

Uso de agua residual del cultivo de tilapia (*Oreochromis niloticus*) como una alternativa productiva en el cultivo de maíz (*Zea mays* L)

Use of wastewater from tilapia (*Oreochromis niloticus*) farming as a productive alternative in corn (*Zea mays* L) cultivation

Pérez-Somarriba E. B.^{1*}, Hernández-Espinoza K. M.²,
Avendaño-Díaz M. M.³, Hernández-Bautista M. F.³

 Pérez-Somarriba E. B.
benito.perez@ev.unanleon.edu.ni

 Hernández-Espinoza K. M.
karelia.hernandez@ct.unanleon.edu.ni

 Avendaño-Díaz M. M.
mercedesavendano9@gmail.com

 Hernández-Bautista M. F.
marlonher512@gmail.com

Autor de correspondencia: benito.perez@ev.unanleon.edu.ni

¹ Dirección Específica de Agroecología y Agronegocios, Universidad Nacional Autónoma de Nicaragua, León. Nicaragua

² Dirección Específica de Acuícola, Universidad Nacional Autónoma de Nicaragua, León. Nicaragua

³ Universidad Nacional Autónoma de Nicaragua, León. Nicaragua

Revista Iberoamericana de Bioeconomía y Cambio Climático
Universidad Nacional Autónoma de Nicaragua, León, Nicaragua
ISSN-e: 2410-7980

Periodicidad: Semestral
vol.10, núm.20, 2024

ribcc@ev.unanleon.edu.ni

Recepción: 16 Agosto, 2024
Aprobación: 12 Diciembre 2025

URL: <https://revistas.unanleon.edu.ni/index.php/REBICAMCLI/article/view/1073>

DOI: <https://doi.org/10.5377/ribcc.v10i20.21912>

Copyright © 2024 Rev. iberoam. bioecon. cambio clim. Universidad Nacional Autónoma de Nicaragua León (UNAN-León), Área de Conocimiento de ciencias agrarias y veterinarias/ Área Específica de Agroecología y agronegocios /Centro de Investigación Ciencias Agrarias y Veterinarias. Dirección Académica. Departamento de Investigación. Unidad de publicaciones y eventos científicos.

Resumen

Antecedentes: El agua es un recurso limitado y su gestión sostenible es crucial para la agricultura, la acuicultura genera grandes volúmenes de agua residual que, si se trata adecuadamente, pueden convertirse en una valiosa fuente de nutrientes para cultivos. **Objetivo:** El objetivo de este trabajo fue evaluar el uso de agua residual del cultivo de tilapia en el cultivo de maíz (*Zea mays* L.). **Metodología:** Se realizaron pruebas de campo para evaluar el efecto del agua residual de la piscicultura de tilapia en comparación con el agua de riego convencional y la aplicación de fertilizantes sobre el rendimiento. Se midieron variables de desarrollo fenológico del cultivo de maíz y la salud del suelo. **Resultados.** Las plantas irrigadas con agua residual alcanzaron alturas y número de hojas promedio comparables a aquellas fertilizadas químicamente, evidenciando que los nutrientes presentes en el agua residual, principalmente nitrógeno, fósforo y calcio, son de importancia para sustentar el desarrollo óptimo. No se observaron diferencias significativas en el diámetro del tallo ni en las características del fruto (largo y peso con brácteas) entre los tratamientos, la calidad y la producción de maíz no se ven comprometidas al utilizar agua residual. **Conclusión:** El uso de agua residual del cultivo de tilapia puede ser una alternativa viable y sostenible para el riego del cultivo de maíz.

Palabras claves: Acuicultura, agricultura alternativa, Cichlidae, poaceae.

Abstract

Background: Water is a limited resource, and its sustainable management is crucial for agriculture. Aquaculture generates large volumes of wastewater that, if properly treated, can become a valuable source of nutrients for crops. **Objective:** The objective of this study was to evaluate the use of wastewater from tilapia farming in maize (*Zea mays* L.) cultivation. **Methodology:** Field trials were conducted to evaluate the effect of tilapia farm wastewater compared to conventional irrigation water and fertilizer application on yield. Phenological development variables of the maize crop and soil health were measured. **Results:** Plants irrigated with wastewater reached average heights and number of leaves comparable to those chemically fertilized, demonstrating that the nutrients present in the wastewater, mainly nitrogen, phosphorus, and calcium, are important for supporting optimal development. No significant differences were observed in stem diameter or fruit characteristics (length and weight with bracts) between treatments; corn quality and yield were not compromised by using wastewater. **Conclusion:** The use of wastewater from tilapia farming can be a viable and sustainable alternative for irrigating corn.

Keywords: Aquaculture, alternative agriculture, Cichlidae, poaceae



Esta obra está bajo una licencia internacional
Creative Commons Atribución No Comercial Compartir Igual 4.0

Introducción

La oferta hídrica de Nicaragua está caracterizada por una notable abundancia de recursos debido a su ubicación geográfica y su clima tropical. Sin embargo, esta abundancia viene acompañada de desafíos en términos de calidad y distribución (ENACAL, 2008). Nicaragua es conocida por tener una generosa oferta hídrica con más de 40 ríos principales, numerosos lagos y humedales. El país cuenta con un potencial de 100,000 millones de metros cúbicos de agua disponible al año. La presencia de grandes cuerpos de agua como el Lago Cocibolca (o Lago de Nicaragua) y el Lago Xolotlán, así como ríos importantes como el Río San Juan, contribuyen a esta abundancia (Castillo Hernández et al., 2006; Vammen et al., 2006).

