

Artículo Científico

Manejo y reutilización de la orina humana como fertilizante en plantas de maíz**Ricardo Augusto Reyes Arana**

Ingeniero Civil, M.Sc. Ingeniería Sanitaria, ERIS-USAC, Guatemala

Trabajo: Asesor Ambiental individual

Dirección para recibir correspondencia: ingrara76@yahoo.com

Recibido 21.11.2017 Aceptado 24.11.2017

Resumen

Este artículo presenta los resultados de un bioensayo realizado como prueba piloto para el proceso de recolección, tratamiento y aplicación de orina humana como fertilizante orgánico en plantas de maíz para determinar sus efectos. Los resultados y lecciones aprendidas del bioensayo indican que con el almacenamiento de la orina, alcanza valores de pH mayores a 8 lo que elimina la posible presencia de patógenos, y es una fuente de concentraciones de nitrógeno (N) de 3.00-7.00 g/L, fósforo (P) 0.20-0.50 g/L y potasio (K) de 0.90-4.88 g/L. Al separar la orina que corresponde al uno por ciento de las aguas residuales, se determinó el impacto de la orina sobre las mismas, al analizar los siguientes parámetros demanda bioquímica de oxígeno (DBO₅), demanda química de oxígeno (DQO), nitrógeno (N), fósforo (P). La orina contribuye en un 7.11% en la demanda bioquímica de oxígeno (DBO₅), 9.67% en la demanda química de oxígeno (DQO), 9.35% nitrógeno (N) y 16.37% fósforo (P) de las aguas residuales.

Palabras claves: Saneamiento, desechos humanos, bioensayo, aguas residuales, DBO₅, DQO, pH.

Abstract

This article represents the bioassay results made, as test of the recollection, treatment an application of human urine as an organic fertilizer in corn plants to determine effects. The results and learned lessons of the bioassay indicate that with the storage of the urine it reaches levels of pH higher than eight 8, witch eliminate the possible presence of any pathogen, and is separated it is a source of concentration of nitrogen (N) 3.00-7.00 g / L, phosphorus (P) 0.20-0.50 g / L and potassium (K) 0.90-4.88 g / L. When the urine witch corresponds to a one percent of the sewage waters we determined the impact of all ready said before. Analyzing the following parameters biochemical oxygen demand (DBO₅), oxygen chemical demand (DQO), nitrogen (N), phosphorus (P). The urine contributes 7.11% in biochemical oxygen demand (DBO₅), 9.67% in oxygen chemical demand (DQO), 9.35% nitrogen (N) and 16.37% phosphorus (P) in the sewage waters.

Keywords: Sanitation, human waste, bioassay, sewage water, DBO₅, DQO, pH.

Introducción

La utilización de la orina como fertilizante es un método utilizado desde la antigüedad como recurso valioso. Existen experiencias en la utilización de la orina en otros países que parten de la idea de separar los desechos humanos, tratarlos y aprovechar sus subproductos; por ejemplo, la orina fue probada como un fertilizante para la cebada en Suecia durante los años 1997 a 1999. En México se ha probado orina como fertilizante en lechuga de invernadero. Experimentos de campo fueron conducidos en campos agrícolas en la aldea de Nagasandra, Doddaballapura Tq, distrito de Bangalore en la India durante un año para estudiar la respuesta del maíz a la orina humana aplicada para cubrir el requerimiento de nitrógeno. Debido a estas experiencias surge el interés de poder manejar y reutilizar la orina humana como fertilizante, por lo que se realizó una prueba piloto sobre la

recolección, tratamiento, y aplicación como fertilizante en plantas de maíz, se colocaron dos uriniales con capacidad de 10 litros cada uno, el volumen total de recolección de orina fue de 19 litros, a los cuales se les dio tratamiento, reposo, durante veinticuatro semanas. Los parámetros que se analizaron fueron físicos, químicos y microbiológicos. Se plantearon siete métodos de tratamiento, en cada método de tratamiento se utilizo bolsas de almacigo para la siembra de maíz, realizando cuatro aplicaciones de fertilizante. La primera aplicación 15 días después de la siembra, la segunda 44 días después, la tercera 85 días después y la cuarta 120 días después, en un periodo de 125 días desde la siembra hasta la toma de datos finales.

