

Efecto de quitosano y consorcio simbótico benéfico en el rendimiento de sorgo en la zona indígena “Mayos” en Sonora

Effect of chitosan and *Bacillus amilolyquefasciens* on sorghum yield in the indigenous area “Mayos” in Sonora

Ramón Jaime Holguin-Peña¹ , Juan Manuel Vargas-López² ,
Guadalupe Amanda López-Ahumada² , Francisco Rodríguez-Félix² ,
Carlos Gabriel Borbón-Morales³  y Edgar Omar Rueda-Puente^{4†} 

¹ Centro de Investigaciones Biológicas del Noroeste. Mar Bermejo No. 195, Col. Playa Palo Santa Rita. 23090 La Paz, Baja California Sur, México.

² Universidad de Sonora, Departamento de Investigación y Posgrado en Alimentos. Blvd. Luis Encinas y Rosales s/n, Colonia Centro. 83000 Hermosillo, Sonora, México.

³ Centro de Investigación en Alimentación y Desarrollo AC, Coordinación de Desarrollo Regional, Departamento de Economía. Carretera Gustavo Enrique Astiazarán Rosas no. 46, Col. La Victoria. 83304 Hermosillo, Sonora, México.

⁴ Universidad de Sonora, Departamento de Agricultura y Ganadería. Carretera a Bahía Kino km 21. Apdo. Postal 305. 83000 Hermosillo, Sonora, México.

† Autor para correspondencia (erueda04@santana.uson.mx)

RESUMEN

México ocupa actualmente el cuarto lugar mundial en producción de sorgo. En el estado de Sonora, este cultivo es uno de los más productivos. Los mayos, un pueblo amerindio que habita en el sur del estado mexicano de Sonora, ha estado promoviendo sistemas sustentables de producción agrícola. La aplicación de bioderivados de exoesqueletos de crustáceos como el quitosano (QUI) y microorganismos promotores del crecimiento vegetal, endomicorrízicos, simbiontes, benéficos, y antagonistas, en algunos cultivos han mostrado ser una alternativa en el proceso de germinación y mejoras de rendimientos de cosecha; sin embargo, con relación al sorgo de grano, son limitados los estudios sobre el efecto de estos bioderivados como el QUI y consorcios microbianos. El objetivo de la investigación consistió en evaluar en sorgo de grano, el efecto de quitosano (100 y 50%) y un consorcio microbiano (en conjunto e individual forma con QUI) contra fertilización tradicional, en la región indígena del Mayo en Basconcobe, Etchojoa, Sonora, en la inducción fenológica, rendimiento y calidad proteica del grano. Se utilizó un diseño experimental de bloques al azar, con siete tratamientos a evaluar y cinco repeticiones. Como variables respuesta se midieron:

tasa de germinación, clorofila total, y en madurez fisiológica la altura de planta, longitud de panoja, rendimiento ha^{-1} y proteína en grano. Los resultados indican que, en rendimiento y calidad proteica del grano de sorgo, el tratamiento más eficiente (con $P < 0.05$), fue con QUI 100% + consorcio microbiano utilizando al 50% una fertilización regional. Estos resultados expresan la posibilidad de utilizar el quitosano como un biofertilizante de origen marino conjuntamente con un microbiano en un sistema de producción de sorgo.

Palabras clave: biofertilizante marino, consorcio microbiano.

SUMMARY

Mexico currently ranks the fourth place in sorghum production worldwide. In Sonora State, this crop is one of the most productive. The Mayos, Amerindian people that live in the south of Sonora, Mexico have been promoting sustainable agricultural production systems. The application of bioderivatives of crustacean exoskeletons such as chitosan (QUI) as well as microorganisms that promote plant growth, and endomycorrhizal, symbiont, beneficial and antagonist microorganisms in some crops have shown

Cita recomendada:

Holguin-Peña R. J., J. M. Vargas-López, G. A. López-Ahumada, F. Rodríguez-Félix, C. G. Borbón-Morales y E. O. Rueda-Puente. 2020. Efecto de quitosano y consorcio simbótico benéfico en el rendimiento de sorgo en la zona indígena “Mayos” en Sonora. *Terra Latinoamericana* Número Especial 38-3: 705-714.

DOI: <https://doi.org/10.28940/terra.v38i2.669>

Recibido: 24 de octubre de 2019.

Aceptado: 12 de diciembre de 2019.

Publicado en *Terra Latinoamericana* 38: 705-714.

to be an alternative in the process of germination and to improve crop yields. However, studies that assess the effect of bioderivative protocols such as QUI and microbial supplies are limited for the sorghum grain. Therefore, objective of our research was to evaluate sorghum grain, the effect of chitosan (100 and 50%), and a microbial complex (combined with QUI and individual forms) vs traditional fertilization in the Mayo indigenous region, Basconco, Etchojoa, Sonora, in the phenological induction, yield and protein quality of the grain. A randomized experimental block design was conducted with seven treatments and five repetitions. The following response variables were measured: germination rate, total chlorophyll, plant height during physiological maturity, panicle length, yield ha^{-1} and grain protein. The results indicated that in terms of yield and protein quality of sorghum grain, the most efficient treatment (with $P < 0.05$) consisted of 100% QUI + microbial consortium using 50% of regional fertilization. These results indicate that it is possible to employ chitosan as a biofertilizer of marine origin combined with a microbial fertilizer in a sorghum production system.

Index words: *marine biofertilizer; microbial consortium.*

INTRODUCCIÓN

El sorgo es un cultivo importante para diversos países del mundo por su tolerancia a factores abióticos. En la República Mexicana, la importancia del sorgo como parte integrante de un sistema de producción, radica en la utilización como grano y forraje para alimento animal y como parte esencial de un sistema de rotaciones para mantener la productividad y estabilidad estructural del suelo (González, 2005). México ocupa actualmente el cuarto lugar mundial en producción de sorgo con 11 millones de toneladas al año, repercutiendo que este cultivo sea uno de los más productivos (SAGARPA, 2015, 2018). La actividad de mayor importancia en el estado de Sonora es la agricultura, lo cual es reconocido a nivel nacional por su aportación significativa al producto interno bruto nacional (PIB), razón por la cual le han llamado el “granero nacional y del mundo” (SAGARPA, 2018). Entre las áreas agrícolas de Sonora, se destacan diversos valles agrícolas, en el que destaca el Valle del Yaqui, destacando el cultivo del sorgo (Siap, 2016).

