

ARTÍCULO ORIGINAL

## Presencia de virus entéricos en muestras de agua para el consumo humano en Colombia: desafíos de los sistemas de abastecimiento

Dioselina Peláez<sup>1</sup>, Blanca Lisseth Guzmán<sup>2</sup>, Johanna Rodríguez<sup>1</sup>, Felipe Acero<sup>1</sup>, Gerardo Nava<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Laboratorio de Virus Entéricos, Grupo de Virología, Subdirección Laboratorio Nacional de Referencia, Dirección de Redes en Salud Pública, Instituto Nacional de Salud, Bogotá, D.C., Colombia

<sup>2</sup> Grupo de Salud Ambiental, Subdirección Laboratorio Nacional de Referencia, Dirección de Redes en Salud Pública, Instituto Nacional de Salud, Bogotá, D.C., Colombia

**Introducción.** El agua de consumo humano puede ser vehículo de transmisión de agentes patógenos. La detección de virus entéricos en estas muestras de agua es esencial para establecer las acciones adecuadas de control y prevención de las enfermedades asociadas.

**Objetivo.** Analizar los resultados del diagnóstico de virus entéricos en muestras de agua para el consumo humano recibidas en el Instituto Nacional de Salud y establecer su asociación con los datos sobre la calidad del agua en los municipios de Colombia.

**Materiales y métodos.** Se hizo un análisis descriptivo retrospectivo de los resultados obtenidos en la detección de rotavirus, enterovirus, virus de la hepatitis A y adenovirus, en muestras de agua recibidas para estudios complementarios en la investigación de brotes de hepatitis entérica, de enfermedad diarreica aguda y de enfermedades transmitidas por alimentos. Dicha información se correlacionó con los datos de la vigilancia de la calidad del agua municipal determinada según el índice de riesgo de la calidad del agua (IRCA).

**Resultados.** Se procesaron 288 muestras de 102 municipios de Colombia, de las cuales el 50,7 % fue positivo para algún virus: 26,73 %, para el virus de la hepatitis A; 20,48 %, para enterovirus y rotavirus, y 18,05 % para adenovirus. Se detectaron virus en 48,26 % de las muestras de agua no tratada y en 45,83 % de las de agua tratada. El IRCA no mostró correlación con la presencia de virus.

**Conclusiones.** La presencia de virus en el agua representa un riesgo para la salud pública. La prevención de la transmisión de virus por medio del agua requiere políticas para fortalecer los sistemas de suministro y para mejorar la vigilancia epidemiológica.

**Palabras clave:** enterovirus, rotavirus, hepatitis A, contaminación del agua, abastecimiento de agua.

doi: <http://dx.doi.org/10.7705/biomedica.v36i0.2987>

### Presence of enteric viruses in water samples for consumption in Colombia: Challenges for supply systems

**Introduction:** Since drinking water can be a vehicle for the transmission of pathogens, the detection of enteric viruses in these water samples is essential to establish the appropriate measures to control and prevent associated diseases.

**Objective:** To analyze the results obtained for enteric viruses in water samples for human consumption received at the Colombian *Instituto Nacional de Salud* and establish their association with the data on water quality in Colombian municipalities.

**Materials and methods:** We conducted a descriptive-retrospective analysis of the results obtained in the detection of rotavirus, enterovirus, hepatitis A virus and adenovirus in water samples received for complementary studies of enteric hepatitis, acute diarrheal disease and foodborne diseases. Data were correlated with the results of water quality surveillance determined by the national human consumption water quality index (IRCA).

**Results:** Of the 288 samples processed from 102 Colombian municipalities, 50.7% were positive for viruses: 26.73% for hepatitis A virus, 20.48% for enterovirus and rotavirus and 18.05% for adenovirus.

#### Contribución de los autores:

Dioselina Peláez: diseño del estudio, análisis e interpretación de los datos, redacción del manuscrito

Johanna Rodríguez y Felipe Acero: ensayos de concentración viral y detección molecular

Blanca Lisseth Guzmán: análisis e interpretación de los datos, redacción del manuscrito

Gerardo Nava: análisis e interpretación de los datos

Viruses were detected in 48.26% of non-treated water samples and in 45.83% of treated water samples. The IRCA index showed no correlation with the presence of viruses.

**Conclusions:** The presence of viruses in water represents a public health risk and, therefore, the prevention of virus transmission through water requires appropriate policies to reinforce water supply systems and improve epidemiological surveillance.

**Key words:** Enterovirus, rotavirus, hepatitis A, water pollution, water supply.

doi: <http://dx.doi.org/10.7705/biomedica.v36i0.2987>

El agua puede ser uno de los principales vehículos de transmisión masiva de agentes infecciosos, incluidos los virus. Se han identificado diferentes especies virales en el agua (1), de las cuales cerca de 100 pueden afectar a la población humana y a diferentes especies animales.

Los virus entéricos son un grupo de agentes que causan numerosas enfermedades en humanos, son transmitidos principalmente por la vía oral-fecal, y causan enfermedades como hepatitis, gastroenteritis, meningitis, encefalitis, afecciones respiratorias y cutáneas, diabetes y conjuntivitis, entre otras (1-3). Los virus entéricos incluyen especies de diferentes familias y los más representativos por su impacto en la salud humana son los enterovirus (polio, virus huérfano citopático entérico humano - ECHO, virus Cocksackie), los astrovirus, los adenovirus entéricos, los ortorreovirus, los calicivirus (norovirus y sapovirus) y los virus de las hepatitis A y E (3-5).

Estos virus están desprovistos de envoltura y presentan cápsides resistentes que les permiten sobrevivir en condiciones ambientales desfavorables y resistir a la acidez y la actividad proteolítica del estómago, así como infectar las células epiteliales vulnerables, replicándose eficientemente y excretándose en grandes cantidades en las heces ( $10^5$ - $10^{11}$  partículas virales/g) (1,3). Los virus llegan al medio ambiente y, en especial, a los recursos hídricos a través de fugas en los sistemas de alcantarillado y pozos sépticos, en descargas de aguas residuales y en vertimientos urbanos y agrícolas, lo cual, como es de esperar, afecta a la población humana (1-2).

