

Foliar content of N, P and K in cotton fertigated with treated sewage effluents

Jerônimo Andrade-Filho^a, Iarajane Bezerra-do-Nascimento^b, Osvaldo N. de Sousa-Neto^c
Nildo da Silva-Dias^b, René Chipana-Rivera^d, Jeane Cruz-Portela^b & Joseane Dunga-da-Costa^e

^a Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Rio Grande do Norte, Mossoró, RN, Brasil. jeronimoandrade@hotmail.com

^b Universidade Federal Rural do Semi-Árido, Centro de Ciências Agrárias, Mossoró, RN, Brasil. iarajane@hotmail.com, nildo@ufersa.edu.br, jeaneportela@ufersa.edu.br

^c Universidade Federal Rural do Semi-Árido, Centro Multidisciplinar, Angicos, RN, Brasil. Osvaldo.neto@ufersa.edu.br

^d Facultad de Agronomía de la Universidad Mayor de San Andrés, La Paz, Bolivia. renechipana@yahoo.com

^e Universidade Federal Rural do Semi-Árido, Doctoranda del Programa de Posgrado en Manejo de suelo y agua, Mossoró, RN, Brasil. joseany_costa@hotmail.com

Received: January 12th, de 2017. Received in revised form: June 27th, 2017. Accepted: July 27th, 2017

Abstract

The objective of this study was to evaluate the effects of irrigation with treated sewage effluent in the leaf content of nitrogen, phosphorus and potassium in cotton (*Gossypium hirsutum* L. cultivar 8H) growing in two soil types. The experiment was carried out on the campus of the Federal University of the Semi-Arid Mossoró, Brazil. The experimental design was a randomized block with split plots. Treatments consisted of dilutions of domestic sewage effluent with water-supply [25, 50, 75 e 100% effluent and, water-supply + mineral soil fertilization - control] in two different types of soils textures (Oxisol and inceptisol). We conclude that the use of treated sewage effluent supplies the nutritional needs of growing cotton in relation to N and K, except for P.

Keywords: *Gossypium hirsutum* L.; wastewater; fertirrigation.

Contenido foliar de N, P y K en algodón fertirrigado con efluente de alcantarillado tratado

Resumen

El objetivo de este trabajo fue evaluar los efectos del riego con efluente de alcantarillado tratado en el contenido foliar de nitrógeno, fósforo y potasio en el cultivo de algodón (*Gossypium hirsutum* L. cultivar 8H) en dos tipos de suelos. El experimento fue llevado a cabo en el Campus de la Universidad Federal del Semi-Árido en Mossoró, Brasil. El diseño experimental empleado fue el de bloques al azar con parcelas subdivididas. Los tratamientos consistieron en diluciones del efluente de alcantarillado en agua de abastecimiento [25, 50, 75, 100% de efluente y tratamiento agua de abastecimiento + fertilización mineral del suelo - control] en dos tipos de suelos con diferentes texturas (Latossolo Vermelho Amarelo y Cambissolo). Se concluye que el uso de aguas residuales suple las necesidades nutricionales del cultivo de algodón en lo referente al N y K, excepto para el P.

Palabras clave: *Gossypium hirsutum* L.; agua residual; fertirrigación.

1. Introducción

Este artículo es parte de la disertación de Maestro del primer autor, presentado en el Programa de Posgrado en Ciencias del Suelo Del UFERSA– Mossoró, RN, Brasil.

La escasez de agua de buena calidad es una realidad actual y

creciente, puesto que se trata de una cuestión ambiental, que es afectada por y las actividades de urbanización, deforestación, agricultura, pecuaria e industria, principalmente cuando implica algún tipo de contaminación, comprometiendo el consumo de agua para las futuras generaciones.

La producción agrícola depende de la disponibilidad de

How to cite: Andrade-Filho, J., Bezerra-do-Nascimento, I., de Sousa-Neto, O.N., Chipana-Rivera, R., Cruz-Portela, J. and Dunga-da-Costa, J., Contenido foliar de N, P y K en algodón fertirrigado con efluente de alcantarillado tratado. DYNA, 84(202), pp. 147-154, September, 2017.

agua y del uso racional, fundamentalmente en las áreas donde este recurso es escaso. En consecuencia la utilización del agua para riego es un desafío relevante para las regiones áridas y semiáridas, constituyéndose en un serio problema para el desarrollo de esas regiones.

Por tanto, es necesario buscar alternativas racionales que viabilicen el uso de las aguas residuales, considerando criterios ambientales, sociales y económicos, puesto que a cada día se hace más necesario la búsqueda de fuentes alternativas.

La reutilización de las aguas residuales constituye una práctica de carácter benéfico que puede ser abordado de varias formas. Se destaca la utilización de estas aguas en la práctica del riego, principalmente en cultivos cuyo producto no se destina para fines comestibles, por ejemplo cultivos de oleaginosas para la producción de biodiesel, tales como el algodón (*Gossypium hirsutum* L.), el ricino (*Ricinus communis* L.) y el piñón de tempate (*Jatropha curcas* L.).

Según Van der Hoeck et al. [29] una de las ventajas de la utilización de las aguas residuales en el riego es la posibilidad del aporte y el reciclaje de nutrientes, reduciendo considerablemente la aplicación de fertilizantes, además de la preservación ambiental y economía del agua de buena calidad. De esta manera, el uso de estas aguas posibilita, además del suministro hídrico, abastecer parte o la totalidad de las necesidades nutricionales de las plantas, hecho semejante al que ocurre en la fertirrigación, en la cual los nutrientes son aplicados a las plantas a través del agua de riego.

Azevedo et al. [1] verificaron que el agua residual tratada contribuye a la obtención de mayor producción y mejor calidad de las fibras de algodón, probablemente debido al potencial nutricional de los efluentes. Además, varios trabajos indican que el efluente tratado usado para el riego, es importante desde el punto de vista nutricional para cultivos como pimentón [26], arroz [27], plántulas de flamboyant [12], girasol [16] y gerberas [14].

En general, los efluentes municipales presentan contenidos de macronutrientes suficiente para atender la demanda de los cultivos, por eso se constituyen en una importante fuente de fertilizantes, mejorando el rendimiento de los cultivos. Sin embargo, se debe considerar las exigencias nutricionales de cada cultivo y el tipo de suelo. El nitrógeno, el fósforo y la materia orgánica contenidos en los efluentes tratados son fertilizantes y acondicionadores del suelo, favoreciendo el desarrollo de las plantas [8].