En el Valle del Mayo, habita un pueblo amerindio en el sur del estado mexicano de Sonora (Valle del Mayo) y el norte de Sinaloa, México (Valle del Fuerte). Su número de habitantes ~40 000 personas, tienen usos, costumbres, tradiciones y lengua propios; tienen autoridades tradicionales propias, que se eligen por voto, y se respeta su jerarquía a la par de las leyes civiles mexicanas; se autodenominan “Yoreme” (el que respeta). Actualmente la comunidad se dedica a la agricultura, frecuentemente con técnicas avanzadas y con prácticas sustentables. En la actualidad y con base a los apoyos federales de la nación y en aras de producir subproductos a base de sorgo (pan, tortilla, etc.), están demandando se les proponga un sistema de producción de sorgo con el uso de biofertilizantes.

Ciertos reguladores de crecimiento vegetal se han utilizado con éxito en el incremento de producción de diversos cultivos horto-frutícolas (Jordán y Casaretto, 2006); compuestos tales como el ácido naftalenacético (ANA), ácido indol acético (AIA) y ácido indol butírico (AIB) o ácido giberélico (AG), que han resultado excepcionalmente activos como generadores de órganos vegetales (Silva *et al.*, 2001). No obstante, la respuesta al producto depende ampliamente de la variedad, la concentración y del tiempo de aplicación. Por otra parte, numerosas investigaciones han demostrado que productos de origen marino pueden estimular el crecimiento vegetal por su capacidad para proveer o actuar como inductores en la síntesis de ciertas fitohormonas, por ejemplo, AIA, AIB o Giberelinas (Silva *et al.*, 2001; Gálvez *et al.*, 2005). El quitosano es un componente abundante en los organismos de origen marino como los crustáceos; es un compuesto muy abundante en la naturaleza y totalmente amigable con el ambiente, gracias a características como su grupo amino, ha sido ampliamente utilizado en diferentes áreas, ya que es biocompatible con muchos sistemas biológicos (López Corona *et al.*, 2019a). En el área de la agricultura el quitosano ha mejorado el proceso de germinación, los rendimientos de la cosecha y adsorción de micronutrientes de diferentes cultivos como son trigo, maíz, fresa, tabaco, arroz y salicornia (Bhaskara *et al.*, 1999; Guan *et al.*, 2009; López-Mata *et al.*, 2012; Peña-Datoli *et al.*, 2016; González-Gómez *et al.*, 2017; Molina-Zerpa *et al.*, 2017; Domini, 2018; López-Corona *et al.*, 2019a), respectivamente. Mientras que López-Corona *et al.* (2019b), mencionan que el quitosano estimula el mecanismo de defensa de las plantas y la formación de barreras físicas. Hasta

la fecha, los estudios acerca de la interacción de sorgo con quitosano de origen marino son nulos, sin embargo, en otros cultivos (trigo, maíz, fresa, tabaco, arroz y salicornia) se han dirigido principalmente a conocer sus efectos en algunas etapas fenológicas de las plantas, principalmente en la germinación, estimulación de la floración e impactos en la proteína, así como en la calidad lipídica de las semillas (Rivero *et al.*, 2004; Rodríguez *et al.*, 2013; González-Peña *et al.*, 2014; González *et al.*, 2015; Martínez *et al.*, 2015). También figuran los hongos endomicorrízicos, antagonicos y las bacterias promotoras del crecimiento vegetal (BPCV), que han sido foco de atención para ser evaluadas en varios cultivos de interés agrícola; sin embargo, en sorgo y en las condiciones del sur de Sonora *in situ*, no han sido evaluados algunos de estos microorganismos promotores del crecimiento vegetal.

Con base a lo anterior y con la finalidad de enriquecer la información acerca de la interacción entre Sorgo-quitosano de origen marino e inoculación de microorganismos benéficos y antagonicos, en la presente investigación se evaluó el efecto de quitosano contra consorcio de microorganismos antagonicos y benéficos, en sorgo de grano en la región indígena del Mayo en Sonora, en la inducción fenológica, rendimiento y calidad proteica del grano.

MATERIALES Y MÉTODOS

Área de Estudio

El trabajo experimental se realizó durante el ciclo agrícola 2019, en los terrenos de la comunidad Indígena Mayo, ubicado en la entidad de Basconcobe, Etchojoa, Sonora, México; situado entre las coordenadas geográficas de $43^{\circ} 51' 14''$ N, y $88^{\circ} 16' 09''$ O del meridiano de Greenwich, con una altitud de 530 m. De acuerdo con la clasificación climática que reporta el INEGI (2008), el área corresponde a un clima seco cálido con lluvias en verano. La temperatura media anual es de 22 a 26 °C (Figura 1).

Previo a la siembra se realizaron análisis al suelo, teniendo como clasificación un franco arcilloso (Arena: 40.3; Limo 21.2; Arcilla; 39.4); en mg kg⁻¹ suelo: N-NO₃ = 26; P = 22; Ca = 2457; Mg = 301; Na = 177; K = 237; C.I.C. = 23 meq 100 g; % cationes intercambiables: Ca = 73; Mg = 12.23; Na = 1.9; K = 6.02); los valores analíticos del agua fueron debajo del nivel crítico (1 milimhos), y se considera un agua C2S1 en meq L agua: Ca = 4.3; Mg = 2.2.; Na = 19.3; pH = 7.7; %RAS 10.69; sulfatos = 0.5; carbonatos = 0.2. El suelo y agua se clasificaron como “apropiada” para uso agrícola con base a Aguilar *et al.*