El constante deterioro tanto en cantidad como en calidad de las fuentes para la realización de los riegos en el sector agrícola ha obligado a buscar alternativas de abastecimiento para dichos riegos tales como el aprovechamiento de las aguas residuales desechas del sector piscícola, aguas negras, aguas industriales, etc.

Ortega Sastriques (2007) plantean que en el riego, es posible el empleo de prácticamente cualquier tipo de agua, a pesar de las malas características que esta pueda tener, siempre que se tenga presente la planificación de las normas de riego, el diseño y forma de siembra, por otra parte. Montero et al. (2012) expresan algunas posibilidades que ofrece la utilización de aguas residuales en el riego de los cultivos como son: aumento del 20% de productos agrícolas frescos, ahorro del 10% de fertilizante y disminuye al 60% los gastos por concepto de transportación y otros insumos.

En términos generales, las aguas residuales poseen cantidades significativas de nutrientes esenciales como nitrógeno, fósforo y potasio, los cuales favorecen el desarrollo y productividad de los cultivos, disminuyendo así la necesidad de fertilizantes sintéticos (Jung et al., 2014). Asimismo, contienen micronutrientes relevantes como hierro y zinc (Pereira et al., 2012). Por consiguiente, un manejo responsable de estas aguas puede contribuir a reducir el uso de fertilizantes, con el consiguiente ahorro económico y ambiental, además de limitar la presencia de compuestos tóxicos como los metales pesados, que representan un obstáculo para la producción agrícola (Raveh y Ben-Gal, 2016; Acosta Zamorano et al., 2013).

El empleo de tratamientos con uso de aguas residuales motiva a realizar estudios en el manejo del riego, para obtener producciones altas y estables de granos destinados a la alimentación, con ayuda de un sistema de policultivo, esto influirá en un beneficio económico, social y medio ambiental que contribuirá a la seguridad alimentaria del país.

Por otro lado, la acuicultura intensiva es una de las actividades productivas que cada vez toma mayor auge en la seguridad alimentaria, lo cual genera mayores riesgos de impacto ambiental por la producción de agua residuales (Alonso-Fernández y Palacios-Arrieta, 2023). Es importante incentivar a la sociedad a buscar nuevas alternativas para la utilización de aguas residuales, ya que de esta manera se contribuye a solucionar uno de los grandes problemas de la escasez de agua en campo agrícola, al mismo tiempo se ayuda a bajar el costo de producción, conservar el recurso hídrico y evitar la contaminación de los cuerpos de agua (Umaña Gómez, 2007). La investigación científica, el desarrollo y la innovación son esenciales para aprovechar las aguas residuales como recurso valioso para la producción agrícola (Mendoza-Retana et al., 2021). En el presente trabajo se estudió del uso de aguas residuales de cultivo de tilapia, evaluando así el efecto en el desarrollo fenológico y productividad del cultivo de maíz.

Materiales y métodos

Sitio del estudio y condiciones edofoclimática

El estudio se realizó en la instalación experimental acuícola, Área de Conocimiento de Ciencias Agrarias y Veterinarias, ubicada carretera a la Ceiba 1.5 km al este de la ciudad de León, cuyas coordenadas UTM 12°25'24.7"mN y 86°51'13.4" O, en el periodo de diciembre 2018 a marzo 2019, con temperatura promedio de 29° C, con suelo franco arenoso (Bárcenas et al., 2017).

Se utilizaron un total de 252 plantas de maíz divididas en 84 plantas por cada cama. La muestra fue de 69 plantas en total, divididas en 23 plantas por cama, determinadas por la fórmula estadísticas para poblaciones finitas, con un nivel de confianza de 95% y un error de 5%. Es un muestreo de tipo probabilístico de una forma aleatorio sistemático, debido a que las muestras fueron elegidas al azar por cada cama, estas se marcaron para llevar un control de su desarrollo a lo largo de la investigación (Fernández Escobar et al., 2010).

Se inició con un ciclo de producción de tilapia intensivo, donde se seleccionaron 25 tilapias procedente de pilas de la estación Experimental Acuícola, todos machos con un peso promedio de 42.5 g para obtener de este la principal fuente de agua, para la realización del riego para el T1 del cultivo de maíz, para el T2 se aplicaron tres fertilizantes en un lapso de 45 días, a los 19 días se aplicó fertilizante 15-15-15, a los 36 urea al 46%, y a los 45 el 00-60, y el T3 se utilizó únicamente agua de pozo siendo este el testigo.

Manejo

Limpieza y desinfección

Inicialmente, se realizó el lavado y desinfección de un tanque con capacidad de 1200 L previo a su llenado. Posteriormente, se aplicó de manera única un fertilizante soluble con una relación de nutrientes N-P-K de 13-6-40 (4 onzas) con el objetivo de estimular el crecimiento de fitoplancton. De manera simultánea, se procedió a la instalación del sistema de aireación para mantener las condiciones óptimas de oxigenación en el agua (Bautista Covarrubias et al., 2011).

Alimentación de tilapias

Se aplicó alimento comercial peletizado al 40% de proteína, la dieta del día de 106.25gr se dividió en dos raciones de 53.1gr, la cual se repartió dos veces al día (9:00 a.m. y 4:00 p.m.) controló la alimentación.

