



MEMORIAS DEL PRIMER SIMPOSIO VENEZOLANO SOBRE CALIDAD DEL AGUA

17 y 18 de octubre de 2024
Modalidad Virtual

Auspiciaron:

Academia Nacional de la Ingeniería y el Hábitat
Comisión de Ambiente

Academia de Mérida

Universidad de Los Andes
Centro Interamericano de Desarrollo e Investigación
Ambiental y Territorial
CIDIAT - Vicerrectorado Académico
Instituto de Ciencias Ambientales y Ecológicas, ICAE -
Facultad de Ciencias

Universidad Central de Venezuela

Universidad Simón Bolívar
Departamento de Ciencias de la Tierra

Universidad de Carabobo
Centro de Investigaciones Hidrológicas y Ambientales.
Facultad de Ingeniería

Universidad Católica Andrés Bello
Centro de Investigación de Ingeniería. Facultad de
Ingeniería

1. Introducción

La Comisión de Ambiente de la Academia Nacional de la Ingeniería y el Hábitat de Venezuela incluyó en su programación del año 2024 la realización de un evento que abordase el tema de la calidad del agua en Venezuela. En la primera reunión del año 2024 de la Comisión de Ambiente se designó al Acad. Carlos F. Espinosa Jiménez como responsable de organizar la actividad y se visualizó como fecha tentativa el mes de octubre del 2024.

El evento se denominó “**Primer Simposio Venezolano sobre Calidad del Agua**” y se decidió realizarlo en modalidad virtual. Se estableció la estructura del comité organizador conformado de la siguiente manera:

■ **Presidente:**

Dr. Carlos F. Espinosa Jiménez.
Miembro Correspondiente de la ANIH-VE.
Miembro de la Comisión de Ambiente de la ANIH

■ **Vicepresidente:**

Dr. Luis A. Sandia Rodón.
Presidente de la Academia de Mérida
Director del Instituto CIDIAT-ULA.

■ **Secretaría:**

MSc. Yajaira Olivo Carmona. CIDIAT. Universidad de Los Andes.
Dra. Anairamiz Aranguren Becerra. Directora del ICAE. Universidad de Los Andes.
Ing. Elizabeth Ramírez. Comisión de Ambiente de la ANIH-VE.

■ **Comité Técnico:**

Dr. Jonás Montilva Calderón. Academia de Mérida.
MSc. Kretheis Márquez Benítez. Comisión de Ambiente ANIH-VE y CIDIAT, Universidad de Los Andes.
MSc. Yajaira Olivo Carmona. CIDIAT, Universidad de Los Andes.
MSc. Oscar Tinjacá Millán. CIDIAT, Universidad de Los Andes.
MSc. José Pérez Bracho. CIDIAT, Universidad de Los Andes.

2. Justificación

El agua es un elemento esencial para la vida, la cual cumple funciones muy importantes desde lo celular hasta el nivel planetario. Las actividades antrópicas han generado contaminación en las fuentes de agua dulce superficiales y subterráneas. Actualmente la calidad del agua es un tema álgido en la GIRH que introduce otra dimensión a la variabilidad temporal y espacial del agua.

3. Programa

El simposio se realizó los días 17 y 18 de octubre del 2024, conforme al cronograma siguiente:

Programa Día 1: Jueves 17 de octubre, 2024

17-10-2024	Conferencista	Tema de la Conferencia
08:30-09:00	Palabras de bienvenida y presentación del evento.	
09:00-10:00	Acad. José Ochoa Iturbe ANIH - VE	Conferencia Magistral "El reto del ODS N°6 de la Agenda 2030 con la Gestión Integrada del Agua".
10:00-11:00	Acad. Carlos Espinosa Jiménez ANIH-VE y CIDIAT-ULA.	Índice de Calidad de Agua.
11:00-12:00	Acad. Griselda Ferrara de Giner. ANIH-VE.	El cambio climático y la calidad del agua.
14:00-15:00	Acad. Rómulo Bastidas F. Academia de Mérida y ULA.	La calidad del agua y la salud pública.
15:00-16:00	Dra. Anaíramiz Aranguren B. ICAE – ULA.	Calidad del agua: enfoque ecocéntrico.
16:00-17:00	Dr. Javier A. Sánchez Guillén IDAAN. Ciudad de Panamá.	Contaminantes eternos en el agua. Jefe de Operaciones
17:00-18:00	Prof. MSc José A. Pérez Roas CIDIAT - ULA	Valoración económica del impacto del cambio climático en la calidad del agua.