Las variables que se evaluaron para los métodos de tratamiento a los que se les fue aplicado orina humana fueron altura de la planta de maíz, largo de su raíz y porcentaje de absorción de nutrientes de esas plantas

de maíz. También se analizó el impacto de la orina sobre las aguas residuales en los parámetros demanda bioquímica de oxígeno (DBO5), demanda química de oxígeno (DQO), nitrógeno (N), fósforo (P). Con la realización de este ensayo se evalúa una de las alternativas de saneamiento ecológico que se han venido desarrollando en varios países. Lo que incluye sus ventajas y desventajas.

Se aplicó técnicas básicas para la recolección, formas de como se debe de hacer el tratamiento y de cómo aplicar la orina humana a diversos tipos de cultivo, lo cual hizo fiable el bioensayo y la salud de las personas que lo realizaron.

Este artículo muestra lo esencial del estudio especial "Manejo y Reutilización de la Orina Humana como Fertilizante en Plantas de Maíz", donde se indican técnicas de saneamiento ecológico, que plantea la búsqueda de soluciones adaptadas a las condiciones locales que permitan cerrar el ciclo de nutrientes entre el saneamiento y la agricultura. También el estudio quita el paradigma social a la resistencia cultural del uso y manejo de los desechos humanos.

Antecedentes

La utilización de la orina como fertilizante es un método utilizado desde la antigüedad como recurso valioso. Olvidado en la nueva sociedad del consumo y la comodidad donde los residuos son tratados como desperdicios que hay que eliminar rápidamente.

La orina fue probada como un fertilizante para la cebada en Suecia durante los años 1997 a 1999. Los resultados mostraron que el efecto del nitrógeno (N) de la orina corresponde alrededor del 90% de la misma cantidad de fertilizantes minerales de nitrato de amonio, que se estima que corresponden a un 100% de la misma cantidad de fertilizantes de amonio, después de considerar la pérdida de nitrógeno (N) en forma de amoníaco de la orina.

En México se ha probado orina como fertilizante en lechuga de invernadero. Los tratamientos compararon la orina con el compost, la mezcla de orina-compost y sin fertilizante. La dosis de aplicación fue de 150 kg de nitrógeno (N) total por hectárea en todos los tratamientos, excepto para el control sin fertilizar. La orina dio el mejor rendimiento en la lechuga, gracias a su alta disponibilidad de nitrógeno (N). La orina ha sido probada como fertilizante en amaranto en México. Los resultados mostraron que una combinación de orina y

gallinaza dio el mayor rendimiento, 2.350 kg/ha. La gallinaza sola dio un rendimiento de 1.900 kg/ha. La orina humana sola dio un rendimiento de 1.500 kg/ha y el control sin fertilizar dio un rendimiento de 875 kg/ha. La cantidad de nitrógeno (N) aplicado fue de 150 kg nitrógeno (N)/ha en los tres tratamientos.

Experimentos de campo fueron conducidos en campos agrícolas en la aldea de Nagasandra, Doddaballapura Tq, distrito de Bangalore en la India durante un año para estudiar la respuesta del maíz a la orina humana aplicada para cubrir el requerimiento de nitrógeno. Los tratamientos fueron de control, dosis recomendada de fertilizantes, dosis recomendada de nitrógeno mediante orina humana con y sin yeso y fertilizantes aplicados al suelo y diferentes combinaciones de orina humana y los fertilizantes. Los resultados de los experimentos de campo revelaron que la dosis recomendada de nitrógeno a través de la orina humana dividida en 6 dosis con agua de riego + yeso incrementó el rendimiento del grano de 8,100 Kg/ha y el rastrojo del maíz 33,388 Kg/ha. Se observó en los cultivos un incremento significativo del contenido de nitrógeno (N), fósforo (p) y potasio (K) en las muestras de las plantas. El resultado de la investigación reveló que los sistemas de sanitarios que hacen separación de orina contribuyeron a dotar un mejor saneamiento, ayudaron a los agricultores a ahorrar el costo de los fertilizantes sin que se presenten efectos negativos en la producción de los cultivos, contribuyendo así a alcanzar la seguridad alimentaria.

