

EVALUACIÓN EN CAMPO DE LA EFECTIVIDAD DEL QUITOSANO COMO FERTILIZANTE FOLIAR EN CULTIVOS DE UNA ZONA XERÓFILA.

Adrián Chávez^{1*}, Sabrina Acevedo¹ y Enmanuel Luzardo¹.

Instituto Zuliano de Investigaciones Tecnológicas (INZIT), La Cañada de Urdaneta 4033, Zulia,
Venezuela.

Correo electrónico: ajchavez3000@gmail.com.

Recibido: Diciembre de 2023 Aceptado: Enero de 2024

RESUMEN

El uso del quitosano para la fertilización foliar puede resultar beneficioso para el sector agroproductivo. En esta investigación se evaluó el efecto del quitosano, quitosano/fosfoyeso y quitosano/hidroxiapatita como fertilizante foliar en el crecimiento de plantas de frijol (*Phaseolus vulgaris*), y de quitosano en plantas de maíz (*Zea mays*), yuca (*Manihot esculenta*) y lechosa (*Carica papaya*) en una zona xerófila de Venezuela. Se realizaron en total 3 aplicaciones de cada uno de los fertilizantes y se evaluó el crecimiento de las plantas. En las plantas de frijol, la aplicación de quitosano resultó en un aumento en su extensión promedio de 35 % en comparación con el control, con el quitosano/fosfoyeso y el quitosano/hidroxiapatita, se observó un efecto negativo en el crecimiento de las plantas que terminó en la muerte. Con la aplicación de quitosano a las plantas de maíz, se observó después de 60 días un aumento en un 25 % con respecto al control, y 88 % en las plantas de yuca. En las plantas de lechosa no se observó un incremento en la altura, pero sí en el ancho de la corona, con un 98 % superior al control. Los resultados indican que la aplicación de quitosano es beneficiosa para el crecimiento de las plantas en todos los casos, a diferencia de las mezclas con fosfoyeso e hidroxiapatita.

Palabras clave: Quitosano, fertilizante, foliar, fosfoyeso, hidroxiapatita.

ABSTRACT

The use of chitosan for foliar fertilization can be beneficial for the agricultural sector. In this research, the effect of chitosan, chitosan/phosphogypsum and chitosan/hydroxyapatite as foliar fertilizer on the growth of bean plants (*Phaseolus vulgaris*), and chitosan in corn (*Zea mays*), cassava (*Manihot esculenta*) and papaya (*Carica papaya*) plants in a xeric area of Venezuela was evaluated. A total of 3 applications of each fertilizer were made and the growth of the plants was evaluated. In bean plants, the application of chitosan resulted in an increase in average extension of 35 % compared to the control, with chitosan/phosphogypsum and chitosan/hydroxyapatite, a negative effect on the growth of the plants was observed that ended in death. With the application of chitosan to corn plants, an increase of 25 % was observed after 60 days, compared to the control, and 88 % in cassava plants. In papaya plants there was no increase in height, but the width of the crown was 98 % greater than the control. The results indicate that the application of chitosan is beneficial for plant growth in all cases, unlike mixtures with phosphogypsum and hydroxyapatite.

Keywords: Chitosan, fertilizer, foliar, phosphogypsum, hydroxyapatite.

1. INTRODUCCIÓN

En la agricultura, debido a la deficiencia de la mayoría de los macro y micronutrientes en los suelos, el requerimiento se satisface mediante el uso de fertilizantes. Sin embargo, la mayoría de estos nutrientes se pierden antes de ser utilizados por las plantas por diferentes factores, como la fotólisis, hidrólisis, lixiviación, inmovilización microbiana, degradación, entre otros [1].

Los métodos de fertilización pueden dividirse en fertilización radicular o edáfica y fertilización foliar, dependiendo de la manera en que los cultivos absorben los nutrientes. El uso de fertilizantes en los suelos se ve afectado por varios factores, incluyendo la temperatura del suelo, la humedad, salinidad y la microbiota [2]. Cuando las sales inorgánicas se aplican solas o en combinación con otros fertilizantes al suelo, ocurre la fijación de los nutrientes y el antagonismo entre los nutrientes [11]. Por ejemplo, el exceso de fósforo se fija en el suelo, donde forma enlaces con otros elementos, como el calcio, el magnesio, hierro y zinc, deja de estar disponible para ser absorbido por las plantas [3]. Por lo tanto, aunque exista una abundancia de nutrientes en el suelo, la baja biodisponibilidad restringirá el crecimiento de las plantas y reducirá el aprovechamiento del fertilizante, y los nutrientes se acumularán temporalmente en el suelo o se perderán en el agua o en el aire [4]. Aunque los fertilizantes foliares tradicionalmente han sido utilizados para corregir deficiencias nutricionales, se ha observado un aumento en su aplicación, ya que, en comparación con la fertilización radicular, la fertilización foliar puede suministrar nutrientes directamente a través de las partes aéreas de la planta [5]. Aunado a esto, el uso de nanofertilizantes y nanocompuestos presenta la ventaja de tener una menor velocidad de liberación de los nutrientes, lo cual permite el aprovechamiento más eficiente durante el crecimiento de los cultivos, con menor pérdida y, por ende, con menos contaminación hacia los suelos y las aguas [6-7].