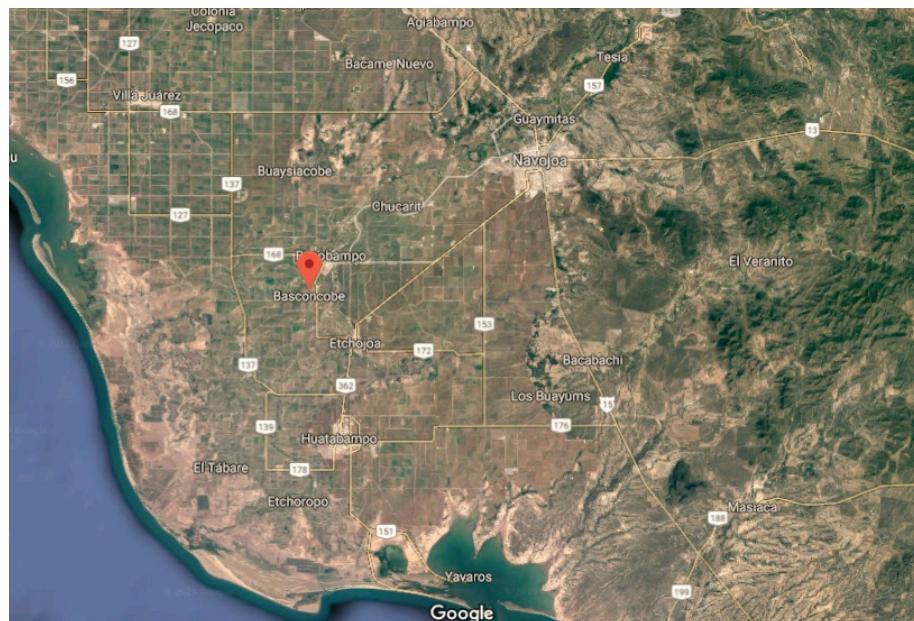


Figura 1. Área de estudio. (Fuente: Google hearth <https://www.google.com/intl/es/earth/>).

Figure 1. Study area. (Source: Google hearth <https://www.google.com/intl/es/earth/>).

(1987). La semilla de sorgo que se utilizó en el presente estudio corresponde a un híbrido denominado “Galio” de ASGROW.

Diseño Experimental

El trabajo se estableció en un área de 1000 m² con un diseño experimental de bloques al azar, con siete tratamientos a evaluar y cinco repeticiones (Cuadro 1); las que constaron de cinco surcos de un metro de ancho y cinco metros de largo en un área de 25 m²; la distancia entre planta y planta fue de 25 cm, obteniéndose 20 plantas por surco y originando 100 plantas por repetición; sin embargo, las plantas (60) de los tres surcos centrales fueron las analizadas para cada una de las variables que se describen más adelante. La diferencia mínima significativa fue estimada por Prueba de Duncan's con $P = 0.05$. Los análisis estadísticos fueron desarrollados mediante el programa SAS (2004).

Preparación del Quitosano de Origen Marino y Biotratamiento al Sorgo

Para la obtención del quitosano se utilizaron exoesqueletos de camarón obtenidos en industrias procesadoras, los cuales se redujeron a un tamaño de partícula menor a 250 μm por medio de un tamiz. El proceso de obtención del quitosano se realizó conforme a López-Corona *et al.* (2019b). En el tratamiento a

semilla, ésta fue sumergida por 3 min en QUI (500 mL 100 semilla), según el tratamiento correspondiente. En las subsecuentes etapas fenológicas 25, 45, 55 y 85 días después de la siembra, las plantas fueron biotratadas a base de QUI depositando 100 mL planta y depositándolo en la base del cuello de la planta.

Preparación e Inoculación del Consorcio de Microorganismos Antagónicos y Bacterias Benéficas

El producto Bactiva MR, de la empresa Tecnologías Naturales Internacional S.A. de C.V. (TNI), fue utilizado para el desarrollo de la presente investigación; está conformado por los microorganismos *Trichoderma harzianum*, *T. reesei*, *Bacillus subtilis* B. *polymyxa* y *B. amyloliquefasciens*. Para probar la viabilidad del producto, los microorganismos fijadores de nitrógeno (*B. amyloliquefasciens*) se reactivaron en medios de cultivo libres de una fuente de nitrógeno considerando la tecnología de Prabhaharan *et al.* (2019); las de *Trichoderma* spp. Fueron reaisladas en medio agar papa dextrosa (20 g de dextrosa, 22 g de extracto de papa y de 15 g de agar), e incubadas durante siete días a una temperatura de 25-28 °C, siguiendo la técnica de Arévalo *et al.* (2017); para *Bacillus* spp., se utilizó la técnica de crecimiento de Méndez-Úbeda (2018); la concentración microbiana inoculada en semilla y a cada planta fue la de 1×10^9 UFC mL. La inoculación en semilla fue con base a la técnica del vacío reportada por Carrillo *et al.* (1998). En las subsecuentes etapas

Cuadro 1. Descripción de tratamientos evaluados en sorgo en la comunidad Mayo, en Basconcobe, Etchojoa, Sonora.

Table 1. Description of treatments evaluated in sorghum in the Mayo community, in Basconcobe, Etchojoa, Sonora.

Tratamiento	Descripción
1.- Testigo absoluto	Sin fertilizantes /Sin biofertilizantes en estudio
2.- Testigo regional	Testigo, fertilización (F) 100% del paquete de fertilización regional
3.- Aplicación del consorcio microbiano BAC	Inoculación a la semilla + 4A-dds + 50% de F del paquete usual en la región
4.- QUI 50%	Inoculación a la semilla + 4A-dds + 50% de F del paquete usual en la región
5.- QUI 100%	Inoculación a la semilla + 4A-dds + 50% de F del paquete usual en la región
6.- QUI 50% + aplicación del consorcio microbiano BAC	Inoculación a la semilla + 4A-dds + 50% de F del paquete usual en la región
7.- QUI 100% + aplicación del consorcio microbiano BAC	Inoculación a la semilla + 4A-dds + 50% de F del paquete usual en la región

F = fertilización regional urea 46% N (150 kg ha⁻¹) y superfosfato de calcio triple (Ca(NH₂PO₄)₂) (80 kg ha⁻¹); dds = días después de la siembra; QUI = quitosano; BAC = consorcio microbiano; 4A-dds = cuatro aplicaciones subsecuentes (25, 45, 55 y 85 días después de la siembra).

