

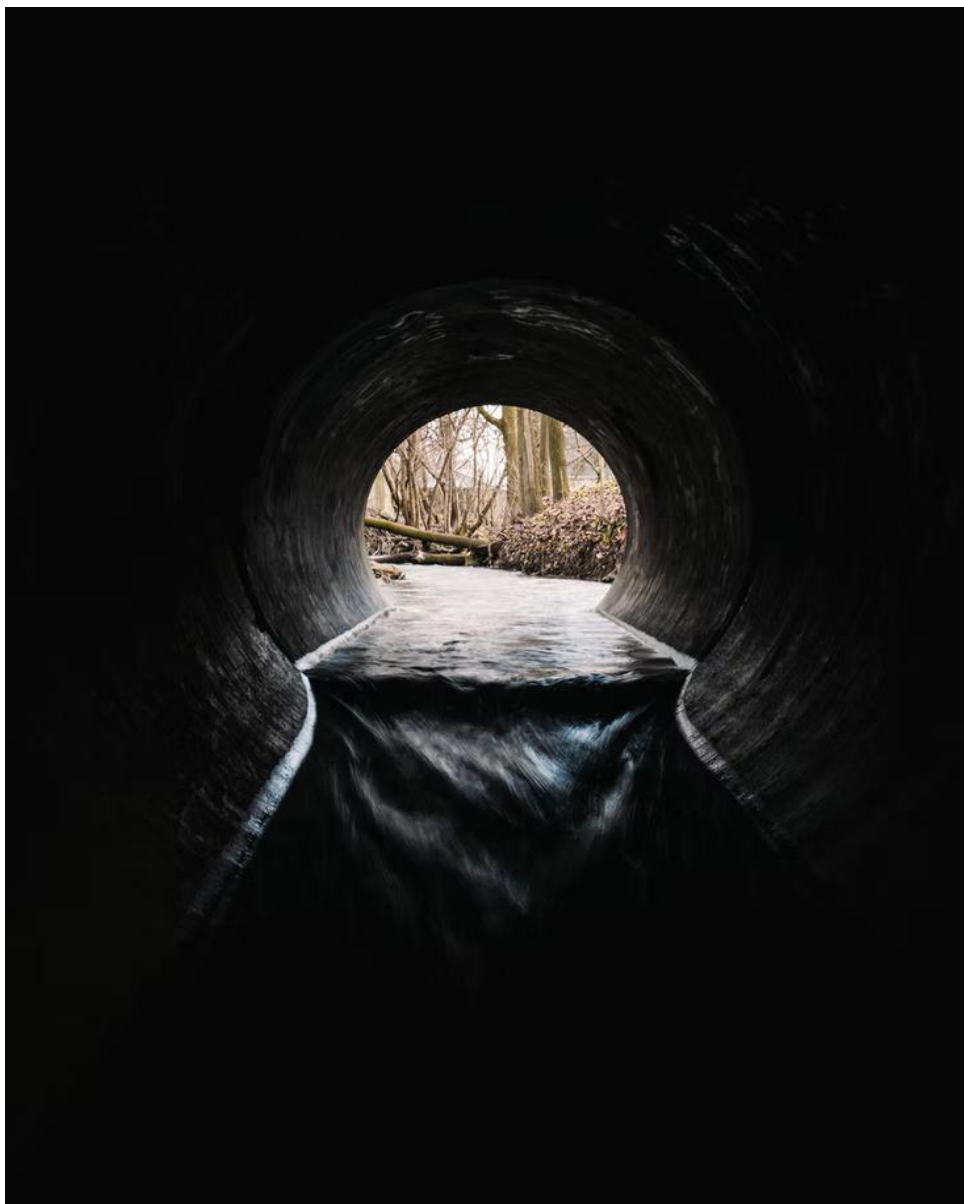
Epidemiologia basada en aguas residuales: vigilancia de drogas ilícitas y nuevas sustancias psicoactivas

Eduardo G. de Campos^{1,2}, Otávio G. G. de Almeida³ and Elaine C. P. De Martinis³

¹Department of Chemistry and Fermentation Sciences, Appalachian State University, Boone, NC, United States,

