

Obtención de NO_3 de orina humana por oxidación biológica como propuesta de fertilizante orgánico en la producción de cultivos

Obtaining NO_3 from human urine by biological oxidation as a proposal for organic fertilizer in crop production

Jonny Alexis Cruz Rodríguez¹ y Edson Ricardo Amaya²

Resumen

Este estudio evaluó el proceso de degradación de la urea contenida en la orina humana hasta su biotransformación a nitratos (NO_3), considerando su posible uso como fertilizante orgánico en sistemas de producción agrícola. La investigación científica ha evidenciado el potencial de la orina como fuente de nitrógeno, que ha pasado de ser un residuo doméstico y fuente de contaminación del recurso hídrico a ser una posible materia prima en la producción de fertilizantes para el crecimiento de cultivos agrícolas. Como metodología de análisis se empleó el montaje de un reactor a escala laboratorio con orina humana, se aislaron los microorganismos del ambiente y se realizó un seguimiento de los parámetros fisicoquímicos pH, conductividad eléctrica, oxígeno disuelto, nitrógeno amoniacal, nitritos y nitratos. El objetivo era estudiar el proceso biológico de degradación de la orina y entender su biotransformación y potencial aprovechamiento. Los resultados evidenciaron la degradación biológica de urea durante 79

días con una concentración de 230 mg- NO_3 /L, que es un nutriente de fácil asimilación para las plantas. Se concluyó que el fertilizante orgánico obtenido de la orina humana puede aportar nutrientes para suplir la demanda agrícola de fertilizantes convencionales y mitigar los impactos ambientales de su uso.

Palabras clave: agroecología, química agrícola, ciclo del nitrógeno, biotecnología.

Abstract

This study evaluated the process of degradation of urea contained in human urine until its biotransformation to nitrates (NO_3), considering its possible use as organic fertilizer in agricultural production systems. Scientific research has shown the potential of urine as a source of nitrogen,

¹ Estudiante de Ingeniería Ambiental, Grupo de Investigación Agua y Desarrollo Sostenible, Universidad Central. Correo: jrcruz2@ucentral.edu.co.

² Ingeniero ambiental, profesor del Departamento de Ingeniería Ambiental, Universidad Central. Correo: eamayas@ucentral.edu.co.

which has passed from being a domestic waste and a source of contamination of the water resource to being a possible raw material in the production of fertilizers for agricultural crops. A laboratory-scale reactor with human urine was used as analytical methodology, microorganisms were isolated from the environment, and physicochemical parameters such as pH, electrical conductivity, dissolved oxygen, ammoniacal nitrogen, nitrites and nitrates were followed-up to study the biological process of degradation of urine and understand its

biotransformation and potential use. Results showed the biological degradation of urea for 79 days with a concentration of 230 mg-NO₃/L, which is an easily assimilable nutrient for plants. It was concluded that this organic fertilizer obtained from human urine can provide nutrients to supply the agricultural demand of conventional fertilizers and mitigate the environmental impacts of its use.

Keywords: agroecology, agricultural chemistry, nitrogen cycle, biotechnology.

1. Introducción

Desde hace años se tienen presentes diversas problemáticas ambientales que derivan del manejo inadecuado de las aguas residuales domésticas que se vierten en ríos, lagos y mares, y afectan de manera significativa las funciones ecológicas y los ciclos naturales de los ecosistemas. Este impacto negativo hace más complejo el tratamiento de los vertimientos de aguas domésticas por los compuestos que contienen, el volumen a tratar y la cantidad de agua utilizada. Estos vertimientos contienen orina, un líquido acuoso amarillento de olor fuerte que se origina en los riñones, se expulsa por el aparato urinario y tiene un alto contenido de nitrógeno, fósforo, potasio y otros elementos. Debido a estos componentes, algunos estudios han demostrado su potencial como fertilizante orgánico para la producción agraria (Pérez, 2017; Concha, 2012; Richert et ál., 2011; Mamani-Mamani et ál., 2015; Shrestha et ál., 2013).