F = regional fertilization 46% N urea (150 kg ha⁻¹) and triple calcium superphosphate (Ca (NH₂PO₄)₂) (80 kg ha⁻¹); dds = days after sowing; QUI = chitosan; BAC = microbial consortium; 4A-dds = four subsequent applications (25, 45, 55 and 85 days after planting).

fenológicas 25, 45, 55 y 85 días después de la siembra, se consideraron inoculaciones del consorcio microbiano de $100 \text{ mL planta}^{-1}$, apoyándose de una pizeta graduada y depositándolo en la base del cuello de la planta.

Establecimiento del Experimento

Preparación del Terreno

Previo al trazo de las parcelas experimentales, el suelo fue sujeto a las siguientes prácticas culturales: un cinceló, posteriormente tres pasadas de rastra, un tabloneo, surcado y finalmente un acamado. El trazo se realizó con ayuda de ixtle y estacas de madera, se marcó cada parcela experimental; en la periferia se levantó un bordo de 30 cm para retener el agua. La siembra se llevó a cabo en primavera verano la siembra se realizó a doble hilera con una sembradora manual de precisión con seis platos Eathway Msi.

Labores Realizadas

Se dieron deshierbes manuales durante el desarrollo del cultivo; para el buen desarrollo del cultivo se aplicaron cuatro riegos (previo a la siembra; post-emergencia, prefloración y madurez fisiológica. Para realizar la fertilización, se utilizó aquella regional, a base de las fuentes de urea 46% N (150 kg ha^{-1}) y superfosfato de calcio triple ($\text{Ca}(\text{NH}_2\text{PO}_4)_2$) (80 kg ha^{-1}). La aplicación de los fertilizantes se llevó a cabo en forma manual. Posteriormente se aplicó el riego para su solubilización. Durante el ciclo del cultivo, se aplicó imidacloprid como insecticida (pulgones y trips) a las dosis recomendadas de manera comercial. También se aplicaron dos fungicidas foliares preventivos a base de azufre (Aviator® Xpro), evitando la presencia de enfermedades fungosas. La cosecha se realizó de manera manual, considerando por separado los tres surcos centrales como parcela útil, para la evaluación de rendimiento en grano del sorgo cosechado. Las muestras de cada parcela experimental se depositaron en costales previamente identificados.

Variables Evaluadas

La tasa de emergencia fue considerada en aquellas semillas que germinaron y lograron emerger por arriba de la superficie después de haber establecido la siembra de los tratamientos de fertilización química

y biológica. Se llevó a cabo, cuantificando por metro lineal el número de plantas emergidas diariamente; se estimó la clorofila total (a+b) (unidades Spad), se consideró mediante la ayuda de aparato medidor de clorofila total Konica Minolta SPAD-502Plus. Para ello se tomó en cuenta la hoja bandera cuando la planta estaba en etapa de antesis. La altura de planta se midió en madurez fisiológica. Se evaluó la longitud de la inflorescencia en madurez fisiológica y el rendimiento de grano (kg ha^{-1}) en un 14% de humedad y el peso volumétrico del grano; asimismo se analizó el contenido de proteína en el grano, cenizas, lípidos totales también fueron analizados en grano. Al finalizar el estudio se llevó a cabo una cuantificación de células microbianas (unidades formadoras de colonias UFC mL^{-1}) adheridas al sistema radicular de plantas de sorgo, la cual consistió en tomar de cada tratamiento y por separado tres plantas. Se cortó el sistema radicular, pesándose 100 g por planta y se lavaron con agua destilada estéril y posteriormente se introdujeron a un tubo Eppendorf con agua estéril. Se agitaron con la ayuda de un Vortex durante un minuto lo que permitió el desprendimiento de las bacterias adheridas a la raíz. Posteriormente de ésta solución se tomaron directamente 100 μL y se sembraron por dispersión en placa en los medios indicados para cada microorganismo en el apartado de Preparación e inoculación del consorcio de microorganismos antagonistas y bacterias benéficas, apoyándose del medio Rennie, libre de una fuente de nitrógeno (Rennie, 1981). Las cajas de Petri sembradas se incubaron a 30 y 50 °C durante 24 h para cuantificar las unidades formadoras de colonia (UFC mL^{-1}). Esta prueba se realizó por triplicado.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

De acuerdo a la metodología anteriormente planteada, los resultados se muestran a continuación.

Los resultados obtenidos en la variable de emergencia arrojan que, en los tratamientos tratados con biofertilizantes en las distintas formas y el tratamiento con fertilización regional, superan (20% más), desde el segundo día hasta el quinto día después de la siembra contra testigo sin fertilización regional (datos no mostrados), mostrándose en el décimo día un 100% de emergencia total en todos los tratamientos; los resultados obtenidos concuerdan con lo señalado por Sen y Kingman (1977) que, aunque no fueron con QUI y microorganismos promotores, fue con

extractos de algas; el autor indica que con éste tipo de biofertilizantes, los resultados en germinación y emergencia fueron significativos para lechuga, apio, cebolla, tomate, rábanos, manzano y *Panax ginsen*. El mismo autor cita que estos efectos se deben a los reguladores de crecimiento derivados de algas marinas y micorrizas, cuya función es la de estimular la germinación, elongación radicular. Por su parte las bacterias fijadoras de nitrógeno como *B. amyloliquefasciens*, aparte de poseer la capacidad de fijar Nitrógeno atmosférico, influye en la generación de ácido indolacético (AIA) y auxinas, y por ende producción de raíces y desarrollo de pelos radiculares (Bashan *et al.*, 2002). Con relación a microorganismos fúngicos benéficos como es *Trichoderma*, además de producir sustancias promotoras del crecimiento vegetal (Martínez *et al.*, 2011); a las especies de *Trichoderma*,

se le consideran también agentes de control biológicos, ya que posee buenas cualidades para el control de enfermedades en plantas causadas por fitopatógenos (González, 2005; Rueda *et al.*, 2009).

Con base en la clorofila total (a+b) (Unidades Spad), se pudo observar que el uso de quitosano en las dos concentraciones aplicadas (50 y 100%) + el consorcio microbiano con un 50% de fertilización regional, los valores arrojados fueron significativos en comparación de los demás tratamientos; sin embargo, con los valores menores, resultó aquel sin biofertilizantes y sin fertilización regional. Este comportamiento significativo obtenido en clorofila por QUI+consorcio BAC contra restantes tratamientos, no se ve reflejado en la altura total de la planta de sorgo, pero sí en las variables de longitud de panoja y rendimiento; los valores son apreciados en el Cuadro 2.