Este proyecto plantea la evaluación del efecto de un fertilizante foliar a base de quitosano, fosfoyeso e hidroxiapatita en cultivos de una zona xerófila del estado Zulia (Venezuela), para estudiar el crecimiento de las plantas y los beneficios de utilizar estos fertilizantes biodegradables.

2. PARTE EXPERIMENTAL

2.1 Muestras.

Los exoesqueletos de cangrejo empleados para la preparación de quitosano, fueron suministradas por la empresa Clifford de Venezuela C.A, de crustáceos provenientes del Lago de Maracaibo, Venezuela. El fosfoyeso fue suministrado por Petroquímica de Venezuela (PEQUIVEN) y se empleó sin tratamiento y la hidroxiapatita fue preparada en el laboratorio a partir del fosfoyeso.

2.2 Obtención de quitosano.

Los exoesqueletos de cangrejo fueron lavados, limpiados y secados durante 1 hora a 100 °C, luego fueron triturados hasta obtener un tamaño de partícula de aproximadamente 4 mm de diámetro. La desproteinización de exoesqueletos de cangrejos se realizó calentando (100 g) en una solución de hidróxido de sodio (NaOH) al 10 % m/V. Se desmineralizó agregando una solución 6 M de ácido clorhídrico (HCl) a temperatura ambiente por 1 hora. La desacetilación de la quitina se realizó con una solución acuosa de NaOH al 30 % m/V a temperaturas entre 100-110 °C durante 4 h, repitiendo 2 veces este procedimiento. Al finalizar la muestra se lavó con agua desionizada, se filtró y se secó a temperatura ambiente. Todos los reactivos utilizados fueron de grado analítico.

2.3 Preparación de hidroxiapatita.

Se sintetizaron nanopartículas de hidroxiapatita (HAp) a partir de fosfoyeso por el método de síntesis hidrotérmica a 200 °C por 96 h de reacción, empleando fosfato diamónico $(\text{NH}_4)_2\text{HPO}_4$ como precursor de la reacción, donde se logró obtener una conversión del 92 % de hidroxiapatita con características morfológicas y estructurales de alta pureza [8].

2.4 Preparación del fertilizante foliar.

Se realizó la preparación del fertilizante foliar a partir de quitosano (Q) al 2 % m/V, por medio de la dilución en ácido acético al 2 % V/V. El segundo producto a evaluar fue una mezcla de quitosano al 2 % m/V con fosfoyeso al 0,5 % m/V (QFY) y el tercer producto es quitosano al 2 % m/V con hidroxiapatita al 0,1 % m/V (QHAp). Se preparó una suspensión por medio de la mezcla de 10 mL de cada producto con 1 L de agua destilada, para su aplicación en las plantas [8].

2.5 Aplicación del fertilizante foliar.

Se realizó la aplicación del fertilizante foliar de quitosano, quitosano/fosfoyeso y quitosano/hidroxiapatita en cultivos de frijol, yuca, maíz y lechosa, en un parcelamiento cercano a las instalaciones del INZIT. El número de plantas fue de 100 de maíz, 100 de yuca y 100 de lechosa, y 100 plantas de control respectivamente, 50 de frijol para cada uno de los 3 productos a emplear y 50 plantas de control (200 en total para frijol). Se aplicó el producto 3 veces (1 aplicación cada 20 días) comenzando en el inicio de la siembra y se realizó la medición de la altura de las plantas, para yuca, maíz y lechosa, extensión para frijol y ancho de la corona para lechosa. La aplicación se realizó mediante la aspersion en las hojas de aproximadamente 5 mL por planta [9].

3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

3.1 Caracterización del fertilizante foliar.

Se realizó la caracterización química de los diferentes fertilizantes foliar mediante la espectrometría de infrarrojo con transformada de Fourier (FTIR), preparando pastillas de KBr y condiciones de medida se usó una resolución de 4 cm^{-1} y 100 barridos en el rango de $4000\text{--}400\text{ cm}^{-1}$, los resultados se muestran en las Figura 1.

En el espectro de la Figura 1 se observan las bandas características del quitosano. La ausencia de la banda de NH_3^+ en el espectro se debe a una interacción entre el NH_3^+ del quitosano con el COO^- del ácido acético mostrando mayor intensidad de la banda amida I; también se observa el ensanchamiento de la banda a 3500 cm^{-1} por causa del ácido acético [3]. En esta misma figura también se observan las bandas de amida I en el rango $1650\text{--}1630\text{ cm}^{-1}$ y de NH_2 de $1580\text{--}1560\text{ cm}^{-1}$ [3].

