






Greenhouse lettuce production fertilized with sargassum extract or vermicompost leachate

Producción de lechuga en invernadero fertilizada con extracto de sargazo o lixiviado de vermicomposta

Ana Patricia Juárez-Rangel¹ , Aida Solís-Oba² , Rubria Marlen Martínez-Cásares² , Rigoberto Castro-Rivera¹ , Maria Myrna Solís-Oba^{1*} 

¹Instituto Politécnico Nacional, Centro de Investigación en Biotecnología Aplicada, Mexico. ²Universidad Autónoma Metropolitana, Unidad Xochimilco, Mexico.

*Corresponding author

E-mail address: myrnasolis_ipn@yahoo.com (M.M. Solís-Oba)

Article history:

Received: 25 August 2022 / Received in revised form: 28 November 2022 / Accepted: / 3 December 2022 / Published online: 3 January 2023.

<https://doi.org/10.29267/mxjb.2023.8.1.21>

ABSTRACT

The presence of sargassum on the Caribbean coast causes ecological problems, as does the sludge from water treatment plants. Fertilizers like NutrKam (sargassum extract) and Biofertex (leachate from the vermicomposting of sludge from a textile plant) have been prepared from these two materials. Both biostimulants were applied to a lettuce crop in a greenhouse, the doses were 2, 5, 7.5, 10 and 20% by volume, the results were compared with urea fertilization. At eight weeks, height, number of green leaves and senescent leaves, fresh and dry weight, antioxidant capacity, and flavonoid content were evaluated. With NutrKam at 5, 10 and 20% and Biofertex at 7.5, 10 and 20%, the height of the leaves was statistically equal to that obtained with urea; there was no significant difference in the weight of leaves when fertilizing with 20% NutrKam, 7.5% Biofertex and urea. With all the treatments, except with Biofertex at 10 %, the antioxidant content was higher than that of lettuces fertilized with urea. The use of both materials to prepare fertilizers is an attractive alternative, since on the one hand the pollution caused by their inadequate disposal is reduced, and on the other, their

agricultural application would help reduce the use of chemical fertilizers, without impairing the yield and crop properties.

Keywords: algae, antioxidants, lettuce, sludge

RESUMEN

La presencia de sargazo en las costas del Caribe ocasiona problemas ecológicos, al igual que el lodo de las plantas de tratamiento de agua. A partir de esos dos materiales se han preparado los fertilizantes Nutrkam (extracto de sargazo) y Biofertex (lixiviado del vermicompostaje de lodos de una planta textil). Los dos bioestimulantes vegetales se aplicaron a un cultivo de lechuga en invernadero, las dosis fueron 2, 5, 7.5, 10 y 20% en volumen, los resultados se compararon la fertilización con urea. A las ocho semanas, se evaluaron altura, número de hojas verdes y hojas senescentes, peso fresco y seco, capacidad antioxidante y contenido de flavonoides. Con NutrKam al 5, 10 y 20% y Biofertex al 7.5, 10 y 20% la altura de las hojas fue estadísticamente igual a la obtenida con urea; no hubo diferencia significativa en el peso de hojas al fertilizar con NutrKam al 20%, Biofertex al 7.5% y urea. Con todos los tratamientos, excepto con Biofertex al 10 %, el contenido de antioxidantes fue mayor que el de las lechugas fertilizadas con urea. El uso de ambos materiales para elaborar fertilizantes es una alternativa atractiva, ya que por un lado se reduce la contaminación que ocasionan por su inadecuada disposición, y por otro lado su aplicación agrícola ayudaría a reducir el uso de fertilizantes químicos, sin menoscabo del rendimiento y propiedades del cultivo.

Palabras clave: alga, antioxidantes, lechuga, lodos

1. INTRODUCCIÓN

La lechuga (*Lactuca sativa* L.) es de los cultivos de mayor importancia a nivel mundial, su alto consumo se debe a su bajo aporte calórico por su alto contenido de agua, así como por su elevado valor nutricional debido a su contenido de proteínas, carbohidratos, calcio, fósforo y vitamina A (Al-Leela *et al.*, 2019). Generalmente, para aumentar la producción de lechuga se aplica fertilización química, sobre todo con fuentes nitrogenadas, donde la más común es la urea (Sylvestre *et al.*, 2019). Los requerimientos nutricionales de la lechuga dependen de varios factores, entre ellos las condiciones ambientales, disponibilidad de nutrientes del suelo, el contenido de materia orgánica, la humedad, la producción y la calidad esperada del cultivo, así como la variedad y genotipo (Proain, 2020; AGBA, 2021). El nitrógeno es un nutriente muy importante porque es componente de las proteínas y los cloroplastos, pero un exceso de este aplicado en la fase de crecimiento ocasiona alteraciones en el crecimiento, generando hojas excesivamente grandes y frágiles, lo cual obstaculiza su manejo (Aruani *et al.*, 2008), además el uso excesivo de fertilizantes nitrogenados puede tener una influencia negativa en los ecosistemas (Solís-Oba *et al.*, 2020) y en la salud humana. Diferentes productores de lechuga recomiendan dosis diferentes de fertilizantes, por ejemplo, Proain (2020) recomienda la aplicación por hectárea de 100 kg de N como urea. En Brasil se sugiere la aplicación entre 60-120 kg/ha en

invernadero (Aguiar *et al.*, 2015). En el estado de Tlaxcala, según información directa de los agricultores de Tepetitla de Lardizábal, la fertilización de la lechuga la realizan únicamente con urea a una dosis de 80 Kg N/ha. Aquino *et al.* (2007) reportaron que se han utilizado hasta 150 kg N/ha, pero el N total que absorbieron los brotes de las plantas fue de 57.9 kg/ha. Además de la pérdida económica por la baja recuperación de N por las plantas, la lixiviación de N en tierras agrícolas es una fuente importante de contaminación por NO₃ en el agua dulce (Di y Cameron, 2007; Sylvestre *et al.*, 2019). Algunos estudios han demostrado que puede haber un desarrollo óptimo de la lechuga con dosis relativamente bajas de fertilizantes nitrogenados (Sylvestre *et al.*, 2019; Mahlangu *et al.*, 2016).

