



Inisa-UCR

Entre pipetas y embudos, tres mentes científicas ayudan a salvar vidas al analizar el agua de uso humano

Foto: [Laura Rodríguez Rodríguez](#).

Su aporte es invaluable para alertar si la población podría experimentar un brote por alguna enfermedad infecciosa

29 MAY 2023 Salud

En la **Sección de Infección y Nutrición**, del Instituto de Investigaciones en Salud de la Universidad de Costa Rica (Inisa-UCR), se encuentran tres profesionales en Microbiología que decidieron dedicar **una parte importante de su carrera, y de su vida, al análisis del agua.**

¿Sus nombres? **Luz Chacón Jiménez, Kenia Barrantes Jiménez y Luis César Rivera Montero**, grandes mentes científicas de la UCR y quienes, entre gabachas blancas, pipetas y placas de petri, dedican cada minuto de su día laboral a estudiar el líquido más preciado que tiene el ser humano para su subsistencia.

El objetivo de este equipo científico es claro: **asegurar que el agua que utilizan las personas no posea niveles de virus o bacterias superiores al estándar**, las cuales vayan a poner en peligro las actividades diarias, los cultivos, los negocios y, por supuesto, la vida humana.

Dicha labor comenzó en el Inisa-UCR formalmente en el 2013 y, desde entonces, el equipo profesional no ha estado solo. Pablo Rivera Navarro, especialista del Laboratorio de Aguas del **Instituto de Acueductos y Alcantarillados (AyA)**, los acompaña en varios análisis que realizan.

Lo anterior da un aporte sin igual. Los resultados de los estudios no solo permiten mejorar la calidad de las aguas, entre ellas las residuales que las y los costarricenses volverán a utilizar con distintos fines después de ser tratadas, sino que **los hallazgos también permiten conocer la cantidad de virus y bacterias presentes**. El número de virus y bacterias es una ventana epidemiológica perfecta que refleja el estado de salud de una población e, incluso, ayuda a predecir potenciales brotes epidémicos antes de que sucedan.

“Hace diez años empezamos a analizar patógenos en aguas residuales y teníamos una inquietud metodológica sobre si éramos capaces de detectar ciertos patógenos, principalmente virus causantes de enfermedades, pero que son complicados de detectar. Empezamos un monitoreo de aguas residuales en plantas de tratamiento administradas por el AyA y **detectamos todos los microorganismos que nos propusimos buscar, como Hepatitis A, rotavirus, norovirus e, incluso, enterovirus**”, narró la Dra. Chacón.

Esos microorganismos son causantes de serios cuadros de diarrea y los encontraron tanto a la entrada como a la salida de las plantas de tratamiento. Es decir, las aguas, después de ser tratadas, **eran descargadas a los ríos con presencia de patógenos**. Así, nació la siguiente interrogante: ¿son esas concentraciones un riesgo para la salud?

“De esa pregunta nació hacer un análisis de riesgo cuantitativo microbiano, porque es saber cuántos microorganismos estamos descargando y si estos microorganismos, una vez que entren a un cuerpo de descarga como a un río, van a generar un problema a la salud. Ese análisis de riesgo cuantitativo se hace por medio de **modelaciones matemáticas establecidas por la Organización Mundial de la Salud**”, dijo la Dra. Chacón.

“La OMS definió cuál es el máximo permitido, las fórmulas matemáticas a implementar y un indicador llamado DALY.

El DALY mide la carga global de la enfermedad y de las lesiones al calcular la suma de los años de vida perdidos y los años vividos con discapacidad, ajustados por la gravedad de la enfermedad.

El DALY recomendado por la OMS en agua superficial, que se usa para producir agua potable, es de 0,000006 años por persona. Es decir, 0,000006 años es lo máximo que una persona debería perder por una diarrea causada por parásitos.

Un estudio realizado en Costa Rica encontró un DALY de 0,0004 (al menos 1,5 órdenes de magnitud más altos de los esperados)”.
Dra. Chacón Jiménez

¡Puro cálculo!

Con la ayuda de la matemática los análisis se ampliaron. Mediante esa ciencia exacta **se logró pasar de solo detectar virus a incluir otros microorganismos de gran importancia** como los parásitos protozoarios; entre ellos, el *Cryptosporidium sp.*, también causante de fuertes cuadros de diarrea y de dolores abdominales.

Las estimaciones matemáticas permitieron determinar en qué momento las aguas residuales ya tratadas podrían ser seguras para descargarse a los ríos e, incluso, hasta usaron **indicadores más baratos como los colifagos somáticos** –virus que infectan células y que se pueden identificar fácilmente en un laboratorio–. Esto constituyó un aporte revolucionario.