A pesar de varios beneficios evidenciados, el riego con aguas residuales puede llevar a la acumulación en el suelo de otros elementos tales como metales pesados, ocasionando contaminación ambiental, por eso el uso de estas aguas requiere un manejo adecuado, puesto que además de presentar considerables concentraciones de iones disueltos como el sodio, boro y cloruros, contiene gran variedad de organismos patogénicos como bacterias, virus, protozoarios y helmintos. Tales características dificultan la utilización de aguas servidas (aguas residuales) en la agricultura [6,27].

Por otro lado, existen pocas publicaciones científicas relacionadas al tema de la reutilización aguas servidas tratadas en el riego del cultivo de algodón, lo que contrasta con la importancia económica de este cultivo, especialmente

en lo que refiere a la escasez de recursos hídricos, ventajas y limitaciones de la reutilización en la región semiárida del Nordeste brasileño.

En este sentido, el trabajo tuvo como objetivo evaluar el efecto del riego con efluente secundario tratado, proveniente de aguas residuales domésticas, en el contenidos foliar de nitrógeno, fósforo y potasio en el cultivo de algodón (*Gossypium hirsutum* L., cultivar 8H) en dos tipos de suelos.

2. Materiales y métodos

El experimento fue llevado a cabo en el periodo comprendido entre noviembre de 2009 a marzo de 2010, en el área experimental del Departamento de Ciencias Ambientales y Tecnológicas de la Universidad Federal Rural do Semi-Árido (UFERSA), en Mossoró, Río Grande do Norte (RN), Brasil, localizado en las coordenadas geográficas de 5° 11' de latitud Sur y 37° 20' de longitud Oeste de Greenwich. El clima (de acuerdo con la clasificación de Köppen) es del tipo BSw^h, siendo la precipitación media anual de 678 mm. Las medias anuales de temperatura, insolación y humedad relativa son 27,4 °C, 2360 horas anuales y 68,9%, respectivamente [4].

El esgoto doméstico tratado (secundario) provino de la laguna de estabilización de la Estación de Tratamiento de Esgotos Domésticos das Cajazeiras en Mossoró, RN, perteneciente a la CAERN (Compañía de Agua y Esgoto de Rio Grande do Norte), ubicado en la comunidad de Passagem de Pedras. Dicho efluente fue transportado semanalmente de la laguna de estabilización hasta el lugar del experimento en tanques de 1000 L, siendo este volumen suficiente para la preparación del agua de riego, durante una semana. El agua potable provino del sistema de abastecimiento público del campus de la UFERSA. Los resultados de los análisis físico-químicos y microbiológicos del esgoto doméstico se muestran en la Tabla 1.

La variedad de algodón utilizado fue 8H utilizaron cuarenta y ocho semillas por subparcela, con dos líneas de veinticuatro, sembradas en forma equidistante a una profundidad que varió entre 2,5 a 3,0 cm, con la finalidad de evaluar la influencia de los tratamientos en la germinación del cultivo.

Tabla 1.

Características del efluente de esgoto tratado utilizado para el riego.

CARACTERÍSTICAS	UNIDADES	EFLUENTES
pH		7,4
Conductividad eléctrica	dS m ⁻¹	1,75
Amonio	mg L ⁻¹	20,16
Nitrato (NO ₃ ⁻)	mg L ⁻¹	0,07
Nitrito (NO ₂ ⁻)	mg L ⁻¹	0,007
Nitrógeno orgánico	mg L ⁻¹	0,64
Nitrógeno total	mg L ⁻¹	17,31
Calcio	mg L ⁻¹	181,44
Sodio	mg L ⁻¹	33
Magnesio	mg L ⁻¹	21,86
Potasio	mg L ⁻¹	8,5
Fósforo	mg L ⁻¹	3,16
Cloruro	mg L ⁻¹	350
RAS	mmol L ^{-1,05}	7,02
DBO	mg L ⁻¹	35,28
Coliformes totales	NMP100 ml	1,1 x 10 ⁶
Cobre	mg L ⁻¹	0,133
Hierro	mg L ⁻¹	0,18
Manganeso	mg L ⁻¹	0,073
Zinc	mg L ⁻¹	0,033

Fuente: Elaborada por los autores.

El diseño experimental empleado fue el de bloques al azar con parcelas subdivididas. A nivel de parcelas se probaron diferentes diluciones del efluente de alcantarillado en agua de abastecimiento: 25, 50, 75, 100% de efluente (T_1 , T_2 , T_3 y T_4 , respectivamente) y tratamiento agua de abastecimiento + fertilización mineral del suelo – control (T_5) y como subparcelas se consideraron dos tipos de suelos de textura contrastante: Latossolo Vermelho Amarelo y Cambissolo (S_1 y S_2 , respectivamente). Los tratamientos fueron dispuestos en 20 parcelas experimentales con un área de 1 m² (0,50 m x 2,00 m), siendo cada parcela fue subdividida en dos subparcelas (suelos), totalizando 40 unidades experimentales, constando de cinco diluciones, dos tipos de suelos y cuatro repeticiones.

Cada subparcela estuvo compuesta por dos hileras de plantas, con ocho plantas por metro lineal, espaciados en 0,15 m entre hileras y 1 m entre subparcelas. En cada subparcela, se consideraron solamente las plantas centrales. Los tratamientos fueron aislados con plástico (polietileno) hasta una profundidad de 0,50 m, para evitar posibles contaminaciones entre los tratamientos. Las parcelas experimentales fueron divididas con paredes de ladrillo, y posteriormente llenadas con 315 kg de suelo arenoso (S_1) y 288 kg de suelo arcillosos (S_2).

Se retiraron submuestras de cada tipo de suelo para la caracterización física (granulometría, densidad aparente y porosidad) siguiendo metodologías recomendadas por la EMBRAPA [7]. Además, se determinó la capacidad de retención de agua de los dos suelos, siendo que esa información fue utilizada en la planilla de riego.

Los análisis físicos y químicos del suelo (Tabla 2 y Tabla 3) fueron realizados antes del inicio de la etapa experimental, con el objetivo de obtener información para efectuar la fertilización, en función a la cantidad de nutrientes existentes del suelo y requerimiento del cultivo.

De manera previa a la incorporación de piedra caliza al suelo, se elevó la humedad del suelo hasta capacidad de campo. Se procuró realizar una mezcla homogénea de piedra caliza en el suelo, puesto que se tenía disponible un periodo de 15 días para la reacción.

Después de realizar el encalado del suelo, se determinó la necesidad de fertilización de fondo y de cobertura para el tratamiento en que se utilizó agua de abastecimiento para el riego, según la recomendación de la EMBRAPA [7] para el cultivo de algodón herbáceo cultivado en la zona del Cerrado.