Por todo lo anterior se ha estado promoviendo el estudio de otras fuentes de fertilización bajas en nitrógeno que incrementen la producción y calidad de la lechuga. Como es el uso de los bioestimulantes vegetales, definidos como cualquier sustancia o microorganismo aplicado a las plantas con el objetivo de mejorar la nutrición, características de eficiencia, tolerancia al estrés abiótico y/o calidad del cultivo, independientemente de su contenido de nutrientes (Ottaiano *et al.*, 2021; du Jardin, 2015).

Por otro lado, recientemente se ha registrado un incremento en las cantidades de algas marinas en los océanos, este fenómeno no se entiende por completo, pero se considera que algunos factores como la temperatura, nutrientes derivados de las actividades agrícolas y otros contaminantes que llegan a los mares, cambios en las corrientes marinas, entre otros, han acelerado su velocidad de crecimiento y reproducción (Saldarriaga-Hernández *et al.*, 2020). Desde 2014, se ha reportado el arribo de cantidades inusuales de *Sargassum fluitans* y *Sargassum natans* a las costas del Caribe mexicano. En septiembre del 2015, se cuantificaron 2360 m³ de algas por km entre Cancún y Puerto Morelos (Rodríguez-Martínez *et al.*, 2019). Esto ocasionó graves problemas ambientales debido a que la descomposición de las algas produjo diversos compuestos que alteraron la calidad del agua, ocasionando mortalidad masiva de peces, crustáceos, equinodermos y moluscos (Rodríguez-Martínez *et al.*, 2019). Además, el arribo de estas algas ha ocasionado daños a las actividades de pesca, turismo, así como daños a la salud humana; algunos metabolitos secundarios de las algas tienen efectos alelopáticos (Hassan & Ghareib, 2009).

Las algas contienen diversas fitohormonas como auxinas, giberelinas, citoquininas, ácido abscísico, etileno, betaínas, poliamidas, trazas de vitaminas, aminoácidos, antibióticos y micronutrientes (Panda *et al.*, 2012). Debido a lo anterior, las algas se han utilizado para elaborar bioestimulantes vegetales (Romero-Rodríguez *et al.*, 2022). Dichos bioestimulantes ayudan a mantener la humedad, suministran nutrientes, reducen el catabolismo de la clorofila e incrementan el desarrollo y calidad de los cultivos, además de aumentar el metabolismo del carbono y nitrógeno mediante los sistemas enzimáticos (di Mola *et al.*, 2019).

Otros materiales susceptibles de utilizarse en la agricultura son los lodos de las plantas de tratamiento de aguas. La industria textil se ha caracterizado por la elevada producción de estos lodos, por lo que se han propuesto varias alternativas para la

disposición de estos materiales, como el envío a rellenos sanitarios, incineración o aprovecharlos en la agricultura (Narváez-Ortiz *et al.*, 2014). El uso de lodos en la agricultura es una forma atractiva de disponerlos, ya que son una fuente de materia orgánica y nutrientes para las plantas, principalmente N y P; además mejoran las propiedades físicas del suelo, como la retención de agua, la estabilidad de sus agregados y aireación del suelo (Sönmez & Bozkurt, 2006).

El objetivo de este trabajo fue evaluar el uso de dos bioestimulantes vegetales con bajo contenido de nitrógeno en un cultivo de lechuga a nivel invernadero, uno fue un extracto de sargazo y el otro un lixiviado de vermicomposta, que se elaboró con los lodos de la planta de tratamiento de aguas de una empresa textilera. El estudio se hizo buscando dar un uso a estos materiales en beneficio del medio ambiente, además de proponer una alternativa para que los productores de hortalizas en Tlaxcala reduzcan el uso de la urea, sin que disminuya el rendimiento y calidad de los cultivos.

2. MATERIALES Y MÉTODOS

2.1 Materiales

Una muestra del suelo de una parcela agrícola del Centro de Investigación en Biotecnología Aplicada, Tepetitla de Lardizábal, se mezcló con 7% de vermicomposta comercial, y se utilizó como sustrato para la producción de la lechuga. El sustrato se analizó en el laboratorio de Nutrición Vegetal del Centro Interdisciplinario de Investigación para el Desarrollo Integral Regional, Unidad Sinaloa, del Instituto Politécnico Nacional, de acuerdo con la norma NOM-021-RECNAT-2000, los resultados se muestran en la tabla 1. La norma citada tiene por objetivo establecer las especificaciones técnicas de muestreo y análisis de fertilidad, salinidad y clasificación de suelos, a partir de sus características específicas de constitución, formación y distribución.

Tabla 1. Caracterización del sustrato empleado en el cultivo de lechuga.

Table 1. Characterization of the substrate used in the lettuce crop.

Parámetro	Sustrato	NOM-021- RECNAT-2000	Clasificación según la NOM-021- RECNAT-2000
pH	7.7	6.6- 7.3	Neutro
Conductividad Eléctrica (dS/m)	2.58	2.1-4.0 dS/m	Salinidad moderada
Materia Orgánica (%)	1.6	1.6-3.5 %	Media
Nitrógeno (%)	0.1	0.1-0.15 %	Medio
Fosforo (mg/Kg)	7.5	5.5-11 mg/Kg	Medio
Potasio (cmol/kg)	1.55	>0.6 cmol/kg	Alto

Los fertilizantes utilizados fueron:

NutrKam, producto comercial de la empresa Dianco S.A. de C.V., obtenido a partir del sargazo que arriba a las costas del Caribe mexicano, se comercializa como extracto de algas. En su etiqueta indica que contiene 1.5 % de nitrógeno, 0.09 % de fósforo, 8.5 % de potasio y micronutrientes.

Biofertex, es un producto consistente en el lixiviado de la vermicomposta que se elabora con los lodos de la planta de tratamiento de agua de la empresa textil Carolina Performance. Contiene 0.09 % de nitrógeno, 0.006 % de fósforo, 0.07 % de potasio y micronutrientes.

Se realizó la prueba de fitotoxicidad a ambos fertilizantes de acuerdo con la metodología de Rodríguez *et al.* (2014). Ninguno de los fertilizantes resultó ser fitotóxico.

2.2 Cultivo de lechuga

Las macetas de plástico seleccionadas se llenaron con 3 Kg de sustrato y en cada macera se trasplantó una plántula de lechuga (*L. sativa* L. var Longifolia) de aproximadamente 8 cm de altura, las plántulas se compraron a un productor de Acatzingo, Puebla. Las macetas se colocaron en invernadero con una distribución al azar. Después de tres semanas del trasplante se inició la fertilización.

