5), no salt problems (EC of saturation extract 1.48 dS m⁻¹), percentage of organic matter 1.59% and bulk density of 1.31 g cm⁻³.

Agronomical management

The yellow hybrid high-yield (HT-7887), which corresponds to a corn whose adaptation area is the northern and central Mexico, plant height is 2.5 to 2.7 m, intermediate cycle, with good yield and foliage quality. The trial was established on June 30, 2011. The seeds were placed in separate grooves 0.75 and 0.13 m between seeds for planting density of 102 564 plants ha⁻¹. Two melgas of 10 m wide by 250 m long (2 500 m²) were established. Irrigation was applied pre planting on May 15. Subsequently three irrigations of an average sheet of 17 cm with an interval between irrigations of approximately 30 days using siphons to derive water from the channel into the plots; fall armyworm (*Spodoptera frugiperda*) was controlled with two applications of Palgus (Spinoteram) (125 mL ha⁻¹). For pest control, Latigo (Chlorpyrifos-cypermethrin) (1.25 L ha⁻¹) was applied. Weed control was performed by applying Primagram (Atrazine-S-metolachlor) (1.25 L ha⁻¹) at 15 and 28 days after planting.

Treatments evaluated and experimental design

In one of the melgas described before the Algaenzims^{MR} product was applied, which is a biological product based on macro and micro seaweed with alkaline pH (8.2). The

entre riegos de aproximadamente 30 días, utilizando sifones para la derivación del agua del canal a las parcelas. El gusano cogollero (*Spodoptera frugiperda*) se controló con dos aplicaciones de Palgus (Spinoteram) (125 mL ha⁻¹). Para el control de plagas, se aplicó Latigo (Clorpirifos-Cipermetrina) (1.25 L ha⁻¹). El control de malezas se realizó aplicando Primagram (Atrazina-S-Metolacloro) (1.25 L ha⁻¹) a los 15 y 28 días después de siembra.

Tratamientos evaluados y diseño experimental utilizado

En una de las melgas descritas anteriormente se aplicó el producto Algaenzims^{MR}, que es un producto biológico a base de macro y micro algas marinas con Ph alcalino (8.2). La aplicación se realizó en el riego de pre siembra a una dosis de 1 L ha⁻¹. Posteriormente, a las plantas de la misma melga se les aplicó (vía foliar) 0.5 L ha⁻¹ del producto AlZincB^{MR} que contiene reguladores de crecimiento como auxinas, giberelinas y citoquininas como parte inherente de los extractos de algas marinas (*Sargassum* spp) además de elementos menores como zinc (10%, p/p) y boro (0.5%, p/p). Las aplicaciones se realizaron a los 41 días después de la siembra. La otra melga se manejó como testigo (sin aplicaciones de fertilización biológica). Ambas melgas recibieron la fertilización mineral que regularmente aplica el productor, que consistió en 25 kg de sulfato de amonio y 100 kg de fosfato monoamonico, aplicados al suelo un día antes de siembra.

Se utilizó un diseño estadístico completamente al azar con dos tratamientos (con y sin aplicación de fertilizantes orgánicos) y 10 repeticiones, donde una planta representó la unidad experimental. Las 10 plantas en cada melga se seleccionaron al azar en la parte central de las mismas. La comparación de medias se realizó con la prueba de Duncan ($p \leq 0.05$).

Contenido relativo de clorofila

El efecto de las aplicaciones de los biofertilizantes, en el contenido relativo de clorofila de las hojas de las plantas, se realizó espectrofotométricamente utilizando el sensor SPAD 502 (Minolta Inc.), que mide la concentración relativa de clorofila por medio de la luz transmitida a través de la hoja a una longitud de onda de 650 y 940 nm (Sainz-Rozas y Echeverría, 1998). Este sensor, estima en forma instantánea el contenido relativo de clorofila (en un rango de 0 a 199) en las hojas de forma no destructiva con la siguiente relación:

application was made in the pre sowing irrigation at a dose of 1 L ha⁻¹. Subsequently, to plants of the same melga was applied (foliar) 0.5 L ha⁻¹ of AlZincB^{MR} containing growth regulators such as auxins, gibberellins and cytokinins as an inherent part of seaweed extracts (*Sargassum* spp.) plus trace elements like zinc (10%, w/w) and boron (0.5%, w/w). Applications were made 41 days after planting. The other melga was kept as control (without application of biological fertilization). Both melgas received mineral fertilization that the producer regularly applies, which consisted of 25 kg of ammonium sulfate and 100 kg of monoammonium phosphate, applied to the soil one day before planting.