Diversas enfermedades infecciosas en el mundo son causadas por la contaminación del agua de consumo humano y la falta de saneamiento;

aproximadamente, 2,9 millones de personas mueren cada año por estas causas según las estimaciones de la Organización Mundial de la Salud (OMS) (6). La creciente necesidad de agua potable debida a la sobrepoblación humana, la incesante urbanización, el aumento de la contaminación de los mantos acuíferos y el cambio climático en las últimas décadas, han convertido en un imperativo la preservación de las condiciones que garanticen la calidad del agua de consumo humano (7).

La mayoría de los programas de vigilancia que analizan su calidad microbiológica en diferentes países, entre ellos Colombia, emplean principalmente indicadores bacterianos como la presencia de *Escherichia coli* y de coliformes totales, pues son microorganismos de fácil y rápida medición (8). Sin embargo, varios estudios han demostrado que dichos métodos son ineficaces para indicar la presencia de otros agentes, como protozoos y virus patógenos en el agua (9).

La evaluación de la calidad del agua para consumo humano en el país incluye un programa de vigilancia según lo establecido en la Resolución 2115 del 2007, la cual define la frecuencia y el número de muestras analizadas de acuerdo con la población abastecida. Esta resolución también contempla el índice de riesgo de la calidad del agua (IRCA) como instrumento de evaluación del grado de riesgo de la presencia de enfermedades relacionadas con el incumplimiento de las características físicas, químicas y microbiológicas de potabilidad (10). En el IRCA se consideran, entre otras, características básicas de color, pH, turbidez, cloro residual libre, coliformes totales y *E. coli* como los indicadores más representativos de la calidad microbiológica y fisicoquímica del agua, cuyo cumplimiento es requisito obligatorio para todos los municipios del país.

Diversos factores hacen que la presencia de virus en el agua tenga gran relevancia para la salud pública. Los virus entéricos pueden sobrevivir y mantener su capacidad infecciosa en el agua durante periodos prolongados, y se ha reportado su presencia hasta durante 120 días en agua dulce

Correspondencia:

Dioselina Peláez-Carvajal, Grupo de Virología, Instituto Nacional de Salud, Avenida calle 26 N° 51-20, Bogotá, D.C., Colombia  
Teléfono: (571) 220 0770, extensión 1428  
dpelaez@ins.gov.co

Recibido: 27/07/15; aceptado: 14/04/16

y 130 días en agua de mar, dependiendo de las condiciones ambientales a las que se sometían (1). En general, se considera que estos patógenos son de difícil inactivación mediante los sistemas de tratamiento de aguas residuales, ya que requieren mayor tiempo de contacto y mayor concentración del hipoclorito de sodio (cloro residual libre de los compuestos clorados que se usan en la desinfección del agua). Además, la dosis infecciosa es baja (varía entre  $1 \times 10^1$  y  $1 \times 10^2$ ) y, por lo tanto, la presencia de un número reducido de virus puede producir enfermedades en un individuo vulnerable (1,11-12). La carga de mortalidad y morbilidad que se le atribuye a los agentes virales se desconoce por la poca información disponible debido a las dificultades para la recuperación y la concentración de los virus, y a los altos costos de las metodologías empleadas para el diagnóstico (13).

En Colombia, se han realizado pocos estudios sobre la presencia de virus entéricos en aguas de consumo humano; en un estudio en el municipio de Facatativá, en el cual se analizaron 226 muestras de aguas crudas y tratadas recolectadas entre el 2000 y el 2005, se identificó una muestra positiva para astrovirus procedente del río que abastece el acueducto, dos muestras con presencia de norovirus en agua tratada y 13 muestras positivas para rotavirus tanto de agua cruda como tratada; los autores señalan la importancia del agua como un vehículo de transmisión de los virus entéricos (14). En el 2008, se analizaron 80 muestras procedentes del departamento del Chocó, 20 de las cuales correspondían a agua tratada del acueducto de Quibdó y, 60, a agua no tratada. Se identificaron seis muestras positivas para rotavirus y dos para el virus de la hepatitis A en agua tratada y no tratada (15).

Con base en la definición de 'evento de interés en salud pública' como aquella situación importante o trascendente para la salud pública colectiva según criterios de frecuencia, gravedad, comportamiento epidemiológico, posibilidades de prevención y costo-efectividad de las intervenciones, el Instituto Nacional de Salud ha considerado de interés la notificación obligatoria en el Sistema Nacional de Vigilancia en Salud Pública (Sivigila) de las llamadas enfermedades transmitidas por el agua, las cuales pueden tener como agentes etiológicos bacterias, protozoos y virus; estos últimos son los causantes de la hepatitis A, la hepatitis E, la enfermedad diarreica aguda (EDA), las enfermedades transmitidas por alimentos (ETA) y la meningitis, entre otras infecciones.

En este sentido, frente a la necesidad de identificar los virus entéricos en el agua de consumo humano en Colombia, el Grupo de Virología del Instituto Nacional de Salud estandarizó un método de concentración y detección de virus en aguas de consumo mediante la técnica de filtración y ultrafiltración tangencial (F/UFT) como método de concentración (16), seguida de reacción en cadena de la polimerasa (PCR) convencional y en tiempo real para la detección e identificación de cuatro virus entéricos.

El presente estudio tuvo como objetivo analizar los resultados de la detección e identificación de virus entéricos en el agua para el consumo humano relacionados con casos sospechosos de hepatitis entérica, EDA y ETA durante el periodo de 2008 a 2014 en Colombia, y establecer su asociación con la calidad del agua que se distribuye en algunos municipios.

### **Materiales y métodos**

Se hizo un análisis descriptivo retrospectivo de los resultados del diagnóstico de virus entéricos (rotavirus, enterovirus, virus de la hepatitis A, adenovirus) en muestras de agua de consumo humano recibidas en el Instituto Nacional de Salud para someterlas a análisis complementarios de la investigación de brotes de hepatitis entérica, EDA y ETA notificados al Sistema Nacional de Vigilancia (Sivigila) durante el periodo de 2008 a 2014 en 102 municipios de Colombia. La detección de los virus se hizo en una concentración de 10 litros de agua (volumen mínimo) por filtración y ultrafiltración tangencial, según la metodología descrita por Peláez (16). Los rotavirus, enterovirus y el virus de la hepatitis A fueron detectados por PCR en tiempo real y los adenovirus por PCR convencional.

Las muestras de agua se recolectaron en ríos, lagos, pozos, aguas subterráneas, manantiales, tanques de almacenamiento o pilas de almacenamiento, así como en agua tratada con sospecha de estar contaminada con microorganismos infecciosos. En todos los casos el muestreo estuvo a cargo de los ingenieros o técnicos de saneamiento municipal, y el envío de las muestras al Instituto Nacional de Salud se hizo bajo condiciones de refrigeración (4 a 8 °C) y sin exposición directa a la luz solar. Los resultados obtenidos se analizaron con métodos de estadística descriptiva.