Los problemas que enfrentan los ecosistemas y las comunidades se deben a la contaminación de las fuentes hídricas con ver-

timientos domésticos y la contaminación de los suelos por sobrefertilización de los cultivos con fertilizantes químicos convencionales. Esto hace que desde la ingeniería ambiental sea necesario discutir sobre la reorganización de los sistemas productivos, plantear sistemas agroecológicos e innovar en los modelos ya establecidos maximizando los recursos para reducir los impactos ambientales generados. Se debe investigar a fondo la viabilidad del uso de orina humana en la producción de fertilizantes para los procesos agrícolas, pues contiene nutrientes esenciales para el crecimiento de las plantas, es de bajo costo, permite mantener la calidad de los cultivos y puede ser usada en la producción de alimento en zonas de escasa precipitación y baja economía.

El objetivo del presente estudio fue evaluar la degradación de la urea contenida en la orina humana hasta obtener nitratos (NO₃) mediante oxidación biológica con el fin de justificar su uso como fertilizante y entender la necesidad de implementar alternativas sostenibles en el aprovechamiento de un residuo. Para esto se realizaron pruebas de laboratorio sobre el montaje de un reactor aerobio que contenía

orina humana. Se evaluaron los procesos de degradación de la urea hasta su componente mínimo de nitratos durante 11 semanas (79 días), tomando mediciones cada dos semanas. Con esto se espera señalar las razones por las que la orina puede servir como fertilizante orgánico teniendo en cuenta sus beneficios sobre el desarrollo sostenible.

2. Metodología

El estudio se llevó a cabo en dos momentos: el primero comprende el montaje del reactor de orina humana y el segundo, la determinación de los parámetros fisicoquímicos de la muestra de orina del reactor.

2.1 Montaje reactor de orina

Para el montaje del reactor de orina se utilizó un recipiente de vidrio de 2 L previamente esterilizado; un inóculo de 300 mL de microorganismos obtenido de 3 L de orina dejada al ambiente por 6 meses con un volumen de agua constante; una muestra de orina humana y un motor de inyección de aire con flujo másico de 0,0201 L/s y potencia de 2,5 w, cuyo fin era suplir las necesidades de oxígeno para la biotransformación de la muestra.

La muestra de orina se obtuvo de dos estudiantes de sexo masculino en un recipiente estéril y desechable para evitar riesgos de contaminación por bacterias y sustancias extrañas. El inóculo de 300 mL de microorganismos se mezcló con 700 mL de la muestra de orina para hacer una dilución 1:1 con agua desionizada, siguiendo la recomendación de la bibliografía para su uso como fertilizante (Richert et ál., 2011). La muestra preparada se colocó en un recipiente de vidrio de 2 L que permitía extraer un volumen de muestra para los análisis fisicoquímicos y reincorporar el volu-

men extraído con nueva orina. Para tal fin, se dejó en reserva una disolución de 470 mL de muestra de orina con 470 mL de agua desionizada refrigerada a 2,6 °C.

2.2 Determinación de parámetros fisicoquímicos

Después de realizar el montaje, se extrajo una alícuota de 75 mL en un *beaker* para determinar diferentes parámetros según los métodos para medición de la tabla 1.

3. Resultados y discusión

La degradación de la urea diluida en agua desionizada presentó un buen desarrollo hasta la obtención de nitratos. Sin embargo, el único factor clave que se mantuvo controlado fue el pH. Debido a la degradación del amonio, el pH se mantiene alcalino, por lo que se adecuó a pH neutro con una solución de ácido fosfórico H_3PO_4 (85 %). Los resultados tras 79 días de montaje en el reactor se presentan en la tabla 2.

La caracterización de la orina humana colectada por 79 días con base en las metodologías de la tabla 1 indica inicialmente un pH de 6,48. Según Mamani-Mamani et ál. (2015), la orina suele excretarse con un pH alrededor de 6. Eventualmente, la orina del reactor incrementó a un pH alcalino promedio de 8,5 con fluctuaciones entre 9,16 y 8,49 (figura 2). Pérez (2017) afirma que el pH alto de la orina normalmente es de 9-9,3, añadido a la alta concentración de amonio, que sucede cuando la urea de la orina se hidroliza por acción del agua y las bacterias amonificantes y nitrificantes logran descomponerla toda hasta formas de nitrógeno en amonio, nitritos y nitratos. Este cambio de pH asegura la destrucción de los posibles patógenos en la orina antes de uti-

lizarla como fertilizante. Jönsson et ál. (2004) señalan que, si bien este comportamiento alcalino es normal en la orina debido a la hidrólisis de la ureasa, se recomienda que el pH

esté entre 6 y 7 unidades para que, al usarla como fertilizante agrícola, las plantas asimilen los nutrientes. Por esta razón, es necesario llevar el pH a la neutralidad.