A completely randomized design with two treatments (with and without application of biological fertilizers) and 10 replications was used; one plant represented the experimental unit. 10 plants in each melga were randomly selected in the central part of the plot. Means comparison was performed using Duncan test ($p \leq 0.05$).

Relative chlorophyll content

The effect of biofertilizer in relative chlorophyll content of leaves was performed spectrophotometrically using SPAD 502 (Minolta Inc.) sensor, which measures the relative chlorophyll concentration by light transmitted through the leaf at a wavelength of 650 to 940 nm (Sainz-Rozas and Echeverría, 1998). This sensor, estimates instantaneously relative chlorophyll content (ranging from 0 to 199) in leaves nondestructively with the following relationship:

$$SPAD = K \log_{10} \left[\frac{IR_t / IR_o}{R_t / R_o} \right] \quad 1)$$

Where: SPAD is the value of chlorophyll level; K is the extinction coefficient of the medium (leaf chlorophyll) to applied radiation (650 nm); IR_t is the intensity of radiation that leaf transmits at 940 nm; IR_o is the intensity of light emitted by the sensor at 940 nm; R_t is the intensity of radiation that leaf transmits at 650 nm; R_o is the intensity of light emitted by the sensor at 650 nm.

Measurements were made in 10 plants from the center of each melga. Eight measurements distributed along the third leaf of each plant (in four places on each side) were made. The data was obtained from the middle between the base and the apex. The records were made at 36 and 71 days after planting.

$$\text{SPAD} = K \log_{10} \left[\frac{\text{IR}_t / \text{IR}_o}{\text{R}_r / \text{R}_o} \right] \quad 1)$$

Donde: SPAD es el valor del nivel de clorofila; K es el coeficiente de extinción del medio (clorofila de la hoja) a la radiación aplicada (650 nm); IR_t es la intensidad de la radiación que transmite la hoja a 940 nm; IR_o es la intensidad de la luz emitida por el sensor a 940 nm; R_r es la intensidad de la radiación que transmite la hoja a 650 nm; R_o es la intensidad de la luz emitida por el sensor a 650 nm.

Las mediciones se realizaron en 10 plantas de la parte central de cada melga. Se realizaron ocho mediciones distribuidas a lo largo de la tercera hoja de cada planta (en cuatro puntos de cada lado). Los datos se obtuvieron de la parte media entre la base y el ápice. Los registros se efectuaron a los 36 y 71 días después de la siembra.

Tasa de transporte de electrones (ETR)

La tasa de transporte de electrones se determinó realizando ocho mediciones por hoja en cada una de las 10 plantas de cada melga (con y sin aplicación de biofertilizantes), a 71 días después de siembra (dds). Para esto se utilizó un fluorómetro de pulso modulado modelo FMS-2 (Hansatech Instruments), el cual obtiene la ETR con la siguiente ecuación:

$$\text{ETR} = \phi\text{PSII} * \alpha * f * \text{PAR} \quad 2)$$

Donde: ETR es la tasa de transporte de electrones ($\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$), ΦPSII es la eficiencia cuántica del fotosistema II, α es la proporción de absorción de luz por el tejido fotosintético (0.84), f es la proporción de luz transferida a cada uno de los fotosistemas (PSII y PSI), que corresponde a 0.54, y PAR es la radiación fotosintéticamente activa incidente ($\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$).

La eficiencia cuántica del fotosistema II se obtiene con la siguiente ecuación:

$$\phi\text{PSII} = \frac{\text{FM}' - F}{\text{FM}'} \quad 3)$$

Donde: FM' es la fluorescencia máxima real o efectiva y F es la fluorescencia inicial.

Componentes del crecimiento de las plantas evaluados

La altura de la planta se midió desde la superficie del suelo hasta el último nudo del tallo de la planta. La primera evaluación se realizó a los 71 y la segunda a los 99 dds. Se

Electron transport rate (ETR)

The electron transport rate was determined through eight measurements per leaf on each of the 10 plants of each melga (with and without application of biofertilizers), 71 days after sowing (das). For this a pulse-modulated fluorometer FMS-2 model (Hansatech Instruments) was used, which obtains ETR with the following equation:

$$\text{ETR} = \phi\text{PSII} * \alpha * f * \text{PAR} \quad 2)$$

Where: ETR is the electron transport rate ($\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$), ΦPSII is the quantum efficiency of photosystem II, α is the ratio of light absorption by the photosynthetic tissue (0.84), f is the proportion of light transferred to each of the photosystems (PSII and PSI), which corresponds to 0.54, and PAR is incident photosynthetically active radiation ($\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$).