Para la reutilización y manejo de excretas por medio de la implementación de sistemas de ecosaneamiento se tiene una gran resistencia cultural al uso y manejo de la excreta humana, riesgos higiénicos si el sistema no se maneja adecuadamente, falta de información sobre tecnologías de ecosaneamiento en el mercado, necesidad de estructuras reguladoras sobre el reúso de reciclados, implementar cambios en creencias y practicas sobre el saneamiento (usuarios y funcionarios). Estas deficiencias y la negatividad a la utilización de estos sistemas es generada por tendencia cultural al rechazo a la reutilización de desechos humanos, falta de cultura ambiental, falta de apoyo institucional, fallas en mantenimiento y operación de los sistemas, precios subsidiados para el agua, deficiencia en la legislación para el reúso de aguas residuales, la agricultura es de carácter temporal.

Metodología

El bioensayo con plantas de maíz se desarrolló

entre noviembre de 2011 y mayo de 2012. Se analizaron y plantearon siete métodos de tratamiento, siendo estos los siguientes: tratamiento químico, orina, testigo, orina y abono orgánico, abono orgánico, orina diluida, Orina diluida y abono orgánico con siete repeticiones cada uno. Se realizaron análisis de laboratorio a la orina del proceso de tratamiento, reposo, analizando durante veinticuatro semanas los parámetros físico, químico y microbiológico y así establecer y demostrar que la orina, recolectada a cierta temperatura, pH y tiempo de reposo disminuye su posible carga de patógenos y puede ser utilizada, sin riesgos sanitarios como fertilizante líquido orgánico. Durante el ciclo de crecimiento de las plantas de maíz se realizaron 4 aplicaciones de orina como fertilizante a los métodos de tratamiento propuestos. La primera aplicación de fertilizante fue 15 días después de la siembra, la segunda 44 días después, la tercera 85 días después y la cuarta 120 días después de tratamiento a lo largo de 125 días. Para este caso se realizó una aplicación más para cubrir la demanda de nitrógeno (N) de las plantas, es decir, se aplicaron 4 veces los fertilizantes a cada método de tratamiento. Luego de las fertilizaciones se analizó para cada planta de maíz su altura, largo de su raíz y porcentaje de nutrientes absorbidos y así poder establecer si los nutrientes presentes en la orina pueden ser absorbidos por las plantas.

Se obtuvo el porcentaje que aporta la orina de demanda bioquímica de oxígeno (DBO5), demanda química de oxígeno (DQO), nitrógeno (N), fósforo (P) a las aguas residuales, partiendo de que la orina corresponde al 1% del total de las aguas residuales.

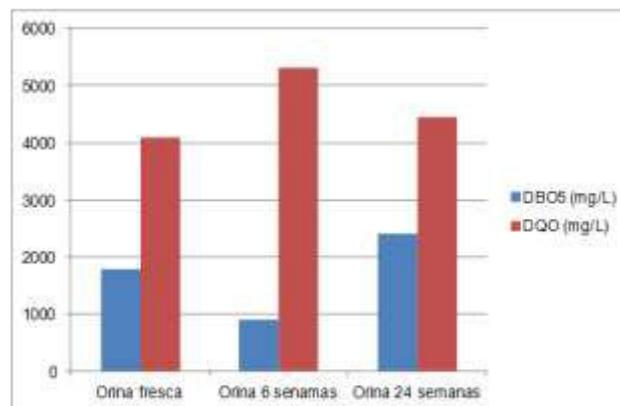
Resultados

Los resultados de los análisis de laboratorio hechos a la orina nos indican concentraciones de nitrógeno con una cantidad entre 1.27 a 3.79 g/L, fósforo 0.09 a 0.78 g/L y potasio 0.43 a 0.74 g/L.