Tabla 2.
Características físicas de los suelos utilizados.

Suelo	Densidad (kg dm ⁻³)	Porosidad (%)	Arena	Limo g kg ⁻¹	Arcilla
“Latossolo”	1,4	45,95	920	30	50
“Cambissolo”	1,28	52,58	590	180	230

Fuente: Elaborada por los autores.

Tabla 3.
Características químicas de los suelos utilizados.

Suelo	pH	Mat. org (%)	P	K mg dm ⁻³	NA	Ca + Mg	Al cmolc.dm ⁻³	(H+Al)	CTC	PST (%)
“Latossolo”	5,8	0,32	4,2	39,3	1	0,5	0	2,31	2,91	0
Cambissolo	6,7	0,95	7,2	378,2	21,9	9,9	0	1,16	12,12	1

Fuente: Elaborada por los autores.

De acuerdo con los contenidos en los suelos y una producción esperada de 5 t ha⁻¹, se utilizaron dosis de fertilización de fondo con N y P de 25 kg ha⁻¹ y 90 kg ha⁻¹, respectivamente. En el caso del K, fue necesaria la aplicación de 30 kg ha⁻¹, solamente para el suelo arenoso. Adicionalmente se aplicó azufre a razón de 40 kg ha⁻¹, mediante el sulfato de magnesio, para los dos tipos de suelos toda vez que el algodón es bastante exigente a este elemento.

Para la fertilización de cobertura se aplicaron 125 kg ha⁻¹ de N para los dos tipos de suelos, y en el caso del K 140 kg ha⁻¹ para el suelo arenoso. La aplicación de cobertura fue dividida en dos etapas: en la primera, a los 25 días después de la emergencia (DDE) se aplicó la mitad del N y 40% del K recomendados; en la etapa 2 se aplicó el resto del N y el K, en el inicio de la floración (a los 50 DDE). Los otros tratamientos recibieron estos elementos en la “fertilización” con agua residual, hasta los 100 DDE. La piedra caliza fue incorporada manualmente a una profundidad media de 25 cm, en tanto que para la fertilización de fondo, los nutrientes fueron aplicados en surcos a una profundidad aproximada de 10 cm. La fertilización de cobertura fue realizada también mediante la “fertilización”.

Para el suministro del agua de riego se utilizó el sistema de riego localizado, utilizándose emisores tipo microtubos de 1,5 mm de diámetro interno, para evitar el taponamiento por las partículas en suspensión presentes en el efluente. La aplicación del agua + fluente fue realizada utilizándose reservorios individuales con capacidad de 310 L, instalados encima una estructura construida con ladrillos y madera, de tal forma de obtener una columna de agua de 1,2 m. Dichos reservorios fueron llenados semanalmente con los volúmenes correspondientes a cada tratamiento.

La determinación de los contenidos de N, P y K en las hojas fue realizada en dos épocas (a los 70 y 115 DDE), mediante el método de extracción por digestión sulfúrica. Para ello, se utilizó 0,4g de materia seca, que fue digerida en 4 mL de ácido sulfúrico, 2 mL de peróxido de hidrógeno y 0,7g de una mezcla digestora compuesta de sulfato de sodio, sulfato de cobre y selenio, en una proporción de 100:10:1, colocado en el bloque digestor durante una hora a una temperatura de 250 °C hasta alcanzar una coloración castaña y después de ese tiempo la temperatura fue elevada a 350°C hasta obtener una coloración verdosa, obteniéndose los extractos que fueron completados hasta un volumen de 50 mL. El bloque digestor utilizado tenía una capacidad para 40 tubos de ensayo, lo que permitió analizar 39 muestras-más un tubo de ensayo conteniendo solamente reactivos como prueba en blanco.

En el extracto sulfúrico se cuantificó el nitrógeno por el método de Kjeldahl y el potasio por fotometría de emisión de llama, siguiendo la metodología citada por Tedesco et al. [28] y el fósforo por espectrofotometría, basado en el método de determinación de Braga y Defelipo [3].

Tabla 4.

Resumen del análisis de varianza de los contenidos de N, P y K en función de la fertirrigación con y sin agua residual en dos tipos de suelos a los 70 y 115 DDE. Mossoró-RN, 2010.

F.V.	G.L	Cuadrados medios					
		70 DDE			115 DDE		
		N	P	K	N	P	K
PAR	4	27,240n.s	0,324n.s	41,441*	6,425n.s	0,438n.s	3,769*
Suelo	1	128,343 *	0,289n.s	112,828*	62,555n.s	2,402**	9,890*
PARx Suelo	4	18,030n.s	0,591**	9,719**	38,59n.s	0,615n.s	2,99**
Residuo	27	12,555	0,591	3,38	27,721	0,354	0,498
C.V (%)		9,53	26,04	12,53	15,87	47,51	12,33

PAR – Proporción de agua residual; ** - significativo a 1% de probabilidad; * - significativo a 5% de probabilidad; ns – no significativo por la prueba de F.

Fuente: Elaborada por los autores.

Las medias de los resultados fueron comparadas por la prueba de F (al nivel de 5%), utilizándose para ello el del programa SISVAR.

3. Resultados y discusión

De acuerdo con el análisis de varianza (Tabla 4), donde se considera los contenidos de N, P y K en la hoja a los 70 DDE, se verificó que hubo una interacción significativa entre las proporciones de agua residual aplicadas y los tipos de suelos para los contenidos de P y K al nivel de 5% de probabilidad, y efecto significativo independiente para las proporciones de agua residual únicamente para el contenido de K. Con relación a la fuente de variación tipo de suelo ocurrió un efecto significativo para el N y el K al nivel de 1% de probabilidad.

Con relación a la segunda colecta realizada 115 DDE, se observó una interacción significativa únicamente para el K en todas las fuentes de variación estudiadas. Ocurrió un efecto aislado del tipo de suelo para el P y K, y efecto significativo de las proporciones de agua residual solamente para el K.

3.1. Nitrógeno

En el “Latossolo” a los 70 DDE, se verificó que el contenido de nitrógeno fue mayor cuando las plantas fueron fertirrigadas con 100% de agua residual (39,66 g kg⁻¹), en la cual se obtuvo un incremento de 17% comparado con el tratamiento control T₅. Los otros tratamientos (T₁, T₂ y T₃) presentaron contenidos medios de 32,59; 36,16 y 35,44 g kg⁻¹, respectivamente (Fig. 1A). En el “Cambissolo”, se observaron mayores valores de N para los tratamientos T₃, T₄ y T₅.