²Department of Forensic Science, College of Criminal Justice, Sam Houston State University, Huntsville, TX, United States and

³Faculdade de Ciências Farmacêuticas de Ribeirão Preto, SP, Brazil



Fotografía por Kevin Andre (@kevinandrephotography) accesible de Unsplash

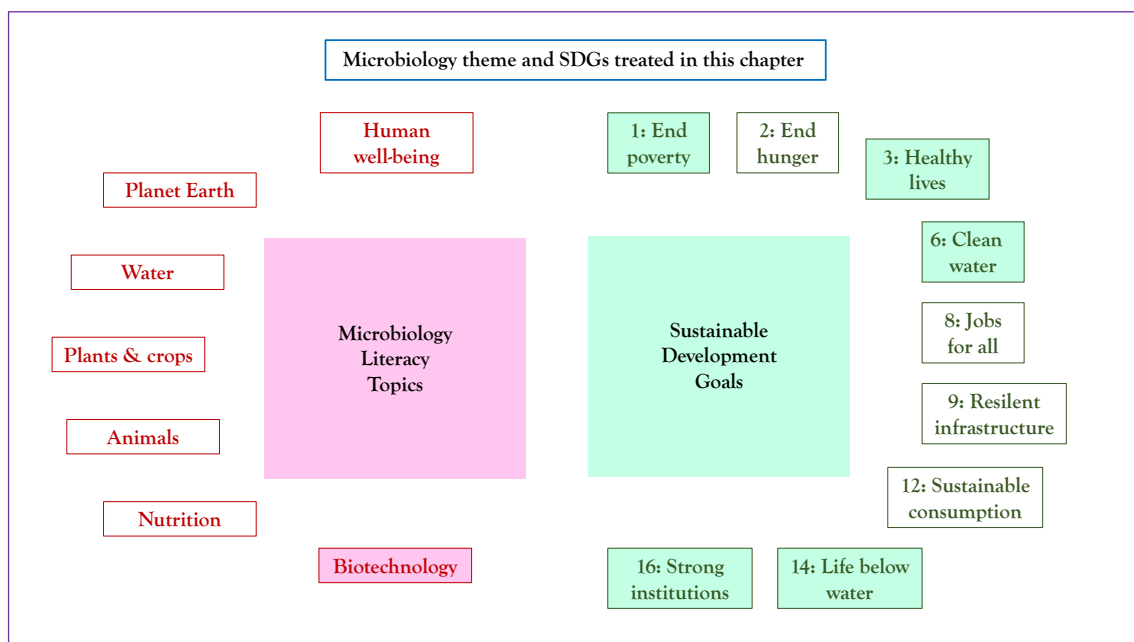
Drogas ilícitas en aguas residuales

Historia

Desde tiempos inmemoriales, los seres humanos han buscado sustancias que los ayuden a enfrentar desafíos físicos y emocionales. Las sustancias que pueden alterar los procesos cerebrales se denominan psicoactivas y pueden encontrarse tanto en la naturaleza (por ejemplo, en plantas o animales) o ser sintetizadas en el laboratorio. Muchas sustancias psicoactivas se usan como medicamentos para tratar enfermedades. Sin embargo, también hay un lado negativo en esta historia. Algunas personas usan cantidades excesivas de drogas psicoactivas legales o sustancias prohibidas (ilícitas), a menudo combinadas con otras drogas y/o bebidas alcohólicas. El abuso de las drogas puede llevar a afecciones de salud agudas y crónicas, y a adicciones problemáticas. Además, el consumo de drogas puede fomentar problemas sociales, violencia asociada al narcotráfico y contaminación del medio ambiente. El uso clínico correcto de los medicamentos y la lucha contra el abuso de drogas son objetivos importantes de los Objetivos de Desarrollo Sostenible de las Naciones Unidas (UN SDG) relacionados con “Salud y Bienestar”, “Paz, Justicia e Instituciones Sólidas” y “Fin de la Pobreza”. Aunque el impacto aún no se comprende en detalle, las drogas que contaminan las aguas residuales y las aguas superficiales pueden afectar a los seres vivos del entorno, incluidos los microorganismos. Por tanto, para lograr los objetivos de Naciones Unidas de “Agua Limpia” y proteger la “Vida Submarina”, también debemos tener en cuenta el abuso de drogas.