Hasta entonces, la legislación costarricense privilegiaba el análisis de coliformes (bacterias) fecales. Pero estos coliformes solo indican la presencia de bacterias; es decir, **no sirven para saber si una muestra de agua tiene virus o parásitos.**

Así, las y los científicos de la UCR decidieron hacer un cambio, pues muchos años antes descubrieron muestras de agua que, si bien no tenían una presencia significativa de bacterias fecales, **sí presentaban colifagos (virus) y parásitos, tanto en el agua residual como en el agua potable de consumo humano.** El país exigía una nueva contribución sustantiva.

“En el laboratorio detectamos que algunas muestras de agua potable estaban libres de patógenos, pero no de colifagos. De ahí la importancia de ir más allá de lo que normalmente pedía la ley porque **el agua tiene más cosas.** Costa Rica siempre se ha destacado por sus buenos indicadores en potabilidad del agua. Entonces, quedarnos y **hablar solo de potabilidad con base en la presencia o no de bacterias se nos estaba quedando corto.** El usar colifagos fue un aporte muy relevante que le dimos al país”, manifestó la Dra. Chacón.

“Con los colifagos propusimos un indicador y no porque se nos ocurrió, sino porque a lo largo de las investigaciones, con datos y publicaciones científicas, vimos que es definitivamente un gran indicador **tanto para el agua de consumo humano como para las aguas residuales.** Es una alternativa para monitorizar la presencia de otros virus patógenos y, desde la Universidad, lo dimos para aportar a un país con escasos recursos económicos porque, además, los colifagos son más baratos”, señaló la Dra. Barrantes.

Con un fuerte respaldo científico, el equipo de la UCR logró estandarizar un umbral de colifagos **como guía en la seguridad y calidad del agua antes de la descarga.** Con ese paso concretado se consolidó una vigilancia epidemiológica formal que el país obtuvo por primera vez, mismo que luego se extendió no solo a agua de consumo humano y residuales, sino también en aguas crudas.



Desde el 2013 se han visitado **21 sistemas de tratamiento de aguas residuales administrados por el AyA**. Tres localizados en la región Brunca, cuatro en la región Chorotega, dos de la región Huetar Caribe, uno de la región Pacífico y de la Región Central 10. Seis de estos sistemas de la Región Central son los más visitados (Alajuela, Heredia y San José).

Foto: [Laura Rodríguez Rodríguez](#).

Monitoreo cercano

Ahora, tal vez se pregunte: **¿de qué sirve saber, exactamente, cuántos virus o bacterias hay en el agua a utilizar?** Aquí hay dos respuestas. Una ya usted la sabe y la otra se la adelantamos preliminarmente.

La primera es por la seguridad del líquido. **Es usual que el agua residual después de ser tratada vaya a los ríos**. Corriente abajo ese líquido se utilizará para muchas labores. Una es el riego de vegetales como la lechuga, el culantro y el apio, por citar algunos de los más populares y de mayor importancia. Estos son alimentos que se suelen consumir crudos y, por lo tanto, el agua que reciben debe ser inocua —**no generar enfermedad**—.

La segunda está relacionada a nivel epidemiológico. El conocer la cantidad de patógenos que están circulando da la posibilidad de registrar tendencias de aumento o disminución en la circulación de ciertos microorganismos perjudiciales y, así, **conocer el estado de salud de la población, generar alertas tempranas y planes preventivos**.

Precisamente, esa vigilancia la realizaron las dos científicas en el pico más elevado de la pandemia por el SARS-CoV-2 en el país. Tanto la Dra. Chacón como la Dra. Barrantes fueron las únicas científicas de Costa Rica en liderar un estudio de tal magnitud bajo una

premisa clara: si hay una elevada carga del virus causante del COVID-19 en las aguas residuales, **el resultado podría asociarse a un mayor número de personas contagiadas que las reportadas.**

Si ese hallazgo se daba, el país tendría datos científicos robustos para identificar sitios de circulación activa del virus y de esa forma realizar intervenciones localizadas. **La misma lógica se repite para los diferentes patógenos que se encuentren.**

“La intención del Inisa-UCR es llegar con datos para hacer una mejora a la salud nacional. Es brindar un apoyo hacia una realidad desde su veracidad científica. No es solo el hecho de: ‘¡ay, mira!, estamos detectando este virus, este parásito, esta bacteria resistente a los antibióticos en el agua’, **sino cómo se traduce eso a efectos de la población y qué riesgo puede tener ese hallazgo para la salud pública nacional**”, profundizó la Dra. Kenia Barrantes Jiménez.

Hay un principio científico de vigilancia epidemiológica en aguas residuales. Si un patógeno empieza a circular, conforme vaya contagiando a la gente la presencia de ese microorganismo va a aumentar en aguas residuales, porque la persona lo va a excretar. Si es un patógeno que causa diarrea, va a haber más personas excretando ese mismo patógeno y ese aumento implica que el microorganismo está circulando.