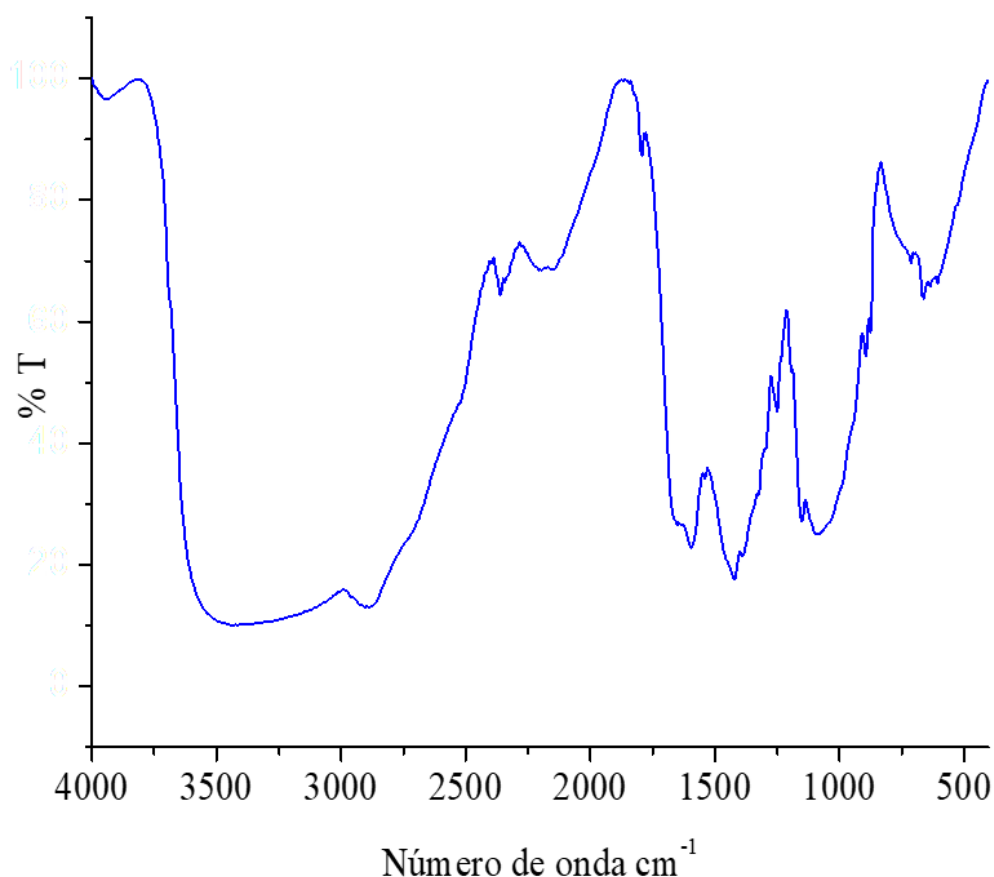


Figura 1. Espectro de quitosano empleado como fertilizante foliar obtenido con desacetilación de 30 % m/v de NaOH (grado de desacetilación de 96 %).

3.2 Caracterización de la hidroxiapatita.

En la Figura 2 se muestran el espectro del fosfoyeso y de la HAp sintetizada. Se pueden observar diferentes bandas en cuanto al fosfoyeso y la conversión a HAp, se puede observar que para el espectro de fosfoyeso la banda principal se obtiene a 1143 cm^{-1} que corresponde a compuestos con grupos funcionales SO_4 (sulfato) la cual no se observa en el espectro de la HAp, esto debido a la conversión de la reacción. En cuanto al espectro de HAp, se observa la presencia de tres picos fuertes correspondientes al ion fosfato (PO_4): flexión (473 cm^{-1}), flexión (564 cm^{-1}), y tensión ($1025\text{--}1090\text{ cm}^{-1}$). Asimismo, se observa una banda para el ion OH^- (1634 cm^{-1}), así como también una banda de baja intensidad (3574 cm^{-1}), un pico ancho entre 3760 y 3000 cm^{-1} que corresponde a la extensión del grupo O-H con enlaces de hidrógeno de la HAp y el agua (H_2O) junto a una absorbancia de amplio rango para las moléculas de H_2O ($2600\text{--}3600\text{ cm}^{-1}$) característica de la HAp, además de una banda a 960 cm^{-1} que corresponde a vibración de tensión de enlaces Ca-O.