De acuerdo con la misma Figura, se puede evidenciar que pese a que no existe una diferencia significativa, los valores medios de N obtenidos en los dos tipos se encuentran próximos al rango observado por Yamada et al. [30], considerados adecuados para el cultivo de algodón de alta productividad (40 - 45 g kg⁻¹). Siendo importante resaltar que en este período, el contenido de N disponible para la planta utilizando agua residual es suficiente para atender la demanda del cultivo, toda vez que este nutriente es requerido en gran cantidad por el algodón, durante las fases vegetativa y de florecimiento.

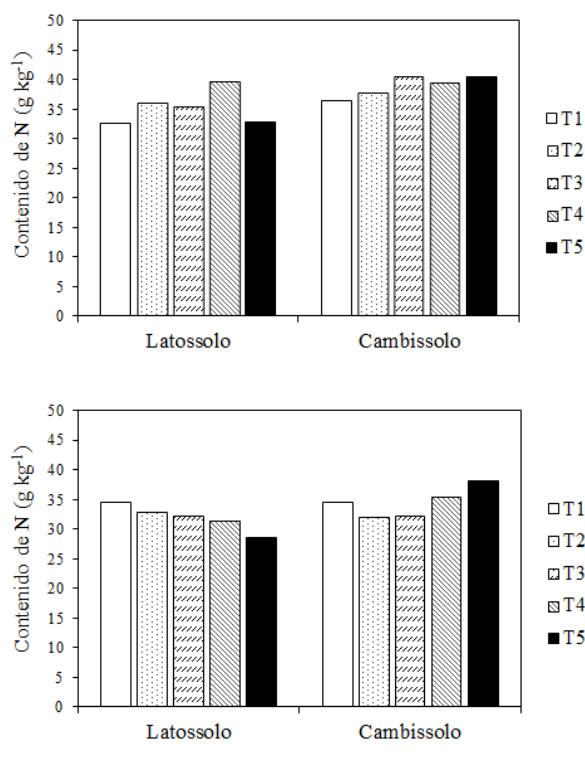


Figura 1. Contenido de N (A) a los 70 DDE y (B) a los 115 DDE. Fuente: Elaborada por los autores.

En el suelo “Latossolo” a los 115 DDE, se observa un decremento en los contenidos de N en las plantas fertirrigadas con el aumento de las proporciones de agua residual; empero, las plantas que fueron sometidas al T₁ presentan valores superiores al T₅, registrándose un incremento de 17% (Fig. 1B). Para el “Cambissolo”, se obtuvieron mayores contenidos de N para las plantas que recibieron el T₅, con 38,11 g kg⁻¹ y menores para los tratamientos T₂ y T₃, con 31,96 y 32,22 g kg⁻¹, respectivamente. Se observó también un incremento de N en las plantas, en el orden de: 10,72; 4,11; 12,62 y 18,55% sometidas a los tratamientos T₁, T₂, T₃ y T₅, comparado con las plantas cultivadas en el “Latossolo”. Esto puede ser explicado por la mayor disponibilidad de nutrientes para la planta en el “Cambissolo”, en virtud de que este suelo presenta mayor cantidad de materia orgánica, además de poseer una mayor capacidad de retención de sales provenientes del agua residual.

Los resultados encontrados discrepan de alguna manera con los obtenidos por Fonseca et al. [10], usando efluentes en el riego de maíz, puesto que indica que el efluente contribuye para el aumento del contenidos de N en las plantas, incluso más altos que de las plantas cultivadas con el manejo convencional. Por otro lado, confirman los obtenidos por Damasceno [5] cuando cultivó la gerbera fertirrigada con efluentes domésticos tratados con y sin suplementación mineral, quien no observó grandes concentraciones de nutrientes en las hojas de las plantas. Ricci [20] también no obtuvo diferencias en las concentraciones de nutrientes en la parte aérea de la planta cuando comparó fertilización orgánica y convencional.

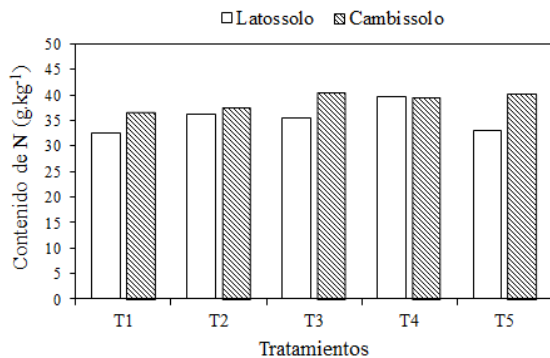


Figura 2. Totales en el limbo foliar del algodón fertilizado con agua residual y fertilización mineral.
Fuente: Elaborada por los autores.

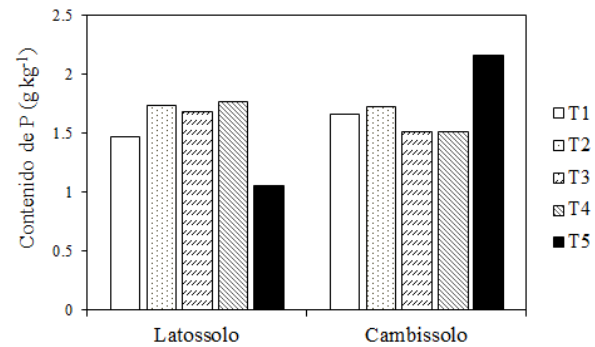


Figura 3. Contenidos de P a los 70 DDE.
Fuente: Elaborada por los autores.

Asimismo, en la evaluación de los dos tipos de suelos durante el ciclo del algodón, se percibió mayor respuesta en las plantas cultivadas en el “Latossolo”, en virtud de este suelo presenta menor contenido natural de materia orgánica y nitrógeno. Se constató también que este nutriente aumentó en función del mayor aporte de materia orgánica por el agua residual (Fig. 2).

3.2. Fósforo

Hubo interacción significativa entre los factores estudiados para el contenido de fósforo a los 70 DDE (Tabla 4). En esta misma época, se evidenció que las plantas de algodón que fueron sometidas a los tratamientos T₁, T₂, T₃ y T₄ y cultivadas en el suelo S₁ (“Latossolo”) presentaron incrementos de 27,8; 39,0; 37,3 y 40,11% comparados al tratamiento control (T₅), demostrando que la aplicación de aguas residuales aumentó los niveles de ese nutriente en las plantas cultivadas en el “Latossolo” (Fig. 3). Esto puede ser explicado mediante la cantidad encontrada de fósforo en el suelo, que era bajo, obteniendo así mejor respuesta para los tratamientos con agua residual. En tanto que en el “Cambissolo”, se obtuvo un comportamiento inverso en las plantas cuando fueron sometidas al tratamiento T₅, en el cual se obtuvo mayores contenidos de P (comparado con las plantas que fueron cultivadas con 100% de agua residual (T₄)). Este hecho puede ser explicado debido a que este suelo presenta mayor capacidad de retener ese nutriente, en razón a su mayor capacidad de intercambio catiónico (CIC), según el análisis de fertilidad realizado al inicio del experimento (Tabla 3).