La microbiología y el contexto social

La microbiología: comunidades microbianas que habitan en ríos, lagos y océanos; interacciones de los microorganismos con las drogas. Para completar la historia: el abuso de drogas y la adicción son un problema social enorme, asociado con el sufrimiento humano, la fragmentación familiar y social, la pobreza y el narcotráfico. Problemas de sostenibilidad: salud; contaminación ambiental.



Drogas ilícitas en aguas residuales: La Microbiología

1. Drogas ilícitas y sustancias psicoactivas

Las sustancias psicoactivas pueden afectar la mente y el cuerpo de una persona. Algunas drogas, que pueden ser medicamentos o sustancias sin uso médico, son sustancias psicoactivas. Las personas pueden usar drogas por varias razones: para disfrutar de los efectos que la droga causa en su cuerpo, para sentirse aceptados socialmente en un grupo, para sentirse mejor o porque han desarrollado una dependencia de la droga. Una droga puede ser una sustancia usada en medicina o una sustancia utilizada legal o ilegalmente con fines recreativos. Algunas drogas están controladas y su uso solo es aceptable si las prescribe un médico. Las drogas legales usadas con fines recreativos incluyen el etanol (popularmente conocido como “alcohol”, presente en cervezas y otras bebidas) y la nicotina (presente en los cigarrillos). Las sustancias ilegales o ilícitas, como la heroína, no tienen ni un uso seguro ni aceptado. Algunas sustancias ilícitas pueden causar efectos adversos graves en el cuerpo y pueden llevar a la dependencia. El abuso de drogas es el uso en exceso bien de sustancias ilícitas o lícitas y/o con mayor frecuencia de lo normalmente prescrito.

2. El comercio ilegal de drogas.

La venta de medicamentos psicoactivos sin receta médica, así como la de drogas ilícitas, está prohibida por la ley y, por lo tanto, constituye una actividad delictiva. Los países de todo el mundo cuentan con políticas sobre drogas para abordar y controlar el problema del narcotráfico, que es la forma en la que los delincuentes transportan, comercian y venden drogas ilícitas. La actividad policial para combatir el tráfico ilegal de drogas requiere métodos específicos y delicados para detectar dichas sustancias: este es el trabajo de los científicos forenses.

3. Detección de drogas.

Los científicos forenses suelen detectar las drogas en los materiales encontrados en escenas del crimen o en posesión de una persona; también buscan estas sustancias en muestras recolectadas de individuos (como sangre u orina).

4. Metabolismo de las drogas.

Cuando las personas consumen drogas, estas ingresan al cuerpo y pasan por alteraciones químicas, dentro del denominado “metabolismo”. El metabolismo es un conjunto de reacciones químicas que ocurren en el cuerpo humano (principalmente mediadas por enzimas), dando lugar a la transformación de una sustancia en otras diferentes que se conocen genéricamente como metabolitos. Algunas sustancias se transforman casi por completo en sus metabolitos, mientras que otras no. Tanto la droga en su forma original (si aún está presente en el cuerpo) como sus metabolitos serán finalmente eliminados del organismo. Esto puede ocurrir a través de las heces o la orina.

5. Aguas residuales y tratamiento de aguas residuales.

Cuando las personas eliminan su orina y heces en el baño, estos residuos llegan a la red de alcantarillado y, posteriormente, a la planta de tratamiento de aguas residuales. Pero, ¿por qué son tan importantes las plantas de tratamiento de aguas residuales? Porque las excreciones humanas, productos domésticos y

residuos industriales son contaminantes reales o potenciales del medio ambiente que, si se liberan directamente, envenenarían rápidamente funciones vitales de los ecosistemas, la fauna y los seres humanos. Las plantas de tratamiento de aguas residuales son una barrera crucial contra la entrada de contaminantes al medio ambiente. Sin embargo, esta barrera no es completamente eficaz, y algunos compuestos en las aguas residuales pueden atravesarla sin cambios o como metabolitos.