2.3 Fertilización

El diseño experimental fue un factorial 2x5, considerando dos fertilizantes (Nutrkam y Biofertex) aplicados a 5 concentraciones (2.5, 5, 7.5, 10 y 20 % v/v); las notaciones de los tratamientos de acuerdo a la concentración utilizada, fueron N2.5, N5, N7.5, N10, N20 para Nutrkam y B2.5, B5, B7.5, B10, B20 para Biofertex. Cada maceta se fertilizó quincenalmente con 200 mL de cada una de las soluciones mencionadas. En Tepetitla de Lardizábal, Tlaxcala, el cultivo de lechuga se fertiliza con 80 kg N/ha (1.9 g urea por maceta, C+), por lo que este fue el punto de referencia para comparar con la biofertilización. La urea se aplicó tres semanas después del trasplante de las plántulas (Nicoletto *et al.*, 2014). El efecto de la aplicación de los fertilizantes se comparó con la lechuga que creció sin fertilizante (C-). En total, se aplicaron 11 tratamientos de fertilización y un C-, con tres repeticiones cada uno. En la tabla 2 se muestra la cantidad total de nitrógeno adicionado con cada tratamiento. Dentro del invernadero se monitorearon las temperaturas, humedad relativa e intensidad luminosa dentro del invernadero con un equipo hobo Data logging Onset U12-012. Las temperaturas fluctuaron entre -5° y 41°C, con promedio de 17°C. La humedad relativa estuvo entre 70.5 y 72.79%, con promedio de 71.8%, y la intensidad luminosa osciló entre 3376 y 5488 lux, con promedio de 4392 lux.

Tabla 2. Cantidad total de nitrógeno suministrado por la adición de los fertilizantes.
Table 2. Amount of Nitrogen added by fertilization.

Tratamiento	N (Kg/ha)	Tratamiento	N (Kg/ha)
N2.5	2.69	B2.5	1.62
N5	5.38	B5	3.24
N7.5	8.06	B7.5	4.85
N10	10.75	B10	6.47
N20	21.51	B20	12.94
Urea	80		

2.4 Análisis realizado a la lechuga

Después de 8 semanas, se cosecharon las lechugas, se determinó la altura, número de hojas verdes y senescentes, peso fresco y seco.

Contenido de antioxidantes y flavonoides: 5 g de hoja se colectaron y se homogeneizaron con 15 mL de una mezcla de etanol:agua 80:20, se mantuvieron en un agitador orbital por una hora y se centrifugaron a 1458 rpm durante 15 minutos (Panuccio *et al.*, 2019), el sobrenadante se separó para los análisis posteriores.

Cuantificación de antioxidantes por DPPH: En una placa de 96 micro-pozos se mezclaron 180 μ L de 2,2-difenil-1-picohidrazil (DPPH) 0.06 mM, 10 μ L del sobrenadante y 10 μ L de metanol:agua (80:20). Las mezclas se dejaron en la oscuridad por 60 minutos y se determinó la absorbancia a 515 nm, en un espectrofotómetro digital (Thermo scientific-multiskan go), el análisis se realizó por triplicado. Se preparó una curva de calibración con Trolox, los resultados se expresaron en μ g de Trolox por g de muestra (Mahlangu *et al.*, 2016).

Cuantificación de flavonoides: Se determinó siguiendo la metodología de Solís-Oba *et al.* (2020), se mezclaron 100 μ L del sobrenadante con 1.25 mL de agua y 75 μ L de NaNO₂ al 5%, la mezcla se dejó en reposo 6 minutos a temperatura ambiente, luego se añadieron 150 μ L de AlCl₃ al 10%, después de 5 minutos se añadieron 500 μ L de NaOH 1M. La absorbancia de la mezcla de reacción se determinó a 510 nm, en un espectrofotómetro digital (Thermo scientific-multiskan go), el análisis se realizó por triplicado. Se utilizó una solución de quercetina para la curva de calibración, los resultados fueron expresados en μ g equivalentes de quercetina por gramo de lechuga.

2.5 Análisis estadístico

Para la estimación del efecto de los tratamientos en el crecimiento y contenido de antioxidantes, se utilizó el programa SAS 9.0 (SAS Institute Inc., Cary, NC, EE. UU.). El diseño experimental para asignar los tratamientos fue completamente al azar, las variables se describieron como la media de sus valores. La estandarización de las variables se realizó mediante la corrección de Shapiro-Wilk. Para datos no distribuidos normalmente se realizó una transformación (Jonhson) y la homocedasticidad se analizó mediante la prueba de Levene. Se realizaron análisis de varianza (ANOVA) de una vía previo a la prueba de comparación de medias post hoc de Tukey-Kramer, se utilizó un nivel de significancia considerando un $\alpha = 0.05$.

3. RESULTADOS

3.1 Características de las lechugas cosechadas fertilizadas con NutrKam, Biofertex, urea y sin fertilizante

Después de las 8 semanas de cultivo de lechuga fertilizada con diferentes concentraciones de los fertilizantes NutrKam (N), Biofertex (B), urea (C+) y sin fertilizante (C-) se cosecharon las lechugas, a las cuales se les midió el peso fresco y seco, altura, número de hojas verdes y hojas senescentes. Cabe mencionar que entre los parámetros más importantes para la comercialización de lechuga están la altura, el número y el peso de hojas. En la Fig. 1 se muestra la diferencia entre los valores de las propiedades medidas a las lechugas fertilizadas, en comparación con las lechugas obtenidas sin fertilización. En general, las lechugas cultivadas de C- tuvieron los resultados más bajos de los parámetros evaluados. También se observó que la mejora en las características de las lechugas fertilizadas con N2.5, N5, N7.5 y N10 fue como máximo 30% con respecto a C-. Las lechugas que se cultivaron en presencia de N.20, Biofertex en todas las concentraciones y C+ tuvieron valores de altura, peso y número de hojas mayores, en al menos un 50%, que las que no fueron fertilizadas.