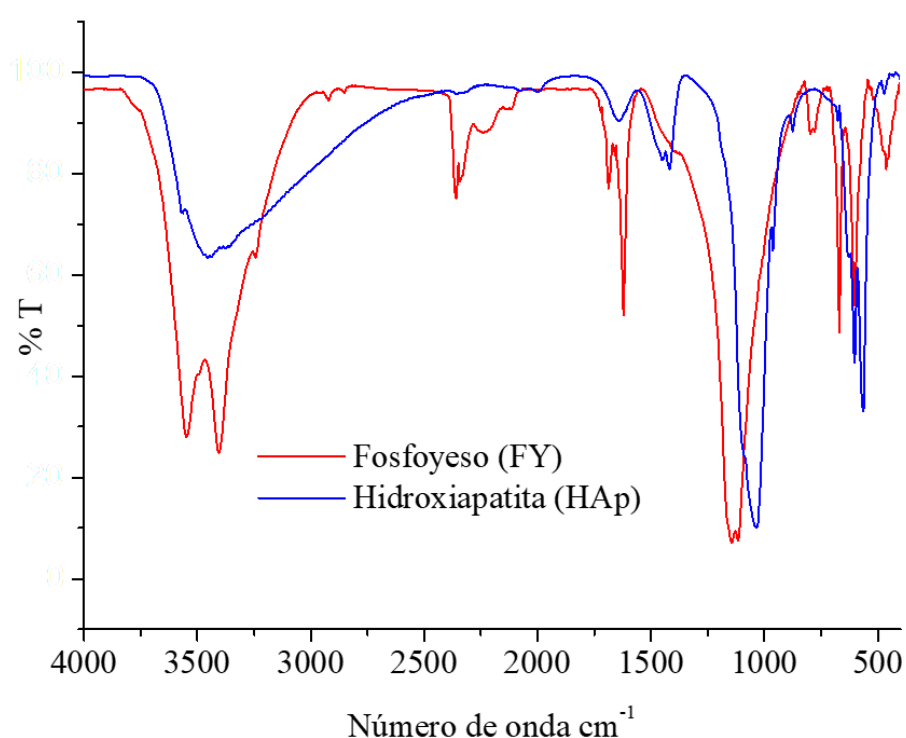


Figura 2. Espectro FTIR de fosfoyeso (FYI) y la hidroxiapatita (HAp)

3.1 Aplicación de los fertilizantes en plantas de frijol.

Se realizó la siembra de frijol en el parcelamiento, se aplicó el producto de forma foliar, 10 días después del nacimiento del frijol, el tamaño promedio (extensión) de las plantas de frijol fue de 15 cm, en los surcos se contaron 50 plantas para cada uno de los tres productos y 50 de control (200 plantas en total). En la Tabla 1 se muestra el crecimiento del frijol con la aplicación de los tres productos. En la Figura 3 se muestra la gráfica de este crecimiento, donde se puede observar que en el día 60, las plantas con la aplicación de quitosano, aumentaron en su extensión promedio un 35 % más que el control, a diferencia del quitosano/fosfoyeso y quitosano/hidroxiapatita, que tuvo un efecto negativo en el crecimiento de las plantas y al final del experimento, resultó en la muerte de las plantas.

Tabla 1. Crecimiento de frijol extensión (cm) con a) control; b) quitosano; c) quitosano/fosfoyeso y d) quitosano/hidroxiapatita.

Aplicación	Días	Extensión (cm)			
		a) Control	b) Q	c) QFY	d) QHAp
1	0	15,9 (n=50)	15,3 (n=50)	16,1 (n=50)	15,6 (n=50)
1	20	32,4 (n=50)	30,5 (n=50)	32,9 (n=27) (23†)	36,91 (n=18) (32†)
1	40	37,1 (n=50)	50,3 (n=50)	39,7 (n=13) (37†)	29,6 (n=6) (44†)
0	60	52,6 (n=50)	71,1 (n=50)	44,6 (n=7) (43 †)	(50 †)
	≠	0	35,17	0	0
	(%)				

†: Muerte de las plantas.

En la Figura 3 se observa la tendencia de un aumento en el crecimiento del frijol al aplicar quitosano, con respecto al control, con la aplicación de quitosano mezclado con fosfoyeso, no solo se producía la muerte de casi todas las plantas, sino que el crecimiento fue menor que el control, lo que indica toxicidad de estos compuestos en las condiciones empleadas para las plantas. La zona donde se realizó el experimento es una zona xerófila, donde la falta de lluvia y el riego por gravedad, permite observar el comportamiento de las plantas al realizar la aspersión de compuestos sobre sus hojas. Debido a que no hubo resultados significativos en el estudio con fertilizante foliar con fosfoyeso e hidroxiapatita, solo se realizó el siguiente estudio con los otros rubros empleando quitosano, Niu [10].