Con el fin de conocer si la presencia de los virus se relacionaba con la calidad del agua distribuida en los municipios incluidos en el estudio, se

analizó la asociación entre la presencia de virus y los datos sobre la calidad del agua registrados en el Subsistema de Información para la Vigilancia del Agua para Consumo Humano (Sivicap), determinada por el IRCA, información que es recopilada por las autoridades de salud en cada municipio.

Para el análisis de la asociación se consultaron los valores del IRCA mensual correspondientes a cada municipio donde se capturaron las muestras para el análisis viral. Dichos valores se analizaron considerando los cinco niveles de riesgo establecidos (sin riesgo, riesgo bajo, riesgo medio, riesgo alto e inviables sanitariamente) estipulados en la Resolución 2115 de 2007 (10). El análisis de correlación entre los resultados de virología y los niveles de la calidad del agua según el IRCA, se hizo utilizando tablas de contingencia y calculando el valor de ji al cuadrado para un nivel de confianza de 95 %. El análisis se hizo con el programa SPSS®, versión 18 (PASW Statistics).

## Resultados

Durante el período de 2010 a 2014 se procesaron 288 muestras provenientes de 102 municipios de 24 departamentos, y de Bogotá; los departamentos con mayor número de muestras estudiadas fueron Casanare (15,28 %), Cesar (8,68 %), Cundinamarca (8,68 %) y Sucre (7,29 %) (figura 1). En el análisis de la distribución de las muestras según el sitio y punto de toma, se encontró que 27,43 % de las muestras provenía de viviendas (casas o puntos domiciliarios); 20,83 %, de instituciones educativas (colegios, escuelas o jardines infantiles); 8,33 %, de tanques de almacenamiento de agua, y 9,03 %, de los acueductos (figura 2).

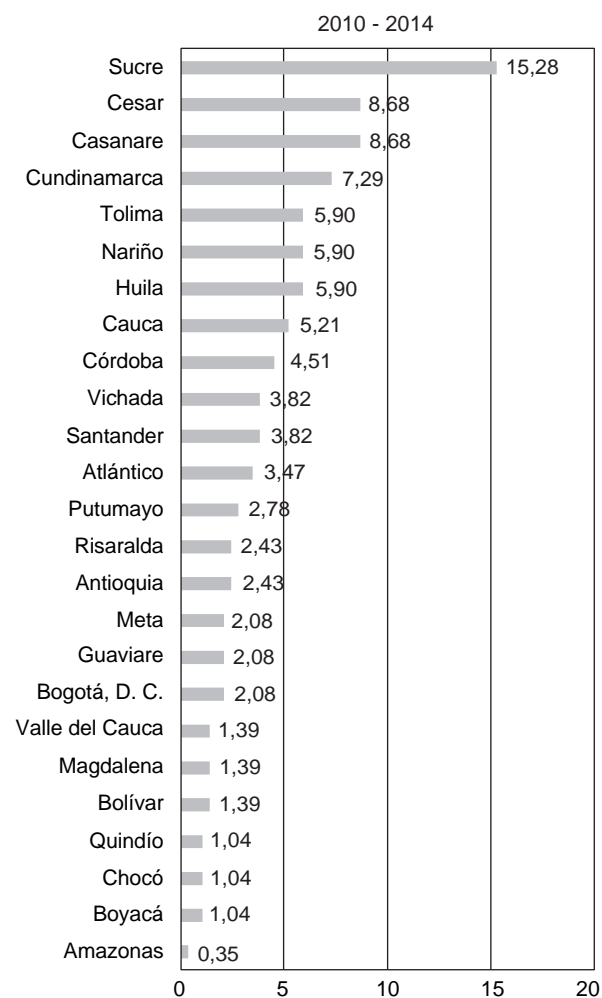
De las 288 muestras procesadas, 50,7 % (146) fue positivo para alguno de los virus entéricos buscados. El año con mayor positividad viral fue el 2011, con 68,3 %, seguido del 2014, con 65,3 %, aunque en este último año se redujo notablemente el número de muestras estudiadas.

El virus de la hepatitis A fue el más frecuentemente detectado (26,73 %), seguido de los enterovirus y los rotavirus (20,48 %) y, por último, los adenovirus (18,05 %). En 39 muestras (26,7 %) se identificaron dos agentes virales diferentes, en 24 (16,46 %) se identificaron tres, y en cinco (3,42 %) se identificaron los cuatro agentes en estudio. El porcentaje de muestras positivas para los virus fue diferente en cada año: en 2008 y 2014, los más frecuentes fueron los adenovirus (31,25 % y 46,93 %, respectivamente), en 2011 y 2013,

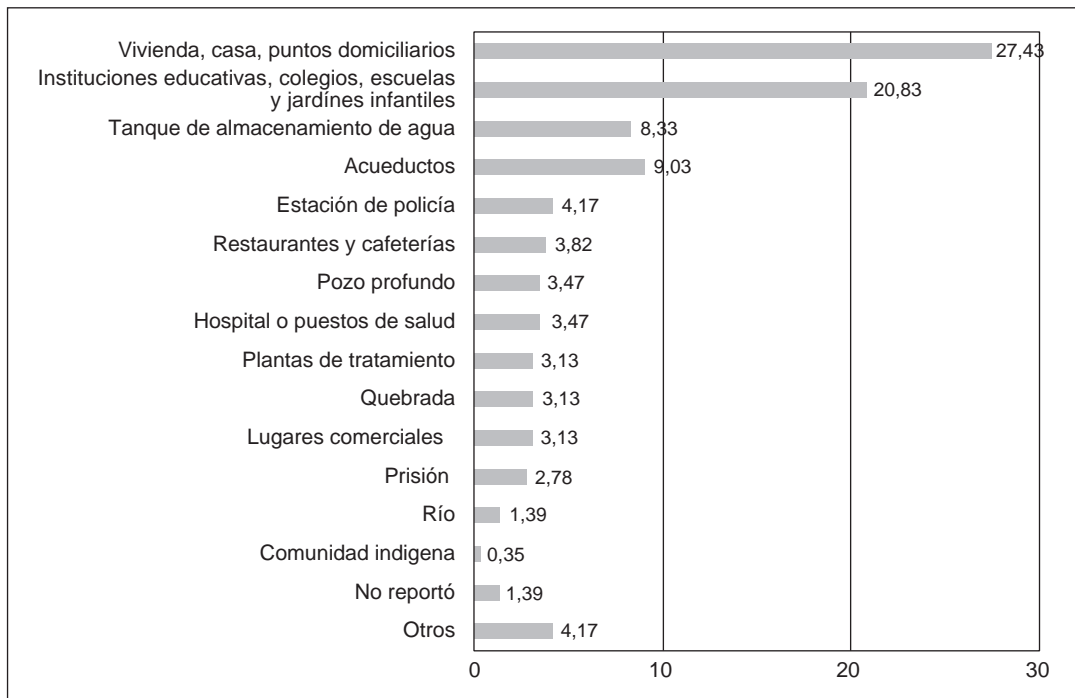
el virus de la hepatitis A (36,5 % y 16,16 %, respectivamente), y en 2008, los enterovirus (36,14 %) (figura 3).