6. La importancia de las aguas residuales para la ciencia forense.

¿Puedes imaginar lo compleja que es una muestra de aguas residuales? Básicamente, cualquier cosa que llegue al alcantarillado estará en las aguas residuales. Además, estas contienen una enorme cantidad de pequeños organismos: los microorganismos, que muestran una gran diversidad de especies y actividades metabólicas.

Aunque el propósito principal del tratamiento de aguas residuales es eliminar los productos de desecho y los patógenos, las aguas residuales representan la totalidad de los productos de desecho de una comunidad específica y, por tanto, son una fuente valiosa de información sobre los productos utilizados y fabricados en dicha comunidad. Es decir, las aguas residuales son un material único para el análisis forense. Por lo tanto, una estrategia forense adicional que se está adoptando es buscar drogas en las aguas residuales. Aunque normalmente los laboratorios forenses no reciben ni analizan aguas residuales, los laboratorios de investigación han estado investigando el análisis de drogas en estas muestras. Si se encuentran drogas en las muestras de aguas residuales, una de las posibilidades es que estas sustancias hayan sido consumidas por personas de la comunidad que generan esas aguas. Esto puede ayudar a los profesionales de la salud pública y la seguridad a desarrollar estrategias para combatir el problema de las drogas en un país o región.

7. Metabolismo microbiano de las drogas.

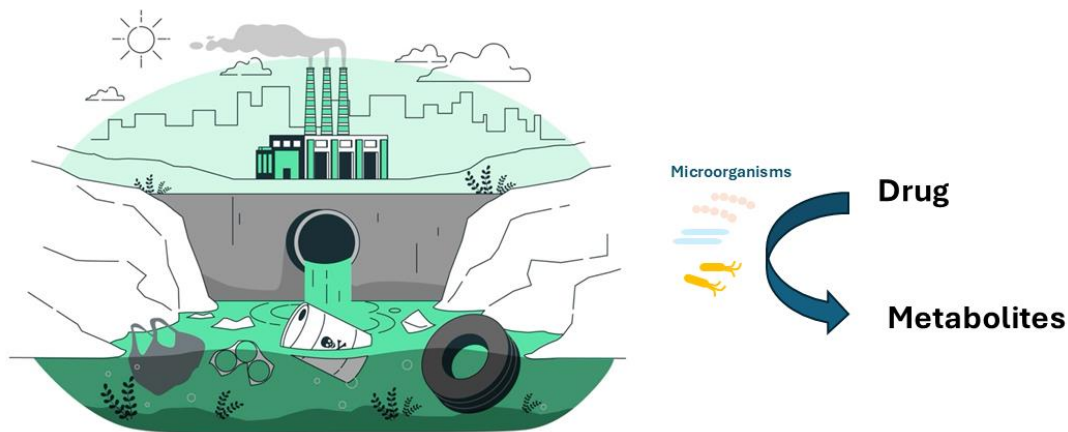
Uno de los grandes desafíos al analizar drogas en aguas residuales es que pueden verse afectadas por los microorganismos presentes, los cuales podrían transformar estas drogas en otros compuestos. ¿Recuerdas el metabolismo en el cuerpo humano? Esto también puede ocurrir en los microorganismos: pueden tomar una droga y convertirla en otro compuesto. Si una droga es transformada por los microorganismos en las aguas residuales, puede “desaparecer” de la muestra, y los científicos no podrán detectarla al analizarla. Por esta razón, se han realizado investigaciones en los laboratorios para estudiar el potencial de los microorganismos para transformar drogas en aguas residuales. Esta información puede ayudar a los científicos a comprender el destino de estas sustancias en dicho entorno.

Las drogas ilícitas pueden considerarse xenobióticos, es decir, compuestos que no fueron producidos por un ser vivo o que son ajenos a un ecosistema. Estos compuestos entran en contacto con la microbiota autóctona –los habitantes microbianos normales– de un entorno como moléculas sin cambios o como metabolitos. Hasta ahora, se sabe poco sobre el metabolismo de las drogas ilícitas por microorganismos, pero puede resultar de tres tipos de actividad:

- uso de la droga como alimento microbiano, es decir, como fuente de carbono o energía para el crecimiento y reproducción,
- desintoxicación, mediante la degradación o modificación de su estructura, en el caso de una droga que sea tóxica para el microbio,
- metabolismo fortuito o accidental por enzimas producidas para otra función completamente diferente, en el caso de que la droga tenga una estructura lo suficientemente similar a una molécula cuyo metabolismo forma parte del espectro normal de actividades del microbio.