The quantum efficiency of photosystem II is obtained by the following equation:

$$\phi\text{PSII} = \frac{\text{FM}' - F}{\text{FM}'} \quad 3)$$

Where: FM' is the real or effective maximum fluorescence and F is the initial fluorescence.

Plant growth components evaluated

Plant height was measured from ground surface to the last knot from the stem. The first evaluation was performed at 71 and the second at 99 das. 10 plants were selected randomly from each treatment. Stem diameter was measured at 5 cm from ground surface with digital vernier surtek (Electronic digital caliper 122200). Measurements were made in 10 plants per treatment, randomly selected at 99 das. Plants from each melga were harvested at ground level at 100 das these were placed in a drying oven at 70 °C for 24 h to obtain plant dry weight.

Results and discussion

Relative chlorophyll content

Application of biological fertilizers seaweed based had a significant effect ($p \leq 0.05$) in the relative chlorophyll content of leaves (Figure 1). In the first assessment (36 das), chlorophyll content was 8.1% higher in plants treated

tomaron 10 plantas al azar por cada tratamiento. El diámetro del tallo de las plantas se midió a 5 cm de la superficie del suelo con un Vernier digital surtek (Electronic digital caliper 122200). Las mediciones se realizaron en 10 plantas por cada tratamiento, escogidas al azar a los 99 dds. Las plantas de cada melga se cosecharon al ras del suelo a los 100 dds, estas se colocaron en un horno de secado a 70 °C por 24 h para obtener el peso seco plantas.

Resultados y discusión

Contenido relativo de clorofila

La aplicación de fertilizantes biológicos a base de algas marinas, tuvieron un efecto significativo ($p \leq 0.05$) en el contenido relativo de clorofila de las hojas de las plantas (Figura 1). En la primera evaluación (36 dds), el contenido de clorofila fue 8.1% mayor en las plantas tratadas con fertilizantes biológicos comparado con el tratamiento sin fertilización biológica. En la segunda evaluación (71 dds) la diferencia entre tratamientos se incrementó a 32.4% (Figura 1).

Estudios previos han mostrado que los extractos de algas marinas contienen cantidades significativas de citoquininas, auxinas y betaínas, que al aplicarse al suelo o al cultivo aumentan la concentración de clorofila en las hojas (Whapham *et al.*, 1993; Blunden *et al.*, 1996; Schwab y Raab, 2004).

Tasa de transporte de electrones (ETR)

La aplicación de biofertilizantes tuvo un efecto significativo ($p \leq 0.05$) en la tasa de transferencia de electrones (ETR) en las hojas de las plantas (Figura 2). A los 71 días después de siembra, la ETR en las hojas de las plantas tratadas fue 17.8% mayor que en las plantas sin aplicación de biofertilizantes (Figura 2). Este resultado también indicó que el grado de estrés en las plantas tratadas fue menor, ya que la tasa de transporte de electrones es un indicador del grado de estrés de las plantas (Krause y Weis, 1991; Wajahatullah *et al.*, 2009).

Al respecto, Nabati *et al.* (1994) reportaron una mayor tolerancia al estrés por salinidad del pasto grama azul de Kentucky (*Poa pratensis* L.) en respuesta a la aplicación de extracto de algas marinas. Similarmente, Nahed *et al.* (2011) reportaron que la aplicación de extracto de algas marinas (*Ascophyllum nodosum*) en plantas de amaranto (*Amaranthus*

with biological fertilizers compared to treatment without biological fertilizer. In the second assessment (71 das) the difference between treatments increased to 32.4% (Figure 1).

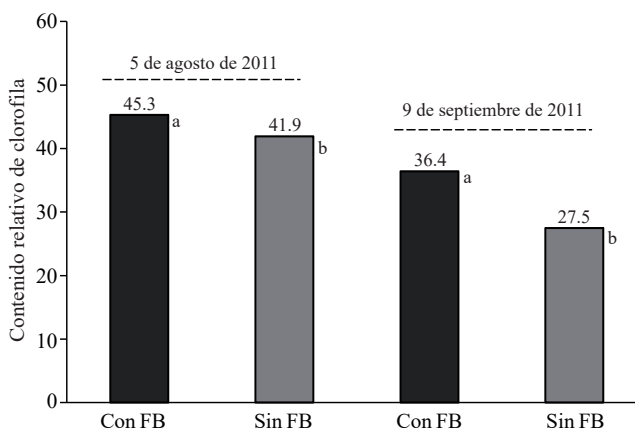


Figura 1. Contenido relativo de clorofila en hojas de plantas de maíz con fertilización biológica (con FB) (Algaenzims^{MR} y ALZincB^{MR}) y en plantas sin fertilización biológica (sin FB), observada el 5 de agosto (36 días después de siembra) y el 9 de septiembre (71 días después de siembra) de 2011, Torreón, Coahuila, México.