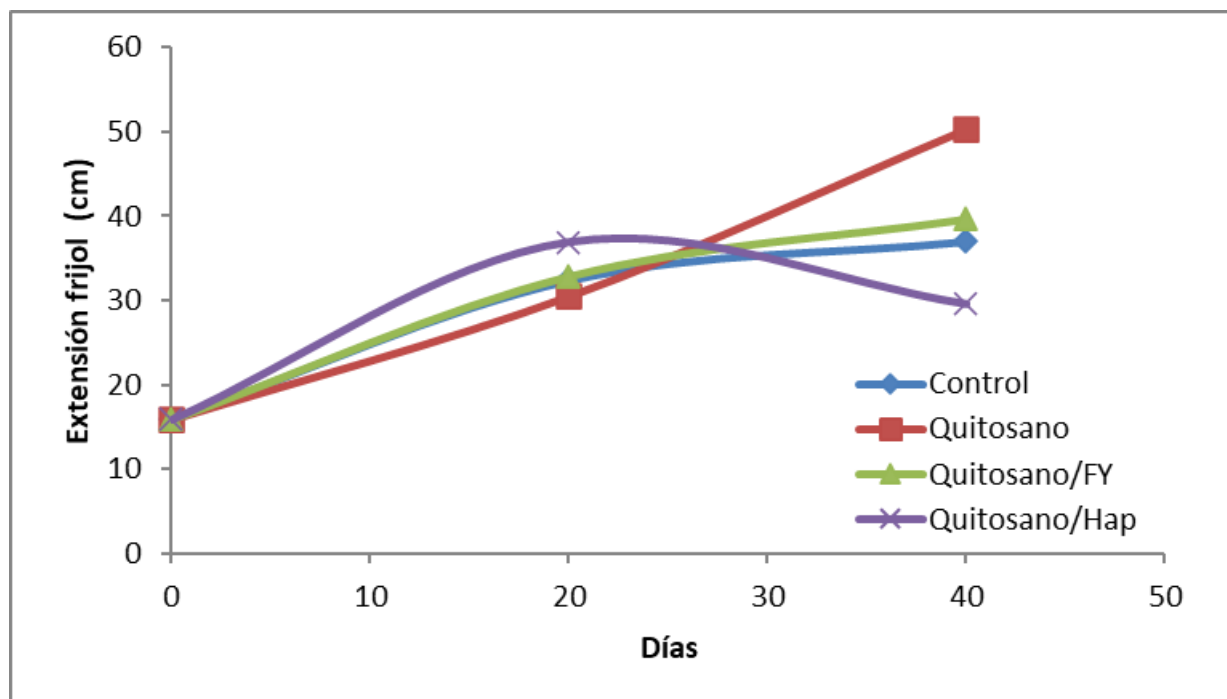


Figura 3. Crecimiento del frijol extensión (cm) con la aplicación de los productos, a) Control; b) Quitosano; c) Quitosano/fosfoyeso y d) Quitosano/hidroxiapatita.

3.2 Aplicación de quitosano en plantas de maíz.

Se realizó la siembra de maíz en el parcelamiento, se aplicó el quitosano en forma foliar, 7 días después del nacimiento del maíz. El tamaño promedio (altura) de las plantas fue de 10 cm, en cada surco se contaron 100 plantas y se aplicó el quitosano 3 veces (1 vez cada 20 días), dejando un surco con 100 plantas de control. En la tabla 2 se muestra el crecimiento del maíz con la aplicación de quitosano. Se puede observar que a los 60 días aumentó en un 25 % la altura de las plantas de maíz, con respecto al control.

Tabla 2. Crecimiento de maíz altura (cm) con a) Control; b) Quitosano.

Aplicaciones	Días	Altura (cm)		Diferencia (%)
		a) Control (n=100)	b) Quitosano (n=100)	
1	0	10,3	10,1	-1,9
1	20	22,8	21,2	-7,01
1	40	100,46	105,25	4,75
0	60	135	169	25,18

En la figura 4 se observa la tendencia en aumento, en el crecimiento del maíz al aplicar quitosano, con respecto al control y a través del tiempo. También se observó el comienzo de la floración más temprana de algunas plantas maíz con la aplicación del quitosano.