Las lechugas con mayor altura fueron las obtenidas de C+, las menores fueron las de B2.5, B.5 y C-, mientras que la altura de las obtenidas con B7.5, B10, B20 y N20 fue intermedia entre C- y C+, como se observa en la Fig.2. Con respecto al número de hojas verdes, las lechugas fertilizadas con urea tuvieron 17 hojas más que las plantas no fertilizadas, con N20 tuvieron 14 hojas más y con las diferentes concentraciones de Biofertex de 6 a 16 hojas y, en el caso del Biofertex, el máximo de hojas se obtuvo al aplicar 7.5 % de fertilizante, mientras que con Nutrkam fue con el 20% de fertilizante. Esto se puede explicar debido a que las propiedades nutricionales de ambos fertilizantes son diferentes. Con todos los tratamientos se obtuvo estadísticamente el mismo número de hojas senescentes, que con las plantas sin fertilización y con las fertilizadas con urea, es decir, la fertilización no afectó la senescencia de las hojas.

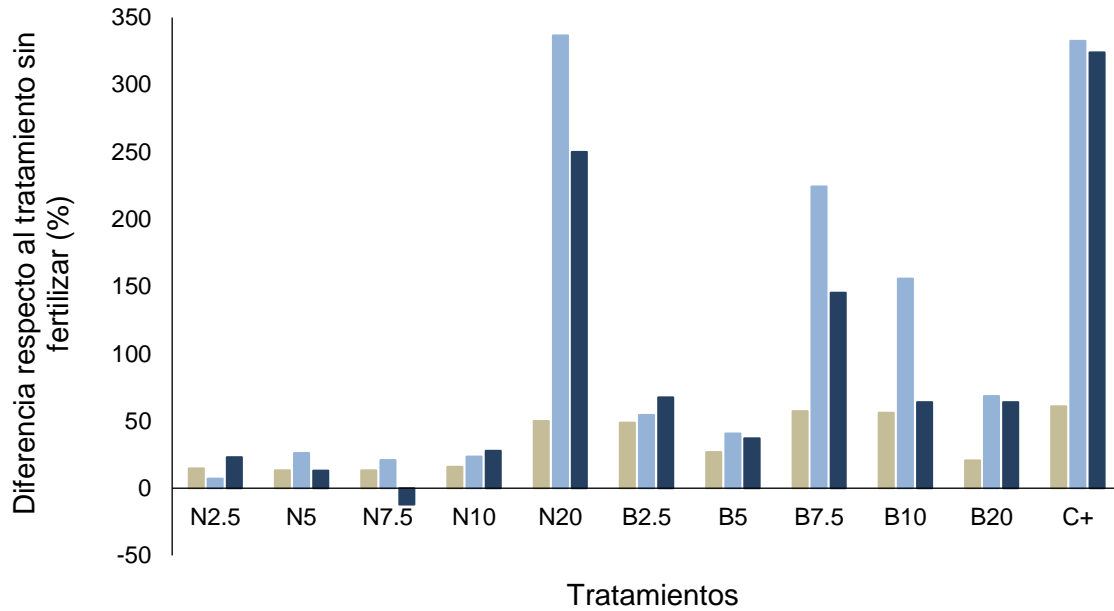


Fig. 1. % de diferencia en las características de las lechugas fertilizadas con Nutrkam, Biofertex y urea con respecto a las plantas sin fertilizar: Altura (■), número de hojas (■) y peso fresco (■).

Fig. 1. % of difference in the characteristics of lettuce fertilized with Nutrkam, Biofertex and urea. Height (■), number of leaves (■), and fresh weight (■).

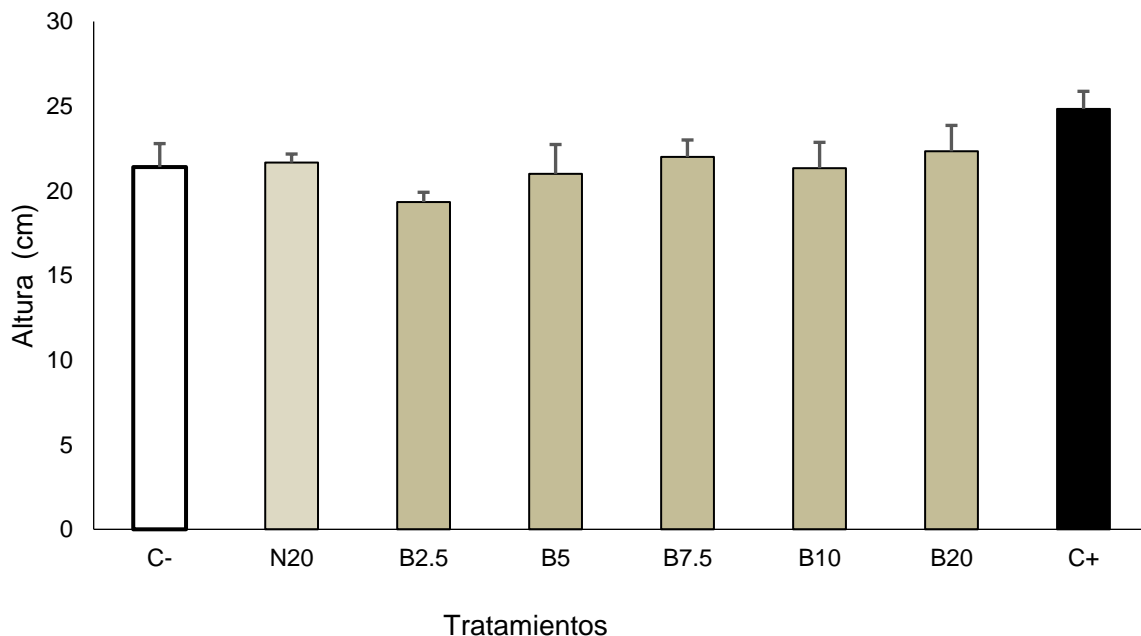


Fig. 2. Altura de las lechugas cultivadas con los fertilizantes Nutrkam, Biofertex, urea y sin fertilizar. C- (□), N20 (□), Biofertex (■), C+ (■).

Fig. 2. Height of the lettuce fertilized with Nutrkam, Biofertex, urea and unfertilized. C- (□), Nutrkam (□), Biofertex (■), C+ (■).