En cuanto a la fuente de procedencia del agua, se observó que 139 (48,26 %) muestras correspondían a aguas no tratadas y 132 (45,83 %) a fuentes de agua tratada; para 5,9 % de las muestras no se registró información sobre el origen de la fuente. Se observó un porcentaje elevado de muestras positivas a los virus tanto en aguas tratadas como en aguas no tratadas, con 52,27 y 48,92 %, respectivamente (cuadro 1). El análisis según el tipo de agua evidenció que los adenovirus fueron los más frecuentes en aguas tratadas (figura 4).

Los valores del IRCA correspondientes a las muestras procesadas se distribuyeron en los niveles de riesgo según su resultado positivo o



**Figura 1.** Distribución de las muestras reportadas según el ente territorial de procedencia, Colombia 2010-2014  
Fuente: Laboratorio de Virología del Instituto Nacional de Salud



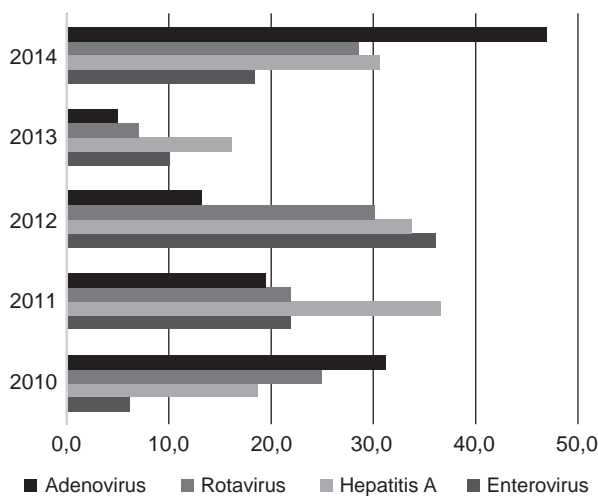
**Figura 2.** Distribución de las muestras reportadas según el punto de recolección, Colombia, 2010-2014  
Fuente: Laboratorio de Virología del Instituto nacional de Salud

negativo para los virus (figura 5). Los resultados mostraron una distribución porcentual semejante de las muestras de aguas negativas y positivas para virus entéricos según los niveles de riesgo.

El análisis de asociación entre los resultados de virología y los datos de la calidad del agua para consumo humano según el IRCA, no fue estadísticamente significativo, con un ji al cuadrado de 7,232 (p=0,300).

**Discusión**

Este estudio estableció la presencia de virus entéricos en el agua de consumo humano mediante el análisis de muestras asociadas a casos o brotes de hepatitis entérica, EDA y ETA, en diferentes municipios de Colombia. Se registró un alto porcentaje de circulación de enterovirus, de virus de la hepatitis A, de rotavirus y adenovirus, y en algunas muestras se detectó más de un agente viral. Se encontraron virus entéricos en fuentes de agua tratada, lo cual evidencia su persistencia después de los procesos de tratamiento, así como su resistencia a los métodos físicos y químicos que normalmente inactivan otros agentes infecciosos como las bacterias, aunque los resultados también podrían ser indicativos de la poca rigurosidad con que se aplican los procedimientos de potabilización.

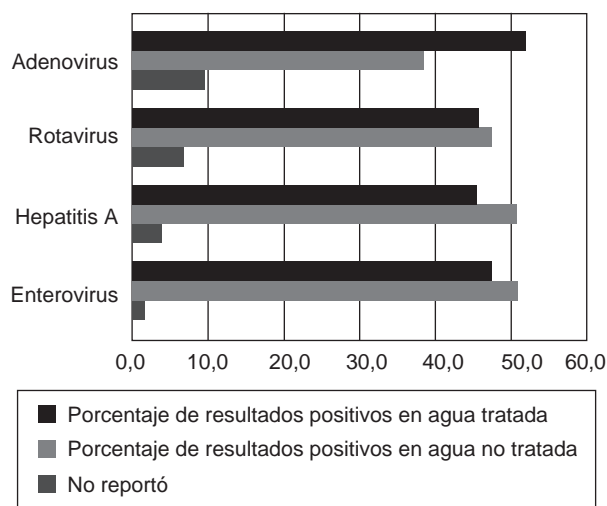


**Figura 3.** Porcentaje de muestras positivas por agente viral y año, 2010-2014  
Fuente: Laboratorio de Virología del Instituto Nacional de Salud

Cabe resaltar que el número de muestras reportadas depende en gran medida de la sensibilidad del sistema de vigilancia para identificar las situaciones de salud asociadas con la calidad del agua, lo cual está directamente relacionado con la capacidad de las autoridades para desarrollar las investigaciones que confirmen la presencia de los virus en la población y en el agua de

**Cuadro 1.** Porcentaje de muestras virales positivas según la fuente de procedencia, Colombia, 2010-2014

Año	Agua tratada			Agua cruda			Sin información		
	Número de muestras	Positivas	%	Número de muestras	Positivas	%	Número de muestras	Positivas	%
2010							16	9	56,25
2011	12	8	66,6	29	20	68,97			
2012	29	19	65,52	54	31	57,41			
2013	57	17	29,82	41	10	24,39	1	0	0
2014	34	25	73,53	15	7	46,67			
Total	132	69	52,27	139	68	48,92	17	9	52,94