Programa Día 2: Viernes 18 de octubre, 2024

18-10-2024	Conferencista	Tema de la Conferencia
09:00-10:00	Acad. Hervé Jégat Nicoló. Academia de Mérida y CIDIAT - ULA	Calidad de las aguas subterráneas en Venezuela.
10:00-11:00	Prof. MSc Crisanto Silva Aguilera Departamento de Ciencias de la Tierra – USB.	Intrusión salina en acuíferos de zonas costeras por incremento del nivel del mar motivado por el cambio climático.
11:00-12:00	Profa. MSc Yajaira Olivo Carmona CIDIAT - ULA	Planificación y Calidad del Agua: integrando conceptos para una gestión eficiente del recurso.
14:00-15:00	Dra. Adriana Márquez Romance. CIHAM – UC.	Un enfoque para modelación de transporte y transformación de plaguicidas organoclorados en un río tropical.
15:00-16:00	Dra. Beatriz Soledad Centro de Investigación de Ingeniería. UCAB	Propuesta para el análisis de contaminantes de productos farmacéuticos en el agua empleando Polímeros de Impronta Molecular..
16:00-16:15	Acad. Joaquín Benítez Maal	Palabras de clausura del presidente de la Comisión de Ambiente de la ANIH-VE.
16:15-16:30	Acad. Luis Sandia Rondón	Palabras de clausura del director del CIDIAT-ULA y presidente de la Academia de Mérida.

La distribución del tiempo se realizó considerando una hora por conferencia, de las cuales 45 minutos se dedicó a la presentación y 15 minutos para la interacción con los participantes.

4. Resúmenes de las conferencias

A continuación, se presentan los resúmenes de las conferencias.

Palabras de bienvenida del presidente del Comité Organizador del Primer Simposio Venezolano sobre Calidad del Agua

Acad. Carlos Francisco Espinosa Jiménez

La Comisión de Ambiente de la Academia Nacional de la Ingeniería y el Hábitat de Venezuela (ANIH-VE) incluyó en su programación de actividades del año 2024, realizar un evento sobre la calidad del agua. En la primera reunión de nuestra Comisión de Ambiente en enero de este año manifesté mi voluntad de asumir la responsabilidad de llevar adelante esta actividad, propuesta que contó con la aprobación de los miembros presentes.

La calidad del agua genera una nueva dimensión a la variabilidad temporal y espacial en la Gestión del Agua. Esta nueva dimensión implica un cambio de paradigmas en su enfoque antropocéntrico clásico.

El tema de calidad del agua es muy controversial, y en particular en la actualidad en Venezuela. Son conocidos los casos emblemáticos del país en este tema: el Lago de Valencia, el Lago de Maracaibo, los derrames petroleros en costas y tierra adentro, la prevalencia de enfermedades de origen hídrico como un problema de salud pública, la eutrofización en algunos embalses y cuerpos lénticos de agua, el arco minero del Orinoco y la minería, entre otros. Estos casos que menciono son “conocidos” pero tienen la particularidad de que no hay información oficial que nos permita cuantificarlos, diagnosticarlos y formular medidas para su mitigación y corrección.

Fue motivo de reflexión en la Comisión de Ambiente la modalidad y los temas de este Simposio. Finalmente, y de manera acertada, decidimos realizar un evento que generara un acercamiento entre el mundo académico y universitario con los entes del Estado Venezolano que tienen la responsabilidad de la gestión del agua (MINEC y MINAGUAS). Es justo decir que a pesar de las diligencias realizadas no hubo respuesta de participación en este Simposio de los entes incumbentes del Estado Venezolano.