Cuadro 2. Efecto del quitosano y consorcio microbiano en variables fenológicas y de producción en el cultivo de Sorgo, en la comunidad Mayo en Basconcobe, Etchojoa, Sonora.

Table 2. Effect of chitosan and microbial consortium on phenological and production variables in the Sorghum crop of the Mayo community, Basconcobe, Etchojoa, Sonora.

Tratamiento	Clorofila total (a+b)	Altura	Longitud de panoja	Variables		
				kg ha ⁻¹	Peso volumétrico	Proteína en grano
		- - - - - cm - - - - -				20 g
1	22c	1.53ab	18.2ab	810d	74.2ab	8.5d
2	41b	1.68a	21.4a	1300c	77.3a	9.2bc
3	42b	1.66a	21.2a	1550b	75.3a	10.09ab
4	43ab	1.68a	22.4a	1376bc	77.3a	9.99b
5	43ab	1.69a	22.4a	1545b	77.4a	9.87
6	46a	1.67a	21.3a	1612a	76.3a	11.20a
7	46a	1.67a	22.3a	1687a	77.2a	11.34a

Tratamientos: 1. Testigo absoluto; 2. Testigo regional urea 46% N (150 kg ha⁻¹) y superfosfato de calcio triple (Ca(NH₂PO₄)₂) (80 kg ha⁻¹); 3. Consorcio microbiano (BAC) + inoculación a la semilla + 4 aplicaciones después de la siembra (4a-dds) + 50% de fertilización del paquete usual en la región; 4. Quitonaso (QUI) 50% inoculación a la semilla + 4A-dds + 50% de F del paquete usual en la región; 5. QUI 100% inoculación a la semilla + 4A-dds + 50% de fertilización del paquete usual en la región; 6. QUI 50% + consorcio microbiano BAC + 50% de fertilización del paquete usual en la región; 7. QUI 100% + consorcio microbiano BAC + 50% de fertilización del paquete usual en la región. Las 4A-dds = fueron a los 25, 45, 55 y 85 días después de la siembra. Las literales en los valores del cuadro, indican diferencia significativa con $P < 0.05$.

Treatments: 1. Absolute teaser; 2. Regional control 46% N urea (150 kg ha⁻¹) and triple calcium superphosphate (Ca (NH₂PO₄)₂) (80 kg ha⁻¹); 3. Microbial consortium (BAC) + Seed inoculation + 4 applications after sowing (4a-dds) + 50% fertilization of the usual package in the region; 4. Chitosan (QUI) 50% seed inoculation + 4A-dds + 50% F of the usual package in the region; 5. QUI 100% seed inoculation + 4A-dds + 50% fertilization of the usual package in the region; 6. QUI 50% + BAC microbial consortium + 50% fertilization of the usual package in the region; 7. QUI 100% + BAC microbial consortium + 50% fertilization of the usual package in the region. Periodicity of 4A-dds was at 25, 45, 55, and 85 days after planting. Letters indicate significant difference ($P < 0.05$).

Con relación a los análisis bromatológicos (proteína, cenizas y lípidos totales), los tratamientos que proporcionaron valores significativos en proteína (10.87 ± 0.46), fueron aquellos tratados con el bioderivado de exoesqueleto de crustáceos: QUI + el consorcio microbiano con una fertilización regional; aunque numéricamente menor y sin significancia, fue el tratamiento a base del consorcio bacteriano + 50% de fertilización regional. En cenizas y lípidos totales, no se arrojaron diferencias entre tratamientos; los valores oscilaron entre 1.40 a 1.72% y 3.1 a 3.9%, respectivamente. Un similar comportamiento sin que hubiese diferencia significativa, fue visualizado en la variable de peso volumétrico de grano, para cada uno de los tratamientos evaluados (Cuadro 2). Con relación al número de las células adheridas al sistema radicular, no mostrando diferencia significativas entre aquellos tratamientos inoculados; se pudo apreciar $3728 \text{ UFC mL}^{-1} \pm 1022$ para *Trichoderma harzianum*, *T. reesei*, mientras que para *Bacillus subtilis*, *B. polymyxa* y *B. amyloliquefasciens*, se lograron contabilizar $2444 \text{ UFC mL}^{-1} \pm 1322$. Respecto al control no hubo presencia de los microorganismos estudiados, salvo hongos identificados como *Penicillium* spp.; *Fusarium* spp.; *Rhizopus* spp.; *Alternaria* spp.; los cuales también se presentaron en los tratamientos biotratados. Éstos valores indican que los efectos benéficos de los microorganismos pueden tener un papel principal en las diferentes fases vegetativas, como es el proceso de la germinación (Kim y Weber, 1985). Resultados similares se han obtenido en otras investigaciones, aunque estas han sido en diferentes especies de plantas y otro tipo de bacterias benéficas (Bashan *et al.*, 2009; Villegas *et al.*, 2010; Rueda *et al.*, 2013), sumándose aquellos de Reyes-Pérez *et al.* (2018, 2019), al utilizar abonos orgánicos, rubros que demanda una agricultura sustentable a nivel mundial. Los resultados obtenidos en el trabajo, amplían los trabajos con cultivos agrícolas y sumándose a los de maíz (Peña-Datoli *et al.*, 2016), el tabaco (González-Gómez *et al.*, 2017), el arroz (Molina-Zerpa *et al.*, 2017) y la orquídea (Vera-Alvarado *et al.*, 2017¹), entre otros. Asimismo, corroborando que el uso de quitosano, mejora los índices de crecimiento en comparación de aquellos que son utilizados como control. Los resultados obtenidos en la emergencia de plántulas de sorgo tratadas con