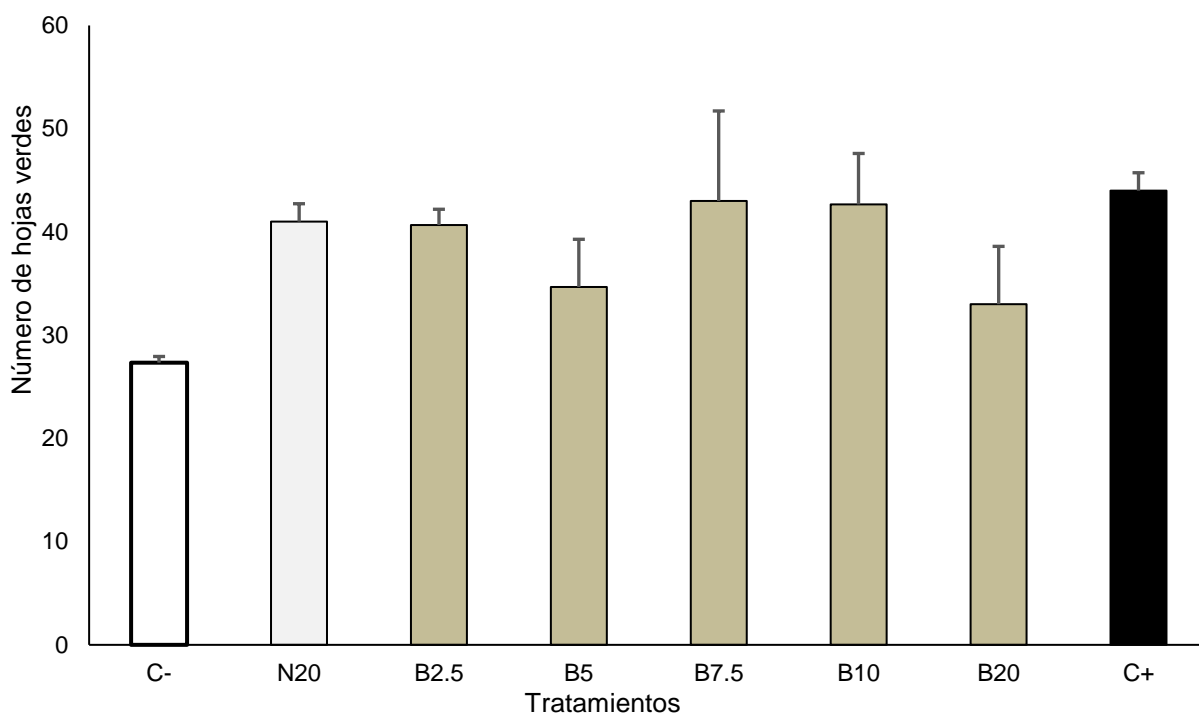


Fig. 3. Número de hojas de las lechugas obtenidas con los fertilizantes N20 (□), dosis de Biofertex (■), urea (C+, ■) y sin fertilizar (C-, □).

Fig. 3. Number of lettuce leaves obtained with fertilizers N20 (□), Biofertex doses (■), urea (C+, ■) and without fertilizer (C-, □).

La fertilización favoreció el crecimiento de lechugas con mayor peso fresco, en comparación con las que no recibieron ningún tipo de fertilización (Tabla 3). Las lechugas que crecieron en presencia de N20 y B7.5 tuvieron un peso mayor 3.4 y 3.2 veces, respectivamente, que las lechugas no fertilizadas (Tabla 3). Con Biofertex se observó un incremento en el peso conforme aumentó la dosis de fertilizante hasta 7.5%, después fue disminuyendo con el aumento en la dosis de fertilizante. La altura, número de hojas y el peso fresco estuvo relacionado con la cantidad y fertilizante aplicado. En el caso del Nutrkam, tanto el número de hojas promedio como el peso promedio de hoja incrementaron al aumentar la concentración, de tal forma que los máximos valores se obtuvieron al adicionar 20 % de Nutrkam. En el caso del Biofertex, los máximos para ambas variables se obtuvieron al aplicar 7.5 % de fertilizante.

Tabla 3. Pesos fresco y seco de las lechugas cosechadas usando N20, las diferentes dosis Biofertex, urea y sin fertilizar.

Table 3. Fresh and dry weight of the lettuce crop adding N20, different doses of Biofertex, urea and without fertilizer.

Tratamiento	Peso fresco (g)	Peso seco (g)
N20	159.4 ab	12.6 a
B2.5	73.1 bc	6.0 ab
B5	66.6 bc	4.9 bc
B7.5	153.5 ab	8.8 ab
B10	121.1 ab	5.9 ab
B20	79.7 bc	5.9 bc
C+	204.8 a	15.5 a
C-	47.3 c	3.6 c

Letras iguales en columnas indican que no hay diferencia estadística $p < 0.05$, prueba Tukey

3.2 Cantidad de antioxidantes y flavonoides

A diferencia de las características físicas de las lechugas, que fueron más altas cuando se les fertilizó con urea, la cantidad de antioxidantes, medidos como DPPH y flavonoides fue menor que las fertilizadas con Nutrkam y Biofertex, y aun que en las lechugas sin fertilizar (Tabla 4). Se observó a que a mayor cantidad de fertilizante (B10, B20y N20) la cantidad de antioxidantes fue menor, mientras que con las menores concentraciones de Nutrkam (N2.5, N5 y N7.5) se obtuvieron las mayores cantidades de antioxidantes, superando en 47% a las registradas en las lechugas fertilizadas con la urea. La aplicación de Biofertex no fue tan eficiente en favorecer la producción de antioxidantes, ya que la cantidad de estos fue menor que en las lechugas sin fertilizar (Tabla 4).

De manera similar a la producción de antioxidantes, la cantidad de flavonoides fue mayor con la concentración más bajas de Nutrkam, N2.5, y fue disminuyendo al aumentar la concentración. También Biofertex fue menos eficiente que Nutrkam para promover la producción de flavonoides en las lechugas fertilizadas. Las cantidades de flavonoides obtenidos con N2.5, N5 y N7.5 superaron a la obtenido en las plantas sin fertilizar.

Tabla 4. Cantidad de antioxidantes y flavonoides en las lechugas fertilizadas con Nutrkam, Biofertex, urea y sin fertilizante.