Manejo agronómico

Limpieza del área de cultivo

La limpieza del área donde se realizó el estudio se hizo con herramientas manuales en este caso azadón y machetes, se construyeron 3 camas, 60 cm de profundidad con un volteo del suelo con el propósito de secar con el sol en un periodo de 15 días y de esta manera el suelo tenga una buena filtración de agua, buscando que retenga un poco mejor el agua y sea asimilable para las plantas. En este momento se extrajo una muestra de suelo para llevar analizar macro-nutrientes (P, K, N) y micro-nutrientes (Mg, Ca, M.O).

Siembra en bandeja y traslado de plantas a la parcela

Se sembraron bandejas semillas de maíz por 15 días, se trasplantaron un total de 252 plantas divididas en 84 plantas por cada cama, en forma de triángulo a una distancia de 30cm entre cada planta, las plantas se rotularon con cinta adhesiva con la que se llevó el control de los tratamientos.

Riego de las plantas

Al momento de regar los diferentes tratamientos se usó una regadera de 18 litros de capacidad, aplicando una cantidad aproximadamente de 60 L de agua para cada tratamiento dividida en dos momentos al día a las 9:00 AM 4:00 PM.

Para el T1 se utilizó agua residual extraída de la tina de cultivo de tilapia y para los T2 y T3 se utilizó agua de pozo para realizar los riegos.

Análisis de agua y suelo

Se realizó un análisis de agua para conocer la cantidad de nutrientes que el agua le proporcionaría al suelo y dos análisis de suelo uno a principios del proyecto antes de la siembra de las semillas para conocer la cantidad de nutrientes que contenía el suelo y el otro al finalizar la con la producción y cosecha de maíz para conocer la cantidad de nutrientes que ganó o perdió con la aplicación de los tratamientos.

Variables evaluadas

Altura de la planta (cm): Se midió con una cinta métrica desde la base del tallo a la hoja bandera, esto se realizaba una vez por semana, esta variable es una característica fisiológica importante donde se determinó el crecimiento y desarrollo de la planta, siendo indicativo de la velocidad del crecimiento.

Diámetro del tallo (cm): Se midió con una cinta diamétrica toda la circunferencia del tallo y después se aplicó la fórmula para determinar el diámetro se tomaba este dato una vez por semana, es de gran importancia en las plantaciones de maíz, ya que el grosor del tallo depende de la variedad, las condiciones ambientales y los nutrientes absorbidos del suelo (Peña Quiroz, 2011).

Número de hoja: Se realizó el conteo del número de hojas formadas completamente por planta durante el ciclo del cultivo esta se evaluó al mismo tiempo que la altura de la planta.

Longitud el fruto de chilote: Se midió con una cinta métrica, de la base hasta el ápice.

Peso del fruto de chilote: Se realizó con una báscula electrónica incluyendo brácteas (Peña-Quiroz, 2011; Peña et al., 1986).

Análisis estadístico

Se recolectaron los datos en hojas de muestreo, posteriormente se digitalizaron en Microsoft Excel. Se realizó un análisis estadístico, utilizando el programa estadístico "Statistical Program for Social Sciences" (SPSS 21.0). Realizando un análisis de Varianza (ANDEVA) para determinar si existen diferencias significativas entre los tratamientos.

Resultados y Discusión

La (Tabla 1) se presenta los valores promedio de la variable altura registrados durante el periodo de estudio para los tres tratamientos evaluados, reflejando mayor promedio en el tratamiento T2 (Fertilizando edáfico N-P-K 15-15-15) con 84.29 cm, al final del ciclo, las plantas del tratamiento T2 alcanzaron una altura promedio de 185.74 cm, seguidas por las del tratamiento T1 con 178.83 cm y, finalmente, las del Testigo con 174.78 cm (Figura 1), de acuerdo al análisis de varianza realizado a esta variable en diferentes momentos del crecimiento y desarrollo de la planta, se muestra que no existe diferencia significativa ($0.797 > 0.05$) entre los tratamientos (Tabla 2).

El comportamiento de la altura en el T2 presentó el mayor valor promedio con respecto a los otros dos tratamientos, esto lo relacionamos a que el fertilizante químico por tener un mayor grado de solubilidad posee rápida absorción a través de las raíces de las plantas (Cisne & Laguna, 2011). Al comparar el T1 con el T2 se observa una similitud entre ambos tratamientos por lo que podríamos utilizar el agua residual como fertilizante, el agua residual aporta a la planta Nitrógeno, calcio y fósforo, los cuales son necesarios en los primeros 25 días del cultivo.