En estos dos días de actividades ofreceremos doce (12) conferencias, entre las cuales habrá una Conferencia Magistral de apertura del vicepresidente de la ANIH-VE. Trataremos temas como:

- El reto del ODS N°6 de la Agenda 2030 con la Gestión Integrada del Agua.
- Los índices de Calidad del Agua.
- La crisis climática su impacto en la calidad del agua y su valoración.
- La calidad del agua y la salud pública.
- Los enfoques antropocéntrico y ecocéntrico en la calidad del agua.
- Los contaminantes eternos en el agua.
- La calidad de las aguas subterráneas en Venezuela y la intrusión salina de acuíferos costeros por la crisis climática.

- La planificación y la calidad del agua: integración de estos conceptos para una gestión eficiente del recurso.
- Modelación del transporte y transformación de plaguicidas organoclorados en ríos tropicales.
- Análisis de contaminantes de productos farmacéuticos empleando polímeros de impronta molecular.

Deseo agradecer a todos los conferencistas convocados para este Primer Simposio Venezolano sobre Calidad del Agua, por su diligente y desinteresada disposición en participar. Todos respondieron nuestro llamado y cumplieron con su compromiso. Mi agradecimiento a la Comisión de Ambiente de la ANIH-VE por confiarme esta tarea. Nuestro reconocimiento a la Academia de Mérida y a las Universidades venezolanas UCV, ULA-CIDIAT-ICAE, UC-CIHA, UCAB-Centro de Investigación de Ingeniería y USB-Departamento de Ciencias de la Tierra. Mi agradecimiento a los miembros del Comité Organizador que me acompañaron y apoyaron en planificar, definir e implementar este Simposio. Mi reconocimiento a todos los participantes en este Simposio, su interés y participación en este evento justifica el gran esfuerzo que hemos hecho.

Aspiramos que este Simposio sobre Calidad del Agua se convierta en un evento itinerante que pueda ser organizado y realizado en diferentes regiones de Venezuela cada dos (2) años. Están todos invitados desde hoy a participar en el Segundo Simposio Venezolano sobre Calidad del Agua que celebraremos en octubre de 2026 bajo los auspicios de la ANIH-VE y su Comisión de Ambiente.

A todos agradezco su atención a mis palabras.

Dr. Carlos F. Espinosa Jiménez
Presidente del Comité Organizador
Primer Simposio Venezolano sobre Calidad del Agua


Carlos F. Espinosa Jiménez
Profesor Titular Jubilado del CIDIAT-ULA

Primer Simposio Venezolano sobre Calidad del Agua

Índice de Calidad del Agua

Resumen

Acad. Carlos F. Espinosa Jiménez
Miembro Correspondiente de la ANIH-VE
Profesor Titular (J) del CIDIAT-ULA

Palabras claves: calidad del agua, índice de calidad de agua.

En los últimos años el concepto “calidad del agua” ha tenido dos enfoques predominantes a saber el antropocéntrico y el ecocéntrico. El enfoque antropocéntrico visualiza el agua

como un recurso vital cuyo usuario y beneficiario principal es el hombre. La calidad del agua se clasifica y se define conforme a sus usos potenciales como abastecimiento humano, agropecuario, industrial, recreacional y otros usos beneficiosos. Por otra parte, el enfoque ecocéntrico concibe la calidad del agua como “aquellas condiciones que deben darse en el agua para que esta mantenga un ecosistema equilibrado y cumpla unos determinados objetivos de calidad ecológica, que va más allá de evaluar los requerimientos para un uso determinado” (Directiva del Marco Legal del Agua de la Comunidad Europea).

La legislación ambiental venezolana vigente, contenida en el capítulo 2 del Decreto 883, clasifica las aguas naturales presentes en los diferentes ecosistemas acuáticos en función de sus usos. En este caso concibe y clasifica siete (7) tipos, manifestando sin dudas criterios antropocéntricos en esta legislación.