Los resultados de los análisis de los tratamientos en el “Latossolo” a los 115 DDE, muestran que las plantas que recibieron agua residual presentaron valores muy próximos a plantas que no recibieron (control) (Fig. 4). En tanto que en el “Cambissolo” se constató un incremento en el P acumulado a medida que se aumenta el porcentaje de agua residual en la solución aplicada, sin embargo, el tratamiento T₅ y T₄ fueron los que presentaron mayores valores de este nutriente (1,25 g kg⁻¹). Tal hecho se debe a la cantidad de fósforo del agua residual, y a la mayor CIC del suelo arcilloso, consecuentemente su capacidad de retener mayores cantidades de nutriente.

Analizando los efectos de los tratamientos con y sin agua residual en los suelos estudiados, se verificó que la mejor respuesta de las plantas a la acumulación de ese nutriente fueron

en aquellas cultivadas en un suelo arcilloso (“Cambissolo”), donde se destacó el tratamiento convencional, o sea, sin agua residual (T₅) con ganancia porcentual de 30% en comparación con T₄ (Fig. 5). Los contenidos medios en todo el experimento variaron entre 1,06 y 1,77g kg⁻¹ para el “Latossolo” 1,52 a 2,16 g kg⁻¹ para el “Cambissolo”. No obstante, los valores encontrados para el “Cambissolo” fueron superiores al “Latossolo”, donde están próximos al rango inferior al recomendado por Rosolem et al. [21] que obtuvieron contenidos entre 2,3 y 2,6 g kg⁻¹. Siendo que el rango obtenido en este experimento se encuentra debajo de los resultados obtenidos por Serra et al. [23].

Estos resultados concuerdan con los obtenidos por Silva Júnior et al. [24] para el cultivo de banana, también verificaron que los tratamientos con agua residual no difirieron del testigo, el cual presentó un valor medio de 1,17 g kg⁻¹. Según Brady [2] la disponibilidad de P para los vegetales es determinada razonablemente por la forma iónica de ese elemento y está determinada por el pH de la solución en la que se encuentra este ión.

El fósforo es un nutriente de alta demanda por el algodón, puesto que estimula el crecimiento radicular, florecimiento y desarrollo de los frutos. Al contrario del N, que prolonga la fase vegetativa de las plantas, el fósforo favorece a la maduración de los capullos, aumenta el rendimiento y la calidad de la fibra [15].

Por tanto, una de las alternativas para la producción de algodón es la fertilización vía orgánica, con el uso de aguas residuales, y la suplementación a través de la fertilización mineral con fósforo, de acuerdo con la fase fenológica de la planta.

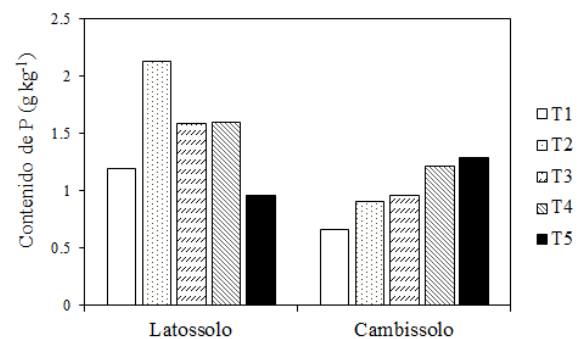


Figura 4. Contenidos de P a los 115 DDE.
Fuente: Elaborada por los autores.

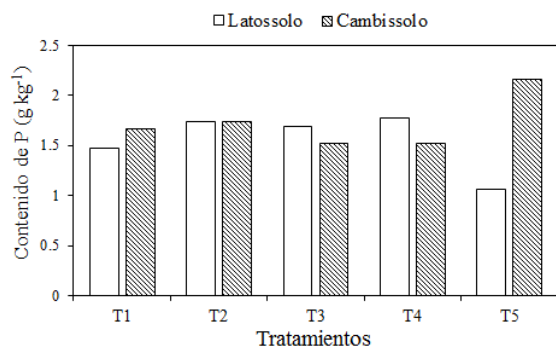


Figura 5. Totales en el limbo foliar de algodón fertirrigado con agua residual y fertilización mineral.
Fuente: Elaborada por los autores.

3.3. Potasio

En el caso del Potasio se observó el efecto de la interacción entre las proporciones de agua residual y los dos suelos estudiados en las diferentes épocas de colectas, donde se percibió que en el “Latossolo” las parcelas que recibieron proporciones de efluentes a los 70 DDE presentaron mayores valores comparados con el tratamiento con fertilización mineral, en la cual se destacó el T₂ con 25% de agua residual (21,2 g kg⁻¹), obteniéndose un incremento de 41% con relación al T₅ (Fig. 6). Tal hecho puede ser explicado por las características químicas y físicas de este suelo, sumado a la cantidad de este nutriente aplicado en la fertirrigación, permitiendo así mayor extracción del potasio por la planta. Empero, para el “Cambissolo”, se percibió que las plantas tratadas con T₁, T₂ y T₃ presentaron valores ligeramente superiores de potasio al comparar con las plantas de los tratamientos T₄ y T₅, promoviendo un incremento cercano al del 21%.

A los 115 DDE se evidenció que el contenido de K en el “Latossolo” presentó pequeñas variaciones entre los tratamientos, variando de 4,26 a 5,95 g kg⁻¹. Por otro lado, en el “Cambissolo” se verificó una mayor diferencia entre tratamientos con relación a la acumulación de este nutriente, ocurriendo una reducción de 28% para el tratamiento control (T₅) comparado con el T₂ (Fig. 7A). El contenido de K en la segunda colecta están muy debajo de lo recomendado por Silva et al. [25], que es de (15 a 25 g kg⁻¹) para las hojas del algodón, encima de 90 DDE. Sin embargo, el contenido en las hojas puede caer progresivamente con el ciclo de la planta [18]. Es importante resaltar que, el algodón acumuló altas concentraciones de K en sus hojas antes de la floración, ocurriendo reducciones significativas después de ese período. También se observó que la concentración de potasio en la hoja es fuertemente influenciado por la edad de la hoja muestreada y por la fase fisiológica de la planta. De acuerdo con Feigin et al. [9], cuando utilizaron efluente y agua tratada en el riego de algodón no observaron diferencias significativas entre los tipos de agua para contenidos de N, P y K, sin embargo, verificaron que hubo una mayor acumulación de K en las plantas regadas con efluente.