Tabla 1. Parámetros analizados en el montaje de la orina humana

| Parámetro | Unidad | Método | Rango |
|---------------------------------------|------------------------|--|--------------------------------------|
| pH | Unidad de pH | | |
| Conductividad eléctrica (CE) | mS/cm | Medidor multiparamétrico para laboratorio marca Hach | Según medición |
| Oxígeno disuelto (OD) | mg/L | | |
| Nitrógeno amoniacal (NH_4) | mg/L NH_4 - N | Método 8155 - Salicilato | 0,01 - 0,50 mg/L NH_4 - N |
| Nitrito (NO_2) | mg/L NO_2 - N | Método 8507 - Diazotización | 0,002 - 0,300 mg/L NO_2 - N |
| Nitrato (NO_3) | mg/L NO_3 - N | Método 8039 - Reducción de cadmio | 0,3 - 30 mg/L NO_3 - N |

Fuente: elaboración propia con base en Hach Company (2000).

Tabla 2. Resultados de las determinaciones en el montaje de la muestra de orina

| Parámetro | Unidad | Días | | | | | |
|---------------------------------------|------------------------|-------|--------|--------|--------|--------|--------|
| | | Día 1 | Día 12 | Día 26 | Día 47 | Día 61 | Día 79 |
| pH | Unidades de pH | 6,48 | 9,16 | 9,10 | 8,49 | 9,06 | 8,76 |
| Conductividad eléctrica (CE) | mS/cm | 18,50 | 27,56 | 28,5 | 32,57 | 31,7 | 46,1 |
| Oxígeno disuelto (OD) | mg/L | 0,80 | 0,49 | 0,90 | 1,52 | 1,40 | 1,50 |
| Nitrógeno amoniacal (NH_4) | mg/L NH_4 - N | 3500 | 1500 | 900 | 1100 | 800 | 150 |
| Nitrito (NO_2) | mg/L NO_2 - N | 0,30 | 0,10 | 0,50 | 0,60 | 0,70 | 0,63 |
| Nitrato (NO_3) | mg/L NO_3 - N | 30,0 | 40,0 | 80,0 | 130,0 | 180,0 | 230,0 |

Fuente: elaboración propia.

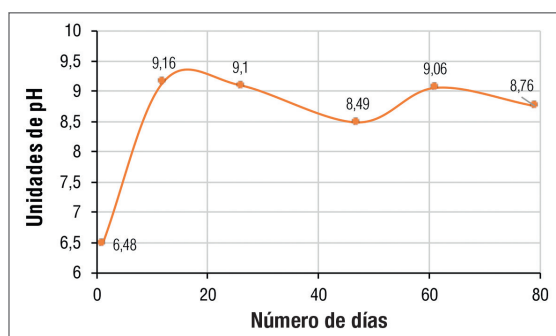


Figura 2. Medición de pH en muestra de reactor de orina humana.

Fuente: elaboración propia.

La conductividad eléctrica (CE) promedio de la orina humana en el reactor es de $30,8 \text{ mS/cm}$ e indica presencia de sales disueltas, generalmente por la oxidación de la urea en sales de nitrógeno amoniacal, nitritos y nitratos. Después de 79 días se observa una tendencia creciente en la concentración de sales disueltas y se esperaría que a mayor tiempo de degradación biológica de la urea, mayores incrementos de sales disueltas en la orina (figura 3). En otras palabras, a mayor CE, mayor concentración de sales (Bonilla et ál., 2015).

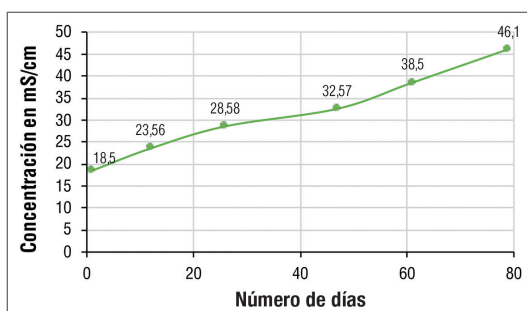


Figura 3. Medición de conductividad eléctrica en reactor de orina humana.
Fuente: elaboración propia.