Figure 1. The relative content of chlorophyll in leaves of corn plants with biological fertilization (FB) (Algaenzims^{MR} and ALZincB^{MR}) and biological plants without fertilization (no FB), observed on August 05 (36 days after planting) and 9 September (71 days after sowing), 2011, Torreón, Coahuila, Mexico.

Previous studies have shown that seaweed extracts contain significant amounts of cytokinins, auxins and betaines, when applied to soil or crop increases chlorophyll concentration in the leaves (Whapham *et al.*, 1993; Blunden *et al.*, 1996; Schwab and Raab, 2004).

Electron transport rate (ETR)

The application of biofertilizers had a significant effect ($p \leq 0.05$) in the electron transfer rate (ETR) in leaves (Figure 2). At 71 days after sowing, ETR on leaves from treated plants was 17.8% higher than plants without application of biofertilizer (Figure 2). This result also indicated that the degree of stress in treated plants was lower, since the electron transport rate is an indicator of plant stress (Krause and Weis, 1991; Wajahatullah *et al.*, 2009).

In this regard, Nabati *et al.* (1994) reported an increased tolerance to salinity in Kentucky blue grass (*Poa pratensis* L.) in response to the application of seaweed

tricolor L.) reduce el estrés por salinidad y aumenta la longitud, diámetro del tallo, longitud de la raíz y el número de hojas. Mientras que Spann y Little (2011) encontraron que la aplicación de extractos de algas marinas (*Ascophyllum nodosum*) al suelo o en forma foliar a plantas de naranjo (*Citrus sinensis* L.) mejora la tolerancia al estrés hídrico.

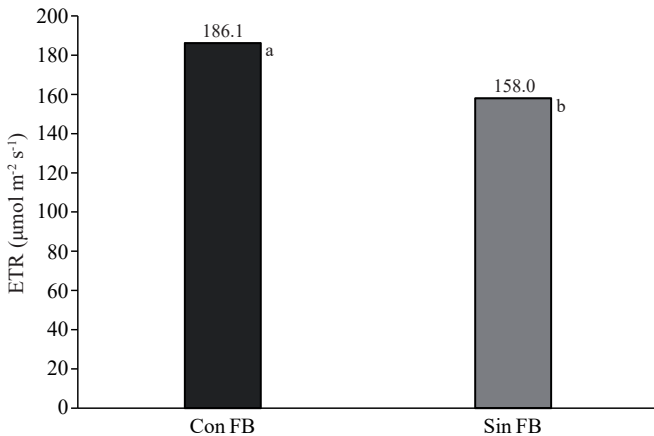


Figura 2. Tasa de transporte de electrones (ETR) en hojas de plantas de maíz con fertilización biológica (con FB) (Algaenzims^{MR} y ALZincB^{MR}) y en plantas sin fertilización biológica, (sin FB) observada el 9 de septiembre (71 días después de siembra) de 2011, Torreón, Coahuila, México.

Figure 2. Electron transport rate (ETR) in leaves of corn plants with biological fertilization (FB) (Algaenzims^{MR} and ALZincB^{MR}) and biological plants without fertilization (no FB) observed on 9 September (71 days after seeding) 2011, Torreon, Coahuila, Mexico.

Altura de la planta

En la Figura 3 se muestra que la aplicación de fertilizantes biológicos incrementó la altura de la plantas ($p \leq 0.05$). En la primera evaluación (71 dds), las plantas con fertilización biológica fueron 17.3% más altas que las plantas sin aplicaciones. En la segunda evaluación (99 dds) la diferencia de altura fue 7.7% en las plantas con fertilización biológica. Estos resultados pueden atribuirse a que las algas marinas son una fuente natural de auxinas y citoquininas, que son un grupo de biorreguladores de crecimiento (Crouch y van Staden, 1993). Resultados similares fueron reportados por Zodape *et al.* (2011) al encontrar que la aplicación de la savia de algas marinas (*Kappaphycus alvarezii*) vía foliar (al 5%), incrementó 34% la altura de planta y 45% la longitud de raíz en plantas de tomate. De igual forma Sivasankari *et al.* (2006), reportaron que la aplicación de algas marinas (*Sargassum wightii* y *Caulerpa chemnitzia*) aumentaron el crecimiento de plantas de un cultivo de frijol (*Phaseolus vulgaris* L.).

extract. Similarly, Nahed *et al.* (2011) reported that the application of seaweed extract (*Ascophyllum nodosum*) in amaranth (*Amaranthus tricolor* L.) reduces salinity stress and increases length, stem diameter, root length and leaf number. While Spann and Little (2011) found that the application of seaweed extract (*Ascophyllum nodosum*) to the soil or foliar to orange (*Citrus sinensis* L.) improves tolerance to water stress.