Table 4. Quantity of antioxidants and flavonoids in the lettuces fertilized with Nutrkam, Biofertex, urea, and without fertilizant

Tratamiento	DPPH ($\mu\text{g/g}$ hoja)	Flavonoides ($\mu\text{g/g}$ hoja)
N2.5	1009.8 ^a	559.6 ^a
N5	1004.5 ^a	422.9 ^b
N7.5	1008.3 ^a	409.6 ^b
N10	865.1 ^d	264.0 ^{de}
N20	790.8 ^e	222.9 ^{ef}
B2.5	865.1 ^{cd}	342.9 ^c
B5	928.8 ^b	306.2 ^{cd}
B7.5	817.8 ^{de}	290.7 ^{cd}
B10	580.8 ^g	111.8 ^g
B20	783.3 ^e	177.3 ^f
C+	684.3 ^f	225.1 ^{ef}
C-	921.3 ^{bc}	332.9 ^c

4. DISCUSIÓN

En algunos países como Italia, el cultivo de lechuga se hace bajo estricto manejo agronómico para evitar la acumulación de nitratos en las hojas (di Mola *et al.*, 2019). Castro *et al.* (2009) reportan que los vegetales son la mayor fuente de exposición humana a los nitratos, los cuales son relativamente no tóxicos, pero aproximadamente el 5 % de los nitratos ingeridos se convierten en nitritos, los cuales son tóxicos, ya que interactúan con la hemoglobina ocasionando la metahemoglobinemia, una deficiencia en el transporte de oxígeno. Por lo anterior, en este estudio se utilizaron fertilizantes con bajo contenido de nitrógeno y se comparó con la práctica de producción de lechuga que se sigue en Tepetitla de Lardizábal, que es mediante la fertilización únicamente con urea. Los bioestimulantes vegetales preparados de diferentes fuentes como los extractos de algas o los lixiviados de vermicomposta, tienen las ventajas sobre la fertilización con urea, que son altamente eficientes aun cuando la cantidad que contienen de nitrógeno y otros minerales es mucho menor que la que se suministra al suelo por medio del fertilizante químico. Las dosis más altas de nitrógeno que se suministraron con los fertilizantes orgánicos fueron 27 y 16% del N proporcionado con la urea, empleando N20 y B20 respectivamente, lo cual es una reducción importante del N suministrado. A pesar de que se aplicaron dosis menores de N que con el uso de la urea, de las Figs. 2 y 3 y tablas 3 y 4 se puede observar que con ambos fertilizantes se obtuvieron resultados buenos en el crecimiento de las lechugas comparado con el uso únicamente de urea. Ambos fertilizantes orgánicos pueden ser materiales cuya

aplicación reduzca el uso de dicho compuesto químico, con las correspondientes ventajas ecológicas y a la salud humana.

De acuerdo con el análisis del sustrato y comparando con la NOM-021-RECNAT-2000, que establece las especificaciones de fertilidad, salinidad y clasificación de suelos, el sustrato tuvo dosis medias de materia orgánica, N y P, así como una dosis alta de K; el pH estuvo en valor neutro, esto es importante, ya que hay autores que indican que a este valor de pH los nutrientes están más biodisponibles (Solis-Oba *et al.*, 2020); sin embargo los nutrientes presentes en el suelo no fueron suficientes para lograr el crecimiento de la lechuga, de ahí que las plantas sin la adición extra de fertilizante tuvieron las alturas más bajas, menor peso y menor número de hoja. Con el uso de los fertilizantes orgánicos se aportaron nutrientes y micronutrientes, así como otros compuestos como fitohormonas, en el caso del extracto de sargazo (Panda *et al.*, 2012), que favorecieron el crecimiento de la lechuga sin requerir de grandes cantidades de N, de tal forma que hubo tratamientos donde se obtuvieron estadísticamente resultados iguales que con la fertilización con urea.

En el caso de los antioxidantes, se observó que, con las menores concentraciones de Nutrkam (N2.5, N5 y N7.5) se obtuvieron las mayores cantidades de antioxidantes, superando en 47% a las registradas con la aplicación de urea. di Mola *et al.* (2019), indican que la deficiencia de nitrógeno estimula la biosíntesis de compuestos fenólicos y antioxidantes como respuesta a su baja disponibilidad, esto explica por qué en las plantas fertilizadas con urea se obtuvo la menor cantidad de antioxidantes. También se cuantificó la cantidad de flavonoides, las cantidades mayores se obtuvieron al aplicar las concentraciones más bajas de fertilizantes (N2.5, N5, N7.5, B2.5, B5, B7.5), en todos estos casos fueron entre 29 y 148 % mayores comparadas con la de las plantas fertilizadas químicamente. Las cantidades de flavonoides obtenidas con N2.5, N5 y N7.5 superaron también a las de las plantas sin fertilizar. Estos valores fueron superiores a lo reportado por Gan & Azrina (2016), quienes obtuvieron valores de 2.28 a 21.96 mg equivalentes de quercetina/100 g de lechuga.

Si bien hay escasos reportes donde se haya aplicado en cultivo de lechuga el lixiviado de vermicomposta obtenida de lodos de las plantas de tratamiento de agua, hay algunos trabajos donde aplicaron los lodos provenientes de ese tipo de plantas de tratamiento de agua. Los resultados obtenidos en este trabajo mostraron que el Biofertex incrementó el desarrollo de la lechuga, y son similares a algunos reportes donde se aplicaron lodos, por ejemplo, Sönmez & Bozkurt (2006) aplicaron 20, 40 y 80 ton/ha de lodos de una planta de tratamiento en un cultivo de lechuga, las cuales tuvieron mayores pesos, alturas y número de hojas con respecto al testigo, el mayor peso se obtuvo con la mayor cantidad de lodos; dichos autores concluyeron que el incremento en el rendimiento y crecimiento fue atribuido a la biodisponibilidad de los nutrientes del suelo y en menor medida a la mejora de la estructura del suelo. En cuanto al contenido de antioxidantes, Narváez-Ortiz *et al.* (2014) observaron que la capacidad antioxidante aumentó en 4.63 % al aplicar lodos textiles a una concentración del 5 % comparada con el testigo, y reportan que la aplicación de lodos al 5% mostró mayor cantidad de antioxidantes en comparación con el 10, 15 y 20 % de lodos. Por otro lado, los resultados de la tabla 3 contrastan con lo reportado por Narváez-Ortiz *et*

al. (2014), quienes utilizaron turba de musgo y perlita mezcladas con lodo textil en concentraciones de 0, 5, 10, 15 y 20 %, encontraron que la biomasa no se vio afectada por la aplicación de lodos textiles, cuyos valores fueron estadísticamente iguales al testigo; pero al aplicar 20% de lodo textil hubo una disminución en el peso de lechuga comparado con el testigo; argumentan que esta disminución pudo deberse a la salinidad, ya que la presencia de sales en alta concentración se asocia con menor biomasa y disminución de la capacidad fotosintética.