**Figura 4.** Porcentaje de muestras positivas por agente viral según el tipo de fuente (de agua tratada o no), 2010-2014  
Fuente: Laboratorio de Virología del Instituto Nacional de Salud

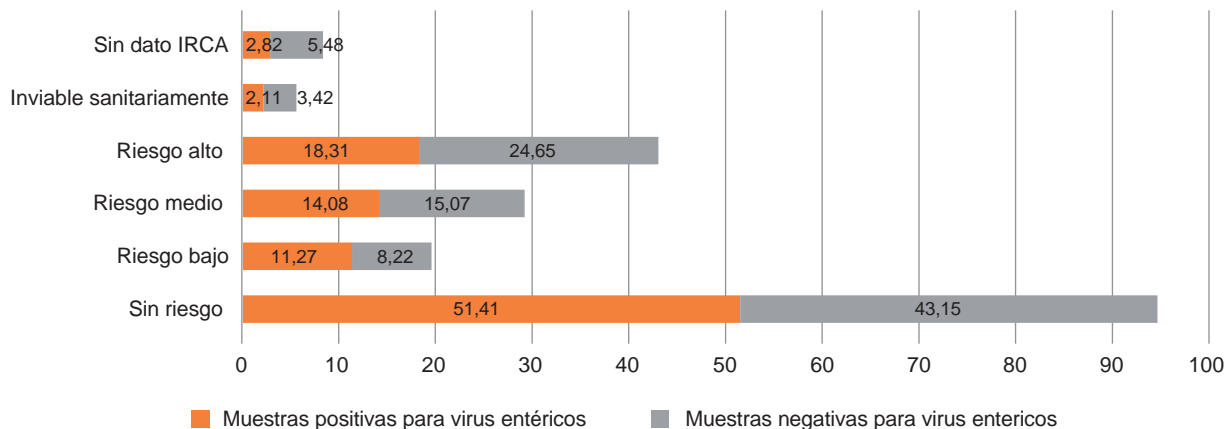
consumo humano. Es probable, además, que no se detecten todas las situaciones relacionadas con virus transportados por el agua, por lo cual su verdadera incidencia estaría subestimada. Para obtener un mayor conocimiento del papel del agua como vehículo de enfermedades virales, es indispensable fortalecer la vigilancia epidemiológica en todo el país y desarrollar acciones que permitan confirmar su participación en la transmisión de enfermedades de origen hídrico.

Los cuatro virus identificados en este estudio causan enfermedades endémicas en Colombia; sin embargo, no se analizaron otros agentes virales y, por lo tanto, no se descarta que el abanico de agentes infecciosos sea aún más amplio y que el agua juegue un papel, incluso más decisivo, como vehículo de enfermedades en nuestro país. Los patógenos detectados tienen gran relevancia para la salud y su presencia en el agua podría aumentar su transmisión e incidencia y, aunque existen

estrategias para su prevención, la disminución de la circulación de estos virus debe ir acompañada de acciones que mejoren el saneamiento básico y el acceso al agua potable.

Para el virus de la hepatitis A se ha estimado una seroprevalencia de anticuerpos del tipo IgG de entre 26,3 y 40,4 % en el grupo de población de 10 a 15 años de edad en ciudades como Bogotá, Bucaramanga, Cali y Medellín (17). La EDA ocupa uno de los primeros lugares de morbimortalidad en menores de cinco años y el rotavirus que la causa se considera su agente etiológico más representativo en niños menores de cinco años en Colombia (18). En estudios realizados en el país entre 2000 y 2015, se reportó que los rotavirus causaron 50 % de las hospitalizaciones por diarreas en menores de 24 meses, lo cual evidencia su importancia para la salud infantil (19). Con base en la información de la vigilancia centinela, en 2009 se estableció que el rotavirus era el agente responsable de 23 % de las hospitalizaciones por diarreas en menores de cinco años; en 2010 se le detectó en 11,5 % de los casos y, en 2014, en 15,6 %; en general, la detección de los rotavirus viene disminuyendo de forma notable debido a la inclusión de la vacuna contra rotavirus en el esquema de inmunización de menores de seis meses a partir de 2009 en el país (20,21).

Los enterovirus no polio son responsables de un gran número de enfermedades muy frecuentes en niños y en recién nacidos que se presentan con una gran diversidad de cuadros clínicos. La forma más frecuente de presentación es la enfermedad febril inespecífica, que en los niños hace pensar generalmente en una sepsis bacteriana. Algunas otras manifestaciones clínicas muy frecuentes son: resfriado común, faringitis, herpangina, estomatitis, neumonía, pleurodinia, conjuntivitis aguda hemorrágica, miocarditis o pericarditis, exantema, meningitis aséptica, encefalitis y parálisis. En varios estudios



**Figura 5.** Distribución de las muestras virales positivas y negativas según porcentajes y niveles de riesgo del índice de riesgo de la calidad del agua (IRCA)

se ha demostrado que la circulación de enterovirus en menores de 10 años en Colombia se acerca a 13,3 % en muestras fecales (22). En cuanto al adenovirus entérico, son pocos los estudios en los que se ha registrado su prevalencia en Colombia; sin embargo, se le identificó en 5,66 % de las muestras para la vigilancia centinela de EDA en el 2015, con mayor presencia en algunas regiones, lo cual demuestra su importancia como agente etiológico de dicha condición (21).

El sistema de vigilancia en salud pública de Colombia establece el análisis de la calidad del agua en casos de brotes en los cuales se sospeche la transmisión de origen hídrico; durante la investigación de estos brotes, además de la identificación de virus en el agua, deben tenerse en cuenta los factores relacionados con el estado y el mantenimiento de las redes locales, las fallas en los procedimientos para tratar el agua, las condiciones en la red de distribución domiciliar y la frecuencia en la limpieza de los tanques de almacenamiento, ya que pueden alterar en gran medida la calidad del agua. Para completar el análisis, pueden considerarse también los datos de la vigilancia de la calidad del agua relativos al suministro del agua y su recorrido desde la cuenca abastecedora aferente hasta su entrega en la red de distribución.