Plant height

Figure 3 shows that the application of biological fertilizer increased plant height ($p \leq 0.05$). In the first assessment (71 das), plants with biological fertilizer were 17.3% higher than plants without applications. In the second evaluation (99 das) height difference was 7.7% in plants with biological fertilization. These results can be attributed to marine algae are a natural source of auxins and cytokinins, which are a group of bio-regulators (Crouch and van Staden, 1993). Similar results were reported by Zodape *et al.* (2011) finding that foliar application seaweed sap (*Kappaphycus alvarezii*) (5%), increased 34% plant height and 45% root length in tomato plants. Similarly Sivasankari *et al.* (2006) reported that the application of seaweed (*Sargassum wightii* and *Caulerpa chemnitzia*) increased plant growth on beans (*Phaseolus vulgaris* L.).

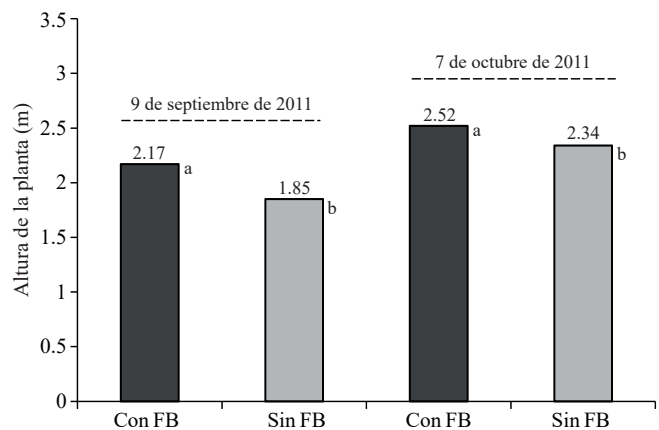


Figura 3. Altura de plantas de maíz con fertilización biológica (con FB) (Algaenzims^{MR} y ALZincB^{MR}) y en plantas sin fertilización biológica (sin FB), observada el 9 de septiembre (71 días después de siembra) y el 7 de octubre (99 dds) de 2011, Torreón, Coahuila, México.

Figure 3. Height of corn plants with biological fertilization (FB) (Algaenzims^{MR} and ALZincB^{MR}) and biological plants without fertilization (no FB), observed on 09 September (71 days after planting) and October 7 (99 dds) 2011, Torreon, Coahuila, Mexico.

Diámetro del tallo

El diámetro del tallo también presentó incrementos ($p \leq 0.05$) por la aplicación de fertilizantes biológicos, ya que a los 99 dds, el diámetro del tallo fue 10.5% mayor que el observado en las plantas sin fertilización biológica (Figura 4). Esto se puede atribuir a que los extractos de algas marinas aportan a las plantas contenidos de elementos mayores y menores, además de enzimas y reguladores de crecimiento (Canales-López, 1997). Al respecto, otros estudios reportan que los extractos de algas marinas son fuente de macro y micro nutrimentos, aminoácidos, vitaminas, citoquininas, auxinas y ácido abscísico (ABA), los cuales afectan el metabolismo celular en las plantas que conducen a un mayor crecimiento y rendimiento de los cultivos (Durand *et al.*, 2003; Stirk *et al.*, 2003; Ordog *et al.*, 2004).

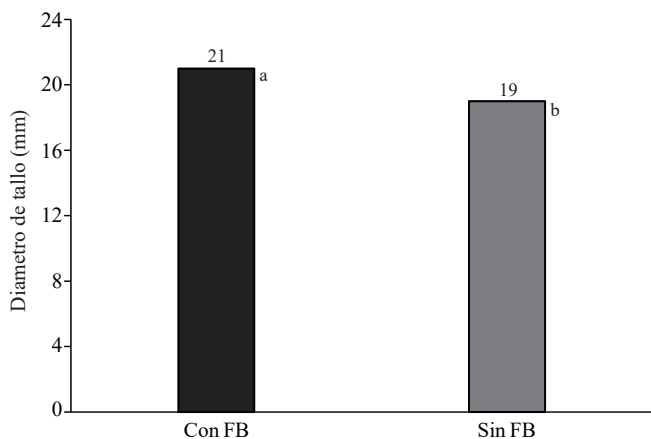


Figura 4. Diámetro de tallo de plantas de maíz (mm) con fertilización biológica (FB) (Algaenzims^{MR} y ALZincB^{MR}) y en plantas sin fertilización biológica, observada el 7 de octubre (99 días después de siembra) de 2011, Torreón, Coahuila, México.

