

Crecimiento, rendimiento y rentabilidad de calabacita (*Cucurbita pepo* L.) fertilizada con fuentes químicas y biológicas

Growth, yield, and profitability of zucchini (*Cucurbita pepo* L.) fertilized with chemical and biological sources

Cid Aguilar-Carpio¹ , Yessica Flor Cervantes-Adame^{2*} ,
Pedro Jordan Sorza-Aguilar²  y José Alberto Salvador Escalante-Estrada¹ 

¹ Programa de Botánica. Campus Montecillo, Colegio de Postgraduados. Carretera México-Texcoco km 36.5, Montecillo. Texcoco, Estado de México, México.

² Escuela de Estudios Superiores de Xalostoc, Universidad Autónoma del Estado de Morelos (UAEM). Av. Nicolás Bravo s/n, Parque Industrial. 62715 Ayala, Morelos, México.

* Autora para correspondencia (yessica.cervantes@uaem.mx)

Editor asociado: Dr. Porfirio Juárez López

RESUMEN

La calabacita es una hortaliza de gran relevancia agrícola y social en México, por lo que la implementación de alternativas como el uso de productos de origen biológico, puede contribuir al mejoramiento y al incremento de las ganancias en este cultivo. El objetivo del estudio fue determinar el efecto de la fertilización química y biológica en el crecimiento, rendimiento y rentabilidad del cultivo de la calabacita. El estudio se estableció bajo riego en Tlayacapan, Morelos, México, donde se trasplantó plántulas de calabacita italiana variedad Adelita, los tratamientos consistieron en la aplicación al suelo de extracto de algas marinas [*Ascophyllum nodosum* (L.) Le Jolis] y *Rhizophagus irregularis* (Błaszk., Wubet, Renker & Buscot) C. Walker & A. Schüßler (2010) en mezcla con fertilizantes químicos. Se utilizó un diseño de bloques completos al azar con cuatro repeticiones. Para evaluar el crecimiento del cultivo, se registró el área foliar, materia seca por planta, con el cual se determinó la tasa de crecimiento del cultivo, tasa absoluta de crecimiento, rendimiento del cultivo, peso, diámetro y largo del fruto. También se realizó un análisis económico para determinar la rentabilidad de cada tratamiento. En general, se observó que la aplicación de la fertilización química al 100% promovió la mayor área foliar, peso fresco de

la planta, materia seca, tasa absoluta de crecimiento, tasa de crecimiento del cultivo, rendimiento y peso de fruto en el cultivo de calabacita, lo que generó una mejor rentabilidad. La fertilización con algas marinas complementó la fertilización química y generó una mejor respuesta en las variables evaluadas en comparación a *R. irregularis*.

Palabras clave: algas marinas, análisis económico, fertilización, producción, materia seca.

SUMMARY

Zucchini is a vegetable of great agricultural and social relevance in Mexico, hence, the implementation of alternatives such as the use of products of biological origin, can contribute to the improvement and increase of profits in this crop. The objective of this study was to determine the effect of chemical and biological fertilization on the growth, yield, and profitability of the zucchini crop. The study was established under irrigation in Tlayacapan, Morelos, Mexico, where seedlings of Italian zucchini variety Adelita were transplanted. The treatments consisted of the application of seaweed extract [*Ascophyllum nodosum* (L.) Le Jolis] and *Rhizophagus irregularis* (Błaszk., Wubet, Renker & Buscot) C. Walker & A. Schüßler (2010) to the soil mixed with chemical fertilizers. A

Cita recomendada:

Aguilar-Carpio, C., Cervantes-Adame, Y. F., Sorza-Aguilar, P. J. y Escalante-Estrada, A. S. E. (2022). Crecimiento, rendimiento y rentabilidad de calabacita (*Cucurbita pepo* L.) fertilizada con fuentes químicas y biológicas. *Terra Latinoamericana*, 40, 1-12. e1059. <https://doi.org/10.28940/terra.v40i0.1059>

Recibido: 10 de octubre de 2021. Aceptado: 13 de enero de 2022.

Artículo. Volumen 40, abril de 2022.

random complete block design with four repetitions was used. To evaluate crop growth and leaf area dry matter per plant was recorded, with which the growth rate of the crop, absolute growth rate, crop yield, weight, diameter, and length of the fruit were determined. In addition, an economic analysis was performed to determine the profitability of each treatment. Overall, it was observed that the application of 100% chemical fertilization promoted the largest leaf area, fresh plant weight, dry matter, absolute growth rate, crop growth rate, yield, and fruit weight in zucchini cultivation, which caused improved profitability. Fertilization with seaweed complemented chemical fertilization and generated a better response in the variables evaluated compared to *R. irregularis*.

Index words: seaweed, economic analysis, fertilization, production, dry matter.

INTRODUCCIÓN

La calabacita (*Cucurbita pepo* L.) es una hortaliza de gran relevancia económica y social en México (Alvarado, Valdez, Cepeda, Rubí y Pineda, 2021). Además, es importante señalar que esta hortaliza se usa en amplia variedad de productos gastronómicos como dulces, cremas, aceites, semillas tostadas, conservas, mermeladas, encurtidos, entre otros (Pérez, Del Ángel, Sánchez, Taboada y García, 2021). Sus propiedades nutricionales son además un atractivo que la hacen indispensable dentro de una dieta equilibrada: es rica en fibra, carbohidratos y potasio. También contiene calcio, magnesio, vitamina A, C, y es un antioxidante que ayuda a eliminar radicales libres previniendo el envejecimiento celular y además tiene gran importancia en la dieta porque es un precursor de la vitamina A (Apáez, Lara, Apáez y Raya, 2019).

En México la producción de calabacita es considerada como una opción de comercio rentable debido a la importante derrama económica que se genera a nivel nacional e internacional. México ocupa el sexto lugar mundial como país productor de calabacita y su producción representa 2.6% de la producción global y el 84% es exportado a Estados Unidos, Japón y Canadá. En el año 2020 la superficie sembrada de calabacita a nivel nacional fue de 25.8 mil ha, en las que se produjeron 589 801 Mg, donde los principales estados productores de calabacita en el país son Sonora, Sinaloa, Puebla, Hidalgo, Michoacán,

Zacatecas, Jalisco y en octavo lugar se encuentra Morelos que siembra alrededor de 1 229 ha y produce 19 297 Mg ha⁻¹ con un rendimiento promedio de 15.7 Mg ha⁻¹ (SIAP, 2021).

Debido los suelos agrícolas pueden tener bajo contenido de nutrientes la incorporación de fertilizantes químicos es indispensable, sin embargo, el costo elevado de estos insumos agrícolas, aunado a su uso excesivo, han causado un aumento en los costos de producción, lo que origina una baja rentabilidad y consecuencias negativas en el ambiente, como la degradación de los recursos naturales (suelo y agua) (Carvajal y Mera, 2010; Díaz, Alvarado, Allende y Ortiz, 2016; Apáez *et al.*, 2019; Alvarado *et al.*, 2021), se ha optado por alternativas que permitan incrementar la producción, reducir la aplicación de fertilizantes químicos, además de generar una mejor ganancia y conservar el ambiente, mediante el uso de productos de origen orgánico e inoculantes biológicos.