Pese a que se registraron bajos contenidos de potasio en la segunda colecta de plantas, se observó que los valores encontrados en ambos suelos, están dentro el rango recomendado por Silva et al. [25] Además, los valores encontrados para los tratamientos con agua residual fueron

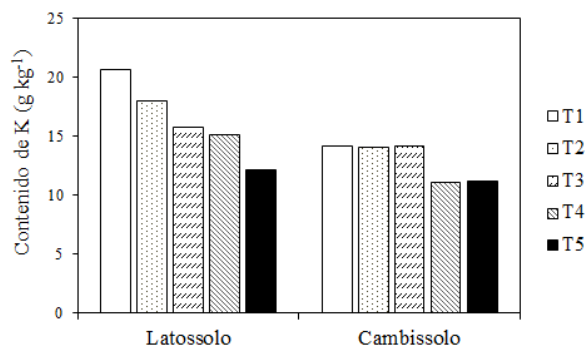
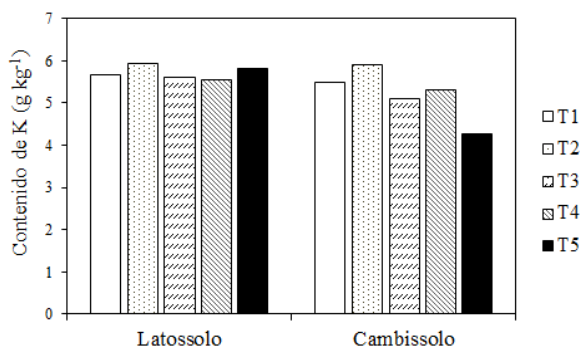
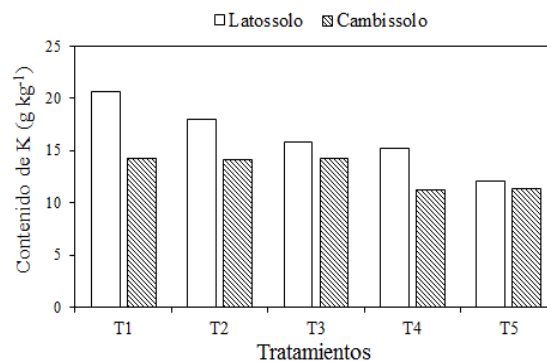


Figura 6. Contenido de K a los 70 DDE.
Fuente: Elaborada por los autores.



A



B

Figura 7. Contenido de K a los 115 DDE (A) y (B) totales en el limbo foliar de algodón fertirrigado con agua residual y fertilización mineral.
Fuente: Elaborada por los autores.

superiores al convencional. Comprobándose de esta manera la eficiencia del uso de efluentes en la fertirrigación, trayendo como consecuencia un aumento del contenido de este nutriente en el cultivo de algodón, así como en otros cultivos tales como el maíz y frijol [17], caña de azúcar [13], gerbera [14] y ricino [11], comprobando la viabilidad de la fertilización con agua residual.

De acuerdo a los resultados obtenidos en el presente experimento hubo diferencias en los contenidos de N y P con relación al tratamiento control, constatándose un enorme beneficio para las plantas de algodón cultivadas con agua residual rica en nutrientes orgánicos, además de economizar el uso de agua de buena calidad.

Varios estudios demostraron que la aplicación de agua

residual elevó la concentración de macronutrientes en las hojas de las plantas cultivadas [22, 19] y que, de modo general, este aumento es influido por la concentración de nutrientes en el agua.

4. Conclusiones

La utilización de agua residual suple las necesidades nutricionales del algodón en N y K, excepto para P.

En base al contenido foliar de N y K, se concluye que las plantas de algodón regadas con efluente tratado y cultivadas en un suelo "Latossolo" mostraron mayor respuesta en la absorción de dichos nutrientes.