En la orina fresca se tiene para la demanda química de oxígeno (DQO) 4,081 mg/L, y de la demanda bioquímica de oxígeno (DBO5) un valor de 1,800 mg/L, pH de 7. Para la orina a seis semanas de reposo se tiene para la demanda química de oxígeno (DQO) 5,300 mg/L, y de la demanda bioquímica de oxígeno (DBO5), un valor de 900 mg/L, y pH de 9. Para la orina

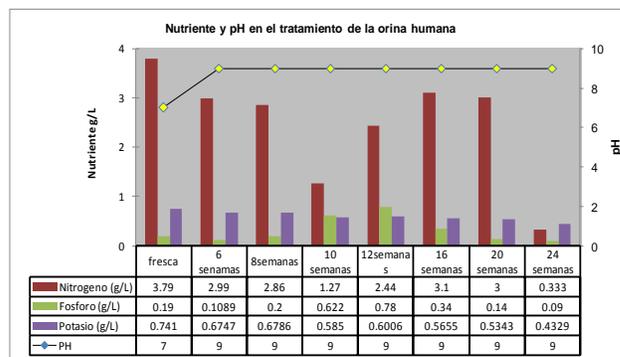
a veinticuatro semanas de reposo se tiene presencia escasa de bacterias Citrobacter Freudii menos de 10,000 UFC/mL. Los valores de demanda bioquímica de oxígeno (DBO5) en 2,400 mg/L y demanda química de oxígeno (DQO) en 4,455 mg/L. Y un pH de 9, como se muestra en la figura 1.

Figura 1 – Valores de DBO5 Y DQO en la orina



En la figura 2 se muestra los valores de pH en relación con la concentración de nitrógeno, fósforo y potasio en muestras frescas y almacenadas a seis, ocho, diez, doce, dieciseis, veinte y veinticuatro semanas.

Figura 2 –Valores de NPK y pH, presentes en la orina en diferentes tiempos



El tratamiento con mejores resultados fue el de orina con abono orgánico. Esta combinación tuvo efectos positivos en el crecimiento de las plantas de maíz, ya que poseen una altura de 100 centímetros y un largo de raíz de 48 centímetros, presentando mayor altura y largo de raíz en comparación con el testigo que tubo

67 centímetros de altura de planta y 30 centímetros de largo de raíz. También su porcentaje de nutrientes está por encima de los valores críticos mínimos de absorción de nutrientes de las plantas, lo que indica un crecimiento vigoroso de la planta.

El tratamiento de orina en disolución con abono orgánico, tuvo altura de planta de 97 centímetros, altura por encima de los 67 centímetros de altura del testigo al igual que el tratamiento de orina más abono orgánico. En el caso de largo de raíz tubo 47centímetros, comportamiento mayor a los 30 centímetros del testigo, lo que podría indicar que el abono orgánico es el que está haciendo la diferencia y no la orina.

El tratamiento que solo se le aplicó orina presentó valores de 90 centímetros de altura y 35 centímetros de largo de raíz; valores mayores a los 67 centímetros de altura y 30 centímetros de largo de raíz del testigo, pero menores al tratamiento con abono orgánico que presentó 90 centímetros de alto y 40 centímetros de largo de raíz. El tratamiento químico presentó valores diferentes al resto de los tratamientos con respecto a la altura de planta con un valor de 125 centímetros y 45 centímetros de largo de raíz. En largo de raíz presentó valores menores al del tratamiento de orina más abono orgánico y el de orina diluida más abono orgánico esto se pudo deber a una ineficiencia del fertilizante o una subdosificación. Tabla 1.