El utilizar fertilizantes biológicos elaborados a base de microorganismos (hongos), generan una mejora en la absorción de nutrientes del suelo, fertilidad del suelo, biodegradan sustancias, favorecen la asociación microbiana, por ende, estimulan el crecimiento para las plantas y productividad (Carvajal y Mera, 2010; Sedano *et al.*, 2011; Díaz *et al.*, 2016). En particular, los hongos micorrícicos arbusculares (HMA) aportan beneficios como la promoción del crecimiento y mayor nutrición mineral de la planta cultivada (Díaz, Ortiz, Lozano, Aguado y Grageda, 2013; Díaz *et al.*, 2016). Se tratan de microorganismos del suelo, generalmente hongos y bacterias, que se asocian de manera natural a las raíces de las plantas de una forma más o menos íntima. Los microorganismos promotores del crecimiento y nutrición vegetal facilitan, de manera directa o indirecta, la disponibilidad de determinados nutrientes para las plantas, tales como el nitrógeno, el fósforo o el agua, aunque también los hay que producen sustancias (fitohormonas) promotoras del crecimiento vegetal (Chirinos, Leal y Montilla, 2006; Carvajal y Mera, 2010).

Por otro lado, los extractos de algas marinas (*Ascophyllum nodosum*) han sido utilizados como bioestimulantes, debido a su contenido como son vitaminas, carbohidratos y proteínas que favorecen el crecimiento de la planta, retraso en la senescencia, adaptación a condiciones de estrés, lo que genera una mayor producción de los cultivos (Carvajal y Mera, 2010). Diversos estudios han demostrado el efecto

de las algas marinas sobre la producción de cultivo como calabacita (*Cucurbita pepo* L.) (Rouphael *et al.*, 2016), tomate (*Solanum lycopersicum* L.) (Ali, Farrell, Ramsabhag y Jayaramn, 2015), espinaca (*Spinacia oleracea* L.) (Fan, Hodges, Critchley y Prithiviraj, 2013) y vid (*Vitis vinifera* L.) (Sabir *et al.*, 2014). Por lo anterior, el objetivo de este estudio fue determinar el efecto de la fertilización química y biológica en el crecimiento, rendimiento y rentabilidad en el cultivo de la calabacita (*Cucurbita pepo* L.).

MATERIALES Y MÉTODOS

El estudio se estableció en condiciones de riego en el ejido de Cacahuatlán, municipio de Tlayacapan, Morelos, México (18° 55' 8.78" N y 98° 59' 36.95" O, a 1300 m de altitud). Para conocer las características iniciales del suelo en los primeros 30 cm de profundidad, previo al establecimiento del estudio se realizó un análisis físico y químico en el Laboratorio de Nutrición Vegetal S. C., Fertilab. El análisis fisicoquímico indicó que es un suelo de textura franco, densidad aparente de 1.32 g cm⁻³, pH 6.94 implica un suelo neutro, conductividad eléctrica 0.55 dS m⁻¹, materia orgánica de 2.32%, nitrógeno inorgánico 18.2 mg kg⁻¹, fósforo 102 mg kg⁻¹, potasio 256 mg kg⁻¹, calcio 1858 mg kg⁻¹, magnesio 697 mg kg⁻¹, sodio 23.1 mg kg⁻¹, hierro 50 mg kg⁻¹, zinc 4.06 mg kg⁻¹, manganeso 68.2 mg kg⁻¹, cobre 4.55 mg kg⁻¹, boro 0.18 mg kg⁻¹ y azufre 8.88 mg kg⁻¹.

El material vegetativo fue calabacita italiana (*Cucurbita pepo* L.; familia Cucurbitaceae), variedad Adelita (Seminis®, USA). La siembra se realizó el 13 de enero de 2021, en charolas de poliestireno de 200

cavidades (una semilla por cavidad), que contenía turba comercial para germinación (BM2, Berger®, USA). El trasplante se realizó el 22 de enero de 2021, en el cual se colocó una planta cada 40 cm, en la parte lateral del surco en el suelo. Los tratamientos consistieron en la aplicación al suelo de extractos de algas marinas [*Ascophyllum nodosum* (L.) Le Jolis] de la empresa Acadian Seaplants y de hongos micorrícicos arbusculares *Rhizophagus irregularis* (Błaszk., Wubet, Renker & Buscot) C. Walker & A. Schüßler (2010) antes *Glomus intraradices* (Glomeraceae) que fue obtenida en la empresa Biofábrica Siglo XXI. Para la fertilización química se utilizó la fórmula (120-90-30) a base de urea, fosfato diamónico y cloruro de potasio, el cual se aplicó de forma fraccionada, todo el fósforo, potasio y la mitad del nitrógeno antes del trasplante y el resto del nitrógeno a los 30 días después del trasplante (ddt). La aplicación del extracto de algas marinas y el hongo micorrícico fue en *drench*, al momento del trasplante, y a los 15 y 30 días después del trasplante (ddt). Los tratamientos se describen en el Cuadro 1.

El experimento se estableció en un diseño de bloques completos al azar y con cuatro repeticiones. La superficie de cada unidad experimental se conformó de tres surcos de 1.20 m de ancho y 4 m de largo (14.4 m²), el tamaño de parcela experimental fue de 403.2 m². La densidad de población fue de 2.5 plantas por m². Antes del trasplante se realizó un riego para asegurar la adaptación de la plántula en campo, posteriormente se regó cada ocho días hasta la producción del cultivo (seis riegos). En cuanto al manejo agronómico, a los 20 y 40 días después de la siembra (dds) se aplicó el herbicida Clethodim (Arysta LifeScience®) sobre el complejo de malezas monocotiledóneas. Con respecto

Cuadro 1. Tratamientos utilizados en el estudio realizado en Tlayacapan, Morelos, México.

Table 1. Treatments used in the study carried out in Tlayacapan, Morelos, Mexico.

Tratamientos	Dosis
1. Testigo	Sin aplicación
2. Fertilización química (100%)	120-90-30 (N - P ₂ O ₅ - K ₂ O)
3. <i>Ascophyllum nodosum</i>	2 L ha ⁻¹
4. <i>Rhizophagus irregularis</i>	2 kg ha ⁻¹ (30000 esporas por kg)
5. Fertilización química (50%) + <i>Ascophyllum nodosum</i>	60-45-15 (N - P ₂ O ₅ - K ₂ O) + 2 L ha ⁻¹
6. Fertilización química (50%) + <i>Rhizophagus irregularis</i>	60-45-15 (N - P ₂ O ₅ - K ₂ O) + 2 kg ha ⁻¹
7. <i>Ascophyllum nodosum</i> + <i>Rhizophagus irregularis</i>	2 L ha ⁻¹ + 2 kg ha ⁻¹

al control de plagas como la mosquita blanca [*Bemisia tabaci* (Gennadius)], en etapa vegetativa se realizó la aplicación del insecticida bifentrina (Adama®), cada semana.