La mejora en el desarrollo de las plantas fertilizadas con Nutrkam puede en parte explicarse porque se ha reportado que la aplicación de extractos de algas en cultivos de hojas verdes, como la lechuga, estimula diversos procesos fisiológicos y moleculares, resultando en el crecimiento, mejora en productividad, calidad nutricional y tolerancia a estrés abiótico, tales como la sequía, salinidad, temperaturas extrema y reducción de nutrientes (di Mola *et al.*, 2019); además, dichos extractos son fuente de elementos que estimulan el desarrollo vegetal, como Na, Mg, S, Cl y Ca (Subbarao *et al.*, 2003). Otros autores han reportado un efecto bioestimulante de extractos de alga en la lechuga, ocasionando mayor producción de biomasa que en ausencia de fertilizantes, como Puglisi *et al.* (2020) reportaron resultados similares al utilizar un extracto de *Scenedesmus quadricauda*; Al Kopta *et al.* (2018) usaron una mezcla de bacterias (*Bacillus licheniformis*, *Bacillus megatherium*, *Azotobacter sp.*, *Azospirillum sp.* y *Herbaspirillum sp.*) con alga fresca *Chlorella vulgaris* aumentando en 22.7 % el peso fresco de la lechuga en verano y 18.9% en primavera, comparado con las no fertilizadas, asimismo reportaron un incremento en la capacidad antioxidante y la cantidad de carotenoides.

En este trabajo se comprobó que el extracto de las algas colectadas en el Caribe mexicano, así como al lixiviado que se recupera del vermicompostaje de lodos de una empresa textil, se pueden usar para la elaboración de fertilizantes orgánicos, aplicables al cultivo de la lechuga, de tal forma que se reduzca el uso de la urea. Estos materiales, aunque aportaron menor cantidad de nitrógeno comparado con la urea, es una cantidad suficiente para incrementar el desarrollo con respecto a las plantas sin fertilizar y, en algunas variables los resultados obtenidos fueron equiparable al uso de urea. En el caso de Nutrkam se sugiere su aplicación al 20% y el Biofertex al 7.5%. Si bien los mayores rendimientos de lechuga se obtuvieron con la aplicación de urea, con la fertilización orgánica el contenido de antioxidantes fue mayor comparado con la aplicación de la fertilización química. Para obtener la mayor cantidad de antioxidantes se recomienda la aplicación de Nutrkam al 2%.

AGRADECIMIENTOS

A la Secretaría de Investigación y Posgrado por el financiamiento para llevar a cabo el proyecto. Al Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología por la beca para la primera autora. A la empresa Dianco México S.A.P.I. de C.V. por la donación del Nutrkam y a la empresa Carolina Performance México por la donación del Biofertex.

CONFLICTO DE INTERESES

Los autores declaran que no existe conflicto de intereses.

REFERENCIAS

AGBA O.A. 2021. Lettuce cultivars response to NPK 15:15:15 fertilizer management practices N southern Nigeria. *Quest Journals Journal of Research in Agriculture and Animal Science*. 8(12): 47-52. <https://www.questjournals.org/jraas/papers/v8-i12/I08124752.pdf>.

Aguiar A.T., Gonçalves C., Paterniani M.E.A.G.Z., Tucci M.L.S. & Castro C.E.F. 2014. Instruções agrícolas para as principais culturas econômicas, Boletim 200, 7th ed. Instituto Agrônomo de Campinas. Instituto Agrônomo de Campinas, Campinas. <https://www.iac.sp.gov.br/publicacoes/arquivos/iacboletim200.pdf>

Al-Leela W.B.A., Al-Bayati H.J.M. & Rejab F.F. 2019. Effect of intercropping and ground adding of seaweed extracts on growth and yield of lettuce plant (*Lactuca sativus* L.). *Euphrates Journal of Agricultural Science*. 11(3): 98-105. <https://www.iasj.net/iasj/download/9e9c211411f9ec25>.

Aruani M.C., Gili P., Fernández L., González J.R., Reeb P. & Sánchez E. 2008. Utilización del nitrógeno en diferentes manejos de fertilización en lechuga (*Lactuca sativa* L.) y su efecto sobre algunas variables biológicas del suelo, Neuquen - Argentina. *Agro Sur* 36(3): 147-157. <https://inta.gob.ar/sites/default/files/script-tmp-aruani-et-al-2008-lechuga.pdf>.

Aquino L.A., Puiatti M., Abaurre M.E.O., Cecon P.R., Pereira P.R.G., Pereira F.H.F., Castro M.R.S. 2007. Yield, accumulation of nitrate, content and export of nutrients of lettuce cultivated under shade. *Horticultura Brasileira*. 25: 381–386. <https://doi.org/10.1590/S0102-05362007000300012>.

Castro E., Mañas M.P. & De las Heras J. 2009. Nitrate content of lettuce (*Lactuca sativa* L.) after fertilization with sewage sludge and irrigation with treated wastewater. *Food Additives & Contaminants Part A*. 26(2): 172-179. <https://doi.org/10.1080/02652030802425334>.

Di H.J. & Cameron K.C. 2007. Nitrate leaching losses and pasture yields as affected by different rates of animal urine nitrogen returns and application of a nitrification inhibitor a lysimeter study. *Nutrient Cycling in Agroecosystem*. 79: 281–290. <https://doi.org/10.1007/s10705-007-9115-5>.

di Mola I., Cozzolino E., Ottaiano L., Giardano M., Roupheal Y., Colla G. & Mori M. 2019. Effect of vegetal and seaweed extract based bioestimulants on agronomical and leaf quality traits of plastic tunnel grown baby lettuce under four regimes of nitrogen fertilization. *Agronomy Journal*. 9: 571. <https://doi.org/10.3390/agronomy9100571>.

du Jardin P. 2015. Plant biostimulants: Definition, concept, main categories and regulation. *Scientia Horticulturae*. 196:3-14

Gan Y. Z. & Azrina A. 2016. Antioxidant properties of selected varieties of lettuce (*Lactuca sativa* L.) commercially available in Malaysia. International Food Research Journal. 23(6): 2357-2362. https://www.researchgate.net/publication/312128095_Antioxidant_properties_of_selected_varieties_of_lettuce_Lactuca_sativa_L_commercially_available_in_Malaysia.