Tabla 1 - Valores de altura, largo de raíz y porcentajes de absorción de nutrientes

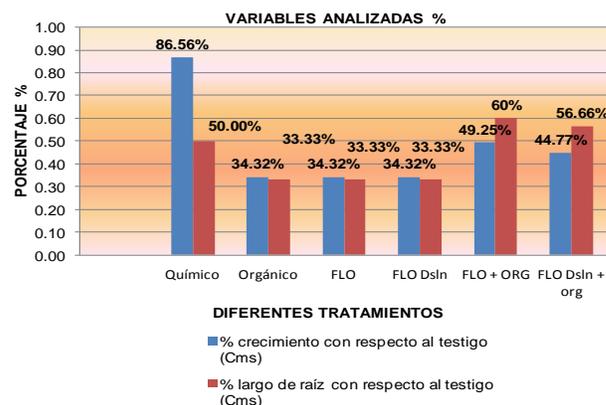
Tratamientos	Variables		% Absorción de nutrientes de las plantas		
	Altura de la planta (Cms)	Largo de raíz (Cms)	Nitrógeno (%)	Fósforo (%)	Potasio (%)
Testigo	67.00	30.00	3.26	0.26	2.28
Químico	125.00	45.00			
Orgánico	90.00	40.00			
orina	90.00	35.00	3.52	0.28	2.31
Orina diluida	90.00	45.00	3.20	0.29	2.00
Orina más abono orgánico	100.00	48.00	3.32	0.32	2.38
orgánico	97.00	47.00	3.60	0.25	2.30

El efecto positivo de la orina independientemente de su concentración fue en combinación con el abono orgánico. Este último mejora las características físicas y químicas del suelo que permiten una entrega inmediata de nutrientes asimilables a las plantas, además de aumentar la capacidad de almacenamiento de estos.

El tratamiento que tiene un porcentaje de crecimiento muy por encima del testigo fue el de orina con abono orgánico teniendo un 60% de crecimiento y orina

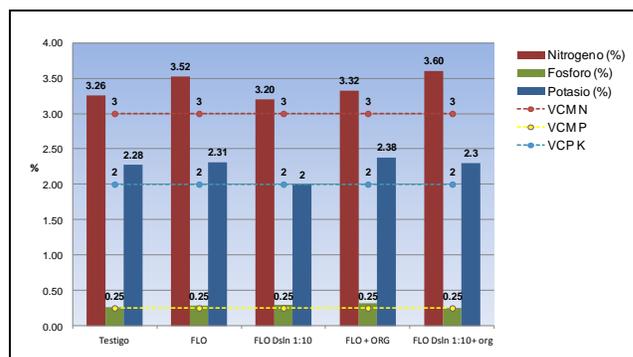
diluida con abono orgánico con un 56.66% como se muestra en la figura 3. Esta combinación tuvo efectos positivos en el crecimiento de las plantas de maíz, ya que se diferencian estadísticamente del resto de los tratamientos al poseer un porcentaje de crecimiento alto con respecto al crecimiento del testigo, lo cual refleja un adecuado y vigoroso crecimiento de la planta.

Figura 3 - Porcentaje de crecimiento con respecto al testigo



En la figura 4 se muestran las concentraciones (%) encontradas de nitrógeno, fósforo y potasio en el análisis foliar realizado en plantas de maíz bajo los diferentes tratamientos. También se indica el valor crítico mínimo (VCM) para cada nutriente. De todos los elementos el fósforo fue el único que mostró valores ligeramente por encima al valor crítico mínimo. Los demás elementos poseen valores dentro del ámbito adecuado por lo que no se presenta ninguna deficiencia.