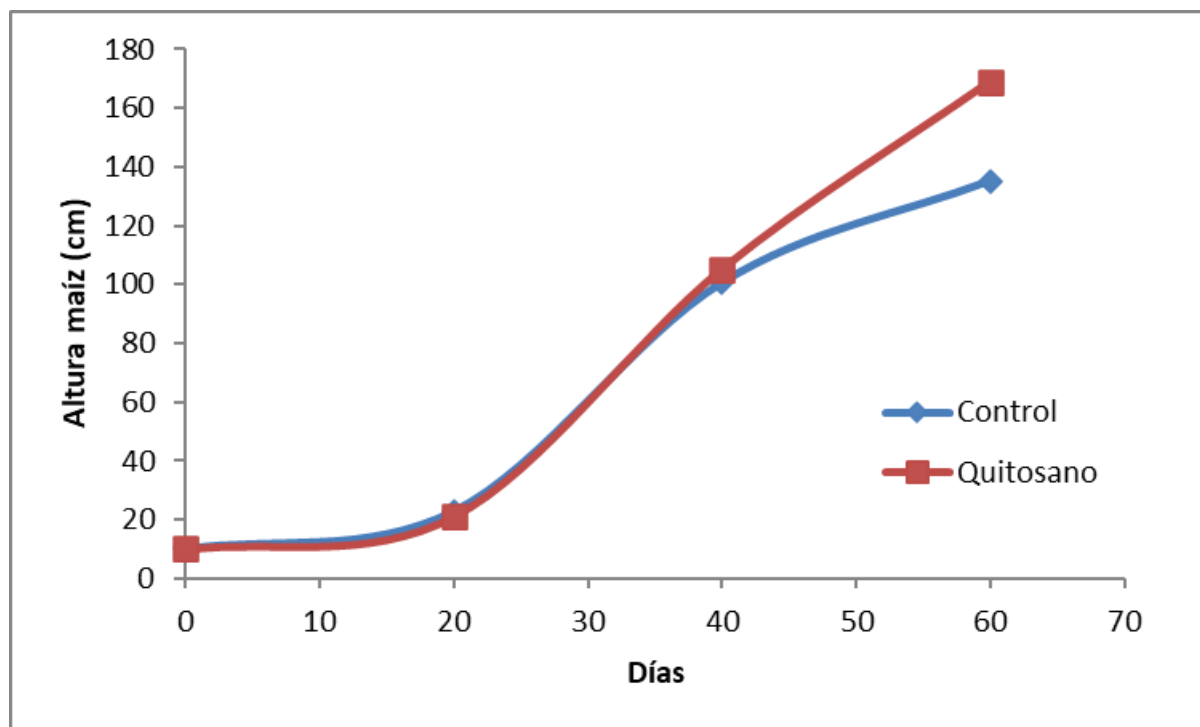


Figura 4. Crecimiento de maíz altura (cm) con a) Control; b) Quitosano.

3.2 Aplicación de quitosano en plantas de yuca.

Se realizó la siembra de las plantas de yuca en el parcelamiento, se aplicó el producto 20 días después del inicio del brote de las hojas, el tamaño promedio (altura) del brote fue de 5 cm, en cada surco se contaron 100 plantas y se aplicó el quitosano, dejando un surco con 100 plantas de control. En la Tabla 3 se muestra el crecimiento de las plantas de yuca con la aplicación de quitosano, donde se observa en el día 60, una diferencia de casi el doble en la altura de las plantas, con respecto al control.

Tabla 3. Crecimiento de las plantas de yuca con a) Control; b) Quitosano.

Aplicaciones	Días	Altura (cm)		Diferencia (%)
		Control (n=100)	Quitosano (n=100)	
1	0	5,4	5,3	1,85
1	20	10,3	12	16,5
1	40	29,19	41,82	43,39
0	60	43,6	82,06	88,22
0	80	67,76	89,76	32,46

En la Figura 5 se observa hasta el día 60 una tendencia exponencial en el crecimiento de las plantas, siendo la diferencia de casi el doble con respecto al control.

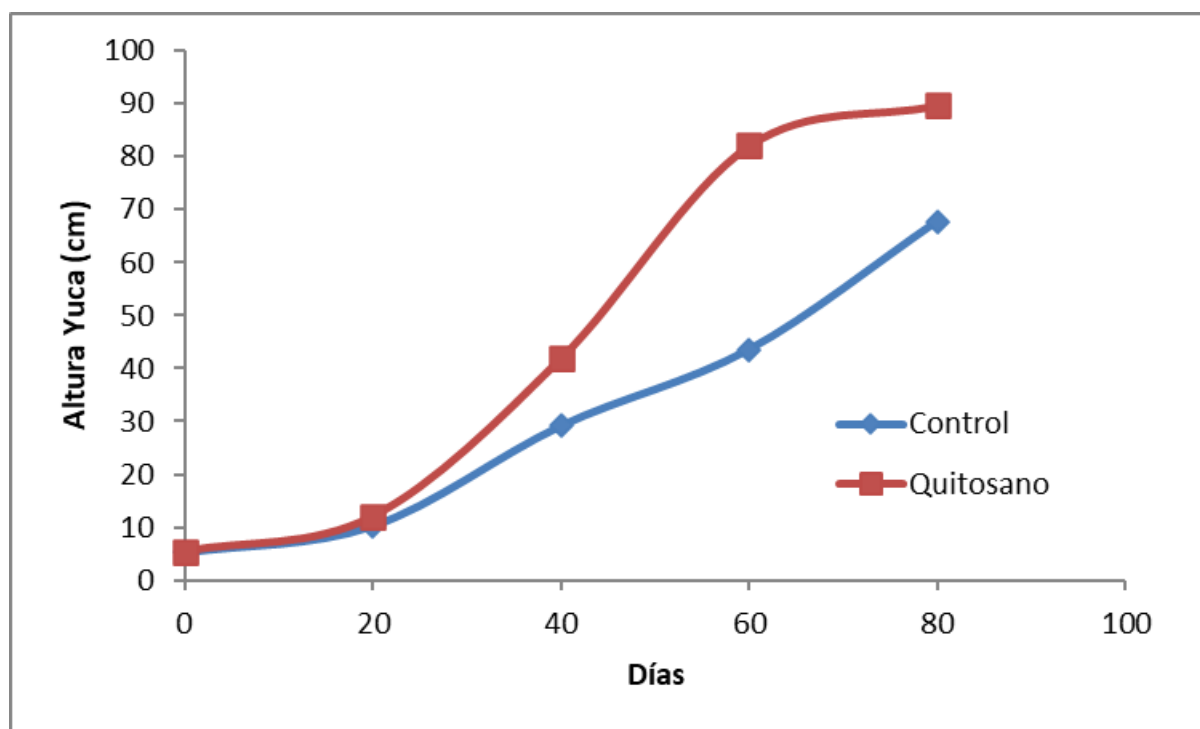


Figura 5. Crecimiento de plantas de yuca en altura (cm) con a) Control; b) Quitosano.