Para conocer las condiciones ambientales en las que se desarrolló el cultivo se registró la temperatura media diaria, la humedad relativa (HR) y la precipitación, datos proporcionados por el Servicio Meteorológico Nacional (CONAGUA). Asimismo, se calculó las unidades calor diarias (UC), mediante el método residual de Snyder (1985), el cual es descrito por la siguiente Ecuación 1:

$$UC = T \text{ media} - TB \quad (1)$$

donde: T media = temperatura media diaria (°C) y TB = temperatura base, considerada como 10 °C.

En el cual, se realizó un análisis de regresión y se obtuvo la ecuación correspondiente con el programa Excel®, Microsoft Office para Windows. Las etapas fenológicas registradas fueron: días a trasplante (T), días a floración (FL) y días a madurez comercial (MC).

Para evaluar el crecimiento del cultivo, se hizo un muestreo destructivo de dos plantas en la parcela útil de cada unidad experimental a los 10 y 40 ddt, del cual se registró el área foliar del medidor electrónico LICOR 3100 (USA).

También se evaluó la materia seca por planta (MS, g) y se cuantificó con una báscula digital (Ohaus®, USA), con aproximación de 0.0001 g; las muestras se secaron a 80 °C en una estufa de circulación de aire forzado, por 72 h. Con estos datos se calcularon las tasas medias de crecimiento del cultivo (\overline{TCC}) y absoluta de crecimiento (\overline{TAC}) mediante las Ecuaciones 2 y 3:

$$\overline{TCC} = \frac{1}{A} * \left(\frac{PS_2 - PS_1}{T_2 - T_1} \right) \quad (2)$$

donde: PS₂ y PS₁ indican el peso de la materia seca de la planta en los tiempos T₂ y T₁, respectivamente y A (227 cm²) representa el área ocupada por la planta (Aguilar *et al.*, 2018).

$$\overline{TAC} = \frac{PS_2 - PS_1}{T_2 - T_1} \quad (3)$$

donde: PS₂ y PS₁ indican el peso de la materia seca de la planta en los tiempos T₂ y T₁, respectivamente (Escalante y Kohashi, 2015).

A madurez comercial y en los datos obtenidos de dos cosechas se evaluó el rendimiento del cultivo (Mg ha⁻¹), peso del fruto (PF, g), diámetro y largo del fruto (cm). A las variables en estudio, se les aplicó un análisis de varianza, con el programa estadístico de SAS versión 9.1 (SAS, 2003) y la prueba de comparación de medias de Tukey ($\alpha \leq 0.05$). También se realizó un análisis económico para determinar la rentabilidad de cada tratamiento, tomando en cuenta el costo total (CT) y el ingreso total (IT), que sirvieron de base para determinar el ingreso neto (IN) y la ganancia por peso invertido (GPI); se utilizaron las siguientes ecuaciones (Bueno *et al.*, 2005): costo total (CT), es la suma de los costos fijos (CF) y variables (CV); CT = (CF + CV). Costo fijo (CF) = incluye costo de preparación del terreno, trasplante, riego, manejo de maleza y plagas. Costo variable (CV) = incluye el costo del fertilizante químico y biológico. Ingresos totales (IT) se deriva de la venta total del producto y se calcula mediante la siguiente ecuación: IT = Py Y, donde: Py = Precio del producto (\$ 10.00), Y = producción ha⁻¹. Ingreso neto (IN) es el monto en efectivo (ganancias) obtenido; se determina de la diferencia entre el costo total (CT) y el ingreso total (IT); IN = (IT - CT). La ganancia por peso invertido (GPI) permite determinar la rentabilidad de los tratamientos evaluados. Se obtuvo dividiendo el ingreso neto (IN) entre el costo total (CT); GPI = (IN/CT).

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Fenología, Condiciones Climáticas y Unidades Calor

La temperatura media, humedad relativa (HR) y precipitación diaria durante el desarrollo del cultivo, osciló entre 18.6 a 25.0 °C, 19 a 48% HR y 3 mm, respectivamente (Figura 1). Durante la etapa de trasplante (T) a floración (FL), la temperatura promedio fue de 23.2 a 18.6 °C, HR de 47 a 19%, de FL a MC fue de 25.0 a 21.6 °C, HR de 30 a 48%, y 3 mm de precipitación. Las temperaturas presentaron un incremento a medida que el ciclo del cultivo fue avanzando, no obstante, dichos valores se encontraron dentro del intervalo térmico óptimo en promedio de 18 a 35 °C deseable para el desarrollo del cultivo de la calabacita (Monares, Ceja, Escalera, Vázquez y Ochoa, 2012; Díaz *et al.*, 2016), lo anterior indica que la variedad empleada en este estudio no se vio afectado por las condiciones ambientales prevalecientes.

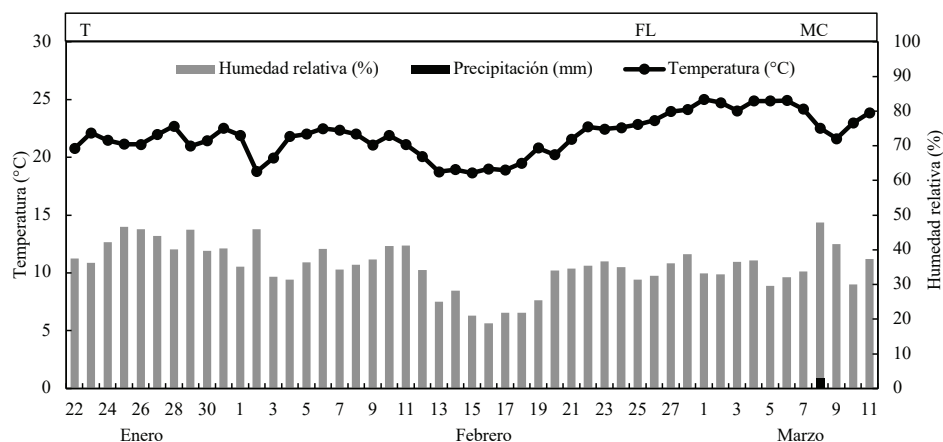


Figura 1. Temperatura media diaria, humedad relativa y precipitación durante el ciclo del cultivo de calabacita (*Cucurbita pepo* L.) variedad Adelita. T = trasplante; FL = floración; MC = madurez de consumo.

Figure 1. Average daily temperature, relative humidity, and precipitation during the cycle of the zucchini (*Cucurbita pepo* L.) crop, variety Adelita. T = transplantation; FL = flowering; MC = maturity of consumption.

La acumulación de unidades calor (UC) durante el ciclo del cultivo mostró una relación lineal con el tiempo que respondió al modelo $y = a + bx$ (Figura 2). La variedad en estudio se trasplantó 10 dds, la floración ocurrió a los 37 ddt con un requerimiento de calor de 452 UC y la madurez comercial fue a los 49 ddt (632 UC), cabe señalar que la acumulación total de UC se relaciona con la duración del ciclo del cultivo.

Lo anterior indica que el cultivo demandó 632 UC para llegar a madurez de consumo en el sitio evaluado. En referencia, Apáez *et al.* (2019) reportaron en el cultivo de calabacita Grey Zucchini F1, etapas fenológicas similares y temperaturas superiores (39.4 °C) a los encontrados en el presente estudio. Posiblemente las diferencias se deban a los diferentes lugares y condiciones ambientales (temperatura) presentadas.