Figura 4 - Concentraciones de NPK encontradas en el análisis foliar



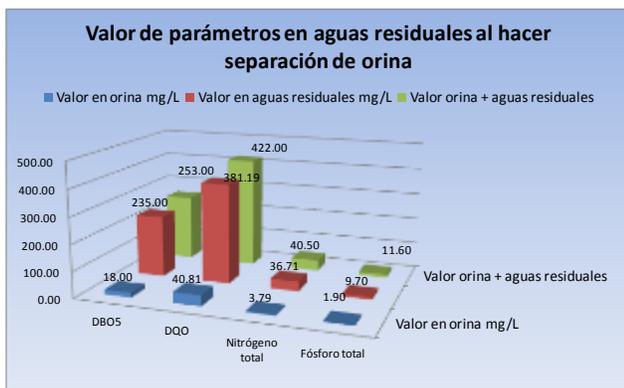
Se tiene para la orina el valor de los siguientes parámetros: demanda bioquímica de oxígeno (DBO₅) 18.00 mg/L, el porcentaje que aporta la orina a las aguas residuales es de 7.11%. Demanda química de oxígeno (DQO) se tiene 40.81 mg/L, el porcentaje de demanda química de oxígeno (DQO) que aporta la orina a las aguas residuales es de 9.67%. El valor de nitrógeno (N) es de 40.5 mg/L, el porcentaje de nitrógeno (N) que aporta la orina a las aguas residuales es de 9.35%. El valor de fósforo es de 11.6 mg/L, el porcentaje de fósforo que aporta la orina a las aguas residuales es de 16.37%. Tabla 2.

Tabla 2 - Valor de parámetros en la orina

Parámetro	Valor en orina mg/L	% de aporte a las aguas residuales
Demanda bioquímica de oxígeno (DBO ₅)	18.00	7.11
Demanda química de oxígeno (DQO)	40.81	9.67
Nitrógeno (N)	3.79	9.35
Fósforo (P)	1.90	16.37

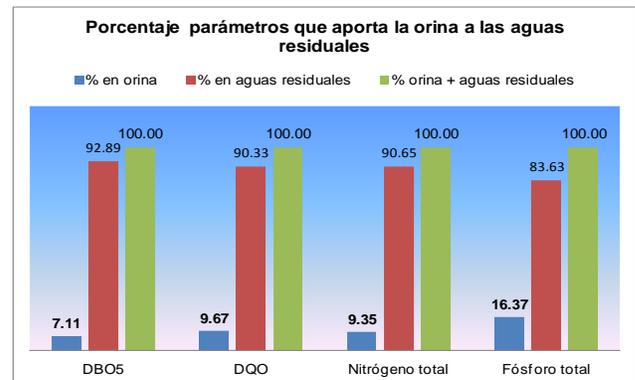
Se conoce los valores de los parámetros siguientes: demanda bioquímica de oxígeno (DBO₅), demanda química de oxígeno (DQO), nitrógeno (N), fósforo (P) que aporta la orina a las aguas residuales, por lo que conocemos los valores de los parámetros antes mencionados al separar la orina de las aguas residuales. Figura 5.

Figura 5 – Valor de parámetros en aguas residuales al hacer separación de orina



Se tiene los porcentajes que aporta la orina a las aguas residuales y los porcentajes de las aguas residuales sin orina de los siguientes parámetros: demanda bioquímica de oxígeno (DBO₅), demanda química de oxígeno (DQO), nitrógeno (N), fósforo (P). Ver figura 6.

Figura 6 – Porcentaje que aporta la orina a las aguas residuales



Análisis de resultados

La presencia de estos nutrientes en la orina humana, le da a ésta propiedades de fertilizante una vez que haya pasado por un adecuado tratamiento. Estos nutrientes son accesibles para las plantas, lo que significa que pueden ser absorbidos fácilmente. Por ello su efecto es similar al de fertilizantes químicos.

La ventaja del aprovechamiento de orina humana se da en la recuperación de los recursos presentes en ella. Estos nutrientes, generalmente no se utilizan y se pierden aumentando la carga de nitratos y fosfatos en las aguas residuales.