Dado el impacto de la transmisión de virus por el agua, es necesario fortalecer la vigilancia de las enfermedades resultantes para conocer su incidencia y su tendencia, así como los agentes etiológicos involucrados, el tipo de fuente, las causas de la contaminación y los factores de riesgos, con el fin de orientar la adopción de medidas de

control y prevención apropiadas. La vigilancia de las enfermedades transmitidas por el agua es una estrategia difícil de desarrollar, sobre todo en países en desarrollo, donde los sistemas de vigilancia son deficientes. En el reporte de estas enfermedades en los Estados Unidos, se han observado dificultades en la investigación de los factores de riesgo ambientales asociados a los brotes y la identificación de los agentes etiológicos por laboratorio (23). En este sentido, la implementación de la vigilancia de las enfermedades relacionadas con el agua debe ir acompañada del fortalecimiento de las capacidades de vigilancia epidemiológica de los territorios, de la infraestructura de los laboratorios, del recurso humano adecuadamente capacitado, de los recursos financieros para el desarrollo de la investigación en campo, y de la colaboración entre las entidades del sector del agua.

El gran número de muestras de agua sin tratamiento con presencia de virus evidenció que hay poblaciones que consumen agua sin ningún tipo de tratamiento, lo que representa una mayor exposición a enfermedades virales. Según las estimaciones del Departamento Administrativo Nacional de Estadística (DANE), en Colombia existe un alto porcentaje de cobertura de acueducto en los municipios, sin embargo, muchos de ellos no cuentan con sistemas de tratamiento para potabilizar el agua. En el 2004, 28 % de los municipios no contaba con agua potable por falta de eficiencia en la asignación y ejecución de los recursos (24). En muchos países en desarrollo no se prioriza la provisión de sistemas de abastecimiento debido a la falta de gobernanza en temas ambientales y de gestión pública (25-29). En este sentido, es necesario intensificar los esfuerzos para detectar y

eliminar las posibles vías de contaminación de las fuentes sin tratamiento, e implementar sistemas de tratamiento que garanticen la eliminación de estos virus del agua.

En este análisis se demostró la persistencia de los virus entéricos después del tratamiento del agua para consumo humano en algunos municipios de Colombia. En varios países se ha reportado la presencia de virus en aguas tratadas (14,15,30-32). Los datos de la vigilancia de la calidad del agua en Colombia evidencian que existe un alto porcentaje de fuentes de agua que no cumplen con el patrón de potabilidad según los indicadores bacteriológicos. Entre 2008 y 2012, de 28 a 23 % de las muestras remitidas para vigilancia no cumplió con los niveles de *E. coli* y, entre 40 y 33 %, con los de coliformes, lo cual hacía factible la presencia de virus entéricos (33). La presencia de virus en el agua tratada puede estar relacionada con los tratamientos inadecuados, la falta de continuidad en su aplicación, la edad del sistema de distribución y los problemas consecuentes en la red de distribución, el almacenamiento inadecuado, y los fenómenos climáticos extremos de invierno o verano que pueden dificultar las operaciones y que son tan comunes en países en desarrollo (29). En este sentido, los sistemas de tratamiento deben validarse para constatar su eficacia en la inactivación de los virus (8), con especial énfasis en el tiempo de contacto del desinfectante (hipoclorito de sodio) con el agua.

Los virus entéricos son generalmente más resistentes al cloro residual libre que las bacterias, y 99 % de los virus son inactivados en concentraciones de 2 a 30 mg/minuto de cloro desinfectante (32). Los virus que se encuentran dentro de partículas orgánicas pueden requerir una intensa desinfección con cloro, ya que dichas partículas les confieren protección (32). Para garantizar la inactivación de los virus deben establecerse condiciones óptimas para una desinfección eficiente, tales como valores de turbidez del agua menores o iguales a 1,0 (UNT) y un pH de entre 6,5 y 8,0, con el fin de mejorar la acción del cloro (8). En Colombia, los datos sobre la turbidez del agua para consumo humano han evidenciado un alto porcentaje de fuentes con valores por encima de dicho valor, lo cual puede afectar la inactivación de los virus y exige reforzar los procesos de desinfección (33). Para reducir la contaminación por virus entéricos, la OMS recomienda implementar el plan de seguridad del agua, fortalecer las medidas de control orientadas

a reducir el riesgo potencial derivado de los virus entéricos, prevenir la contaminación de las cuencas con residuos humanos, y aplicar los tratamientos y la desinfección adecuados (8).

Un aspecto importante en la prevención de las enfermedades virales transmitidas por agua es la mejoría de la calidad del agua de las cuencas, lo cual disminuye la contaminación de la fuente de agua, los procedimientos de tratamiento y los costos (34). Por lo tanto, deben instaurarse programas para la prevención de contaminantes en las cuencas y, así, preservar la calidad del agua de las fuentes abastecedoras. En algunas ciudades se ha invertido en programas de manejo de las cuencas en lugar de aumentar la sofisticación del tratamiento, con lo cual se han disminuido los costos de filtración, entre otros procedimientos (35). Aunque Colombia cuenta con un marco legal para los recursos hídricos, existe poca información sobre el estado de la calidad del agua de las cuencas, incluida la presencia de virus en ellas. La supervisión de los niveles de contaminación es esencial para establecer las acciones correctivas, por lo cual deben promoverse incentivos para la preservación y estrategias de educación ambiental, así como la implementación de sistemas de tratamiento de aguas residuales, especialmente en las grandes ciudades, para disminuir la circulación de los virus.

Colombia cuenta con la vigilancia rutinaria de las fuentes de agua para consumo humano mediante la metodología de múltiples barreras que busca minimizar el riesgo de contaminación del agua. Dicha metodología incluye la vigilancia de las fuentes de agua con base en indicadores microbiológicos y fisicoquímicos, la inspección de las prácticas sanitarias de los sistemas de abastecimiento y el mapa de riesgo del agua para consumo humano con énfasis en las cuencas, y el tratamiento previo y posterior. Sin embargo, este sistema no incluye la vigilancia de los virus en el agua para consumo humano en la red de distribución, debido a la complejidad de las pruebas de laboratorio necesarias y sus costos (36). Sin embargo, el análisis de los virus puede incluirse en los mapas de riesgo de la calidad del agua para consumo humano, con el fin de evaluar su impacto en la salud de la población. En el presente estudio, el análisis de la asociación entre la presencia de los virus y el índice de riesgo de la calidad del agua para consumo humano no fue estadísticamente significativo, lo cual indica que



el análisis de la calidad del agua no alcanza a reflejar la problemática presencia de los virus en las muestras; por ello, es necesario implementar un indicador que la refleje.