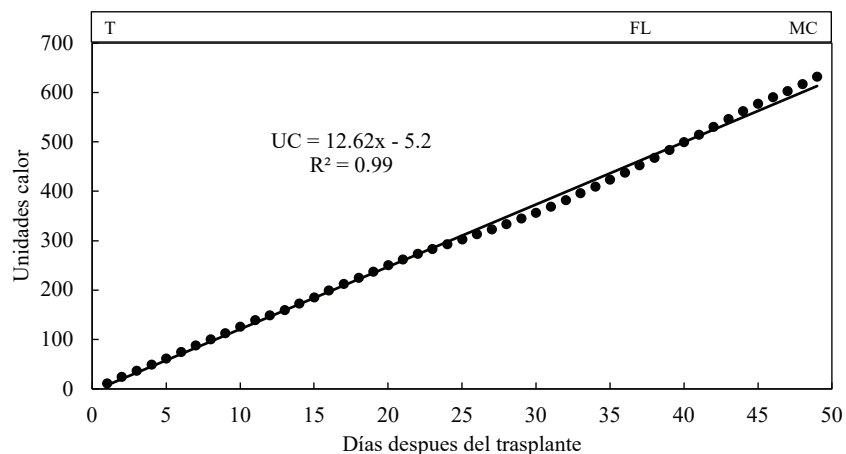


Figura 2. Unidades calor (UC) y fenología durante el ciclo del cultivo de calabacita (*Cucurbita pepo* L.) variedad Adelita. T = trasplante; FL = floración; MC = madurez de consumo.

Figure 2. Heat units (UC) and phenology during the cycle of zucchini (*Cucurbita pepo* L.) crop, variety Adelita. T = transplantation; FL = flowering; MC = maturity of consumption.

En el peso de la materia fresca de la planta, la aplicación del fertilizante químico (100%) presentó el valor más alto (208 g planta⁻¹) respecto a los demás tratamientos. Las plantas tratadas con *Ascophyllum nodosum* y *Rhizophagus irregularis* mostraron una reducción significativa respecto a la fertilización química al 100%, sin embargo, cuando a el extracto de algas marinas se le aplicó la fertilización química al 50%, el peso fresco las plantas se incrementó significativamente, siendo comparable al obtenido por las plantas con la fertilización química al 100% (Figura 3). Lo anterior, indica que la aplicación del fertilizante biológico favoreció un mejor aprovechamiento de los nutrientes presentes en el suelo, lo que generó una mayor producción de materia fresca en el dosel vegetal. Monares *et al.* (2012) y Sabir *et al.* (2014) reportaron resultados similares, en donde la aplicación del fertilizante químico generó el mayor peso fresco de plantas en calabacita y vid en comparación a diferentes niveles de fertilización biológica (harinas de pescado y extracto de algas marinas). Cabe indicar, que el extracto de algas marinas promovió un mayor peso de materia fresca en plantas de calabacita cuando se aplicó solo y en combinación con la fertilización química (50%), lo anterior con relación al testigo y a *R. irregularis*, respectivamente. Por su parte, Rayorath *et al.* (2008), Fan *et al.* (2013), Goñi, Quille y O'Connell (2018) y Sariñana *et al.* (2021) indican que la aplicación de

extracto de algas marinas a diferentes concentraciones aumenta la producción de materia fresca en plantas de *Arabidopsis thaliana*, en espinaca y en tomate rojo.

Para el área foliar, se observó un efecto positivo cuando se aplicó la fertilización química al 100%, así como también con el uso de las algas marinas sólo y en asociación, los cuales fueron estadísticamente diferentes al testigo sin aplicar y a *R. irregularis* sólo (Figura 4). Puede apreciarse que la máxima expansión foliar (1806.3 cm²) se obtuvo con la fertilización química (100%), precedida de la combinación del fertilizante químico al 50% con las algas marinas (1451.8 cm²). Es importante indicar, que la fertilización al 50% + extracto de algas marinas no tuvo diferencias significativas con relación a la fertilización química (100%). Esta respuesta posiblemente se deba a la disponibilidad de nutrientes en el suelo y al extracto de algas marinas que favoreció el crecimiento de la raíz, el cual promovió un aumento en el aparato fotosintético. Estos resultados coinciden con Rouphael *et al.* (2016) que reportaron una mayor área foliar con el uso de extractos de algas marinas [*Ecklonia maxima* (Osbeck) Papenfuss] respecto al testigo. Sabir *et al.* (2014) registraron una mejor producción de área foliar en plantas de vid (*Vitis vinifera* L.) con la fertilización química (50 N-15 P₂O-50 k₂O, kg ha⁻¹) en combinación con el extracto de algas marinas (0.3 g L⁻¹) en relación con la fertilización química y el testigo.

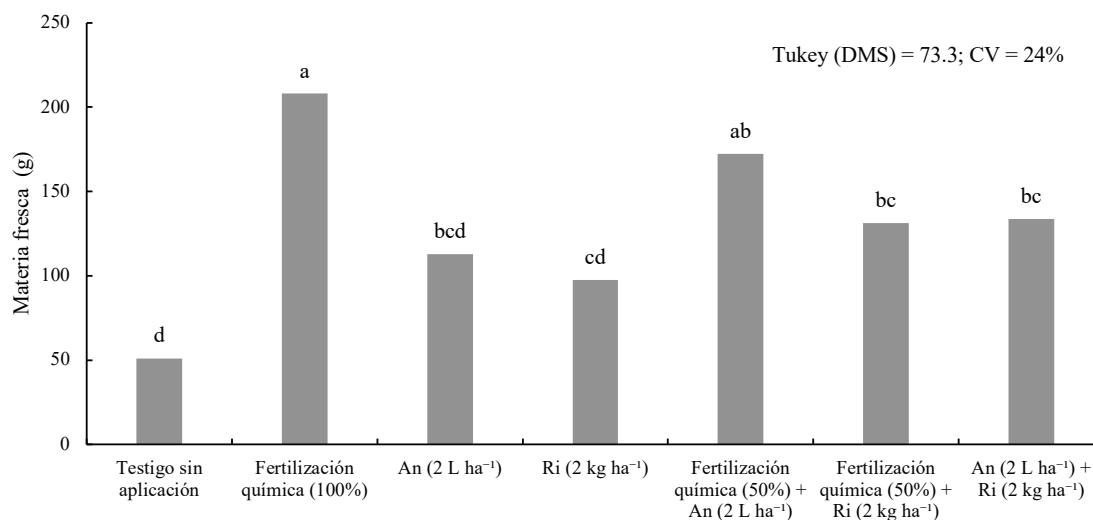


Figura 3. Efecto de la fertilización química y biológica sobre el peso fresco de plantas de calabacita (*Cucurbita pepo* L.) variedad Adelita. An = *Ascophyllum nodosum*; Ri = *Rhizophagus irregularis*.