Figure 4. Diameter of plant corn stalk (mm) with biological fertilization (FB) (Algaenzims^{MR} and ALZincB^{MR}) and biological plants without fertilization, observed on October 07 (99 days after sowing), 2011, Torreón, Coahuila, Mexico.

Peso seco de la planta

La aplicación de biofertilizantes derivados de algas marinas incrementó el peso seco de las plantas ($p \leq 0.05$) (Figura 5). A los 99 días después de trasplante el peso seco promedio de las plantas tratadas fue de 405.6 g planta⁻¹, y el de las plantas sin aplicaciones fue 353.2 g planta⁻¹, esto representó un incremento de 14.8%. Rathore *et al.* (2009) reportaron un mayor crecimiento y rendimiento de grano de plantas de soya (*Glycine max* L.) con la aplicación foliar de extractos de algas

Stem diameter

Stem diameter also showed increases ($p \leq 0.05$) by the application of biological fertilizers, since at 99 das, stem diameter was 10.5% higher than that observed in plants without biological fertilization (Figure 4). This can be attributed to seaweed extracts provide to plants major and minor elements content, plus enzymes and growth regulators (Canales-López, 1997). In this regard, some studies report that seaweed extracts are a source of macro and micro nutrients, amino acids, vitamins, cytokinins, auxins and abscisic acid (ABA), which affect cell metabolism in plants leading crops to higher growth and yields (Durand *et al.*, 2003; Stirk *et al.*, 2003; Ordog *et al.*, 2004).

Plant dry weight

Application of biofertilizers derived from seaweed increased plant dry weight ($p \leq 0.05$) (Figure 5). At 99 days after transplantation, the average plant dry weight was 405.6 g planta⁻¹, and without applications to plants was 353.2 g planta⁻¹, this represented an increase of 14.8%. Rathore *et al.* (2009) reported higher growth and grain yield on soybean (*Glycine max* L.) with foliar application of seaweed extracts. Similarly, Jeannin *et al.* (1991) found an increased fresh weight on corn seedlings treated with seaweed extracts.

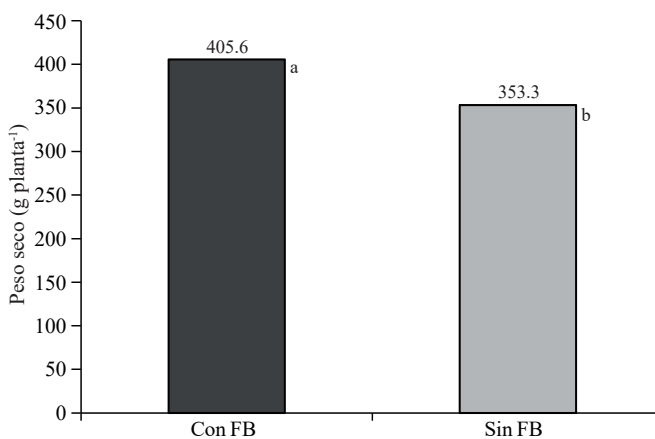


Figura 5. Peso seco de plantas de maíz con fertilización biológica (con FB) (Algaenzims^{MR} y ALZincB^{MR}) y en plantas sin fertilización biológica (sin FB), observada el 7 de octubre (99 días después de siembra) de 2011, Torreón, Coahuila, México.

Figure 5. Dry weight of corn plants with biological fertilization (FB) (Algaenzims^{MR} and ALZincB^{MR}) and biological plants without fertilization (no FB), observed on October 07 (99 days after sowing), 2011, Torreón, Coahuila, Mexico.

marinas. Similarmente, Jeannin *et al.* (1991) observaron un mayor peso fresco de plántulas de maíz al ser tratadas con extractos de algas marinas.

Conclusiones

La aplicación de fertilizantes biológicos derivados de extractos de algas marinas al suelo y al follaje en un cultivo de maíz forrajero indujo un mayor contenido relativo de clorofila y mayor tasa de transporte de electrones, que resulto en mayor altura de plantas, de mayor diámetro de tallo y mayor peso seco de planta.