La interpretación de la relación demanda bioquímica de oxígeno (DBO₅)/ demanda química de oxígeno (DQO) se da de la siguiente forma: mayor a 0.4 es accesible a un tratamiento biológico, 0.2 - 0.4 inaccesible a tratamiento biológico y menor a 0.2 no es tratable y por lo tanto es un ambiente tóxico. De acuerdo con los valores de índice de biodegradabilidad presentados, las muestras de orina fresca, a las seis semanas y a las veinticuatro semanas serán de fácil tratamiento biológico.

La orina puede ser aplicada pura o diluida con agua y se sugerirá la proporción adecuada de la dilución (o no

dilución, respectivamente), dependiendo de las condiciones locales. No hay una recomendación estándar para la dilución o no dilución y las recomendaciones existentes varían ampliamente dependiendo de las condiciones locales. La dilución incrementa el volumen a ser aplicado y por lo tanto aumenta la mano de obra, los gastos de transporte, el equipo necesario, etc., particularmente en los sistemas a gran escala.

Lo importante es tomar en cuenta el tipo de cultivo al que se le aplicará la orina. Si se trata de un cultivo de alimentos que serán procesados es suficiente con dejar la orina un mes en reposo. Si se quiere aplicarla a cultivos de alimentos que se consumen frescos entonces es aconsejable prolongar el almacenamiento, incluso hasta seis meses.

En la realización de este ensayo se comprobó que la regla general de aplicar 1.5 L de orina por metro cuadrado de cultivo, cumplió con el requerimiento de macro nutrientes de la planta, según los resultados de laboratorio en las 24 semanas. La regla general en todo momento presentó valores de macro nutrientes iguales o un poco mayor al requerimiento de la planta, para una eficiencia de 1,000 Kg/ha.

Los valores de nitrógeno obtenidos en los análisis de laboratorio para diferentes tiempos presentan unas pequeñas variaciones en cuanto a los valores teóricos. Estas variaciones se dieron por la manipulación en el momento de tomar la muestra para el laboratorio, ya que se tenía que destapar el recipiente para colocar la muestra en otro contenedor y en ese punto se cree que hubo pérdidas del gas amoníaco.

La orina representa el uno por ciento total de la composición de las aguas residuales, por lo que la separación estaría relacionada mas con el tema de aprovechar los nutrientes presentes en ella y no con el tema de disminución de cargas contaminantes presentes en las aguas residuales. La separación no sería factor por el bajo porcentaje que representa la orina en las aguas negras, claro que sí existe disminución de carga contaminante, pero en un bajo porcentaje.

Se debe realizar ensayos de este tipo, incluyendo la etapa de cosecha del fruto y que sea sometido a análisis microbiológicos y bacteriológicos, con el fin de comprobar que estos frutos están libres de una posible presencia de patógenos.

Conclusiones

Se acepta la hipótesis ya que si se puede utilizar la orina humana como fertilizante debido a que luego de seis semanas de tratamiento, reposo, se comprobó por medio de análisis de laboratorio que está libre de patógenos y que es una fuente de nutrientes de nitrógeno, fósforo y potasio, que pueden ser aprovechados por las plantas de maíz.

Por medio de la realización del bioensayo se demostró que la orina humana luego de seis semanas de reposo como mínimo, tiene presencia escasa de bacterias *Citrobacter Freudii* y es una fuente de nutrientes de nitrógeno, fósforo y potasio, que si son aprovechados por las plantas de maíz, y con el aprovechamiento de la orina se estaría reduciendo el daño al medio ambiente, reduciendo el gasto por fertilizantes.

Los resultados de los análisis de laboratorio hechos a la orina nos indican concentraciones de nitrógeno (N), fósforo (P) y potasio (K). Para la orina a veinticuatro semanas de reposo se tiene presencia escasa de bacterias *Citrobacter Freudii* menos de 10,000 UFC/mL.