Figure 3. Effect of chemical and biological fertilization on the fresh weight of zucchini (*Cucurbita pepo* L.) plants, variety Adelita. An = *Ascophyllum nodosum*; Ri = *Rhizophagus irregularis*.

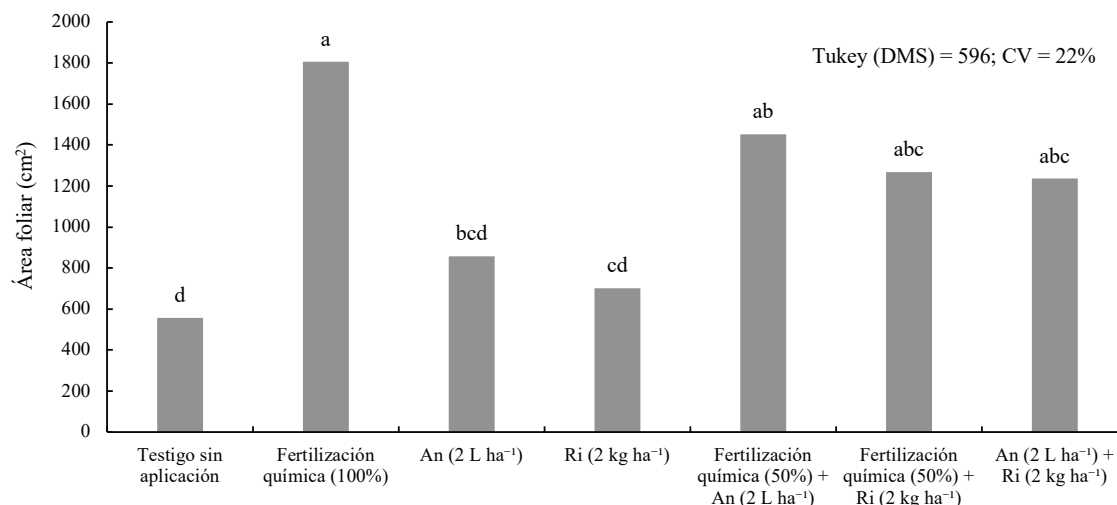


Figura 4. Efecto de la fertilización química y biológica sobre el área foliar en plantas de calabacita (*Cucurbita pepo* L.) variedad Adelita. An = *Ascophyllum nodosum*; Ri = *Rhizophagus irregularis*.
Figure 4. Effect of chemical and biological fertilization on the leaf area in the zucchini (*Cucurbita pepo* L.) plants, variety Adelita. An = *Ascophyllum nodosum*; Ri = *Rhizophagus irregularis*.

En cuanto a la materia seca de la planta, la aplicación del fertilizante químico (100%) presentó el valor más alto (23.6 g planta⁻¹), con respecto a los demás tratamientos (Cuadro 2). Sin embargo, estadísticamente no se observó diferencia significativa en comparación con la fertilización química al 50% + algas marinas; así, el peso seco de la planta fue de 17.8 g, el cual superó en un 17.8% a la fertilización química al 50% + *R. irregularis* (15.1 g). Lo anterior, indica que aplicación de las algas marinas ayudaron a que la planta tuviera un mejor aprovechamiento de los nutrimentos en el suelo, generando una mayor producción de materia seca en el dosel vegetal. Cabe señalar, que el uso de las algas marinas y *R. irregularis* de forma individual incrementaron el peso seco de la planta en un 103 y 55% respecto al testigo sin aplicaciones. El extracto de las algas es rico en macronutrientes y micronutrientes, aminoácidos, vitaminas, esteroides, carbohidratos (Cardozo *et al.*, 2007). Los mecanismos por los cuales el extracto de algas marinas favorece el crecimiento de las plantas parece estar asociado a efectos similares a las hormonas, betaínas, minerales que promueven la división celular, síntesis de proteínas, y compuestos que mejoran la tolerancia al estrés (Fan *et al.*, 2013). Por su parte, Ali *et al.* (2015) reportaron una mejor producción de materia seca de plantas de tomate rojo (*Solanum lycopersicum* L.) con la aplicación de extracto de algas

marinas al 0.5% de concentración y la fertilización química (5 g planta⁻¹, NPK), en comparación al testigo sin aplicación. Asimismo, la aplicación de inoculantes micorrízicos (*R. irregularis*) en los suelos confiere ventajas para cultivos agrícolas como incremento de la tasa de crecimiento y tolerancia de las plantas frente a sequías y salinidad del suelo (Carvajal y Mera, 2010). En relación con lo anterior, Díaz *et al.* (2016) observaron un incremento en la biomasa foliar en el cultivo de calabacita con el uso de *R. intraradices* en comparación al testigo sin aplicación.

Para la tasa absoluta de crecimiento se encontró que la mayor producción de materia seca por día fue con la fertilización química al 100%, ya que la planta registró una mejor eficiencia para producir materia seca por unidad de tiempo (Cuadro 2). Cabe indicar, que la combinación del fertilizante químico (50%) y las algas marinas (0.45 g día⁻¹), presentó una mayor TAC con respecto a la fertilización química (50%) y *R. irregularis* (0.38 g día⁻¹), a pesar de la nula significancia entre estos. La aplicación de los fertilizantes biológicos solos pudo estimular de forma positiva el crecimiento del cultivo de la calabacita, ya que, la producción de materia seca por día en las algas marinas fue de 0.31 g día⁻¹ y de 0.24 g día⁻¹ para *R. irregularis* los cuales presentaron una mejor productividad en comparación al testigo sin aplicación (0.15 g día⁻¹).

Cuadro 2. Efecto de la fertilización química y biológica sobre la materia seca, tasa absoluta de crecimiento y tasa de crecimiento del cultivo de calabacita (*Cucurbita pepo* L.) variedad Adelita.

Table 2. Effect of chemical and biological fertilization on dry matter, absolute growth rate and crop grow rate of zucchini (*Cucurbita pepo* L.), variety Adelita.

Tratamientos	Materia seca	Tasa absoluta de crecimiento	Tasa de crecimiento del cultivo
	g	g día ⁻¹	g m ⁻² día ⁻¹
Testigo sin aplicación	6.1 c [†]	0.15 c	2.4 c
Fertilización química (100%)	23.6 a	0.59 a	9.4 a
<i>Ascophyllum nodosum</i> (2 L ha ⁻¹)	12.4 bc	0.31 bc	5.0 bc
<i>Rhizophagus irregularis</i> (2 kg ha ⁻¹)	9.4 bc	0.24 bc	3.8 bc
Fertilización química (50%) + <i>Ascophyllum nodosum</i> (2 L ha ⁻¹)	17.8 ab	0.45 ab	7.1 ab
Fertilización química (50%) + <i>Rhizophagus irregularis</i> (2 kg ha ⁻¹)	15.1 b	0.38 abc	6.0 abc
<i>Ascophyllum nodosum</i> (2 L ha ⁻¹) + <i>Rhizophagus irregularis</i> (2 kg ha ⁻¹)	13.1 b	0.33 bc	5.2 bc
DMS	6.1	0.2	4.0
CV (%)	31	30	31

[†] Columnas con letras similares indican que los valores son estadísticamente iguales (Tukey $\alpha = 0.05$). CV = coeficiente de variación. DMS = diferencia mínima significativa.