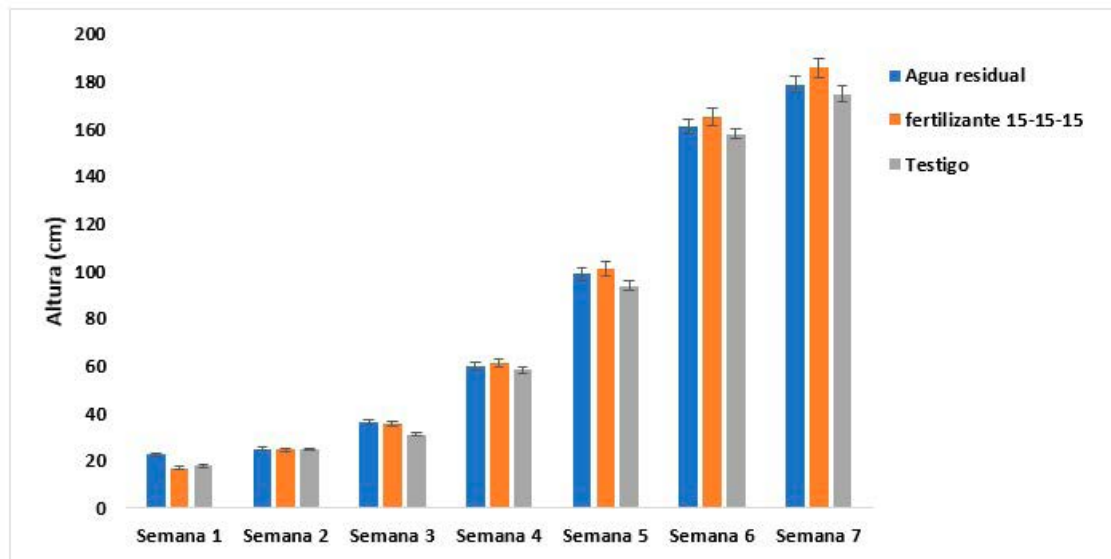


Figura 1: Altura de las plantas (cm) sometido en diferente tratamiento (Agua residual, fertilizantes edáfico 15-15-15 y testigo)

Tabla 1. Análisis descriptivo de altura, diámetro y número de hojas sometido en diferente tratamiento (Agua residual, fertilizantes edáfico 15-15-15 y testigo).

Tratamiento*	Variable	N	Media	Desviación típica	Error típico	Intervalo de confianza para la media al 95%		Mínimo	Máximo
						Límite inferior	Límite superior		
1	Altura	161	83.14	61.08	4.81	73.642	92.656	12.0	210.0
2		161	84.29	64.65	5.09	74.229	94.355	11.0	220.0
3		161	79.80	60.55	4.77	70.377	89.226	13.0	200.0
Total		483	82.41	62.02	2.82	76.869	87.959	11.0	220.0
1	Diámetro	161	1.63	.866	.0682	1.49997	1.76972	.318	3.183
2		161	1.64	.898	.0708	1.50608	1.78575	.318	3.024
3		161	1.53	.804	.0634	1.41349	1.66402	.255	2.865
Total		483	1.60	.8570	.0389	1.52988	1.68313	.255	3.183
1	N° de hojas	161	9.39	2.879	.2269	8.949	9.846	4.0	14.0
2		161	9.58	2.64	.2088	9.171	9.996	4.0	14.0
3		161	9.20	2.60	.2055	8.799	9.611	3.0	13.0
Total		483	9.39	2.71	.1235	9.153	9.638	3.0	14.0

*Tratamiento: 1= Agua residual, 2= Químico 3= Testigo

Tabla 2. Análisis de Varianza de altura, diámetro y número de hojas sometido en diferente tratamiento (Agua residual, fertilizantes edáfico 15-15-15 y testigo)

Variable		Suma de cuadrados	gl	Media cuadrática	F	Sig.
Altura	Inter-grupos	1753.843	2	876.921	.227	.797
	Intra-grupos	1852421.342	480	3859.211		
	Total	1854175.184	482			
Diámetro	Inter-grupos	1.118	2	.559	.760	.468
	Intra-grupos	352.933	480	.735		
	Total	354.051	482			
N° de hojas	Inter-grupos	11.557	2	5.778	.784	.457
	Intra-grupos	3537.913	480	7.371		
	Total	3549.470	482			

La Tabla 1 se presenta los valores promedio de la variable diámetro registrados durante el periodo de estudio para los tres tratamientos evaluados, reflejando mayor promedio el tratamiento T2 (Fertilizando edáfico N-P-K 15-15-15) con 1.64 cm, en sexta semana, las plantas del tratamiento T2 alcanzaron un diámetro promedio de 2.55 cm, seguidas por los del tratamiento T1 con 2.51 cm para semana 6 y 7 y, finalmente, las del testigo con 2.44 cm en la sexta semana (Figura 2), de acuerdo al análisis de varianza realizado a esta variable en diferentes momentos del crecimiento y desarrollo de la planta, se muestra que no existe diferencia significativa ($0.468 > 0.05$) entre los tratamientos (Tabla 2).

El diámetro es una de las variables que se considera de mucha importancia en las plantaciones, esta influye en el acame de las plantas, a causa de los fuertes vientos de la época del año, esta variable dependerá de los nutrientes que les aporten el suelo a las plantas y también la variedad (Oland, 1960). Según resultados el tratamiento que obtuvo mayor grosor del tallo fue el T2, esto se le asocia a la cantidad de nitrógeno aportada por el fertilizante (urea 46%), el cual es esencial para el crecimiento vigoroso de la planta y que constituye principalmente al brote del tallo (Cheng et al., 2002; Dong et al., 2002). En cuanto al T1 se observó un crecimiento similar con relación al anterior, esto a causa de la cantidad de nitrógeno ($< 5.0 \text{ mg/L}$) que le proporcione el agua residual a la planta.