Literatura citada

- Berg, A. K. and Perkins, T. D. 2004. Evaluation of a portable chlorophyll meter to estimate chlorophyll and nitrogen contents in sugar maple (*Acer saccharum* Marsh.) leaves. *Forest Ecol. Manag.* 200:113-117.
- Blunden, G.; Jenkins, T. and Liu, Y. 1996. Enhanced leaf chlorophyll levels in plants treated with seaweed extract. *J. Appl. Phycol.* 8:535-543.
- Bothast, R. J. and Schlierher, M. A. 2005. Biotechnology processes for conversion of corn into ethanol. *Appl. Microbiol. Biotechnol.* 67:19-25.
- Brodribb, T. J. and Field, T. S. 2000. Stem hydraulic supply is linked to leaf photosynthetic capacity: evidence from new caledonian and tasmanian rainforests. *Plant Cell Environ.* 23:1381-1388.
- Canales-López, B. 1997. Las algas en la agricultura orgánica. Consejo Editorial Trillas S. A. de C. V. México, D. F. 28 p.
- Canales-López, B. 2001. Uso de los derivados de algas marinas en la producción de papa, tomate, chile y tomatillo: Resultados de investigación. Coahuila: Palau Bioquím S. A. 24 p.
- Carvajal-Muñoz, J. S. y Mera-Benavides, A. C. 2010. Fertilización biológica: técnicas de vanguardia para el desarrollo agrícola sostenible. *Producción + Limpia.* 5(2):77-96.
- Chang, S. X. and Robinson, D. J. 2003. Nondestructive and rapid estimation of hardwood foliar nitrogen status using the SPAD-502 chlorophyll meter. *Forest Ecol. Management.* 181:331-338.
- Chesti, M. U. H.; Qadri, T. N.; Hamid, A.; Qadri, J.; Azooz, M. M. and Ahmad, P. 2013. Role of Bio-fertilizers in crop improvement: *In: crop improvement new approaches and modern techniques.* Rehman, K. H.; Parvaiz, A. and Munir, O. (Eds.). Springer science + business media, LLC, New York, NY. 189-208 pp.
- Chirinos, J.; Leal, A. and Montilla, J. 2006. Uso de insumos biológicos como alternativa para la agricultura sostenible en la zona sur del estado Anzoátegui. *Revista Digital Ceniap.* 11:1-7.
- Cotriza (2012) <http://www.cotriza.cl/mercado/maiz/internacional/detalle.php> (Consultado octubre, 2012).
- Crouch, I. J. and Staden, J. van. 1992. Effect of seaweed concentrate on the establishment and yield of greenhouse tomato plants. *J. Appl. Phycol.* 4:291-296.

Conclusions

The application of biological fertilizers derived from seaweed extracts to the soil and foliage on forage maize induced higher relative chlorophyll content and higher electron transport rate, which resulted in higher plant height, higher stem diameter and increased plant dry weight.

End of the English version



- Crouch, I. J. and Staden, J. van. 1993. Evidence for the presence of plant growth regulators in commercial seaweed products. *Plant Growth Regulation.* 13:21-29.
- Durand, N.; Briand, X. and Meyer, C. 2003. The effect of marine bioactive substances (NPRO) and exogenous cytokinins on nitrate reductase activity in *Arabidopsis thaliana*. *Physiologia Plantarum* 119:489-493.
- Eichelmann, H.; Oja, V.; Rasulov, B.; Padu, E.; Bichele, I.; Pettai, H.; Niinemets, O. and Laisk, A. 2004. Development of leaf photosynthetic parameters in *Betula pendula* roth leaves: correlation with photosystem I density. *Plant Biol.* 6:307-318.
- Genty, B.; Briantais, J. M. and Baker, N. R. 1989. The relationship between the quantum yield of photosynthetic electron transport and quenching of chlorophyll fluorescence. *Biochimica et Biophysica Acta.* 990:87-92.
- Jeannin, I.; Lescure J. C. and Morot-Gaudry, J. F. 1991. The effects of aqueous seaweed sprays on the growth of maize. *Botánica Marina* 34:469-473.
- Jones, T. J.; Luton, C. D.; Santiago, L. S. and Goldstein, G. 2010. Hydraulic constraints on photosynthesis in subtropical evergreen broad leaf forest and pine woodland trees of the Florida Everglades. *Trees: Structure and Function* 24:471-478.
- Krause, G. H. and Weis, E. 1991. Chlorophyll fluorescence and photosynthesis: the basics. *Ann. Rev. Plant Physiol. Plant Mol. Biol.* 42:313-349.
- Metting, B.; Zimmerman, W. J.; Crouch, I. J. and Staden, J. van. 1990. Agronomic uses of seaweed and microalgae. *In: introduction to applied phycology.* Akatsuka, I. (Ed.). SPB Academic Publishing. The Hague, Netherlands. 269-627 pp.
- Moran, J. A.; Mitchell, A. K.; Goodmanson, G. and Stockburger, K. A. 2000. Differentiation among effects of nitrogen fertilization treatments on conifer seedlings by foliar reflectance: a comparison of methods. *Tree Physiology.* 20:1113-1120.
- Nabati, D. A.; Schmidt, R. E. and Parrish, D. J. 1994. Alleviation of salinity stress in Kentucky bluegrass by plant growth regulators and Iron. *Crop Sci.* 34:198-202.
- Nahed, G. A.; Mona, H. M. and Hanan, S. S. 2011. Growth, flowering and chemical constituents performance of *Amaranthus tricolor* plants as influenced by seaweed (*Ascophyllum nodosum*) extract application under salt stress conditions. *J. Appl. Sci. Res.* 7(11):1472-1484.
- Ordog, V.; Stirk, W. A.; Staden, J. V.; Novak, O. and Strnad, M. 2004. Endogenous cytokinins in the three genera of microalgae from the Chlorophyta. *J. Phycol.* 40:88-95.