los bioproductos (QUI+BAC), son producto de una germinación estimulada por diversos factores, entre los que se pueden citar según Bhaskara *et al.* (1999) y Guan *et al.* (2009), un potencial efecto sobre la síntesis de algunas fitohormonas específicamente del tipo de giberelinas, que están directamente relacionadas al desarrollo radicular de las plantas. En este sentido, Lira, (2003), señala que las hormonas, del tipo giberelinas y auxinas son sintetizadas en los ápices vegetales, donde el efecto en la tasa y longitud final radicular producido por estas, se debe específicamente al incremento en la tasa de división celular (Fallik *et al.*, 2000), aspectos que pudiesen haber favorecido el actual trabajo. Por su parte López-Mata *et al.* (2012) y Dima *et al.* (2017), mencionan que las semillas que son tratadas con quitosano mejoran su proceso de germinación pues el quitosano protege los cultivos de patógenos y plagas ya que activa la respuesta de defensa de la planta, ayuda en la liberación de nutrientes y protege del daño microbiano). Además, el tratamiento de quitosano en las plantas produce un falso estrés en estas, de manera que confunde el quitosano con la presencia de patógenos, desencadenando una serie de mecanismos de autodefensa, en los cuales la planta está preparada para evitar la afectación por patógenos. El quitosano también activa la formación de barreras físicas, induciendo la acumulación de sustancias fungitóxicas e impidiendo el flujo de nutrientes al patógeno (Lizárraga *et al.*, 2011). En otros estudios con extractos de origen marino (algas) (Silva *et al.*, 2001), señalan una inducción a la promoción del sistema radicular, debido a la estimulación de la síntesis de fitohormonas en el vegetal estudiado. Lo anterior sugiere que el quitosano en sorgo, puede ser una alternativa importante en la agricultura; también los resultados obtenidos en la promoción radicular en esquejes de especies leñosas, específicamente en salicornia, indican que este polímero puede ser utilizado ayudando y mejorando en gran manera a la industria agrícola (López-Corona *et al.*, 2019a).

Benavides *et al.* (2001), en plantas de lechuga en condiciones de invernadero y utilizando quitosano como tratamiento, obtuvieron un mayor peso fresco de la parte aérea y de la raíz. Así mismo, Ohta *et al.* (1999) reportaron mejora en peso fresco y peso seco de la flor *Eustoma grandiflorum* al utilizar quitosano.

¹ Vera Alvarado, K. 2017. Uso de quitosano en medios de cultivo para el desarrollo en la propagación in vitro de la orquídea *Cattleya* spp. Tesis de Licenciatura. Facultad de Ciencias Agrarias Universidad de Guayaquil, Ecuador.

En cultivos de tomate al aplicar quitosano como tratamiento, tuvieron resultados efectivos para peso fresco (Estrada *et al.*, 2013). En otro estudio al aplicar quitosano se observó un incremento significativo en el crecimiento vegetativo (longitud de la planta, número de hojas/planta, área foliar, crecimiento radicular, peso fresco y seco), así como en los atributos de rendimiento (peso de la fruta, rendimiento temprano y total/planta) de la planta de fresa (El-Miniawy *et al.*, 2013). Los resultados obtenidos en nuestro experimento, concuerdan con los obtenidos con otros cultivos trigo, maíz, fresa, tabaco, arroz y salicornia (Bhaskara *et al.*, 1999; Guan *et al.*, 2009; López-Mata *et al.*, 2012; Peña-Datoli *et al.*, 2016; González-Gómez *et al.*, 2017; Molina-Zerpa *et al.*, 2017; Domini, 2018; López-Corona *et al.*, 2019a).

CONCLUSIONES

El cultivo de sorgo en las condiciones de la zona indígena de Mayo en Basconcobe, Etchojoa, Sonora, con extracción y aplicación de quitosano a partir de exoesqueletos de camarón, aunado del consorcio microbiano a base de *Trichoderma harzianum*, *T. reesei*, *Bacillus subtilis* *B. polymyxa* y *B. amyloliquefaciens* a razón de 1×10^9 UFC g con un 50% de fertilización regional, se promovió la tasa de germinación, clorofila (unidades Spad), rendimiento y calidad proteica en grano de sorgo. Se concluye que el uso de quitosano y consorcio bacteriano benéfico, es una alternativa para la producción de sorgo de grano.

AGRADECIMIENTOS

Se agradece al M. en C. Nelson Antonio González Amarillas de la empresa Tecnologías Naturales Internacional S.A. de C.V. (TNI) / región Navojoa, Sonora por proporcionar los productos biológicos. Se agradece al proyecto institucional de la Universidad de Sonora con clave USO313006248: Efecto de halobacterias promotoras del crecimiento vegetal en la ecofisiología y producción de sorgo bajo condiciones de salinidad; asimismo al personal técnico de los laboratorios del Centro de Investigaciones Biológicas del Noroeste, S.C. (CIBNOR). El estudio es en memoria del Dr. Rogelio Ramírez Serrano del CIBNOR (QEPD).