Los datos obtenidos en el bioensayo para la altura de las plantas de maíz, su largo de raíz y el porcentaje de absorción de nutrientes avalan un efecto claro de la orina como fertilizante sobre el cultivo de maíz, presentando un mejor resultado en combinación con el abono orgánico, ya que el abono orgánico contienen fuentes de materia orgánica y otros nutrientes, la orina tiene bajo contenido de materia orgánica y es allí donde al parecer existe una complementación de ambos abonos produciendo rendimientos aceptables por encima del testigo.

El impacto que generan en las aguas residuales fue 18.00 mg/L de demanda bioquímica de oxígeno (DBO₅), el porcentaje de aporte a las aguas residuales es de 7.11 %, 40.81 mg/L de demanda química de oxígeno (DQO), el porcentaje de aporte a las aguas residuales es de 9.67 %, 3.79 mg/L de nitrógeno (N), el porcentaje de aporte a las aguas residuales es de 9.35 %, 1.90 mg/L de fósforo (P), el porcentaje de aporte a las aguas residuales es de 16.37 %.

En la muestra de orina fresca orina fresca la relación demanda bioquímica de oxígeno (DBO₅)/demanda química de oxígeno (DQO)= 0.44 y para la orina a las veinticuatro semanas la relación demanda bioquímica de oxígeno (DBO₅)/ demanda química de oxígeno

(DQO)= 0.51, esto quiere decir que el residuo es "accesible a un tratamiento biológico". Los valores obtenidos de demanda bioquímica de oxígeno (DBO₅) y demanda química de oxígeno (DQO) representan el uno por ciento de las cargas contaminantes en las aguas negras, por lo que la contribución a la reducción de cargas contaminantes es muy baja.

Referencias

- Avendaño M. V., 2004. Propuesta para la implementación de saneamiento ecológico en ciudad de La Habana. Instituto de Tecnología en los Trópicos, Universidad de Ciencias Aplicadas de Colonia, La Habana, Cuba. 105 pag.
- Esrey, S., Gough, J. Rapport, D., Sawyer, R., Simpson-Hebert, M., Vargas, J. y Winblad, U. 1998. Ecological Sanitation. Agencia Sueca de Cooperación Internacional para el Desarrollo, Estocolmo, pp.1-92.
- Johansson, M. 2000. Urine separation-closing the nutrient cycle: final report on the R & D project Source Separated Human Urine- A future source of fertilizer for agriculture in the Stockholm region Stockholm Water Company.
- Kvarnström Elisabeth, Karin Emilsson, Anna Richert Stintzing, Mats Johansson, Håkan Jönsson, Ebba af Petersens, Caroline Schönning, Jonas Christensen, Daniel Hellström, Lennart Qvarnström, Peter Ridderstolpe, Jan-Olof Drangert, 2006. Desviación de orina: un paso hacia el saneamiento sustentable. SEI 66 p.
- Peralta Salgado Ivis Nohelia. (2016). Composición típica de las aguas residuales domésticas crudas en Guatemala. Agua, Saneamiento & Ambiente, 11(1), 50-59
- Reyes Arana, Ricardo Augusto. (2017). Manejo y reutilización de la orina humana como fertilizante en plantas de maíz. (Tesis de maestría). Escuela regional de Ingeniería Sanitaria –ERIS-, Guatemala.
- Richert Anna, Robert Gensch, Håkan Jönsson, Thor-Axel Stenström y Linus Dagerskog, 2011. Guía práctica de uso de orina en la producción Agrícola. SEI. 54 p.

Sawyer Ron, 2007. Cerrando el ciclo para alcanzar los objetivos de desarrollo del milenio. Sarar transformación s.c. p.6-15.

Información del autor

Ingeniero civil, graduado en la facultad de Ingeniería de la universidad de San Carlos de Guatemala (2004). 13 años de experiencia en el área de gestión ambiental y 5 años como asesor ambiental en diferentes municipalidades.

M.Sc. en ingeniería Sanitaria por la Escuela Regional de ingeniería Sanitaria y Recursos Hidráulicos ERIS-USAC (2017).