3.3 Aplicación de quitosano en plantas de lechosa.

En la Tabla 4 se muestra la aplicación del fertilizante foliar de quitosano en las plantas de lechosa. Se evaluó la altura de las plantas (cm) y se muestra el promedio inicial de la medición de las plantas tratadas con quitosano en comparación con el control. Se pudo determinar que la altura se mantiene independiente del tratamiento. En cambio, el ancho de la corona aumenta considerablemente, donde se observó al final de las mediciones un incremento del 98 % superior al control.

Tabla 4. Altura promedio y ancho de la corona de plantas de lechosa (n=100).

Tiempo (días)	Altura (cm)			Ancho de la corona (cm)		
	Control	Quitosano	≠ (%)	Control	Quitosano	≠ (%)
Inicial	12,9	13,7	6,20	10,38	11,47	10,50
15	34,57	33,35	-3,52	15,96	18,32	14,78
30	36,46	37,69	3,37	17,36	28,32	67,01
45	38,06	39,41	3,54	19,65	34,05	73,28
60	43,64	43,57	-0,16	23,48	42,89	82,66
90	44,23	44,08	-0,33	25,32	50,14	98,02

≠ (%): Diferencia en porcentaje

En la Figura 6 se muestra la tendencia en el aumento del tamaño del ancho de la corona de las plantas de lechosa, al emplear el quitosano como fertilizante foliar.

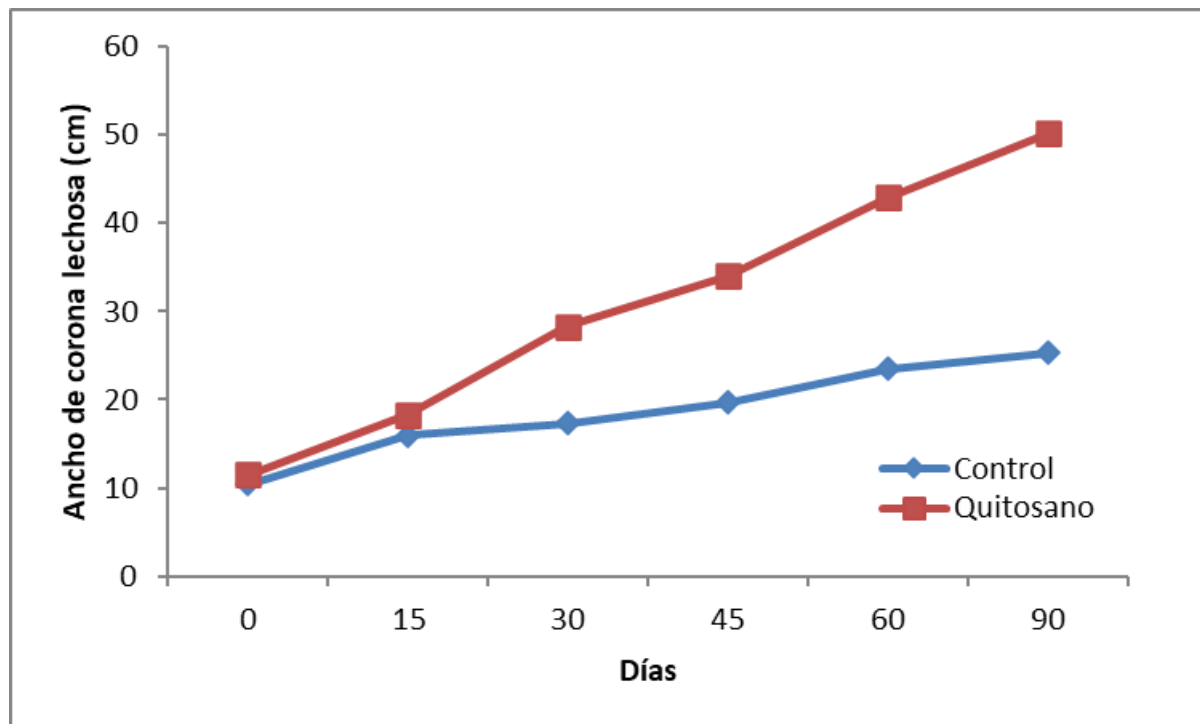


Figura 6. Crecimiento de ancho de la corona de lechosa (cm) con a) Control; b) Quitosano.

3.4 Nutrientes del suelo de cultivo.

En la Tabla 5 se muestran los resultados de algunos de los parámetros del suelo de cultivo, antes y después de 60 días de la aplicación de los fertilizantes. En donde se observa que en la mayoría de los casos existe un aumento de los nutrientes como el potasio, magnesio, calcio, manganeso y cinc con respecto al inicial.