Hassan S. & Ghareib H.R. 2009. Bioactivity of *Ulva lactuca* L. acetone extract on germination and growth of lettuce and tomato plants. African Journal of Biotechnology. 8: 3832-3838. <https://www.ajol.info/index.php/ajb/article/view/62068>.

Kopta T., Pavlíková M., Sekara A., Pokluda R. & Maršálek B. 2018. Effect of bacterial-algal biostimulant on the yield and internal quality of Lettuce (*Lactuca sativa* L.) produced for spring and summer crop. Notulae Botanicae Horti Agrobotanici Cluj-Napoca. 46: 615-621. <https://doi.org/10.15835/nbha46211110>.

Mahlangu R.I.S, Maboko M.M., Sivakumar D., Soundy P. & Jifon J. 2016. Lettuce (*Lactuca sativa* L.) growth, yield and quality response to nitrogen fertilization in a non-circulating hydroponic system. Journal of Plant Nutrition. 39(12): 1766-1775. <https://doi.org/10.1080/01904167.2016.1187739>.

Narváez-Ortiz W.A., Benavides-Mendoza A., Vázquez-Badillo M.E. & Cabrera-de la Fuente M. 2014. Efecto de la aplicación de lodos crudos de la industria textil en la productividad y en la composición química de lechuga (*Lactuca sativa*) Revista Internacional de Contaminación Ambiental. 30(4): 379-391. <https://www.redalyc.org/pdf/370/37032503006.pdf>.

Nicoletto C., Santagata S., Zanin G. & Sambo P. 2014. Effect of the anaerobic digestion residues use on lettuce yield and quality. Scientia Horticulturae. 180: 207-213. <https://doi.org/10.1016/j.scienta.2014.10.028>.

Ottaiano L., Di Mola I., Cozzolino E., El-Nakhel C., Rouphael Y. & Mori M. 2021. Biostimulant application under different nitrogen fertilization levels: Assessment of yield, leaf quality, and nitrogen metabolism of tunnel-grown lettuce. Agronomy. 11(8):1613. <https://doi.org/10.3390/agronomy11081613>.

Panuccio M.R., Papalia T., Attinà E., Giuffrè A. & Muscolo A. 2019. Use of digestate as an alternative to mineral fertilizer: effects on growth and crop quality. Archives of Agronomy and Soil Science. 65(5): 700-711. <https://doi.org/10.1080/03650340.2018.1520980>.

Proain Tecnología Agrícola. Como detectar las deficiencias de los nutrientes en la lechuga. <https://proain.com/blogs/notas-tecnicas/como-detectar-las-deficiencias-de-los-nutrientes-en-la-lechuga>. (Consultado septiembre 11, 2020).

Puglisi I., la Bella E., Rovetto E.R., lo Piero A.R. & Baglieri A. 2020. Biostimulant effect and biochemical response in lettuce seedlings treated with a *Scenedesmus quadricauda* extract. *Plants*. 9(1): 123. <https://doi.org/10.3390/plants9010123>.

Rodríguez R.A.J., Robles S.C.A., Ruíz P.R.A, López L.E., Sedeño D.J.E & Rodríguez D.A. 2014. Índices de germinación y elongación radical de *Lactuca sativa* en el biomonitorio de la calidad del agua del río Chalma. *Revista Internacional de Contaminación Ambiental*. 30(3): 307-316. http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0188-49992014000300007.

Rodríguez-Martínez R.E., Medina-Valmaseda A.E., Blanchona P., Monroy-Velázquez L.V., Almazán-Becerril A., Delgado-Pechc B., Vásquez-Yeomans L., Francisco V & García-Rivase M.C. 2019. Faunal mortality associated with massive beaching and decomposition of pelagic *Sargassum*. *Pollution Bulletin*. 146: 201-205. <https://doi.org/10.1016/j.marpolbul.2019.06.015>.

Romero-Rodríguez A., Luna-Zendejas H.S., Solís-Oba A., Castro-Rivera R., Armenta-Bojórquez A.D. & Myrna Solís-Oba M. 2022. Evaluación de la calidad de tomate fertilizado con extracto de sargazo del Caribe mexicano y micorrizas. *Mexican Journal of Biotechnology*. 7(3): 15-31. <https://doi.org/10.29267/mxjb.2022.7.3.15>.

Saldarriaga-Hernández S., Hernández-Vargas G., Hafiz M.N., Iqbal D.B. & Parra-Saldívar R. 2020. Bioremediation potential of *Sargassum* sp. biomass to tackle pollution in coastal ecosystems: Circular economy approach. *Science of the Total Environment*. 715: 136978. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2020.136978>.

Solís-Oba A., Hernández-Rivadeneira J.I., Castro-Rivera R., Manjarrez N. & Solís-Oba M.M. 2020. Effect of composts produced from vegetable waste and/or manure on lettuce crop and their antioxidants content. *Mexican Journal of Biotechnology*. 5(2): 86-105. <https://doi.org/10.29267/mxjb.2020.5.2.86>.

Sönmez F. & Bozkurt M.A. 2006. Lettuce grown on calcareous soils benefit from sewage sludge. *Acta Agriculturae Scandinavica, Section B - Soil Plant Science*. 56 (1): 17-24.

Subbarao G.V., Ito O., Berry W.L. & Wheeler R.M. 2003. Sodium: a functional plant nutrient. *Critical Reviews in Plant Sciences*. 22: 391-416. <https://doi.org/10.1080/09064710510005813>.

Sylvestre T. de B., Braos L.B., Batistella F., Pessôa da Cruz M.C. & Ferreira M.E. 2019. Mineral nitrogen fertilization effects on lettuce crop yield and nitrogen leaching, *Scientia Horticulturae*. 255:153-160. <https://doi.org/10.1016/j.scienta.2019.05.032>.