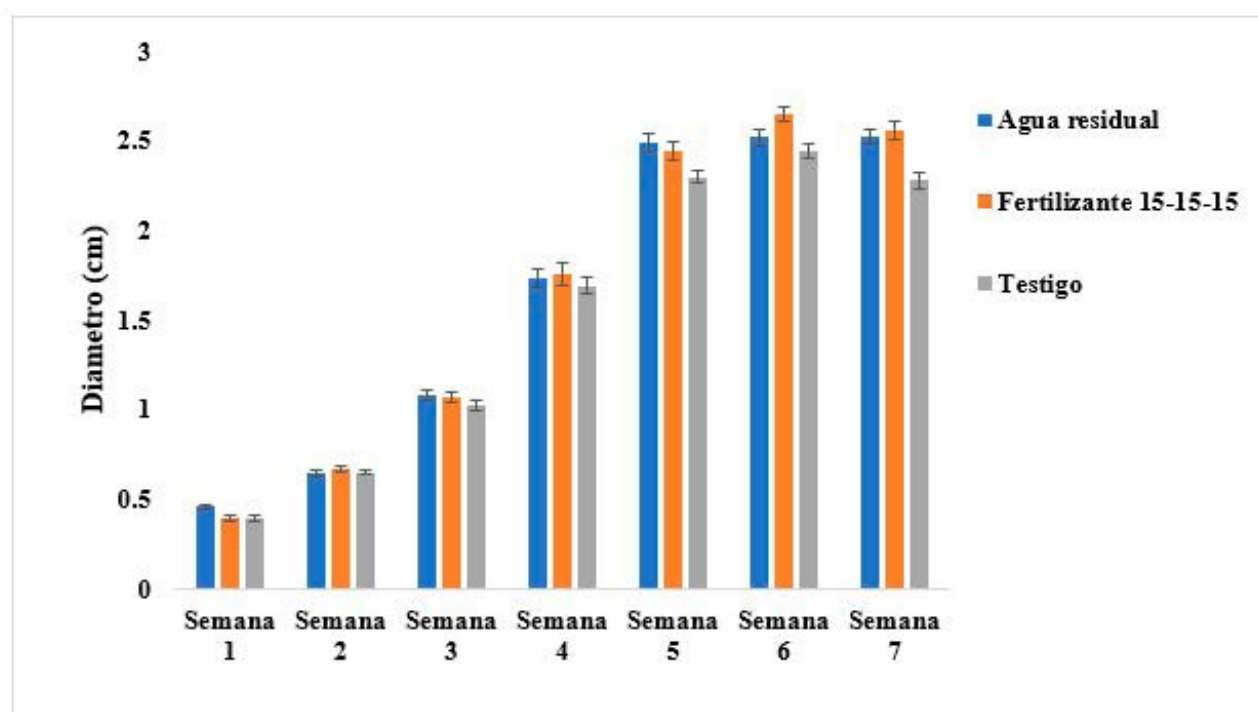


Figura 2: Diámetro de las plantas (cm) sometido en diferente tratamiento (Agua residual, fertilizantes edáfico 15-15-15 y testigo)

En la Figura 3 se muestran los valores promedio obtenidos para la variable de número de hojas para los tres tratamientos durante todo el periodo de estudio, observándose que los tratamientos T1 y T2 obtuvieron un promedio de 12 hojas y el tratamiento T3 un promedio de 11 (Figura 3), no hay diferencia significativa ($0.45 > 0.05$) entre los tratamientos a lo largo de todo el desarrollo (Tabla 2).

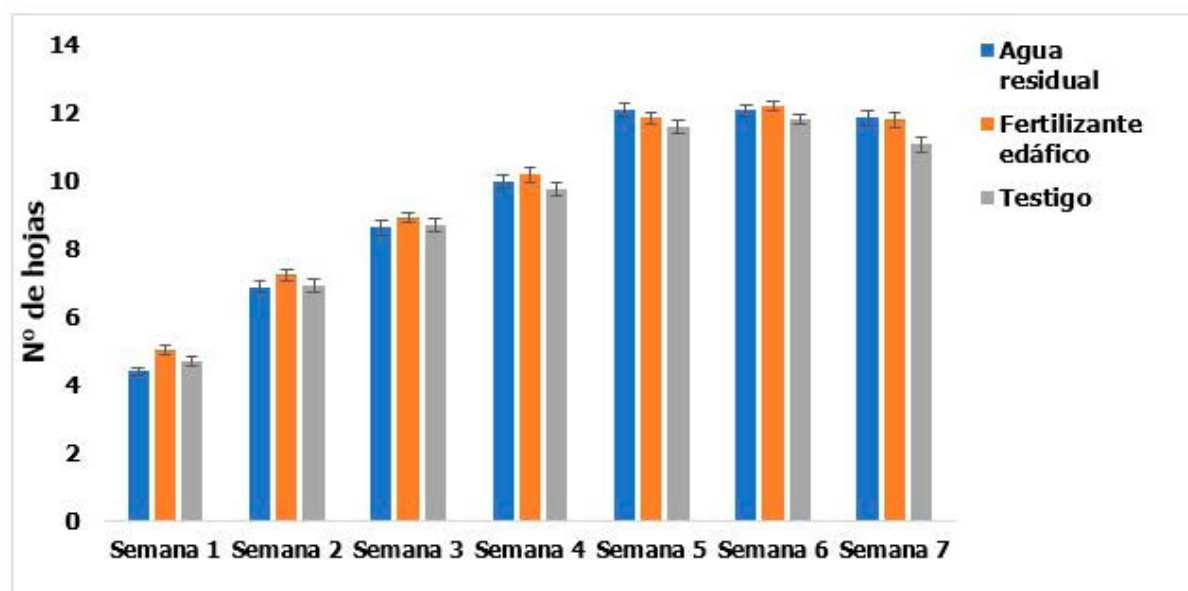


Figura 3. Número de hoja sometido en diferente tratamiento (Agua residual, fertilizantes edáfico 15-15-15 y testigo)