8. Composición de la comunidad microbiana y su alteración.

La mayoría de los compuestos, incluidas las drogas y sus metabolitos, que se introducen en una comunidad microbiana natural provocarán cambios en su composición. La droga consumida por una persona puede ser metabolizada, y la droga o sus metabolitos pueden llegar al sistema de alcantarillado y a una planta de tratamiento de aguas residuales. En estas aguas, las drogas pueden interactuar con los microorganismos allí presentes. Del mismo modo, las drogas pueden llegar a la microbiota de los ríos después del tratamiento. En muchos casos, si la concentración de la droga es suficientemente alta, puede inducir un cambio en la composición de la comunidad microbiana. Los cambios causados por estas intervenciones humanas pueden servir como posibles marcadores microbianos para detectar puntos de producción y consumo de drogas. Esto se debe a que la microbiota natural puede ser reemplazada por otros microorganismos mejor adaptados, que a su vez pueden ser útiles para que los científicos propongan nuevos métodos analíticos para identificar estas sustancias.



Representación esquemática de la posible contaminación de aguas residuales por drogas ilícitas y su interacción con microbios en el ambiente. Las drogas pueden ser degradadas por enzimas humanas o microbianas, que son proteínas especiales que aceleran la velocidad de las reacciones químicas. (Crédito: La figura fue elaborada por los autores, usando una imagen libre disponible en Freepik).

9. Posibles impactos de las drogas ilícitas sobre la vida silvestre y la biodiversidad.

Si en una población existe consumo de drogas ilícitas, rastros de estos compuestos se esparcirán en los ecosistemas fluviales, entrando en contacto con

la fauna local y la microbiota. Lo mismo ocurre con los laboratorios clandestinos que producen drogas ilícitas: sus residuos pueden llegar a los ecosistemas naturales cercanos, impactar la fauna local y causar alteraciones en la composición microbiana. Estos impactos pueden resultar en extinción de especies. Los microbios proporcionan funciones clave en los ecosistemas, pero las extinciones microbianas son muy difíciles de determinar.

10. Drogas en el medio ambiente y sostenibilidad.

Cuando hablamos de sostenibilidad, lo primero que puede venir a la mente es el uso más eficaz de los recursos naturales disponibles desde una perspectiva ecológica de la interacción humana con el entorno. Es un concepto importante que se ha discutido en todo el mundo para planificar políticas públicas que contrarresten los efectos perjudiciales de las actividades humanas sobre la naturaleza, como el calentamiento global, la contaminación, la pérdida de biodiversidad, la pérdida de tierras agrícolas y la deforestación. Está bien documentado que la sobreexplotación causada por actividades humanas daña el medio ambiente, afectando directamente la biodiversidad, que es esencial para proporcionar servicios ecológicos a todos, pero especialmente a poblaciones étnicas y tradicionales, y para mantener el equilibrio dinámico y delicado en los ecosistemas.

Se divulga mucho en los medios de comunicación sobre los efectos nocivos de la contaminación y la deforestación sobre la biosfera. Sin embargo, se expresa poca preocupación sobre los impactos de las actividades humanas en las comunidades microbianas de ambientes terrestres, aéreos, marinos y fluviales.

11. La necesidad de un debate social sobre el uso de drogas y su impacto ambiental.

La sociedad necesita con urgencia discutir y responder una serie de preguntas, tales como:

- ¿Es el consumo de drogas perjudicial no solo para una persona, sino también para el medio ambiente?
- ¿Hasta qué punto las drogas o sus metabolitos liberados en el medio ambiente causan cambios en las comunidades microbianas?
- ¿Son estos cambios transitorios o persistentes?
- ¿Provocan estos cambios alguna pérdida en los servicios ecosistémicos?