Los diagnósticos moleculares más utilizados por su sensibilidad y el tiempo que requieren son las técnicas de PCR convencional y de PCR en tiempo real. Sin embargo, presentan limitaciones, ya que no determinan si la partícula detectada es infecciosa o no (13). Para determinar el potencial infeccioso de los virus es necesario su aislamiento en cultivos celulares, pero se desconocen las condiciones en que muchos patógenos entéricos deben ser cultivados (37), en tanto que otros virus crecen lentamente o no producen un efecto citopático (38). Aunque se requieren estudios y estandarizaciones para establecer una mejor metodología de identificación de los virus, la sola presencia de material genético viral ya representa una amenaza para la salud pública (8).

Para elegir el indicador viral que refleje la presencia de los virus en el agua y la eficiencia de los procesos de tratamiento y desinfección para su inactivación, es esencial considerar que este debe encontrarse en concentraciones elevadas en las heces de personas y animales, deber ser fácilmente detectable mediante métodos diagnósticos, no crecer en el agua, estar presente en concentraciones mayores que las de los agentes patógenos fecales y responder a los procesos de tratamiento de forma similar a estos (8).

Los enterovirus se han propuesto como indicadores para la supervisión de la contaminación fecal del agua, ya que se encuentran en grandes cantidades en las aguas residuales y contaminadas; recientemente, también se ha sugerido el empleo de los adenovirus por su resistencia a los tratamientos convencionales del agua (1,39). En este contexto, se requieren evaluaciones enmarcadas en el perfil epidemiológico de estos virus en Colombia, así como contar con la capacidad instalada de los laboratorios.

### Agradecimientos

A la Unidad de Secuenciación de Genomas del Grupo de Virología del Instituto Nacional de Salud y a todas las personas que de alguna manera hicieron posible este estudio, especialmente a las autoridades sanitarias de los municipios que participaron remitiendo las muestras de agua a nuestro laboratorio.

### Conflicto de Intereses

Los autores declaran que no tienen ningún conflicto de intereses.

### Financiación

El presente estudio fue financiado por el Instituto Nacional de Salud.

### Referencias

1. **Fong TT, Lipp EK.** Enteric viruses of humans and animals in aquatic environments: Health risks, detection, and potential water quality assessment tools. *Microbiol Mol Biol Rev.* 2005;69:357-71. <http://dx.doi.org/10.1128/MMBR.69.2.357371.2005>
2. **Bracho M, Morón V, Luzardo M, Montiel M, Botero L.** Detección del virus de la hepatitis A, adenovirus 40 y 41 y bacteriófagos en agua para consumo humano. *Ciencia.* 2008;16:271-8.
3. **Ganesh A, Lin J.** Waterborne human pathogenic viruses of public health concern. *Int J Environ Health Res.* 2013;23:544-64. <http://dx.doi.org/10.1080/09603123.2013.769205>
4. **Leclerc H, Schwartzbrod L, Dei-Cas E.** Microbial agents associated with waterborne diseases. *Crit Rev Microbiol.* 2002;28:371-409. <http://dx.doi.org/10.1080/1040-840291046768>
5. **Iversen AM, Gill M, Barlett ER, Cubbit WD, McSwiggan DA.** Two outbreaks of foodborne gastroenteritis caused by a small round structured virus: Evidence of prolonged infectivity in a food handler. *Lancet.* 1987;8558:556-8. [http://dx.doi.org/10.1016/S0140-6736\(87\)92933-3](http://dx.doi.org/10.1016/S0140-6736(87)92933-3)
6. **Prüss-Üstün A, Bos R, Gore F, Bartram J.** Safer water, better health: Costs, benefits and sustainability of interventions to protect and promote health. Geneva: World Health Organization; 2008. p. 60.
7. **Bofill-Mas S, Clemente-Casares P, Albiñana-Giménez N, Maluquer de Motes CP, Hundesa AG, Girones RL.** Efectos sobre la salud de la contaminación de agua y alimentos por virus emergentes humanos. *Rev Esp Salud Pública.* 2005;79:253-69. <http://dx.doi.org/10.1590/S1135-57272005000200012>
8. **World Health Organization.** Guidelines for drinking water quality. Fourth edition. Geneva: World Health Organization; 2011. p. 398.
9. **Pusch D, Oh DY, Wolf S, Dumke R, Schroter-Bobsin U, Höhne M, et al.** Detection of enteric viruses and bacterial indicators in German environmental waters. *Arch Virol.* 2005;150:929-47. <http://dx.doi.org/10.1007/s00705-004-0467-8>
10. **Ministerio de la Protección Social, Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial.** Resolución 2115 de 22 junio de 2007. Por medio de la cual se señalan características, instrumentos básicos y frecuencias del sistema de control y vigilancia para la calidad del agua para consumo humano. Diario Oficial 46679. Bogotá, D.C.: Imprenta Nacional de Colombia; 2007. Fecha de consulta: 6 de abril de 2013. Disponible en: <http://www.ins.gov.co/sivicap/Normatividad/Resoluci%C3%B3n%202115%20de%202007.pdf>