Cuando la orina humana tiene un pH ácido inicial, contiene ácidos úricos (urea) que, por acción de las bacterias amonificantes, se transforman en nitrógeno amoniacal (NH_4^+) (Reyes, 2017). El nitrógeno amoniacal presentó un promedio de $890 \text{ mg N-NH}_4/\text{L}$ en el reactor de orina humana con un comportamiento descendente a lo largo del tiempo (figura 4).

Según el ciclo del nitrógeno, el nitrógeno amoniacal se oxida hasta convertirse en nitritos (NO_2^-), los que a su vez se tornan en nitratos (NO_3^-) por acción de las bacterias nitrificantes y son aprovechados como fertilizante para plantas por su facilidad de asi-

milación (Richert et ál., 2011). La siguiente ecuación muestra este proceso de transformación acumulativa:

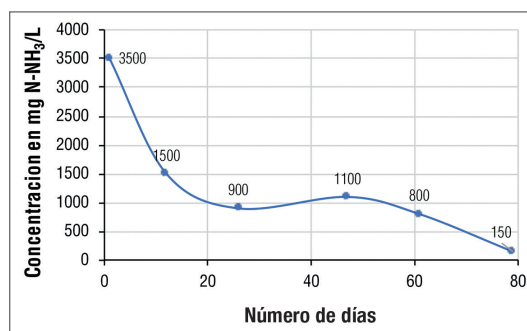
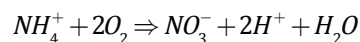


Figura 4. Medición de nitrógeno amoniacal (NH_4^+) en muestra de orina humana.
Fuente: elaboración propia.

Una forma de comprobar que la concentración de nitrógeno amoniacal ha disminuido en la orina es su olor característico; el olor fuerte es una señal de que la orina contiene nutrientes, puesto que el amonio se distingue por ello (Richert et ál., 2011). Este olor disminuye considerablemente tras la segunda semana de análisis debido a un descenso del amonio en la orina de 3500 a $150 \text{ mg N-NH}_4/\text{L}$.

Durante la transformación de la urea de la orina, se observaron fluctuaciones en la composición de nitritos (NO_2^-) causadas por dos factores principalmente. Cuando la concentración de nitritos decae, se transforma en iones de nitratos (NO_3^-) a causa de la oxidación biológica del proceso por bacterias nitrificantes. Cuando la concentración asciende, se debe generalmente a una compensación de orina que se ha retirado para hacer las determinaciones del proceso, lo que aumenta la concentración de nitritos (figura 5).

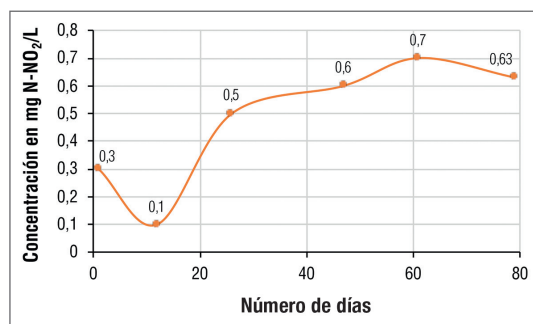


Figura 5. Medición de nitritos (NO₂) en muestra de orina humana.
Fuente: elaboración propia.

El análisis indica que, conforme disminuyen los parámetros de nitrógeno amoniacal y nitritos de la muestra de orina, la concentración de los nitratos (NO₃) aumenta considerablemente con un valor final de 230 mg/L (figura 6). Este funcionamiento se ve favorecido, primero, por la oxidación biológica de las bacterias que hidrolizan y transforman los componentes y, luego, por la cantidad de oxígeno que entra al reactor de 362,88 L-O₂/día, ya que las bacterias solo requieren 2 moles de oxígeno en total para oxidar la urea, es decir, 32,2 L-O₂/día en total. De esta forma, se suple la necesidad de oxígeno de las bacterias para realizar su proceso biológico. Por lo general, el reactor presenta una buena cantidad de oxígeno disuelto (OD) según las medidas que se tomaron (tabla 2), lo que permite la activación de las bacterias (nitrosomas y nitrobacter) para oxidar todo el nitrógeno amoniacal y de los nitritos para convertirse en nitratos.