[†] Columns with similar letters indicate that the values are statistically equal (Tukey $\alpha = 0.05$). CV = coefficient of variation. DMS = minimum significant difference.

En la tasa de crecimiento de cultivo se observó un aumento por efecto de la aplicación de los fertilizantes químicos y biológicos (Cuadro 2). Al igual que las variables antes mencionadas, la aplicación del fertilizante químico al 100% generó mayor producción de materia seca por superficie por día (9.4 g m⁻² día⁻¹) respecto a los demás tratamientos; esto puede atribuirse a una mejor eficiencia de la planta para producir materia seca, debido a la alta disponibilidad de nutrientes en el suelo. La TCC de la combinación del fertilizante químico (50%) y algas marinas (7.1 g m⁻² día⁻¹) fue superior a la aplicación de la fertilización química al 50% + *R. irregularis* (6.0 g m⁻² día⁻¹), a pesar de que no hubo diferencias estadísticas entre estos. La aplicación de las algas marinas pudo estimular de forma positiva la velocidad de crecimiento del cultivo, en mayor medida en comparación al hongo. Es importante recalcar, que la aplicación de algas marinas (5.0 g m⁻² día⁻¹) y *R. irregularis* (3.8 g m⁻² día⁻¹) promovió una mayor TCC respecto al testigo sin aplicar (2.4 g m⁻² día⁻¹).

En relación con el peso del fruto, se observó un efecto similar a las variables antes mencionadas, en donde el mayor peso de fruto fue obtenido con la aplicación del fertilizante químico al 100%, seguido de la asociación del fertilizante químico (50%) con las algas marinas,

esto generó un aumento significativo en el peso del fruto respecto al testigo (Cuadro 3). Esto indica que las algas marinas promovieron una mayor acumulación de fotoasimilados hacia el fruto, lo que propició un incremento en el peso, que a su vez repercutió en el rendimiento del fruto. Es importante mencionar, que al aplicar la fertilización química al 50% + *R. irregularis*, no presentó diferencias estadísticas significativas en relación con la fertilización al 100% y al uso de algas marinas, esto demuestra, que el hongo (*R. irregularis*) también presenta un efecto positivo sobre el peso de fruto, como lo señala Díaz *et al.* (2016). En contraste, Roupheal *et al.* (2016) no reportaron diferencias en el peso del fruto con la aplicación de extracto de algas marinas en comparación al testigo sin aplicación.

Para el diámetro y largo del fruto (Cuadro 3), no hubo diferencias significativas entre tratamientos. La aplicación de la fertilización química al 100% + *R. irregularis* presentó la mayor dimensión del fruto, sin embargo, estadísticamente no fue diferente a los demás tratamientos. Resultados similares fueron encontrados por Díaz *et al.* (2016) donde al evaluar diferentes años, no observaron diferencias significativas en el diámetro del fruto cuando aplicaron la fertilización química en asociación con *R. intraradices*, respecto al testigo.

Cuadro 3. Efecto de la fertilización química y biológica sobre el peso, diámetro y largo de fruto de calabacita (*Cucurbita pepo* L.) variedad Adelita.**Table 3. Effect of chemical and biological fertilization on the weight, diameter, and length of fruit on the zucchini (*Cucurbita pepo* L.), variety Adelita.**

Tratamientos	Peso de fruto g	Diámetro de fruto cm	Largo de fruto
Testigo sin aplicación	28.4 d [†]	2.6 a	8.1 a
Fertilización química (100%)	88.8 a	4.3 a	7.3 a
<i>Ascophyllum nodosum</i> (2 L ha ⁻¹)	47.6 bcd	3.1 a	8.2 a
<i>Rhizophagus irregularis</i> (2 kg ha ⁻¹)	38.2 cd	2.8 a	8.9 a
Fertilización química (50%) + <i>Ascophyllum nodosum</i> (2 L ha ⁻¹)	68.5 ab	3.6 a	9.6 a
Fertilización química (50%) + <i>Rhizophagus irregularis</i> (2 kg ha ⁻¹)	60.9 abc	3.3 a	6.3 a
<i>Ascophyllum nodosum</i> (2 L ha ⁻¹) + <i>Rhizophagus irregularis</i> (2 kg ha ⁻¹)	50.1 bcd	2.9 a	8.1 a
DMS	28	1.7	5.6
CV (%)	22	23	30

[†] Columnas con letras similares indican que los valores son estadísticamente iguales (Tukey $\alpha = 0.05$). CV = coeficiente de variación. DMS = diferencia mínima significativa.

[†] Columns with similar letters indicate that the values are statistically equal (Tukey $\alpha = 0.05$). CV = coefficient of variation. DMS = minimum significant difference.

En la Figura 5, se muestra el rendimiento del fruto en donde los valores más altos se observaron con la fertilización química al 100% (21.821 Mg ha⁻¹), el cual mostró diferencias respecto a los demás tratamientos. La fertilización química (50%) + algas marinas

incrementó el rendimiento en un 16% con relación a la fertilización química (50%) + *R. irregularis*, a pesar de la nula diferencia significativa entre estos. Lo anterior confirma que la incorporación de algas marinas al suelo impacta de forma positiva en el crecimiento

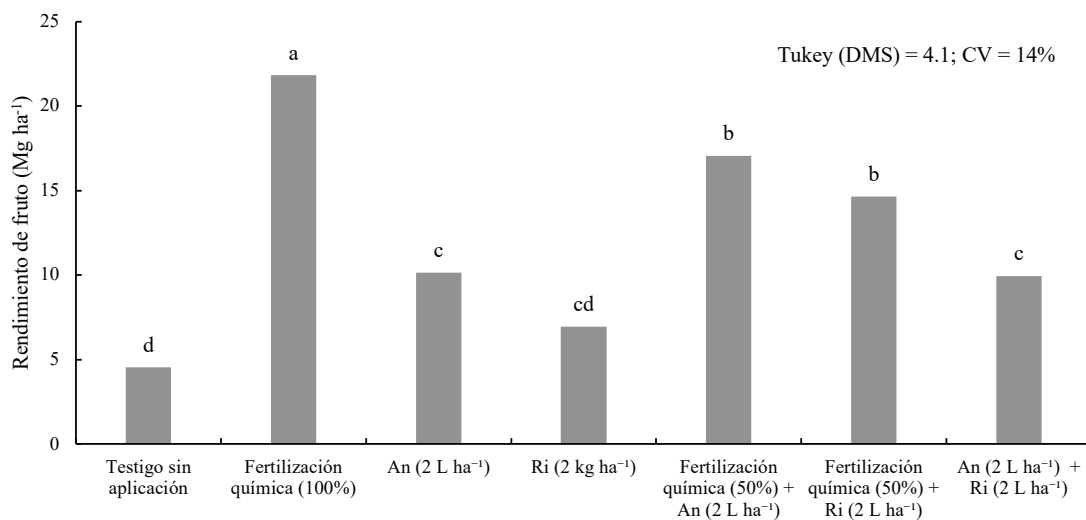


Figura 5. Efecto de la fertilización química y biológica sobre el rendimiento de fruto en el cultivo de calabacita (*Cucurbita pepo* L.), variedad Adelita. An = *Ascophyllum nodosum*; Ri = *Rhizophagus irregularis*.