El índice de calidad del agua (ICA) se define como el grado de pureza de un agua en el momento de la toma de la muestra y se expresa como un porcentaje del agua pura. Así un agua prístina implica un ICA aproximado al 100% y un agua contaminada un ICA aproximado al 0%. Se presentan como ejemplos los ICA de la National Sanitation Foundation (NSF) de los Estados Unidos de América, el ICA de la Comisión Nacional del Agua (CONAGUA) de México y el ICA del Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales (IDEAM) de Colombia; se ilustra la aplicación del ICA del CONAGUA de México, en los afluentes del Lago de Valencia, en Venezuela.

Ante la carencia de un ICA desarrollado para Venezuela, se presentan interpretaciones del capítulo 2 del decreto 883 de nuestra legislación ambiental vigente, como una aproximación a un ICA nacional, basada en juicio de expertos. Esta interpretación se implementa en casos concretos y se muestran sus resultados en mapas hidrográficos específicos de calidad de agua.

Entre las reflexiones finales de esta conferencia destacan las siguientes:

- La calidad del agua debe ser conceptualizada tomando en consideración la salud de los ecosistemas y los usos beneficiosos del agua requeridos por el hombre. Se ha observado el predominio de dos enfoques que en la práctica se enfrentan: el enfoque antropocéntrico contra el enfoque ecocéntrico.
- El agua es un recurso finito que cumple funciones muy importantes desde el nivel celular hasta el nivel planetario. Lo anterior se corresponde con el primer enunciado de la Gestión Integral de los Recursos Hídricos (GIRH).
- La calidad del agua impone una tercera dimensión a la variabilidad espacial y temporal del recurso hídrico. Es evidente que la calidad del agua impone restricciones a la salud de los ecosistemas y a los usos beneficiosos del agua.
- La legislación ambiental venezolana carece de un Índice de Calidad de Agua (ICA), concebido para las

condiciones propias del país. En este contexto ha sido necesario la interpretación, con base a juicio de expertos, de la clasificación de las aguas naturales contenida en el capítulo 2, del decreto 883.

- Países vecinos como Colombia y México, han desarrollado e implementan sus propios ICA. En el caso de Colombia se establecen campañas de toma de muestras nacionales esporádicas y en el caso de México se implementa un muestreo sistemático nacional.
- Sin lugar a dudas el sector académico y científico nacional, tiene una deuda con nuestra legislación ambiental, a saber, el desarrollo de un ICA venezolano.
- El saldo de esta deuda, desarrollar nuestro ICA, implica otra meta subyacente: diseñar y consolidar un programa de muestreo sistemático a nivel nacional, basado en los parámetros contemplados por nuestro ICA.

Primer Simposio Venezolano sobre Calidad del Agua **El Cambio Climático y la Calidad del Agua**

Resumen

Dra. Griselda Ferrara de Giner
Individuo de Número Sillón XII ANIH-VE
Profesor Titular UCV

Palabras clave: Calidad del agua; cambio climático.

El recurso agua lo requerimos los seres humanos en todos los aspectos de nuestra vida, bien sea para nuestras necesidades biológicas, como por su participación en todas las facetas de lo que llamamos desarrollo económico de las sociedades humanas que incluyen sus actividades industriales, agropecuarias o de servicios y además es esencial para preservar los ecosistemas de los que dependemos.

Una de las características más relevantes del agua es su calidad. Es una característica multidimensional de tan preciado recurso, que al incluir numerosos componentes de diverso origen que pasan a formar parte íntima de ella, le dan una personalidad propia en cada lugar y circunstancia. Cada cuerpo de agua tiene un patrón individual de características físicas químicas y biológicas determinadas por las condiciones climáticas, geomorfológicas, geoquímicas y ecológicas que prevalezcan en la cuenca de drenaje y los acuíferos subyacentes. La presencia de todos esos componentes en su conjunto es la que le proporciona la calidad al agua.