El proceso biológico en el que se degrada la urea a nitratos en 79 días permitió identificar una buena relación entre la CE y los nitratos (NO₃), ya que, con base en el resultado analítico $R^2=0,9771$, que es cercano a 1, se puede afirmar que el 97,71% de la variación en la concentración de nitratos se explica con la relación lineal entre estas dos variables.

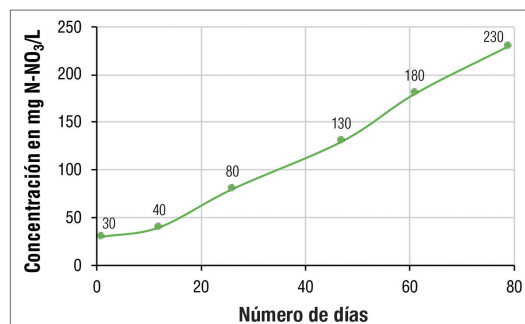


Figura 6. Medición de nitratos (NO₃) en muestra de orina humana.
Fuente: elaboración propia.

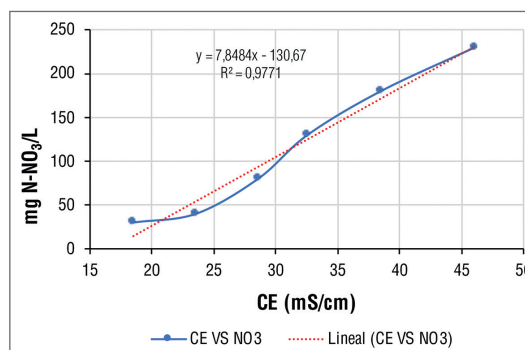


Figura 7. Correlación entre conductividad eléctrica y nitratos (NO₃) en muestra de orina humana.
Fuente: elaboración propia.

La correlación entre estas variables permite encontrar un valor en próximas determinaciones sobre la concentración de nitratos en el reactor mediante la ecuación lineal de regresión:

$$y = 7,8484x - 130,67$$

Donde y : concentración de nitratos y x : concentración de CE.

Esta metodología ayudaría a reducir costos de reactivos y equipos en la determinación de nitratos, ya que solo bastaría con realizar una medición de la CE de una muestra de orina del reactor y aplicar la ecuación lineal producto de la regresión lineal entre las dos variables, reemplazando en la variable x de la ecuación.

Al evidenciar que con el tiempo se genera un aumento de nitratos de hasta 230 mg/L, se podría afirmar, según Mora (2016), que la orina es un fertilizante económico, fácil de conseguir y fuente de nutrientes para el correcto crecimiento de las plantas. Debido a que no requiere mucha inversión, algunos estudios (Concha, 2012; Shrestha et ál., 2013; Gort et ál., 2015; Mamani-Mamani et ál., 2015; Sandoval, 2017) han obtenido resultados promisorios sobre la utilización de orina humana en la fertilización para reducir o sustituir el consumo de fertilizantes químicos. De hecho, se podría ahorrar la tercera parte del nitrógeno que se usa en la agricultura si se recicla la orina humana.

Después del tratamiento propuesto para generar un efecto inactivo de patógenos, el uso de fertilizante a base de orina promete proteger los cuerpos de agua de la contaminación por sobrefertilización debido a la carga de nutrientes que reciben por el mal uso de fertilizantes agroquímicos. Sin embargo, es necesario concientizar a las comunidades sobre el valor de este residuo para mejorar la sustentabilidad de los procesos agrícolas mediante el ahorro de recursos. Tal como afirma Pérez (2017), este residuo está perfectamente balanceado como fertilizante y listo para aportar a la agricultura los nutrientes necesarios que alguna vez se tomaron de los productos que brindaron los alimentos para satisfacer las necesidades vitales de la población humana. Así, es posible cerrar el ciclo del nitrógeno de forma natural.

Considerando que en la actualidad el abastecimiento de alimento en el mundo se ve limitado, será importante implementar alternativas que apoyen la seguridad alimentaria para presentes y futuras generaciones. Asimismo, es

necesario ayudar a los agricultores en la producción y uso de fertilizantes más económicos y orgánicos en la producción agrícola, y generar una cultura de aprovechamiento que permita reducir la contaminación de los sistemas naturales.