LITERATURA CITADA

- Arévalo, E., J. Cayotopa, D. Olivera, M. Gárate, E. Trigoso, D. Bomfim Costa, and B. León 2017. Optimization of substrates for conidia production of *Trichoderma harzianum* By Solid Fermentation in the region of San Martín. Peru. Rev. Invest. Altoandina. 19: 135-144. doi: <http://dx.doi.org/10.18271/ria.2017.272>.
- Bashan, Y., J. P. Hernández, L. A. Leyva, and M. Bacilio. 2002. Alginate microbeads as inoculant carriers for plant growth-promoting bacteria. Biol. Fertil. Soils 35: 359-368. doi: <https://doi.org/10.1007/s00374-002-0481-5>.
- Bashan, Y., B. Salazar, and M. E. Puente. 2009. Responses of native legume desert trees used for reforestation in the Sonoran Desert to plant growth-promoting microorganisms in screen house. Biol. Fertil. Soils 45: 655-662. doi: <https://doi.org/10.1007/s00374-009-0368-9>.
- Benavides-Mendoza, A., J. Romero, A. S. Ledezma y J. M. Raygoza. 2001. La aplicación foliar de quitosano enácido acético aumenta la biomasa de la lechuga. Biotam 12: 1-6.
- Bhaskara-Reddy, M. V., J. Arul, P. Angers, and L. Couture. 1999. Chitosan treatment of wheat seeds induces resistance to *Fusarium graminearum* and improves seed quality. J. Agric. Food Chem. 47: 1208-1216. doi: <https://doi.org/10.1021/jf981225k>.
- Carrillo, A., M. Puente, T. Castellanos y Y. Bashan. 1998. Aplicaciones biotecnológicas de ecología microbiana. Manual de laboratorio. Eds. Pontificia Universidad Javeriana, Santa Fe de Bogotá, Colombia y Centro de Investigaciones Biológicas de Noroeste S. C. La Paz, Baja California Sur, México.
- Dima, J. B., C. Sequeiros y N. E. Zaritzky. 2017. Síntesis de microesferas de quitosano para encapsular y liberar fertilizante. pp. 595-600. In: IV Jornadas de Investigación, Transferencia y Extensión de la Facultad de Ingeniería. La Plata, Argentina. ISBN: 978-950-34-1453-8.
- Domini, A. K. 2018. Potencialidades del quitosano para la fresa. Usos en la mejora y conservación de los frutos. Cultivos Trop. 39: 134-142.
- El-Miniawy, S. M., M. E. Ragab, S. M. Soliman Youssef, and A. A. Metwally. 2013. Response of strawberry plants to foliar spraying of chitosan. Res. J. Agric. Biol. Sci. 9: 366-372.
- Estrada-Prado, W., E. Lescay-Batista, L. Rodríguez-Larramendi, S. Infante-López y A. García-Alcántara. 2013. Efecto de diferentes productos bioactivos sobre algunos indicadores agroproductivos en el cultivo del tomate, var. Amalia, en condiciones semicontroladas. Rev. Granma Cienc. 17: 1-10.
- Fallik, E., S. Saring, and Y. Okon. 2000. Morphology and physiology of plant roots associated with Azospirillum. pp. 77-86. In: Y Okon (ed.). Azospirillum/Plant associations. CRC Press. Boca Raton, FL, USA. ISBN: 0-8493-4925-7.
- González-Chávez, M. C. 2005. Recuperación de suelos contaminados con metales pesados utilizando plantas y microorganismos rizosféricos. Terra Latinoamericana 23: 29-37.
- González, L. A., A. Falcón, M. C. Jiménez, L. Jiménez, J. Silvente y J. C. Terrero. 2015. Evaluación de tres dosis del bioestimulante Quitosana en el cultivo de pepino (*Cucumis sativus*) en un periodo tardío. Rev. Amazónica Cienc. Tec. 1: 42-48.