Figure 5. Effect of chemical and biological fertilization on fruit yield in the zucchini (*Cucurbita pepo* L.) crop, variety Adelita. An = *Ascophyllum nodosum*; Ri = *Rhizophagus irregularis*.

y rendimiento del cultivo de calabacita y que potencialmente puede ayudar a disminuir la aplicación de fertilizantes inorgánicos y la contaminación ambiental. Al respecto, Ali *et al.* (2015) y Rouphael *et al.* (2016) reportaron un mayor rendimiento en cultivos como calabacita y tomate rojo con el uso de extracto de algas marinas en comparación al testigo sin aplicación. En contraste, Díaz *et al.* (2016) encontraron que, al aplicar fertilizantes químicos y biológicos, no observaron diferencias significativas entre los diferentes tratamientos. Es probable que en el presente estudio el uso del fertilizante biológico generó un aumento en la captación de nutrientes del suelo, que al final influyó en la aparición y cuajado de frutos (Azcón-Bieto y Talón, 2008).

En cuanto a la rentabilidad en la producción en el cultivo de la calabacita, se encontró que la aplicación del fertilizante químico al 100% generó el mayor ingreso neto (\$ 171 566.00) (Cuadro 4). A pesar de que el costo total fue el más alto, también lo fue el ingreso total, lo que al final generó una mayor GPI, ya que, por cada peso invertido, se recuperó \$ 3.68. Con la aplicación de los fertilizantes biológicos se redujeron los costos de producción, sin embargo, también se observó una disminución en el rendimiento del cultivo de calabacita, por lo que no fue suficiente para aumentar la rentabilidad del cultivo. Cabe indicar, que después de la fertilización química al 100%,

la fertilización química al 50% más las algas marinas, fue el que presentó la segunda más alta GPI (\$ 2.81). Estos resultados sugieren que el uso de fertilizantes químicos en adición con los biológicos pudiera ser una alternativa para lograr un mejor beneficio económico. Por su lado, Apáez *et al.* (2019) presentaron una menor ganancia por peso invertido (\$1.87) con el uso de la fertilización química al 100%, en relación con el presente estudio (\$ 3.68). Esto es debido a las condiciones e insumos que se utilizaron en los cultivos de calabacita, así como la producción que se obtuvo en cada sitio de evaluación.

CONCLUSIONES

La aplicación de la fertilización química al 100% promovió la mayor área foliar, peso fresco de la planta, materia seca, tasa absoluta de crecimiento, tasa de crecimiento del cultivo, rendimiento y peso de fruto en el cultivo de calabacita, lo que generó una mejor rentabilidad. La fertilización con extracto de algas marinas presentó un efecto positivo cuando se asoció con la fertilización química al 50%, por lo que se observó una mejor respuesta en las variables evaluadas en comparación a *Rhizophagus irregularis*. El uso de extractos de algas marinas puede favorecer el crecimiento y rendimiento en el cultivo de calabacita, en condiciones de riego.

Cuadro 4. Rendimiento de fruto (RF), ingresos totales (IT), costos totales (CT), ingresos netos (IN) y ganancia por peso invertido (GPI) en el cultivo de calabacita (*Cucurbita pepo* L.) variedad Adelita, en función de la fertilización química y biológica.

Table 4. Fruit yield (RF), total income (IT), total costs (CT), net income (IN) and gain per weight invested (GPI) in the zucchini (*Cucurbita pepo* L.) crop variety Adelita, according to the chemical and biological fertilization.

Tratamientos	RF	IT	CT	IN	GPI
	Mg ha ⁻¹	\$ - - - - -			
Testigo sin aplicación	4.52	45 220	38 429	6791	0.18
Fertilización química (100%)	21.82	218 210	46 644	171 566	3.68
<i>Ascophyllum nodosum</i> (2 L ha ⁻¹)	10.16	101 600	40 939	60 661	1.48
<i>Rhizophagus irregularis</i> (2 kg ha ⁻¹)	6.94	69 410	39 984	29 426	0.74
Fertilización química (50%) + <i>Ascophyllum nodosum</i> (2 L ha ⁻¹)	17.07	170 710	44 809	125 901	2.81
Fertilización química (50%) + <i>Rhizophagus irregularis</i> (2 kg ha ⁻¹)	14.66	146 650	44 059	102 591	2.33
<i>Ascophyllum nodosum</i> (2 L ha ⁻¹) + <i>Rhizophagus irregularis</i> (2 kg ha ⁻¹)	9.94	99 490	41 434	58 056	1.40

RF = rendimiento de fruto; IT = ingreso total; CT = costo total; IN = ingreso neto; GPI = ganancia por peso invertido.
RF = fruit yield; IT = total income; CT = total cost; IN = net income; GPI = gain per peso invested.

DECLARACIÓN DE ÉTICA

No aplicable.

CONSENTIMIENTO PARA PUBLICACIÓN

No aplicable.

DISPONIBILIDAD DE DATOS

Los conjuntos de datos utilizados o analizados durante el estudio actual están disponibles del autor correspondiente a solicitud razonable.

CONFLICTO DE INTERESES

Los autores declaran que no tienen intereses en competencia.

CONTRIBUCIÓN DE LOS AUTORES

Conceptualización, tesis de licenciatura: C.A.C., Y.F.C.A., P.J.S.A. y J.A.S.E.E. Metodología: C.A.C. y P.J.S.A. Validación y revisión de datos: C.A.C. Investigación: C.A.C. y P.J.S.A. Recursos: C.A.C.; Toma de datos en campo: C.A.C. y P.J.S.A. Escritura: preparación del borrador original: C.A.C. Escritura: revisión y edición: C.A.C, Y.F.C.A y J.A.S.E.E. Supervisión: C.A.C. Administración del proyecto: C.A.C. adquisición de fondos: C.A.C.

AGRADECIMIENTOS

Los autores agradecen al laboratorio de efectividad biológica IDAGRO S de RL de CV, por haber prestado sus instalaciones para la elaboración del presente estudio, así como a la Universidad Autónoma del Estado de Morelos.

LITERATURA CITADA

Aguilar-Carpio, C., Juárez-López, P., Campos-Aguilar, I. H., Alia-Tejagal, I., Sandoval-Villa, M., & López-Martínez, V. (2018). Análisis de crecimiento y rendimiento de uchuva (*Physalis peruviana* L.) cultivada en hidroponía e invernadero. *Revista Chapingo Serie Horticultura*, 24(3), 191-202. <https://doi.org/10.5154/r.rchsh.2017.07.024>

Ali, N., Farrell, A., Ramsubhag, A., & Jayaramn, J. (2015). The effect of *Ascophyllum nodosum* extract on the growth, yield and fruit quality of tomato grown under tropical conditions.