11. **Haramoto E, Katayama H, Oguma K, Koibuchi Y, Furumai H, Ohgaki S.** Effects of rainfall on the occurrence of human adenoviruses, total coliforms, and *Escherichia coli* in seawater. *Water Sci Technol.* 2006;54:225-30. <http://dx.doi.org/10.2166/wst.2006.473>
12. **Okoh AI, Sibanda T, Gusha SS.** Inadequately treated wastewater as a source of human enteric viruses in the environment. *Int J Environ Res Pub Health.* 2010;7:2620-37. <http://dx.doi.org/10.3390/ijerph7062620>
13. **Lins J, Gnesh A.** Water quality indicators: Bacteria, coliphages, enteric viruses. *Int J Environ Health Res.* 2013;23:484-506. <http://dx.doi.org/10.1080/09603123.2013.769201>
14. **Gutiérrez MF, Alvarado MV, Martínez E, Ajami NJ.** Presence of viral proteins in drinkable water. Sufficient condition to consider water a vector of viral transmission? *Water Res.* 2007;41:373-8. <http://dx.doi.org/10.1016/j.watres.2006.09.022>
15. **Gutiérrez MF, Moreno S, Alvarado MV, Bermúdez A.** Análisis filogenético de las cepas de rotavirus y virus de la hepatitis A encontradas en agua de consumo en el municipio de Quibdó, Chocó. *Biomédica.* 2009;29:209-17. <http://dx.doi.org/10.7705/biomedica.v29i2.23>
16. **Peláez D, Rodríguez JA, Rocha EL, Rey GJ.** Estandarización de un método de concentración y detección de virus entéricos en aguas de consumo. *Biomédica.* 2010;30:276-82. <http://dx.doi.org/10.7705/biomedica.v30i2.191>
17. **Rincón CJ, Rodríguez-Malagón N, Mariño C, Mojica JA, de la Hoz-Restrepo F.** Estimación de la fuerza de infección de hepatitis A en Colombia, aplicando modelos catalíticos. *Rev Salud Pública.* 2012;14:282-95. <http://dx.doi.org/10.1590/S0124-00642012000200009>
18. **Manrique-Abril FG, Tigne DBY, Bello SE, Ospina JM.** Agentes causantes de diarrea en niños menores de 5 años en Tunja, Colombia. *Rev Salud Pública.* 2006;8:88-97. <http://dx.doi.org/10.1590/S0124-00642006000100008>
19. **Cáceres DC, Peláez D, Sierra N, Estrada E, Sánchez L.** La carga de la enfermedad por rotavirus en niños menores de cinco años, Colombia, 2004. *Rev Panam Salud Pública.* 2006;20:9-21. <http://dx.doi.org/10.1590/S1020-49892006000700002>
20. **Instituto Nacional de Salud.** Informe final de vigilancia centinela de enfermedad diarreica aguda causada por rotavirus, Colombia, 2014. Bogotá, D.C.: INS; 2015.
21. **Instituto Nacional de Salud.** Informe del laboratorio de EDA viral. Vigilancia centinela de la enfermedad diarreica aguda de origen viral, Colombia 2015. Bogotá, D.C.: INS; 2016.
22. **González MM, Giraldo AM, Quintero L, Padilla L, Sarmiento L, Castaño JC.** Prevalencia de enterovirus en recién nacidos y lactantes que consultaron a un centro de atención de primer nivel, Armenia, Colombia, 2009. *Biomédica.* 2011;31:545-51. <http://dx.doi.org/10.7705/biomedica.v31i4.424>
23. **Craun GF, Brunkard JM, Yoder JS, Roberts VA, Carpenter J, Wade T, et al.** Causes of outbreaks associated with drinking water in the United States from 1971 to 2006. *Clin Microbiol Rev.* 2010;23:507-28. <http://dx.doi.org/10.1128/CMR.00077-09>
24. **Sánchez-Triana E, Ahmed K, Awe Y.** Prioridades ambientales para la reducción de la pobreza en Colombia. Bogotá, D.C.: Banco Mundial; 2006.
25. **World Health Organization.** Constraints affecting the development of the water supply and sanitation sector. Geneva: World Health Organization; 2003.
26. **Kayser GL, Amjad U, Dalcanale F, Bartram J, Bentley ME.** Drinking water quality governance: A comparative case study of Brazil, Ecuador, and Malawi. *Environmental Sci Policy.* 2015;48:186-95. <http://dx.doi.org/10.1016/j.envsci.2014.12.019>
27. **Lee E, Schwab K.** Deficiencies in drinking water distribution systems in developing countries. *J Water Health.* 2005;3:109-27.
28. **Lee SH, Kim SJ.** Detection of infectious enteroviruses and adenoviruses in tap water in urban areas in Korea. *Water Res.* 2002;36:248-56. [http://dx.doi.org/10.1016/S0043-1354\(01\)00199-3](http://dx.doi.org/10.1016/S0043-1354(01)00199-3)
29. **Ali MA, Al-Herrawy AZ, El-Hawaary SE.** Detection of enteric viruses, *Giardia* and *Cryptosporidium* in two different types of drinking water treatment facilities. *Water Res.* 2004;38:3931-9. <http://dx.doi.org/10.1016/j.watres.2004.06.014>
30. **Vivier JC, Ehlers MM, Grabow WO.** Detection of enteroviruses in treated drinking water. *Water Res.* 2004;38:2699-705. [http://dx.doi.org/10.1016/S0043-1354\(01\)00433-X](http://dx.doi.org/10.1016/S0043-1354(01)00433-X)
31. **Ye XY, Ming X, Zhang YL, Xiao WQ, Huang XN, Cao YG, et al.** Real-time PCR detection of enteric viruses in source water and treated drinking water in Wuhan, China. *Curr Microbiol.* 2012;65:244-53. <http://dx.doi.org/10.1007/s00284-012-0152-1>
32. **LeChevallier MW, Au KK.** Water treatment and pathogen control: Process efficiency in achieving safe drinking water. London, UK: IWA Publishing; 2004. p. 90.
33. **Guzmán BL, Nava G, Díaz P.** Calidad del agua para consumo humano y su asociación con la morbimortalidad en Colombia, 2008-2012. *Biomédica.* 2015;35:177-90. <http://dx.doi.org/10.7705/biomedica.v35i0.2511>
34. **Davies JM, Mazumder A.** Health and environmental policy issues in Canada: The role of watershed management in sustaining clean drinking water quality at surface sources. *J Environ Manage.* 2003;68:273-86. [http://dx.doi.org/10.1016/S0301-4797\(03\)00070-7](http://dx.doi.org/10.1016/S0301-4797(03)00070-7)
35. **Foran J, Brosnan T, Conner M, Delfino J, Depinto J, Dickson K, et al.** A framework for comprehensive, integrated, watershed monitoring in New York City. *Environ Monit Assess.* 2000;62:147-67. <http://dx.doi.org/10.1023/A:1006266325869>
36. **Grabow WO, Taylor MB, Villiers JC.** New methods for the detection of viruses: Call for review of drinking-water quality guidelines. *Water Sci Technol.* 2001;43:1-8.
37. **Mattison K, Bidawid S.** Analytical methods for food and environmental viruses. *Food Environ Virol.* 2009;1:107-22. <http://dx.doi.org/10.1007/s12560-009-9017-6>
38. **Bosch A, Sánchez G, Abbaszadegan M, Carducci A, Guix S, Le Guyader FS, et al.** Analytical methods for virus detection in water and food. *Food Analytical Methods.* 2011;4:4-12. <http://dx.doi.org/10.1007/s12161-010-9161-5>
39. **Vieira CB, Corrêa A, de Jesus MS, Luz SLB, Wyn-Jones P, Kay D, et al.** Virus surveillance under different season scenarios of the Negro River Basin, Amazonia, Brazil. *Food Environ Virol.* 2016;8:1-13. <http://dx.doi.org/10.1007/s12560-016-9226-8>