- González-Gómez, L. G., M. C. Jiménez-Arteaga, L. Vaquero-Cruz, I. Paz-Martínez, A. Falcón-Rodríguez y L. Araujo-Aguilera. 2017. Evaluación de la aplicación de quitosana sobre plántulas de tabaco (*Nicotiana tabacum* L.). Rev. Centro Agríc. 44: 34-40.
- González Peña, D., D. Costales y A. B. Falcón. 2014. Influencia de un polímero de quitosana en el crecimiento y la actividad de enzimas defensivas en tomate (*Solanum lycopersicum* L.). Cult. Trop. 35: 35-42.
- Guan, Ya-J., J. Hu, X. J. Wang, and C. X. Shao. 2009. Seed priming with chitosan improves maize germination and seedling growth in relation to physiological changes under low temperature stress. J. Zhejiang Univ. Sci. B. 10: 427-433. doi: <https://doi.org/10.1631/jzus.B0820373>.
- INEGI (Instituto Nacional Sistema Nacional de Información Estadística y Geográfica). 2008. Encuesta Nacional de Ingresos y Gastos de los Hogares (ENIGH) 2008. <https://www.inegi.org.mx/programas/enigh/tradicional/2008/>. (Consulta: diciembre 2, 2019)
- Jordán, M. y J. Casaretto. 2006. Hormonas y reguladores del crecimiento: Auxinas, giberelinas y citocininas. pp. 1-28 In: F. A. Squeo y L. Cardemil. (eds.). Fisiología vegetal. Ediciones Universidad de La Serena. La Serena, Chile.
- Kim, C. K. and D. J. Weber. 1985. Distribution of VA mycorrhiza on halophytes on inland salt playas. Plant Soil 83: 207-214. doi: <https://doi.org/10.1007/BF02184292>.
- Lira-Saldivar, R. H. 2003. Fisiología vegetal. Trillas. México, D. F. ISBN: 978-9682480041.
- Lizárraga-Paulín, E., I. Torres-Pacheco, E. Moreno-Martínez y S. Miranda-Castro. 2011. Protección contra estrés biótico inducida por quitosán en plántulas de maíz (*Zea mays* L.). Rev. Mex. Cienc. Agríc. 2: 813-827. doi: <https://doi.org/10.29312/remexca.v2i6.1563>.
- López-Corona, B. E., I. Mondaca-Fernández, P. Gortáres-Moroyoqui, J. Holguín Peña, M. M. Meza-Montenegro, J. J. Balderas-Cortés, J. M. Vargas-López, and E. O. Rueda-Puente. 2019a. Technique of cutting in agriculture: an alternative at the vanguard. Trop. Subtrop. Agroecosyst. 22: 505-517.
- López Corona, B. E., I. Mondaca Fernández, P. Gortáres Moroyoqui, M. M. Meza Montenegro, J. J. Balderas Cortés, C. Ruiz Alvarado y E. O. Rueda Puente. 2019b. Enraizamiento de esquejes de *Salicornia bigelovii* (Torr.) por quitosano como un bioproducto de origen marino. Terra Latinoamericana 37: 361-369. doi: <https://doi.org/10.28940/terra.v37i4.517>.
- López-Mata, M., S. Ruiz-Cruz, C. Navarro-Preciado, J. J. Ornelas-Paz, M. I. Estrada-Alvarado, L. E. Gassos-Ortega y J. Rodrigo-García. 2012. Efecto de recubrimientos comestibles de quitosano en la reducción microbiana y conservación de la calidad de fresas. Biotecnia 14: 33-43. doi: <http://dx.doi.org/10.18633/bt.v14i1.113>.
- Martínez-González, L., Y. Reyes-Guerrero, A. Falcón-Rodríguez y M. Núñez-Vázquez. 2015. Efecto del tratamiento a las semillas con quitosana en el crecimiento de plántulas de arroz (*Oryza sativa* L.) cultivar INCA LP-5 en medio salino. Cultivos Trop. 36: 143-150.
- Martínez-Medina, A., A. Roldán, and J. A. Pascual. 2011. Interaction between arbuscular mycorrhizal fungi and Trichoderma harzianum under conventional and low input fertilization field condition in melon crops: Growth response and Fusarium wilt biocontrol. Appl. Soil Ecol. 47: 98-105. doi: <https://doi.org/10.1016/j.apsoil.2010.11.010>.
- Méndez-Úbeda, J. M., M. S. Flores Hernández y L. A. Páramo-Aguilera. 2018. Aislamiento e identificación de *bacillus subtilis* y evaluación del antagonismo in vitro frente hongos fitopatógenos. Nexo 30: 96-110. doi: <https://doi.org/10.5377/nexo.v30i2.5530>.
- Molina-Zerpa, J. A., M. Colina-Rincón, D. Rincón y J. A. Vargas-Colina. 2017. Efecto del uso de quitosano en el mejoramiento del cultivo del arroz (*Oryza sativa* L. variedad sd20a). Rev. Investig. Agrar. Amb. 8: 151-165. doi: <https://doi.org/10.22490/21456453.2041>.
- Ohta, K., A. Taniguchi, N. Konishi, and T. Hosoki. 1999. Chitosan treatment affects plant growth and flower quality in *Eustoma grandiflorum*. HortScience 34: 233-234. doi: <https://doi.org/10.21273/HORTSCI.34.2.233>.
- Peña-Datoli, M., C. M. Hidalgo-Moreno, V. A. González-Hernández, E. G. Alcántar-González y J. D. Etchevers-Barra. 2016. Recubrimiento de semillas de maíz (*Zea mays* L.) con quitosano y alginato de sodio y su efecto en el desarrollo radical. Agrociencia 50: 1091-1106.
- Prabhaharan, R., J. Borboa-Flores, E. C. Rosas-Burgos, J. L. Cárdenas-López, J. Ortega-García y E. O. Rueda Puente. 2019. *Phaseolus acutifolius* associated with *bacillus amyloliquefaciens* and *Azospirillum halopraeferens* under salinity conditions. Biotecnia 21: 127-132.
- Rennie, R. J. 1981. A single medium for the isolation of acetylene-reducing (dinitrogen-fixing) bacteria from soils. Can. J. Microbiol. 27: 8-14. doi: <https://doi.org/10.1139/m81-002>.
- Reyes-Pérez, J., R. Luna-Murillo, D. Zambrano-Burgos, V. Vázquez Morán, T. Rodríguez-Pedroso, M. Ramírez-Arrebato, J. A. Guzmán-Acurio, J. C. González-Rodríguez y J. A. Torres-Rodríguez. 2018. Efecto de abonos orgánicos en el crecimiento y rendimiento agrícola de la berenjena (*Solanum melongena* L.). Biotecnia 20: 8-12.
- Reyes-Pérez, J., M. A. Ramírez-Arrebato, A. T. Rodríguez-Pedroso, L. Lara-Capistrán y L. G. Hernández-Montiel. 2019. Efecto del quitomax® en los indicadores del crecimiento, fenología y rendimiento de Habichuela (*Vigna unguiculata* L.). Biotecnia 21: 109-112.
- Rivero G., D., A. J. Ramírez Cruz, B. Martínez, M. Á. Ramírez A., A. T. Rodríguez P. y R. M. Cárdenas. 2004. Efecto protector de la quitosana en semillas de arroz frente a *Fusarium* sp. Rev. Protec. Veg. 19: 140-144.
- Rodríguez-Reyes, R., J. Villaverde-Figueredo y O. Gonzalez-Paneque. 2013. Influencia de la quitosana en tomate (*Solanum lycopersicum*, Mill) var. "Amalia". Centro Agríc. 40: 79-84.
- Rueda-Puente, E. O., J. A. Villegas-Espinoza, L. E. Gerlach-Barrera, M. A. Tarazón-Herrera, B. Murillo-Amador, J. L. García-Hernández, E. Troyo-Diéz y P. Preciado-Rangel. 2009. Efecto de la inoculación de bacterias promotoras de crecimiento vegetal sobre la germinación de *Salicornia bigelovii*. Terra Latinoamericana 27: 345-354.
- Rueda-Puente, E. O., P. Renganathan, S. Farmohammadi, A. Moghaddam, and O. Zakeri. 2013. Plant growth promoting bacteria associated to *Salicornia* rhizosphere in Bandar Abbas, Iran. Proceedings of the 13th International Conference of Environmental Science and Technology. 5-7 September 2013. Athens, Greece.

- SAGARPA (Secretaría de Agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación). 2015. Agenda Técnica Agrícola de Sonora. SAGARPA. México, D. F. ISBN obra completa: 978-607-7668-39-8.
- SAGARPA (Secretaría de Agricultura y ganadería y protección ambiental). 2018. Sorgo grano mexicano. https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/256433/B_sico-Sorgo_Grano.pdf. (Consulta: diciembre 2, 2019).
- SAS Institute. 2004. SAS/SAT user's guide. Version 8.2. SAS Institute. Cary, NC, USA.
- Senn, T. L. and A. Kingman. 1977. Physiological responses on certain horticultural crops to application of meal and extracts of *Ascophyllum nodosum*. Ninth International Seaweed Symposium. Santa Bárbara, CA, USA. ISBN: 0895000105.
- SIAP (Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera). 2016. Atlas agroalimentario. <https://www.gob.mx/siap/articulos/atlas-agroalimentario-2016-siap-presenta-los-exitos-del-campo-mexicano>. (Consulta: diciembre 2, 2019).
- Silva-Garza, M., H. Gámez-González, F. Zavala-García, B. Cuevas-Hernández y M. Rojas-Garcidueñas. 2001. Efecto de cuatro fitorreguladores comerciales en el desarrollo y rendimiento del girasol. Ciencia UANL 4: 69-75. doi: <http://eprints.uanl.mx/id/eprint/1066>.
- Villegas, J. A., E. O. Rueda, B. Murillo, M. E. Puente, O. Grimaldo, S. M. Avilés y J. F. Ponce. 2010. Efecto de la inoculación de *Azospirillum halopraeferens* y *Bacillus amyloliquefaciens* en la germinación de *Prosopis chilensis*. Trop. Subtrop. Agreconsyst. 12: 19- 32.