Tabla 5. Determinación de parámetros del suelo de cultivo.

mg/kg	Inicial	Maíz y yuca		Frijol					
		Q	≠ (%)	Q	≠ (%)	QFY	≠ (%)	QHAp	≠ (%)
Nitrógeno	297	134	-54,5	218	-26,5	261	-12,1	137	-53,8
Fósforo	22	15	-30,5	95	339,8	59	173,1	111	413,8
Potasio	287	294	2,47	349	21,6	344	19,8	421	46,6
Magnesio	211	248	17,5	303	43,6	240	13,7	240	13,7
Sulfatos	377	248	-34,2	149	-60,47	487	29,1	422	11,9
Calcio	260	321	23,4	1112	327,6	396	52,3	745	186,5
Hierro	3062	3748	22,4	2820	-7,9	3072	0,3	3092	0,9
Manganeso	28	36	28,5	36	28,5	33	17,8	31	10,7
Cinc	7	9	28,2	14	100	14	100	22	214,3
Cobre	9	10	11,1	10	11,1	11	22,2	14	55,5
Cloruros	106	106	0	142	33,9	142	33,9	142	33,9

(Q): Quitosano, (QFY): Quitosano fosfoyeso, (QHAp): Quitosano hidroxapatita

4. CONCLUSIONES

Se observó que el quitosano empleado de forma foliar produce una diferencia en el crecimiento final de las plantas mayor que el control en yuca 88 % (altura), maíz 25 % (altura), frijol 15 % (extensión) y en las plantas de lechosa 98 % (ancho de la corona), el fertilizante foliar mezclando quitosano con fosfoyeso y con hidroxapatita no obtuvo resultados determinantes para la investigación en frijol.

El quitosano aplicado como fertilizante foliar aporta nutrientes de forma directa y posiblemente se mantiene retenidos los nutrientes en el suelo, gracias a los grupos funcionales del quitosano, observándose un aumento del potasio, magnesio, calcio, manganeso y cinc. Esto ayuda a la disminución del tiempo de la cosecha, el uso de fertilizantes dañinos y el deterioro del suelo.

5. AGRADECIMIENTOS.

Los autores agradecen por el financiamiento otorgado para la realización de esta investigación a través de los proyectos nacionales FONACIT.

6. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- 1) Abdel-Aziz, H.M.M., Hassaneen, M.N.A. and Omer, A.M. (2016). Nano chitosan-NPK fertilizer enhances the growth and productivity of wheat plants grown in sandy soil. *Spanish Journal of Agricultural Research*, 14, 1-9. <http://dx.doi.org/10.5424/sjar/2016141-8205>
- 2) Al-juthery, H., Al-taee, R , Al-Obaidi, Z., Ali, E and Al-Shami, E. (2019). Influence of foliar application of some nano-fertilizers in growth and yield of potato under drip irrigation. In *Journal of Physics: Conference Series* Vol. 1294. <http://doi:10.1088/1742-6596/1294/9/092024>
- 3) Burgerhartstraat, S. (1995). Applications of Phosphorus Compounds. *Studies in Inorganic Chemistry. Elsevier* 20, 501-627. <https://doi.org/10.1016/B978-0-444-89307-9.50011-8>
- 4) Elshamy, M. T., Husseiny, S. M., & Farroh, K. Y. (2019). Application of nano-chitosan NPK fertilizer on growth and productivity of potato plant. *Journal of Scientific Research in Science*, 36(1), 424-441. <https://doi.org/10.21608/jsrs.2019.58522>
- 5) Kanjana, D. (2020). Foliar application of magnesium oxide nanoparticles on nutrient element concentrations, growth, physiological, and yield parameters of cotton. *Journal of Plant Nutrition*, 43(20), 3035-3049. <https://www.tandfonline.com/doi/full/10.1080/01904167.2020.1799001>
- 6) Guha, T., Gopal, G., Kundu, R. (2020). Nanocomposites for Delivering Agrochemicals: A Comprehensive Review. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 68(12), 3691-3702. <https://dx.doi.org/10.1021/acs.jafc.9b06982>.
- 7) Maghsoodi, M., Ghodszad, L., Lajayer, B. (2020). Dilemma of hydroxyapatite nanoparticles as phosphorus fertilizer: Potentials, challenges and effects on plants. Vol 19. <https://doi.org/10.1016/j.eti.2020.100869>
- 8) Martínez, G., Merinero, M., Pérez, M., Pérez, E., Ortiz, T (2021). Environmental Impact of Nanoparticles' Application as an Emerging Technology: A Review. *Materials*, 14(1), 166. <https://doi.org/10.3390/ma14010166>.
- 9) Costales-Menéndez, D., & Falcón-Rodríguez, A. B. (2018). Combinación de formas de aplicación de quitosano en el desarrollo de soya biofertilizada. *Cultivos Tropicales*, 39(3), 71-79. <http://scielo.sld.cu/pdf/ctr/v41n4/1819-4087-ctr-41-04-e07.pdf>
- 10) Niu, J., Liu, Ch., Huang, M., & Yan, D. (2020). Effects of Foliar Fertilization: a Review of Current Status and Future Perspectives *Journal of Soil Science and Plant Nutrition*, 21, 104-118. <https://doi.org/10.1007/s42729-020-00346-3>
- 11) Pandey, G. (2020) Agri-nanotechnology for sustainable agriculture. *Ecological and Practical Applications for Sustainable Agriculture*, 229-249. https://doi.org/10.1007/978-981-15-3372-3_11