Estas preguntas son importantes para los científicos, especialmente considerando que aproximadamente el 99.8% de las bacterias no pueden cultivarse en condiciones de laboratorio, lo que significa que la mayor parte de la diversidad bacteriana del mundo es desconocida. Por lo tanto, evaluar los impactos ambientales causados por el consumo de drogas es crucial y resalta la importancia de este tema no solo para la ciencia forense, sino también para la sostenibilidad ambiental.

Posibles implicaciones para la toma de decisiones

1. Individual

- a. Las drogas ilícitas pueden causar varios tipos de daños y problemas de salud, por lo que su uso debe evitarse estrictamente.

- b. Algunas drogas tienen beneficios terapéuticos, pero solo deben usarse bajo supervisión médica.
 - c. Si conoces a alguien que usa drogas, recuérdale los peligros del consumo de drogas y sugiérele buscar ayuda de alguien confiable y comprensivo, para ser guiado para recibir atención médica.
2. **Comunidad**
 - a. El consumo de drogas también puede impactar el medio ambiente, y las drogas que llegan a las aguas (como aguas residuales, ríos, lagos y mares) podrían afectar a los organismos y microorganismos que habitan allí, con consecuencias aún desconocidas para el ecosistema global.
 3. **Políticas nacionales relacionadas con el uso de drogas ilícitas**
 - a. El uso de drogas puede provocar problemas de salud pública.
 - b. El uso de drogas también puede estar asociado con actividades delictivas (como el narcotráfico y los crímenes violentos).

Participación del alumnado

1. **Discusión en clase sobre los problemas asociados al consumo de drogas.**
 - a. ¿Por qué es peligroso el uso y abuso de drogas?
2. **Discusión en clase sobre el papel del análisis de aguas residuales para detectar drogas.**
 - a. ¿Qué han estado investigando los científicos en las aguas residuales con respecto al uso y abuso de drogas y por qué?
 - b. ¿Por qué es importante entender lo que sucede con una droga en las aguas residuales?

Base de las evidencias presentadas en el artículo, lecturas adicionales y ayudas didácticas

Para preparar la lección, este contenido puede organizarse en dos temas principales: El concepto de drogas y el abuso de drogas, y los riesgos del consumo:

Por ejemplo, *National Institute on Drug Abuse (NIDA). Drug Drugs, Brains, and Behavior: The Science of Addiction - Drug Misuse and Addiction. Disponible en: <https://www.drugabuse.gov/publications/drugs-brains-behavior-science-addiction/drug-misuseaddiction>.*

World Health Organization (WHO). Drugs (psychoactive) .Disponible en: https://www.who.int/health-topics/drugs-psychoactive#tab=tab_1

Australian Government Department of Health. What are drugs? Disponible en: <https://www.health.gov.au/health-topics/drugs/about-drugs/what-are-drugs>

Análisis de aguas residuales y la importancia de analizar drogas en éstas desde un punto de vista forense:

Microbial diversity in wastewater and the potential impact in in-sewer transformation of drugs. De Campos, E. G.; De Martinis, E. C. P.; De Martinis, B. S. Forensic Analysis of Illicit Drugs and Novel Psychoactive Substances in Wastewater: A review of toxicological, chemical and microbiological aspects. Brazilian Journal of Analytical Chemistry, 2022. Disponible en:

*<https://brjac.com.br/artigos/2021-V8-NX2/brjac-19-2021.pdf>. *Aunque este artículo es de carácter técnico y con aproximaciones para especialistas, el texto presenta*

información general útil para preparar esta lección. Más información general se puede encontrar en: *ESR. Drugs in wastewater*. Disponible en:

<https://www.esr.cri.nz/home/about-esr/our-science-inaction/drugs-in-wastewater/> (Página sobre drogas en aguas residuales elaborada por *the New Zealand's Crown Research Institute ESR, the. European Monitoring Centre for Drugs and Drug Addiction (EMCDDA). Wastewater-based epidemiology and drugs topic page* (Página sobre el análisis de aguas residuales y las iniciativas desarrolladas en Europa por la EMCDDA).

Estos informes y otros nuevos están disponibles on line y son útiles para que los estudiantes aprecien su utilidad y aplicaciones