En los resultados obtenidos entre los tratamientos no hubo diferencias entre los T1 y T2, ambos con 12 hojas en promedio en las últimas semanas del cultivo, esto puede atribuir a la variedad de la planta, a la cantidad de nudos del tallo, factores genéticos, pero sobre todo por la cantidad de nutrientes que le son aportados a la planta (Robles Sánchez, 1983). Los tres tratamientos obtuvieron su mayor número de hojas en la semana 5 del cultivo. Según Téllez-Pérez (2017) la variedad del maíz referente a los tratamientos obtiene en promedio de 12 a 18 hojas, lo cual se cumple con el T1 y T2, a diferencia del T3, el cual no llegó a cumplir con la cantidad de hojas promedios, esto es frecuentes en los cultivos, por lo que a medida que crece la planta pierde de 3-5 hojas por engrosamiento del tallo, alargamiento de entrenudos y la falta de nutrientes en el suelo (Peña Quiroz, 2011).

Al final del experimento se observó el número de frutos obtenidos en cada tratamiento, para el T1 el 61% de las plantas dieron un fruto y el 39% dos frutos, para el T2 se obtuvo un 57% con un fruto y 43% con dos frutos, por último, el T3 dio un 70% con un fruto y el 30% dos frutos, al aplicar el análisis estadístico se observa que no hay diferencia significativa entre los tratamientos ($0.660 > 0.05$) en el transcurso de la cosecha de los frutos.

En la variable largo del fruto con brácteas se observó que no hay diferencia significativa ($0.737 > 0.05$) entre los tratamientos (Tabla 4), teniendo promedios similares entre los tratamientos. Este mismo comportamiento se dio con la variable peso, predominando ligeramente el tratamiento Fertilizante edáfico (Tabla 3).

Tabla 3: Análisis descriptivo largo y peso del fruto con brácteas sometido en diferente tratamiento (Agua residual, fertilizantes edáfico 15-15-15 y testigo)

		N	Media	Desviación típica	Error típico	Intervalo de confianza para la media al 95%		Mínimo	Máximo
						Límite inferior	Límite superior		
Largo del fruto con brácteas (cm)	Agua residual	23	27.348	4.3964	.9167	25.447	29.249	20.0	36.0
	Fertilizante edáfico	23	26.543	3.3266	.6936	25.105	27.982	21.0	33.0
	Testigo	23	27.065	2.6599	.5546	25.915	28.215	23.0	32.0
	Total	69	26.986	3.4979	.4211	26.145	27.826	20.0	36.0
Peso del fruto con brácteas (Gramo)	Agua residual	23	61.261	18.0031	3.7539	53.476	69.046	10.0	94.0
	Fertilizante edáfico	23	66.043	24.6788	5.1459	55.372	76.715	34.0	139.0
	Testigo	23	64.609	18.9706	3.9557	56.405	72.812	34.0	100.0
	Total	69	63.971	20.5526	2.4742	59.034	68.908	10.0	139.0

Tabla 4. Análisis de Varianza de descriptivo largo y peso del fruto con brácteas sometido en diferente tratamiento (Agua residual, fertilizantes edáfico 15-15-15 y testigo)

		Suma de cuadrados	gl	Media cuadrática	F	Sig.
Largo del fruto con brácteas	Inter-grupos	7.659	2	3.830	.307	.737
	Intra-grupos	824.326	66	12.490		
	Total	831.986	68			
Peso del fruto con brácteas	Inter-grupos	277.072	2	138.536	.321	.726
	Intra-grupos	28446.870	66	431.013		
	Total	28723.942	68			

Análisis de suelo

En la Tabla 5 se observan los datos obtenidos en los dos análisis de suelo, notando la relación y cambios de los parámetros en el suelo antes y después de la siembra.

Tabla 5: Análisis de suelo para la evaluación de macronutrientes y micronutrientes disponibles.

Variables	Antes de siembra		Después de la siembra	
		Agua Residual	Fertilizante Químico	Testigo
Parámetros Físico-Químico				
% MO	1.8	1.8	1.7	1.7
% N	0.1	0.1	0.1	0.1
P ² O ⁵ (mg/100g)	4.5	19.2	17.2	19.1
K ² O(meq/100g)	5.5	0.5	0.6	0.5
CaO(meq/100g)	6.7	8.6	8.3	8.4
MgO(meq/100g)	14.3	4.9	4.5	4.0

El porcentaje de materia orgánica fue el mismo en el T1 antes y después de la siembra, lo cual podría deberse a las excreciones de tilapias las cuales se concentran en forma de materia orgánica, observándose una leve diferencia con respecto al T2 y T3 los cuales obtuvieron el mismo porcentaje al final del cultivo, en estos se cree que se produjo una lixiviación del suelo, es decir una degradación de la materia orgánica (Macdonald, 1989).