Debido a las múltiples posibilidades de uso que puede tener el agua, sabemos que para cada fin existe una calidad apropiada, cuestión que si no se cumple probablemente impedirá ese uso que requerimos y que pudiera ser esencial. Nos enfrentamos entonces, a que el concepto de calidad del agua es un término que implica un juicio de valor. Para cada fin está asociado una serie de factores de calidad que son requerimientos para que el recurso agua pueda ser utilizado para ese uso particular. Esta realidad equivale a que la cantidad aprovechable del recurso está limitada por su calidad y la consecuencia inmediata de una

baja calidad es que se tiene menos agua disponible, lo que es equivalente a una disminución de la cantidad aprovechable.

Factores externos a los cuerpos de agua, como actividades humanas, representan un riesgo para la calidad del agua. Uno de esos factores que ha surgido desde mediados del siglo anterior y amenaza también la calidad del agua es el cambio climático, un fenómeno que impacta negativamente, prácticamente a todo el sistema Tierra.

Somos conscientes de que la humanidad se enfrenta a uno de los mayores retos globales de la actualidad. El cambio climático es un fenómeno de alcances planetarios que afecta a todos los habitantes del orbe y demás seres vivos que nos acompañan en el sistema Tierra y que nos muestra su inquietante rostro con una evidencia palpable como el incremento de la temperatura promedio global que puede considerarse una interferencia humana en el sistema climático planetario con incidencias negativas de toda índole y que es uno de los impulsores del cambio climático. Las pruebas son cada vez más contundentes que este fenómeno es una realidad que llegó y nos acompañará por muchas décadas y quizás siglos. La temperatura promedio global de la superficie terrestre ha experimentado incrementos sucesivos en las últimas cuatro décadas, de forma tal que entre 2011-2020 fue aproximadamente 1,09 °C superior a la de 1850-1900, antes de la revolución industrial. Más preocupante aún, la tasa de incremento se está acelerando. En los últimos 25 años alcanzó un valor de 0,177 °C/década, cuando puede observarse que considerando en conjunto los últimos 150 años estaba en 0,0145 °C/década. Sin duda, un inquietante incremento (IPCC, 2021).

En el último informe del IPCC (Panel intergubernamental sobre cambio climático), publicado en 2022, se reafirma la relación entre emisiones antrópicas de gases de efecto invernadero (GEI) y el calentamiento global y que directa o indirectamente alteran el comportamiento del clima (Villamizar, 2018). Desde el advenimiento de la revolución industrial, a finales del siglo XVIII, la humanidad se ha sumergido en un desarrollo tecnológico que requiere ingentes cantidades de energía cuya fuente más importante es la quema de combustibles fósiles y cuya combustión produce especialmente grandes cantidades de un GEI como el CO₂, incrementando el efecto de invernadero natural de nuestra atmósfera cercana que retiene la calórica radiación infrarroja (IR) de onda más larga, producida por la transformación de la radiación que nos llega del sol de onda corta: UV cercana (0,32 a 0,4 nm) y VIS (0,4-0,7 nm) con ayuda de los GEI: vapor de agua, CO₂, CH₄, N₂O y ozono. Este efecto completamente natural nos proporciona una agradable temperatura promedio de 15°C, apropiada para la vida en la Tierra, pero si se incrementan los GEI, como en efecto está sucediendo, la temperatura aumentará. Factores antropógenos han incidido en un aumento de todos los GEI desde 1750 y se distingue el CO₂ que ha aumentado su concentración de 220 ppm en la época preindustrial hasta 427 ppm en junio 2024 (NASA, 2024) y cuya masa emitida (76% del total de GEI) lo convierten en actor principal en el calentamiento global.

El cambio climático desencadena una serie de acontecimientos íntimamente interrelacionados que producen impactos al sistema Tierra tanto en el ámbito de los sistemas humanos como del sistema físico y biológico incluyendo, una afectación particular a la disponibilidad, cantidad y calidad del agua que se requiere para las necesidades humanas básicas y también para el desarrollo económico de la sociedad, incluyendo la producción de energía, el desarrollo industrial, los asentamientos urbanos y rurales y la seguridad alimentaria (UNESCO, 2020), sin dejar de lado el importante rol del mantenimiento de los ecosistemas. La presencia de fuentes de agua accesibles y seguras puede ser un factor limitante para el desarrollo de las naciones. Dado que las tendencias actuales y proyecciones futuras estiman mayores cambios en el clima, y más eventos climáticos extremos en muchas partes del mundo (IPCC, 2014a), la afectación de la calidad del agua, estará sin duda entre los problemas influidos por el cambio climático.