4. Conclusiones

Los resultados demuestran que el ion nitrato (NO_3) aumentó su concentración con el tiempo, lo que garantiza que el ciclo del nitrógeno se lleva a cabo. También se observó una reducción de los iones nitrógeno amoniacal (NH_4) y nitrito (NO_2) como resultado de la actividad microbiana y el suministro de oxígeno en el reactor de orina. Se concluye que la orina constituye una fuente nutritiva de minerales asimilables para las plantas y no un residuo sin provecho.

En cuanto a la sustentabilidad, dado que es en cuenta que su materia prima es un residuo doméstico, que no se requiere una gran inversión para la producción industrial de este fertilizante, ya, las comunidades agrícolas de bajos recursos pueden producirlo por su propia cuenta y contribuir a reducir la contaminación de las fuentes hídricas.

Agradecimientos

Al ingeniero Ricardo Amaya, por guiar este proyecto y promover la investigación como fundamento para la solución de las problemáticas ambientales, y a los compañeros de aula, por contribuir a las determinaciones del montaje experimental.

Referencias

- Bonilla, M., Ayala, A., González, S., Santamaría, J. y Silva, S. (2015). Calidad físico-química del agua del distrito de riego 030 “Valsequillo” para riego agrícola. *Revista Iberoamericana de Producción Académica y Gestión Educativa*, 3(1), 1-29.
- Concha, Q. (2012). *Efecto de la aplicación de la orina humana como fertilizante en suelo ácido y neutro en el cultivo de jitomate*. México D.F.: Universidad Nacional Autónoma de México.
- Gort, D., Agostino, N., Karzao, A. y Valido, A. (2015). Uso de fertilización orgánica basada en orina humana en el cultivo del maíz (*Zea maíz*, L). *Agrisost*, 21(1). Consultado en <http://bit.ly/30o9n0R>.
- Hach Company. (2000). *Manual de análisis de agua*. Segunda edición en español. Loveland: Hach Company.
- Jönsson, H., Stintzing, A. R., Vinnerås, B. y Salomon, E. (2004). Lineamientos para el uso seguro de la orina y de las heces en sistemas de saneamiento ecológico. Estocolmo, Suecia: Instituto Ambiental de Estocolmo, Programa EcoSanRes. Consultado en <http://bit.ly/2HIWddk>.
- Mamani-Mamani, V., Loza-Murguía, M., Coronel-Quispe, L., Sainz-Mendoza, H., Paye-Huaranca, V. y Coronel, F. (2015). Uso de la orina humana como fertilizante en la producción de lechuga Waldmann green (*Lactuca sativa* L.). *Selva Andina Biosphere*, 3(1), 24-38. Consultado en <http://bit.ly/2WOWUpq>.
- Mora, A. (2016). *Viabilidad técnica, económica y social para la adopción de sanitario seco en la zona rural del municipio de Chiquinquirá* (tesis de pregrado). Universidad Distrital Francisco José de Caldas, Bogotá, Colombia.
- Pérez, J. (2017). *Diseño de un modelo de recolección y procesamiento de la orina humana para ser utilizada como fertilizante* (tesis de pregrado). Fundación Universidad de América, Bogotá, Colombia.
- Reyes, R. (2017). *Manejo y reutilización de la orina humana como fertilizante en plantas de maíz* (tesis de maestría). Universidad de San Carlos de Guatemala, Guatemala.
- Richert, A., Gensch, R., Jönsson, H., Stenström, T.-A. y Dagerskog, L. (2011). *Guía práctica de uso de la orina en la producción agrícola*. Estocolmo, Suecia: Instituto Ambiental de Estocolmo, Programa EcoSanRes.
- Sandoval, D. (2017). *Evaluación del crecimiento de espirulina (*Arthrospira platensis*) mediante alternativas de fertilización orgánica e inorgánica y su masificación en condiciones de campo en la hacienda El Prado* (tesis de pregrado). Universidad de las Fuerzas Armadas, Sangolquí, Ecuador.
- Shrestha, D., Srivastava, A., Shakya, S. M., Khadka, J. y Acharya, B. S. (2013). Use of compost supplemented human urine in sweet pepper (*Capsicum annuum* L.) production. *Scientia Horticulturae*, 153, 8-12.