La cantidad de Nitrógeno se mantuvo en los tres tratamientos, esto debido a que en el T1 la composición del agua residual es altamente ácida por lo que tiene pH altos produciendo las cantidades de nitrógenos que le fueron aportadas al cultivo y absorbidas por las plantas directamente (Yossa et al., 2014), mientras en el T2 se le proporciono el nitrógeno por medio de las fertilizaciones en los diferentes tiempos que al igual que en el tratamiento anterior fue absorbido, y finalmente en el T3 se cree que las plantas no tuvieron demanda de componente dejando intacto el porcentaje de nitrógeno. Las cantidades de fósforo y calcio fueron similares en los tres tratamientos, con una ligera disminución en el tratamiento de 15-15-15, esto pudo haber ocurrido posiblemente por sesgo en la toma de muestra.

La diferencia de cantidad de potasio y magnesio antes y después de aplicación de los tratamientos puede estar influenciada por factores como humedad en el suelo, temperatura, y biomasa vegetal en este (Meléndez et al. 2006).

Por lo antes descrito, se recomienda que, por las características de la composición física, química y biológica, de las aguas residuales de origen piscícola, sea utilizado como abono orgánico en combinación con fertilizantes convencionales y de esta manera disminuir los costos en las fertilizaciones de los cultivos y al mismo tiempo creando alternativas medioambientales que contribuyan a mejorar la calidad del suelo.

Conclusiones

El presente estudio demostró que el uso de aguas residuales provenientes del cultivo de tilapia constituye una alternativa viable para el riego del maíz (*Zea mays L.*), mostrando efectos positivos sobre el crecimiento vegetativo y la productividad del cultivo. Las plantas irrigadas con agua residual alcanzaron alturas y número de hojas promedio comparables a aquellas fertilizadas químicamente, evidenciando que los nutrientes presentes en el agua residual, principalmente nitrógeno, fósforo y calcio, son suficientes para sustentar el desarrollo óptimo. No se observaron diferencias significativas en el diámetro del tallo ni en las características del fruto (largo y peso con brácteas) entre los tratamientos, la calidad y la producción de maíz no se ven comprometidas al utilizar agua residual. Además, el análisis del suelo mostró mejoras en la fertilidad y la retención de humedad en los lotes regados con agua residual, reforzando su valor como fertilizante orgánico y promoviendo la sostenibilidad del sistema agrícola.

Declaraciones

Fondos: Este estudio no fue financiado.

Conflicto de intereses: Los autores declaran que No se revelaron intereses contrapuestos

Cumplimiento de estándares éticos: N/A

Contribuciones de los autor: **ESPB:** Conceptualización, Metodología, Redacción, Borrador Original, Revisión y Edición, Supervisión; **HEKM:** borrador original, revisión y edición; **ADMM y HBMF:** Redacción, Borrador Original, Revisión y Edición.

Disponibilidad de datos: El conjunto de datos analizados en el presente estudio no son de acceso público, pero están disponibles a través del autor correspondiente previa solicitud razonable.

Referencias bibliográficas

- Acosta-Zamorano, D., Macías-Carranza, V., Mendoza-Espinosa, L., & Cabello-Pasini, A. (2013). Efecto de las aguas residuales tratadas sobre el crecimiento, fotosíntesis y rendimiento en Vides Tempranillo (*Vitis vinifera*) en Baja California, México. *Agrociencia*, 47(8), 753-766.
- Alonso Fernández, A. M., Palacios Arrieta, D., & Guadalupe Martínez, N. (2023). Biorremediación en Aguas Residuales Acuícolas: Una Revisión. *Ciencia Latina Revista Científica Multidisciplinar*, 7(4), 8538-8568. https://doi.org/10.37811/cl_rcm.v7i4.7577
- Bárcenas Lanzas, M. J., Rostrán Molina, J. L., & Silva Illescas, P. F. (2017). Condiciones climáticas del Campus Agropecuario junio 2017 [Learning Object]. <http://riul.unanleon.edu.ni:8080/jspui/handle/123456789/5445>
- Bautista Covarrubias, J. C., Ruiz Velazco Arce, J. A. V. I. E. R., & MARCIAL, D. J. (2011). Calidad de agua para el cultivo de Tilapia en tanques de geomembrana. *CONACYT*.
- Castillo Hernández, E., Calderón Palma, H., Delgado Quezada, V., Flores Meza Y., & Salvatierra Suárez, T. (2006). Situación de los recursos hídricos en Nicaragua. *Boletín Geológico y Minero*, 117 (1): 127-146.
- Cheng, W., Johnson, D. W., & Fu, S. (2002). *Urea application increases nitrogen uptake and growth of Hydrangea macrophylla*. *HortScience*, 37(6), 1016–1020. <https://doi.org/10.21273/HORTSCI.37.6.1016>
- Cisne, J. D., & Laguna, R. (2011). Estudio comparativo de la producción orgánica y tradicional de papa (*Solanum tuberosum L.*) en Miraflor, Estelí. *Revista La Calera*, 4, 5-9.