Ahondando en las manifestaciones negativas que conlleva el cambio climático en el entorno del agua, se pueden mencionar las siguientes: a) los cambios en el patrón de las precipitaciones: inundaciones-sequías, b) la elevación de la temperatura media de los cuerpos de agua, c) la acidificación de los océanos, d) la elevación del nivel del mar, e) la reducción de la criosfera, f) la afectación de los ecosistemas, g) la salud, entre otros. Cada una de estas manifestaciones asociadas al calentamiento global, que tocan al recurso hídrico a nivel mundial, sin duda están conectadas con la calidad del agua.

- Cambios en el patrón de las precipitaciones: inundaciones-sequías: Tales cambios no son uniformes en el planeta. En algunas zonas la precipitación puede aumentar entre un 10-40% y en otras reducirse entre un 10-30%. A escala global, se proyecta que eventos de precipitaciones diarias extremas se intensifiquen en torno a 7% por cada 1°C de calentamiento global. Es significativo que la intensidad de las precipitaciones también se incremente y por ende la dimensión y períodos de las escorrentías que influye en crecidas, inundaciones y deslizamientos de tierras que provocan una cascada de eventos, entre los que destaca la contaminación biológica y química de cuerpos de agua receptores que se traduce en la disminución de la calidad del agua, incidiendo en los usos potenciales del recurso, y en el caso del uso como fuente de abastecimiento incrementará los costos de potabilización existiendo la posibilidad de un repunte de enfermedades de origen hídrico. Las lluvias más intensas aumentan la erosión del suelo con el consiguiente aumento de los sedimentos que al llegar a los cuerpos de agua afectan su calidad. Pero un problema, quizás más grave, es el incremento de la frecuencia y magnitud de las sequías lo que aumenta el riesgo de enfermedades de transmisión hídrica por cuanto la falta de agua dificulta la calidad del agua potable y la higiene y saneamiento. También eventos extremos como ciclones se han incrementado con el cambio climático y constituyen una amenaza para las infraestructuras de agua potable y saneamiento que pueden ser dañadas y producir agua contaminada con un grave riesgo para la salud.
- Elevación de la temperatura de los cursos de agua: provoca la disminución de la cantidad de oxígeno disuelto en el agua y la biota más sensible como los peces, podría estar afectada, con posible disminución de su captura como alimento. Así mismo la capacidad de autodepuración de los cursos de agua disminuye y la calidad del agua estaría amenazada. Las cianobacterias podrían beneficiarse del incremento de temperatura, en particular en lagos y embalses donde se podrían producir floraciones de estos nocivos microorganismos, con el riesgo potencial de salud pública por su capacidad de producir toxinas, además de participar en problemas de eutrofización.
- La acidificación de los océanos: al incrementarse la concentración de CO₂ en los océanos, que absorben de forma natural un estimado del 30% de las emisiones de este gas, y dado que el CO₂ interviene en el equilibrio químico del ácido carbónico desviándolo hacia la formación de hidrogeniones y descenso del ion HCO₃. Por lo tanto, desde la era preindustrial se ha producido un incremento de 26% de los hidrogeniones por la disminución del pH en 0,1 unidades, lo que resulta en un hecho crítico para la biota que habita los mares y los ecosistemas que los sostienen. El descenso del ión bicarbonato, por otra parte, tiene efectos negativos para los seres vivos que forman concha como corales, crustáceos, moluscos y ciertos tipos de plancton.
- La elevación del nivel del mar: el nivel medio del mar se ha incrementado en 0,20 m entre 1901 y 2018, con una tasa de aumento que se ha acelerado a 3,7 mm/año en el período 2006-2018, consistente con el calentamiento del océano y la fusión de los glaciares y capas de hielo. Los acuíferos de agua dulce que estén a escasos metros de altura sobre el nivel del mar están en peligro de salinizarse por la intrusión salina con la consiguiente pérdida de calidad del recurso agua.
- La reducción de la criosfera: Alrededor del 10% de la superficie terrestre está cubierta por mantos de hielo y glaciares (IPCC, 2019). Desde el siglo pasado los glaciares se están reduciendo globalmente. En la década 2010-2019, los glaciares han perdido más masa que en cualquier otra década, desde el comienzo del siglo 20. Se estima que continuarán perdiendo masa bajo cualquiera de los escenarios evaluados por el IPCC. El deshielo de los glaciares y los mantos de hielo alimentan los ríos y muchos son fuente de agua dulce para extensas poblaciones en el mundo, que al perder su aporte disminuirán los caudales y la calidad del agua. La fusión de los glaciares puede liberar sedimentos y contaminantes que han estado atrapados en el hielo y afectará la calidad del agua de los receptores con el consiguiente perjuicio para la vida acuática y la salud humana.
- Afectación de los ecosistemas: existe fuerte interrelación de los impactos del cambio climático sobre los ecosistemas (terrestres, de agua dulce y marinos) con otros impactos negativos en el sistema Tierra y por ende con aquellos que inciden sobre la calidad del agua. Es el caso de la disminución del oxígeno disuelto en cuerpos de agua influye negativamente en la autodepuración de