Ese ideal de generar datos para **fortalecer la salud nacional** va en diferentes niveles y al día de hoy ha incidido en políticas públicas gracias a las excelentes relaciones entre el AyA y con el Ministerio de Salud. Además, **se ha mejorado los procesos diagnósticos.**

Por ejemplo, la Dra. Barrantes comentó que desde el Inisa-UCR se sabe, a razón de la experiencia, que no todos los patógenos se comportan igual y no todas las guías de análisis tienen el mismo significado. Precisamente, **ese conocimiento acumulado ha permitido la incorporación de metodologías más eficaces y eficientes.**

“El avance ha sido notorio, así como el establecimiento de nuevas líneas de investigación, metodologías y en las capacidades técnicas que ha tenido el laboratorio. Cuando se empezó con este proyecto, para establecer los modelos se utilizaron proporciones: **cuántas muestras eran positivas y cuántas no.** Al día de hoy, se cuantifican las cargas virales y esto es un avance metodológico bastante importante que nos permite tener más sensibilidad y mejores resultados. Con ello hemos logrado más impacto tanto a nivel científico como en los tomadores de decisiones”, resaltó Luis César Rivera Montero.



En los últimos diez años se han analizado alrededor de **300 muestras**, a las que se les ha realizado como mínimo cuatro determinaciones diferentes de microorganismos. Esto indica que se han realizado al menos **1 200 análisis de patógenos en promedio** para cada una.

Ingenio metodológico

A partir del 2013, el Laboratorio de Alimentos y Aguas del Inisa-UCR mejoró sus métodos. Primero, iniciaron con procesos más sencillos y luego con el uso de la **PCR (reacción en cadena polimerasa** por sus siglas en inglés). Sí, las mismas que en el 2020 se volvieron populares para diagnosticar el COVID-19.

Las PCR son pruebas moleculares que ayudan a detectar gran cantidad de virus desde su material genético. El Inisa-UCR pasó de **usar la PCR punto final a la PCR cuantitativa en tiempo real (qPCR)** que, a diferencia de la anterior, permite hacer una cuantificación absoluta y con un menor margen de error. Ahora, esa prueba se mejoró aún más, con una sola reacción.

“A partir de ahí, nos hemos quedado con la PCR en tiempo real y hemos seguido avanzando cada vez más según los recursos disponibles. Ahora, queremos implementar, el próximo mes, una nueva metodología más simplificada de Biología Molecular. **La idea es que, cuando son virus de tipo ARN, no tengamos que hacer dos pasos (de ARN a ADN) y luego la qPCR, sino solo uno.** Es decir, que una vez extraído el ARN podemos hacer inmediatamente el qPCR. Esto requiere menos esfuerzo, trabajo, horas de personal científico, es más eficiente, el reactivo (insumo) es más barato, es más certero y obtenemos resultados el mismo día”, amplió Rivera Montero.

¿En palabras más sencillas? **Que los análisis que antes duraban una semana, con las nuevas metodologías del Inisa-UCR ahora se consiguen en un máximo 48 horas.**

“Es estrictamente necesario **tener los resultados lo más rápido posible** para no perder esa ventana de oportunidad que nos da la vigilancia. No podemos perder esa ventaja de predecir, como dice la literatura, lo que va a pasar a nivel clínico más adelante. Por supuesto que en todo este proceso llevamos una batería de controles para asegurar que el resultado que estamos viendo es el óptimo”, enfatizó Rivera Montero.



El ahorro logrado por el equipo científico del Inisa-UCR es significativo en materia de investigación y da una contribución invaluable en beneficio del país. Si se realiza un análisis completo de 100 muestras para identificar tres virus, el proceso sale cerca de 25 dólares. Un análisis de tres virus mediante el indicador de colifagos sale en **1 000 colones**, aproximadamente.

Foto: [Laura Rodríguez Rodríguez](#).

Los hallazgos

¿Y qué se ha conseguido hasta hoy? Mucho. En los diez años de estudio, **el equipo científico de la UCR ha identificado la presencia de varios virus y bacterias.**

Además de la Hepatitis A, rotavirus, norovirus, enterovirus y el parásito *Cryptosporidium* sp. en las aguas residuales, también se han hallado variedades de ***Escherichia coli* (*E. coli*)**. Todas ellas generan serios cuadros de diarrea y, algunas, incentivan el daño renal agudo.

“Encontramos *E. coli* de microbiota normal, comúnmente alojada en los intestinos de las personas, y otras *E. coli* que pueden causar infección. En estas últimas buscamos los genes

y encontramos algunos asociados a *E. coli* enteropatógena, *E. coli* productora de toxina Shiga, *E. coli* enterotoxigénica y *E. coli* enteroagregativa”, enumeró la Dra. Chacón.