Journal of Applied Phycology, 28(2), 1353-1362. <http://doi.org/10.1007/s10811-015-0608-3>

Alvarado-Camarillo, D., Valdez-Aguilar, L. A., Cepeda-Dovala, J. M., Rubí-Arriaga, M., & Pineda-Pineda, J. (2021). Aplicación fraccionada de fertilizantes vía fertirriego y la eficiencia del nitrógeno, fósforo y potasio en calabacita. *Acta Agrícola y Pecuaria*, 7(1), 1-9. <https://doi.org/10.30973/aap/2021.7.0071001>

Apáez-Barrios, P., Lara-Chávez, M. B. N., Apáez-Barrios, M., & Raya-Montaño, Y. A. (2019). Producción y rentabilidad de calabacita con aplicación de zeolita y fertilizante químico. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas*, 23(especial), 211-221. <http://doi.org/10.29312/remexca.v0i23.2022>

Azcón-Bieto, J., & Talón, M. (2008). *Fundamentos de fisiología vegetal*. Madrid, España: McGraw-Hill.

Bueno-Jáquez, J. E., Alonso L., A., Volke H., V., Gallardo L., F., Ojeda R., M. M., & Mosqueda V., R. (2005). Respuesta del papayo a la fertilización con nitrógeno, fósforo y potasio en un luvisol. *Terra Latinoamericana*, 23(3), 409-415.

Cardozo, K. H. M., Guaratini, T., Barros, M. P., Falcão, V. R., Tonon, A. P., Lopes, N. P., ... Pinto, E. (2007). Metabolites from algae with economic impact. *Comparative Biochemistry and Physiology Part C: Toxicology and Pharmacology*, 146(1-2). <https://doi.org/10.1016/j.cbpc.2006.05.007>

Carvajal-Muñoz, J. S., & Mera-Benavides, A. C. (2010). Fertilización biológica: técnica de vanguardia para el desarrollo agrícola sostenible. *Producción + Limpia*, 5(2), 77-96.

Chirinos, J., Leal, A., & Montilla, J. (2006). Uso de insumos biológicos como alternativa para la agricultura sostenible en la zona sur del estado Anzoátegui. *Revista Digital Ceniap Hoy*, 1(11), 1-7.

Díaz F., A., Ortiz C., F. E., Lozano C., M. G., Aguado S., A. G., & Grageda C., O. A. (2013). Growth, mineral absorption, and yield of maize inoculated with microbe strains. *African Journal of Agricultural Research*, 8(28), 3764-3769. <http://doi.org/10.5897/AJAR2012.6662>

Díaz F., A., Alvarado C., M., Alejandro A. F., & Ortiz C., F. E. (2016). Crecimiento, nutrición y rendimiento de calabacita con fertilización biológica y mineral. *Revista Internacional de Contaminación Ambiental*, 31(4), 445-453. <http://doi.org/10.20937/RICA.2016.32.04.08>

Escalante-Estrada, J. A., & Kohashi-Shibata, J. (2015). *El rendimiento y crecimiento del frijol. Manual para la toma de datos*. Texcoco, Estado de México, México: Colegio de Postgraduados.

Fan, D., Hodges, D. M., Critchley, A. T., & Prithiviraj, B. (2013). A commercial extract of brown macroalga (*Ascophyllum nodosum*) affects yield and the nutritional quality of spinach in vitro. *Communications in Soil Science and Plant Analysis*, 44(12), 1873-1884. <http://doi.org/10.1080/00103624.2013.790404>

Goñi, O., Quille, P., & O'Connell, S. (2018). *Ascophyllum nodosum* extract biostimulants and their role in enhancing tolerance to drought stress in tomato plants. *Plant Physiology and Biochemistry*, 126, 63-73. <http://doi.org/10.1016/j.plaphy.2018.02.024>

- Monares-Gallardo, I., Ceja-Torres, L. F., Escalera-Gallardo, C., Vázquez-Gálvez, G., & Ochoa-Estrada, S. (2012). Tamaño de partícula y tiempo de aplicación pre-siembra de harina de pescado (*Plecostomus* spp.) en producción de calabacita. *Terra Latinoamericana*, 30(2), 147-155.
- Pérez-Vázquez, A., Del Ángel-Ocampo, M., Sánchez-Hernández, C., Taborda-Bustillo, P. C., & García-Pérez, E. (2021). Estudio del agroecosistema con calabaza pipián en Cantarranas, Paso de Ovejas, Veracruz. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas*, 12(5), 823-834. <http://doi.org/10.29312/remexca.v12i5.2261>
- Rayorath, P., Jithesh, M. N., Farid, A., Khan, W., Palanisamy, R., Hankins, S. D., Critchley, A. T., & Prithiviraj, B. (2008). Rapid bioassays to evaluate the plant growth promoting activity of *Ascophyllum nodosum* (L.) Le Jol. Using a model plant, *Arabidopsis thaliana* (L.) Heynh. *Journal of Plant Growth Regulation*, 20(4), 423-429. <http://doi.org/10.1007/s10811-007-9280-6>
- Rouphael, Y., De Micco, V., Arena, C., Raimondi, G., Colla, G., & De Pascale, S. (2016). Effect of *Ecklonia maxima* seaweed extract on yield, mineral composition, gas exchange, and leaf anatomy of zucchini squash grown under saline conditions. *Journal of Applied Phycology*, 29(1), 459-470. <http://doi.org/10.1007/s10811-016-0937-x>.
- Sabir, A., Yazar, K., Sabir, F., Kara, Z., Yazici, M. A., & Goksu, N. (2014). Vine growth, yield, berry quality attributes and leaf nutrients content of grapevines as influenced by seaweed extract (*Ascophyllum nodosum*) and nanosize fertilizer pulverizations. *Scientia Horticulturae*, 175, 1-8. <http://doi.org/10.1016/j.scienta.2014.05.021>
- Sariñana-Aldaco, O., Benavides-Mendoza, A., Juárez-Maldonado, A., Robledo-Olivo, A., Rodríguez-Jasso, R. M., Preciado-Rangel, P., & González-Morales, S. (2021). Efecto de extractos de *Sargassum* spp. en el crecimiento y antioxidantes de plántulas de tomate. *Ecosistemas y Recursos Agropecuarios*, 8(2), 1-15. <https://doi.org/10.19136/era.a8n2.2814>
- SAS Institute. (2003). *Statistical Analysis System. SAS Release 9.1*. Cary, NC, USA: SAS Institute Inc.
- Sedano-Castro, G., González-Hernández, V. A., Saucedo-Veloz, C., Soto-Hernández, M., Sandoval-Villa, M., & Carrillo-Salazar, J. A. (2011). Rendimiento y calidad de frutos de calabacita con altas dosis de N y K. *Terra Latinoamericana*, 29(2), 133-142.
- SIAP (Sistema de Información Agropecuaria). (2021). Sistema de Información Agropecuaria de Consulta (SIACON). México: SAGARPA. Consultado el 12 de enero, 2021, desde http://www.siap.sagarpa.gob.mx/ar_comanuar.html
- Snyder, R. L. (1985). Hand calculating degree days. *Agricultural and Forest Meteorology*, 35(1-4), 353-358. [https://doi.org/10.1016/0168-1923\(85\)90095-4](https://doi.org/10.1016/0168-1923(85)90095-4)