- Painter, T. J. 1995. Biofertilizers: exceptional calcium binding affinity of a sheath proteoglycan from the blue-green soil alga *Nostoc calcicola*. *Carbohydrate Polymers* 26(3):231-233.
- Rathore, S. S.; Chaudhary, D. R.; Boricha, G. N.; Ghosh, A.; Bhatt, B. P.; Zodape, S. T. and Patolia, J. S. 2009. Effect of seaweed extract on the growth, yield and nutrient uptake of soybean (*Glycine max*) under rainfed conditions. *South Afr. J. Bot.* 75:351-355.
- Sainz-Rozas, H. and Echeverría, H. E. 1998. Relación entre las lecturas del medidor de clorofila (Minolta SPAD 502) en distintos estadios del ciclo del cultivo de maíz y el rendimiento en grano. *Rev. Fac. Agron. La Plata.* 103(1):37-44.
- Schreiber, U. and Bilger, W. 1993. Progress in chlorophyll fluorescence research: major developments during the past years in retrospect. *Progress Bot.* 54:151-173.
- Schwab, W. and Raab, T. 2004. Developmental changes during strawberry fruit ripening and physicochemical changes during postharvest storage. *In: production practices and quality assessment of food crops, 'quality handling and evaluation'*. Dris, R. and Jain, S. M. (Eds.). Kluwer Academic Publishers, Netherlands. 341-369 pp.
- Sivasankari, S.; Venkatesalu, V.; Anantharaj, M. and Chandrasekaran, M. 2006. Effect of seaweed extracts on the growth and biochemical constituents of *Vigna sinensis*. *Bio. Technol.* 97(14):1745-1751.
- Spann, T. M. and Little, H. A. 2011. Applications of a commercial extract of the brown seaweed *Ascophyllum nodosum* increases drought tolerance in container-grown 'Hamlin' sweet orange nursery trees. *Am. Soc. Hortic. Sci.* 46(4):577-582.
- Stirk, W. A.; Novak, M. S. and Staden, J. van 2003. Cytokinins in macroalgae. *J. Plant Growth Reg.* 41:13-24.
- Thirumaran, G.; Arumugam M.; Arumugam, R. and Anantharaman, P. 2009. Effect of seaweed liquid fertilizer on growth and pigment concentration of *Cyamopsis tetragonoloba* (L) Taub. *Am. Eur. J. Agron.* 2(2):50-56.
- Vemis, W.; Saballos, A.; Ejeta, G.; Mosier, N. S.; Landisch, M. R. and Carpita, N. C. 2007. Molecular breeding to enhance ethanol production from corn and sorghum stover. *Crop Sci.* 47:142-153.
- Wajahatullah, K.; Rayirath, U. P.; Subranian, S.; Jithesh, M. N.; Rayorath, P.; Hodges, D. M.; Critchley, A. T.; Craigie, J. S.; Norrie J. and Prithiviraj, B. 2009. Seaweed extracts as biostimulants of plant growth and development. *J. Plant Growth Reg.* 28:386-399.
- Whapham, C. A.; Bluden, G.; Jenkins, T. and Hankins, S. D. 1993. Significance of betaines in the increased chlorophyll content of plants treated with seaweed extract. *J. Appl. Phycol.* 5:231-234.
- Zarkadas, C. G.; Yu, Z.; Hamilton, R. I.; Patison, P. L. and Rose, N. G. 1995. Comparison between protein quality of northern adapted cultivars of common maize and quality protein maize. *J. Agric. Food Chem.* 43:84-93.
- Zodape, S. T.; Gupta, A.; Bhandari, S. C.; Rawat, U. S.; Chaudhary, D. R.; Eswaran, K. and Chikara, J. 2011. Foliar application of seaweed sap as biostimulant for enhancement of yield and quality of tomato (*Lycopersicon esculentum* Mill). *J. Sci. Ind. Res.* 70:215-219.