Bibliografía

- [1] Azevedo, A.Q. de R.M., Konig, A., Beltrão, N.E. de M., Ceballos, B. S.O. de, Azevedo, C.A. de y Tavares, T. de L., Características tecnológicas da fibra do algodão herbáceo sob efeito de adubação nitrogenada e irrigação com água residual tratada. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, [en línea]. 9(suplemento), pp. 202-2005, 2005. Disponible en: http://www.agriambi.com.br/revista/suplemento/index_arquivos/PDF/202.pdf?script=sci_pdf%00%03...
- [2] Brady, N.C., *Natureza e propriedades dos solos*. 7. ed. Rio de Janeiro: Freitas Bastos, 898 P, 1989.
- [3] Braga, J.M. y Defelipo, B.V., Determinação espectrofotométrica de fósforo em extratos de solos e planta. *Revista Ceres, Viçosa*, 21(113), pp.73-85, 1974.
- [4] Carmo-Filho, F. y Oliveira, O.F., Mossoró: Um município do semi-árido nordestino, caracterização climática e aspecto florístico. Mossoró: ESAM, (Coleção Mossoroense, Série B), 1995, 62P.
- [5] Damasceno, L.M.O., Andrade-Júnior, A.S., Gheyi, H.R., Dias, N.S. y Silva, C.O., Composição nutricional foliar da gérbera irrigada com efluente doméstico tratado. *Revista Caatinga, Mossoró*, [en línea]. 24(2), pp. 121-128, 2011. Disponible en: <https://www.researchgate.net/publication/262804645>
- [6] Duarte, S.A., Airoidi, R.P.S., Folegatti, M.V., Botrel, T.A. y Soares, T.M., Efeitos da aplicação de efluente tratado no solo: pH, matéria orgânica, fósforo e potássio. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*. Campina Grande, 12(3), pp. 302-310, 2008. DOI: 10.1590/S1415-43662008000300012
- [7] Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. *Calagem e Adubação do Algodoeiro no Cerrado: CNPA*, (Documento, 92), pp. 1-16, 2006.
- [8] Fasciolo, G.E., Meca, M.L., Gabriel, E. and Morábito, J., Effects on crops of irrigation with treated municipal wastewaters. *Water Science and Technology*, Oxford, 45(1), pp. 133-138, 2002.
- [9] Feigin, A., Ravina, I. and Shalhevet, J., *Irrigation with treated sewage effluent: Management for environmental protection*. Berlin: Springer-Verlag, 1991, 224P.
- [10] Fonseca, S.P.P., Soares, A.A. y Matos, O.G.P., Avaliação do valor nutritivo e contaminação fecal do capim coastcross cultivado nas faixas de tratamento de esgoto doméstico pelo método do escoamento superficial. *Engenharia Agrícola*, [en línea]. 21(3), pp. 293-301, 2001. Disponible en: <https://www.researchgate.net/publication/264889412>
- [11] Lima, M.M. de Azevedo, C.A.V. de Beltão, N.E. de M. Dantas-Neto, J., Gonçalves, C.B. y Santos, C.G. da F., Nitrogênio e promotor de crescimento: Efeitos no crescimento e desenvolvimento do algodão colorido verde. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, Campina Grande, [en línea]. 10(3), pp. 624-628, 2006. Disponible en: <http://www.scielo.br/pdf/rbeaa/v10n3/v10n3a13.pdf>
- [12] Lucena, A.M.A., Guerra, H.O.C., Chaves, L.H.G. y Costa, F.X., Influência da natureza do substrato e da água de irrigação no crescimento de mudas de flamboyant (Delonix regia). *Revista Caatinga, Mossoró*, 20(3), pp. 112-120, 2007.
- [13] Marques, M.O., Nogueira, T.A.R., Fonseca, I.M. y Marques, T.A., Metais pesados em solo tratado com lodo de esgoto e cultivado com cana-de-açúcar. *Colloquium Agrariae*, 2(1), pp.46-56, 2006. Disponible en: <https://periodicos.ufersa.edu.br/index.php/caatinga/article/view/181/196>
- [14] Medeiros, S.S., Soares, F.A.L., Gheyi, H.R. y Fernandes, P.D., Uso de água residual de origem urbana no cultivo de gérberas: Efeito nos componentes de produção. *Engenharia Agrícola, Jaboticabal*, 27(2), pp. 569-578, 2007. DOI: 10.1590/S0100-69162007000300028
- [15] Mozaffari, M., Oosterhuis, D.M., Mcconnell, J.S., Slaton, N.A., Gonias, E.D., Bibi, A.C., Evans, E.E. and Kennedy, C., Effect of phosphorus fertilization on cotton yield and leaf reflectance in a representative silt loam. *Summaries of Arkansas Cotton Research*, [online]. pp 69-73, 2005. (AAES Research Series, 543). Available at: <http://arkansasagnews.uark.edu/543-11.pdf>
- [16] Nobre, R.G., Crescimento do girassol irrigado com água residual e adubação orgânica. *Revista DAE, São Paulo*, [en línea]. 4(1), pp. 50-60, 2009. Disponible en: <http://www.scielo.br/pdf/rbeaa/v16n10/a01.pdf>
- [17] Nogueira, R.A.T., Sampaio, R.A., Soares, F.C. y Machado, F.I., Produtividade de milho e de feijão consorciados adubados com diferentes formas de lodo de esgoto. *Revista de Biologia e Ciências da Terra*, [en línea]. 6(1), pp.122-131, 2006. Disponible en: http://joaotavio.com.br/bioterra/workspace/uploads/artigos/lodoesg_oto-5181d0857d62f.pdf
- [18] Reddy, K.R., Hodges, H.F. and Varco, J., Potassium nutrition of cotton. *Mississippi: Mississippi Agricultural and Forestry Experiment Station*, [online]. Bulletin, 1094, 10P. 2000. Available at: <https://dl.sciencesocieties.org/publications/books/abstracts/acesspublicati/potassiumagri/843?access=0&view=pdf>
- [19] Rezende, A.V. Adubação com macronutrientes no Cerrado. Planaltina, DF. *Documentos/EMBRAPA Cerrados*, [en línea]. 43P, 2003. Disponible en: <http://www.infoteca.cnptia.embrapa.br/handle/doc/568036>
- [20] Ricci, M. dos S.F., Almeida, D.L. de, Fernandes, M. do C.A., Ribeiro, R. de L.D. y Cantanheide, M.C. dos S., Efeitos da solarização do solo na densidade populacional da tiririca e na produtividade de hortaliças sob manejo orgânico. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, Brasília, [en línea]. 35(11), pp.2175-2179, 2000. Disponible en: <https://seer.sct.embrapa.br/index.php/pab/article/view/6009>
- [21] Rosolem, C.A., Giomimo, G.S. y Laurneti, R.L.B., Crescimento radicular e nutrição de cultivares de algodoeiro em resposta à calagem. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, Brasília, [en línea]. 35, pp. 827-833, 2000. Disponible en: <http://www.scielo.br/pdf/%0D/pab/v35n4/4750.pdf>
- [22] Sandri, D., Irrigação da cultura da alface com água residual tratada com leitos cultivados com macrófita. 186 f. Tese Doutorado em Engenharia de Água e Solo, Faculdade de Engenharia Agrícola, Universidade Estadual de Campinas, Campinas, Brasil, 2003.
- [23] Serra, A.P., Marchetti, M.E., Vitorino, A.C.T., Novelino, J.O. y Macho, M.A., Determinação de faixas normais de nutrientes no algodoeiro pelos métodos CHM, CND e DRIS. *Revista Brasileira de Ciência do Solo, Viçosa*, 34, pp. 105-113, 2010. DOI: 10.1590/S0100-06832010000100011
- [24] Silva-Júnior, J.J. da, Coelho, E.F., Sant'ana, J.A. do V., Santana Junior, E.B. y Pamponet, A.J.M., Uso da manipeira na bananeira 'terra maranhão' e seus efeitos no solo e na produtividade. *Irriga, Botucatu*, 17(3), pp. 353-363, 2012. DOI: 10.15809/irriga.2012v17n3p353
- [25] Silva, V.F., Sousa, J.T., Vieira, F.F. y Santos, K.D., Tratamento o anaeróbico de esgoto doméstico para fertirrigação. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, Campina Grande, [en línea]. 9, (Suplemento), pp.186-190, 2005. Disponible en: http://www.agriambi.com.br/revista/suplemento/index_arquivos/PDF/186.pdf?script=sci_pdf%00%03d=S1415-43662005000400004&lng=en&nrm=iso&tlng=pt
- [26] Sousa, J.T., Ceballos, B.S.O., Henrique, I.N., Dantas, J.P. y Lima, S.M.S., Reúso de água residual na produção de pimentão (*Capsicum annuum* L.). *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, Campina Grande, [en línea]. 10(1), pp.89-96, 2006. Disponible en: <http://www.scielo.br/pdf/%0D/rbeaa/v10n1/v10n1a14.pdf>
- [27] Sousa, J.T. de y LEITE, V.D., *Tratamento e Utilização de Esgotos Domésticos na Agricultura*. Campina Grande: ed. EDUEP, 135P, 2003.