Por su parte, en el agua para consumo humano, solo se ha identificado rotavirus, “**muy probablemente porque hubo algún contacto con materia fecal**”, afirmaron las expertas.

Con los resultados, se emite un informe al Ministerio de Salud o al AyA, según corresponda, a fin de que ellos puedan realizar acciones sustentadas **con fundamentos científicos sólidos**.

“Evidentemente, nosotros tenemos un límite en cuanto a las estrategias que utilicen los entes responsables en el manejo de estas plantas de tratamiento o del agua para hacer mejoras. Pero aquí, lo importante es que **damos el aporte para contribuir a la salud nacional** y que siempre hemos dado seguimiento con avances muy positivos”, enfatizó la Dra. Barrantes.

En efecto. Pablo Rivera, del AyA, comentó que gracias a los aportes del Inisa-UCR **se ha fortalecido la capacidad de respuesta ante diversos eventos** relacionados con la epidemiología ambiental, el monitoreo de patógenos y el análisis de riesgo, entre otros.

Producto de los trabajos con la UCR, el AyA ha logrado mejorar sus propias técnicas de laboratorio. Rivera Navarro comentó que en el Laboratorio Nacional de Aguas, por ejemplo, han **aprendido sobre ensayos y técnicas nuevas** con base en la experiencia de las y los colegas de la UCR.

“Sin duda, el aporte ha sido muy valioso para el AyA y para el país. La experiencia de trabajo en conjunto nos ha permitido tener criterios técnicos sólidos y robustos en el abordaje de temas como los protocolos de vigilancia de enfermedades transmitidas por aguas, la interpretación de resultados de laboratorio y la toma de decisiones a partir de estos, por lo cual, **el principal elemento que destacaría sería el conocimiento compartido basado en la ciencia**”, destacó Pablo Rivera Navarro.

Desde el año 2007 se empezó a trabajar con aguas residuales para la detección de *Escherichia coli* enteropatógena en el marco de [una tesis de maestría](#) de la Dra. Chacón.

Lo que viene

El siguiente paso para este equipo científico es generar un contacto más cercano con la comunidad. Entre los proyectos vigentes está el de vinculación con gestores ambientales, específicamente, **en los lugares donde se obtienen las muestras de agua de río**.

En relación con los proyectos, se continuará con los estudios de contaminación y de microbiología ambiental, **así como los análisis de los genes de resistencia a los antibióticos**. Este último es de vital interés.

En la actualidad, **hay descargas que no están identificadas como aguas residuales**. Por ejemplo, si un productor tiene una lechería, cuando las vacas expulsan sus excrementos y se lava el lugar, ese líquido con excremento va a dar un cuerpo de agua.

El objetivo, entonces, es analizar esa agua en función a la resistencia a antibióticos, lo cual generará una contribución vital. Las estimaciones de la última [Revisión de la Resistencia](#)

[Antimicrobiana](#), del Reino Unido, calculan que **más de 10 000 000 vidas podrían perderse** por la resistencia a los antibióticos en el 2050.

“El objetivo a mediano o corto plazo es realizar esta divulgación con los **gestores ambientales** en donde se ubican geográficamente los proyectos que estamos desarrollando. También, con la población costarricense y otros espacios de la comunidad universitaria como el CIGRAS, como el CIMAR, la UNA, el TEC y el CATIE. Buscamos expandir nuestros vínculos y esto es muy importante”, explicó la Dra. Barrantes.

Por el momento, para este 2023 se priorizará el monitoreo sistemático de patógenos como Hepatitis A, rotavirus, norovirus GI y GII, enterovirus, influenza, SARS-CoV-2 y el virus que ocasiona la viruela del mono. **A esos virus se les estimará la carga y se les hará un análisis de riesgo de las aguas provenientes del Valle Central.**

El equipo UCR

En el laboratorio de Alimentos y Aguas, del Inisa-UCR, se une la docencia, la investigación y la acción social. Varios estudiantes realizan sus tesis de investigación en ese espacio, lo cual incentiva la formación de las y los futuros profesionales del país.

Además, si bien las dos científicas y el científico lideran parte importante de los estudios, el equipo de trabajo también se sostiene gracias a otras personas que apoyan el proceso. Ellas y ellos son: Eric Morales, José Montiel, Melisa Mora, José Pablo Barrantes y María José Muñoz.



[Jenniffer Jiménez Córdoba](#)
Periodista Oficina de Comunicación Institucional
Área de cobertura: ciencias de la salud
jenniffer.jimenezcordoba@ucr.ac.cr

Etiquetas: [aguas residuales](#), [inisa](#), [seccion de infeccion y nutricion](#), [aguas](#), [analisis](#), [aya](#).