rios y corrientes y en la biota aerobia presente. Así, la elevación del nivel del mar impacta.

- Impactos del cambio climático en la salud: Están interconectados con el resto de las manifestaciones negativas del cambio climático en el entorno del agua. Así la perturbación del régimen pluvial y de la intensidad y frecuencia de los fenómenos meteorológicos extremos incide sobre la prestación del servicio de agua potable poniendo en peligro prácticas de higiene con incremento de enfermedades infecciosas de transmisión hídrica (gastroenteritis, cólera, amibiasis, entre otras). El incremento de las sequías incide sobre la calidad del agua potable por la falta de agua asociada. La elevación del nivel del mar al intensificar las inundaciones de tormenta incide en posible daño de los sistemas de potabilización y por ende en pérdida de agua de calidad apropiada para el consumo humano con posible aumento de enfermedades hídricas.

Primer Simposio Venezolano sobre Calidad del Agua

La calidad del agua y Salud Pública

Resumen

Acad. Dr. Rómulo Bastidas Fernández
Individuo de Número Sillón XXVII de la Academia de Mérida

Palabras clave: Calidad del agua; cambio climático.

La calidad del agua y su impacto en la salud pública constituyen temas fundamentales en el contexto venezolano actual. Este ámbito, tradicionalmente enfocado en el control de epidemias, se ha expandido en respuesta al reconocimiento constitucional de la salud como un derecho humano esencial (Artículo 83), la demanda de equidad, y el avance tecnológico global, convirtiéndose en una prioridad en las políticas sociales contemporáneas. El saneamiento ambiental se destaca como un componente esencial en salud pública, indispensable para el bienestar físico, mental y social de los individuos y las comunidades. Dentro de los servicios básicos, el abastecimiento de agua potable es un factor crucial para proteger la salud colectiva y mejorar la calidad de vida. En línea con la Agenda 2030 para el Desarrollo Sostenible de Naciones Unidas, el Objetivo 6 subraya la urgencia de garantizar la disponibilidad de agua y saneamiento seguro y asequible para todos. Alcanzar esta meta en 2030 requiere una combinación de inversiones en infraestructura, protección de ecosistemas hídricos, y promoción de una conciencia ambiental sostenible. Sin embargo, la realidad es crítica: en 2022, más de 2.200 millones de personas aún carecían de agua potable gestionada de manera segura, y 3.500 millones no disponían de servicios de saneamiento adecuados. Estos datos reflejan una crisis que se agrava en un contexto en el que el acceso a agua potable y saneamiento es indispensable para la supervivencia de la biota y el mantenimiento del equilibrio ecológico.