- [28] Tedesco, M.J., Gianello, C., Bissani, C.A., Bohnen, H., Volkweiss, S.J., Análise de solo, plantas e outros materiais. 2^{da} ed. Porto Alegre, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 174P, 1995.
- [29] Van Der Hoeck, W., Hassan, U.M., Ensink, J.H.J., Feenstra, S., Raschid-Sally, L., Munir, S., Aslam, R., Alim, N., Hussain, R. and Matsuno, Y., Urban wastewatr: A valuable resource for agriculture. A case study from horoonabad, Paskitan. Colombo, Sri Lanka: International Water Management Institute. (Research Report, 63) 20 P, 2002.
- [30] Yamada, T., Malavolta, E., Martins, O.C., Zancanaro, O.L., Casale, H. y Baptista, I., Teores foliares de nutrientes observados em áreas de alta produtividade. Piracicaba: Potafos, 1999.

J. Andrade-Filho, recibió el BSc. Eng en Ingeniería Civil en 2004, la MSc en ciencia del suelo en 2008, y el Dr. en el suelo y el agua managemant en 2016, todos ellos de la Universidade Federal Rural do Semiárido, Brasil. De 2004 a 2008, trabajó para varias empresas de ingeniería. Actualmente es profesor en el Departamento de Construcción del Instituto Federal de Ciencia y Tecnología de Rio Grande do Norte. Sus intereses de investigación incluyen: residuos sólidos, reutilización del agua, tratamiento de aguas residuales domésticas y calidad del agua.
ORCID: 0000-0002-0664-1752

I. Bezerra-Nascimento, recibió el título de Ingeniería Agronómica en 2000, el grado de MSc. en Fitiotecny / Agronomic en 2003 y el grado de Dr. en Fitiotecny / Agronomic en 2007, el PhD. en 2010 y 2013 en Ufersa. Tiene experiencia en el área de agronomía, con énfasis en olericultura, fruticultura, salinidad, gestión ambiental y seguridad laboral.
ORCID: 0000-0002-7077-834X

O.N. Sousa-Neto, recibió el BSc. Ingeniería Agronómica en 2011, MSc. en Ciencias del Suelo en 2013, todos ellos de la Universidad Federal Rural do Semi-Árido. Dr. en Ingeniería de Sistemas Agrícolas programa en 2017, la Universidad de São Paulo - USP, la Escuela Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz" - ESALQ, Piracicaba, SP, Brasil. Actualmente es profesor titular en diseño gráfico y diseño asistido por computadora, en la Universidad Federal Rural do Semi-Árido. Sus intereses de investigación incluyen: reutilización del agua, conservación del suelo y del agua, manejo del riego, hidráulica, fertirrigación, salinización.
ORCID: 0000-0002-6256-4333

N. da Silva-Dias, recibió el BSc. Ingeniero Agrónomo en 1998 en la Universidad Federal Rural del Semiárido, Brasil; MSc. en ingeniería agrícola en 2002 en la Universidad Federal de Campina Grande, y Dr. en Agronomía en 2005 en la Universidad de Sao Paulo, Brasil. Actualmente es profesor titular de pregrado y postgrado de la Universidad Federal Rural del Semiárido. Sus intereses de investigación incluyen el monitoreo remoto y en tiempo real de la evolución del proceso de salinización en áreas de riego utilizando sistemas de monitoreo inteligentes y calidad de agua para riego.
ORCID: 0000-0002-1276-5444

R. Chipana-Rivera, recibió BSc. en Ingeniería Agronómica en 1993 en la Universidad Mayor de San Andrés (UMSA), Bolivia. MSc. en riego y drenaje en la Universidad Federal de Ceará, Brasil, en 1993, y Dr. en riego y drenaje en la Universidad de Sao Paulo, Brasil, en 2005. Fue director de Ingeniería Agrícola de la UMSA de 2004 a 2007 y de 2014 a 2017. Fue decano de la Facultad de Agronomía de la UMSA de 2009 a 2012. Trabajó en instituciones públicas y privadas, realizando investigación y desarrollo y ejecución de proyectos tradicionales de riego y riego técnico, drenaje agrícola, gestión sostenible del agua, productividad del agua, salinidad del suelo, dinámica de solutos, cambio climático y resiliencia. Es profesor de pregrado y postgrado de la UMSA. También trabajó en proyectos financiados por organizaciones internacionales, principalmente con la Agencia Española de Cooperación Internacional para el Desarrollo.
ORCID: 0000-0001-8676-2660

J. Cruz-Portela, recibió Bs. En Ingeniería Agronómica de la Facultad de Agronomía de la Universidad Federal de Bahía (1997), MSc. en Agronomía (Suelo Planta y Nutrición), Universidad de Sao Paulo (2000) y Dr. en Ciencias del Suelo de la Universidad Federal de Rio Grande do Sul (2009), Brasil. Actualmente es profesora adjunto IV de la Universidad Federal Rural del Semiárido. Tiene experiencia en el área de agronomía, con énfasis en manejo y conservación del suelo, actuando principalmente en los siguientes temas: semiárido, caatinga, fertilidad, ambiente y educación.
ORCID: 0000-0002-9207-5530

J. Dunga-da-Costa, recibió los BSc. en Ingeniería Agrícola y Ambiental en 2013 en la Universidad Federal Rural del Semiárido, Mossoró, Brasil. MSc. en Ingeniería de Sanitaria en 2015 en la Universidad Federal de Rio Grande do Norte, Natal, Brasil. Actualmente es doctoranda del Programa de Postgrado en Manejo de suelo y agua del desde 2015, de la Universidad Federal Rural del Semiárido, Mossoró, Brasil. Sus intereses de investigación incluyen: Ciencia del suelo y ciencias ambientales.
ORCID: 0000-0002-0042-9646



UNIVERSIDAD NACIONAL DE COLOMBIA

SEDE MEDELLÍN
FACULTAD DE MINAS

Área Curricular de Medio Ambiente

Oferta de Posgrados

Especialización en Aprovechamiento de Recursos Hidráulicos
Especialización en Gestión Ambiental
Maestría en Ingeniería Recursos Hidráulicos
Maestría en Medio Ambiente y Desarrollo
Doctorado en Ingeniería - Recursos Hidráulicos
Doctorado Interinstitucional en Ciencias del Mar

Mayor información:

E-mail: acma_med@unal.edu.co
Teléfono: (57-4) 425 5105