- Dong, S., Li, Y., & Li, Z. (2002). Foliar urea application enhances nitrogen uptake and growth of *Hydrangea macrophylla*. *HortScience*, 37(6), 1016–1020. <https://doi.org/10.21273/HORTSCI.37.6.1016>
- ENACAL. (2008). *Plan de desarrollo Institucional de ENACAL 2008-2012*.
- Fernández Escobar, R., Trapero, A., & Domínguez, J. (2010). Experimentación en agricultura. *Agricultura. Formación-Junta de Andalucía (España)*.
- Hernández, J., & Barbazán, M. (2010). Absorción de nutrientes por los diferentes cultivos. *El Agricultor*, 7-16.
- Jung, K., Jang, T., Jeong, H., & Park, S. (2014). Assessment of growth and yield components of rice irrigated with reclaimed wastewater. *Agric. Water Manag.* 138(1):17-25. <https://doi.org/10.1016/j.agwat.2014.02.017>
- Macdonald, A. J., Powelson, D. S., Poulton, P. R., & Jenkinson, D. S. (1989). Unused fertiliser nitrogen in arable soils—Its contribution to nitrate leaching. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 46(4), 407-419. <https://doi.org/10.1002/jsfa.2740460404>
- Meléndez, L., Hernández, A., & Fernández, S. (2006). Efecto de la fertilización foliar y edáfica sobre el crecimiento de plantas de maíz sometidas a exceso de humedad en el suelo. *Bioagro*, 18(2), 107-114.
- Mendoza-Retana, S. S., Cervantes-Vázquez, M. G., Valenzuela-García, A. A., Guzmán-Silos, T. L., Orona-Castillo, I., & Cervantes-Vázquez, T. J. Á. (2021). Uso potencial de las aguas residuales en la agricultura. *Revista mexicana de ciencias agrícolas*, 12(1), 115-126.
- Montero, L., Cun, R., Pérez, J., Ricardo, M. P., & Herrera, J. (2012). Riego con aguas residuales en la producción sostenible de granos para alimento animal. *Revista Ciencias Técnicas Agropecuarias*, 21(2), 48-52.
- Oland, D. L. (1960). *Foliar absorption of urea by plants*. *Plant Physiology*, 35(1), 1–7. <https://doi.org/10.1104/pp.35.1.1>
- Ortega Sastriques, F., & Orellana Gallego, R. (2007). El riego con aguas de mala calidad en la agricultura urbana. Aspectos a considerar. II. Aguas residuales urbanas. *Revista Ciencias Técnicas Agropecuarias*, 16(3), 25-27.
- Peña, H. L., Cruz, R. D. la, & Rojas, E. (1986). Formación de mazorcas en diferentes nudos del eje de maíz ICA -V-51O. *Agronomía Colombiana*, 3(1-2), 63-81. <https://revistas.unal.edu.co/index.php/agrocol/article/view/20882>
- Peña Quiroz, J. L. (2011). Evaluación de la producción de chilote en el cultivo de maíz (*Zea mays* L.) variedad HS-5G utilizando sustratos mejorados y determinación de los coeficientes «Kc» y «Ky», bajo riego, Finca Las Mercedes, Managua 2009. (Tesis de grado, Universidad Nacional Agraria). RiUNA. <https://repositorio.una.edu.ni/2145/1/tnf01p397e.pdf>
- Pereira, B. F., He, Z., Stoffella, P. J., Montes, C. R., Melfi, A. J., & Baligar, V. C. (2012). Nutrients and nonessential elements in soil after 11 years of wastewater irrigation. *Journal of Environmental Quality*, 41(3), 920-927. <https://doi.org/10.2134/jeq2011.0047>
- Raveh, E., & Ben-Gal, A. (2016). Irrigation with water containing salts: Evidence from a macro-data national case study in Israel. *Agricultural Water Management*, 170, 176-179. <https://doi.org/10.1016/j.agwat.2015.10.035>
- Robles Sanchez, S. R. (1983). *Producción de Granos y Forrajes* (3era ed.). México, Limusa 1983.
- Rosales-Serna, R., Kohashi-Shibata, J., Acosta-Gallegos, J. A., Trejo-López, C., Ortiz-Cereceres, J., & Kelly, J. D. (2004). Biomass distribution, maturity acceleration and yield in drought-stressed common bean cultivars. *Field Crops Research*, 85(2–3), 203–211. [https://doi.org/10.1016/S0378-4290\(03\)00161-8](https://doi.org/10.1016/S0378-4290(03)00161-8)
- Téllez Pérez, V. (2017). *Aplicación foliar y edáfica de nejayote en el cultivo de maíz azul criollo en Amozoc de Mota, Puebla* (Master's thesis, Benemérita Universidad Autónoma de Puebla).
- Umaña Gómez, E. (2007). El reuso de aguas residuales para riego en un cultivo de maíz (*Zea mays* L.) una alternativa ambiental y productiva. *La calera*, 7(8), 22-26.
- Vammen, K., Pitty, J., & Montenegro Guillén, S. (2006). Evaluación del Proceso de Eutrofización del Lago Cocibolca, Nicaragua y sus causas en la Cuenca. *En Eutrofización en América del Sur; Consecuencias y Tecnologías de Gerencia y Control. Instituto Internacional de Ecología, Interacademic Panel on International Issues*, 35-58.
- Yossa, M. I., Hernández-Arévalo, G., Vásquez-Torres, W., Ortega, J. P., Moreno, J., & Vinatea-Arana, L. A. (2014). Composición y dinámica de los sedimentos en estanques de cachama blanca y tilapia roja. *Orinoquia*, 18(2), 286-293. <https://doi.org/10.22579/20112629.388>