La hidrósfera, que actúa como un sistema circulatorio del planeta, es un recurso natural vital, aunque limitado y mal distribuido. Actualmente, solo un 0,49% del agua global es apta para consumo humano y actividades económicas, mientras que el 90% de las reservas hídricas no es utilizable por los seres vivos. Además, en los últimos 50 años, la contaminación ha reducido en un tercio estas reservas, afectando de manera directa a la salud y al desarrollo sostenible.

El acceso a servicios de agua potable y saneamiento es fundamental para mitigar la pobreza y mejorar la calidad de vida. Estos servicios no solo promueven la salud y reducen las enfermedades de origen hídrico, sino que también representan un ahorro económico para las familias de menores recursos, quienes evitan gastos en atención médica y en la compra de agua. Reconociendo su relevancia, la ONU ha declarado el acceso al agua potable y al saneamiento como un derecho humano fundamental. Sin embargo, debido a la contaminación en el ciclo hidrológico, el agua en estado puro no existe en la naturaleza, lo cual plantea serios desafíos para garantizar la calidad del agua de consumo humano.

La falta de agua potable y saneamiento adecuado genera un alto índice de enfermedades hídricas en los países en desarrollo, con un impacto especialmente grave en la salud infantil. Enfermedades gastroenteríticas como la disentería, giardiasis y el cólera son comunes, y las diarreas representan una de las principales causas de mortalidad en niños menores de cinco años, quienes sufren el 90% de las muertes por esta causa. Según la Organización Panamericana de la Salud, en 2017, más de 28 millones de personas en América carecían de acceso a fuentes de agua potable, y la falta de saneamiento seguro sigue siendo un desafío crítico en la región, especialmente en países como Haití, Guatemala, Bolivia y Venezuela, donde el déficit de servicios básicos ha contribuido al aumento de la mortalidad infantil.

Venezuela enfrenta una crisis de servicios públicos, incluyendo el abastecimiento de agua, que afecta incluso a grandes ciudades como Caracas, donde muchos sectores pasan semanas sin suministro. La eliminación en 2007 de la Dirección General Sectorial de Malariología y Saneamiento Ambiental ha agravado la situación en áreas rurales. Esta problemática es paradójica, dado que Venezuela es un país con abundantes recursos hídricos; sin embargo, el 85% del agua disponible se encuentra en la margen derecha del río Orinoco, mientras que el 93% de la población se ubica en la margen izquierda. Este desequilibrio requiere una planificación adecuada y una buena gobernabilidad del recurso hídrico para alcanzar la seguridad hídrica del país. Para asegurar la sostenibilidad de los programas de acueducto urbano y rural es crucial abordar una serie de fundamentos:

1. La función de un acueducto es integral y su acción se refleja tanto en el plano sanitario, como en lo social, económico, cultural y político.
2. Un acueducto en el medio urbano y rural, estimula y acelera el desarrollo social, contribuye al bienestar del hombre, eleva su calidad de vida y dignifica su existencia.

3. El acueducto representa uno de los medios disponibles para estabilizar la población rural, disminuyendo las tendencias desmesuradas de migración hacia las ciudades.
4. Más recientemente, como producto del proceso de descentralización, se les han otorgado a las alcaldías de reciente data el compromiso fundamental, que por la Ley Orgánica de Régimen Municipal les pertenece, de abastecer de agua potable a sus comunidades

Finalmente, si tomamos en consideración las cifras anteriormente expuestas en cuanto a la disponibilidad de agua dulce en el planeta, además, tenemos la necesidad de actuar como equipo de salud para convertirnos en guardianes de un recurso natural tan importante, a los fines de lograr un objetivopreciado por nosotros, como debe ser alcanzar con nuestro esfuerzo los mejores niveles de salud y calidad de vida para nuestro cuerpo.

Primer Simposio Venezolano sobre Calidad del Agua **La calidad del agua bajo el enfoque ecocéntrico**

Resumen

Dra. Anairamiz Aranguren B.
ICAE – Facultad de Ciencias. Universidad de Los Andes

Palabras clave: Enfoque antropocéntrico. Enfoque ecocéntrico, Calidad del agua

Se presenta una reflexión sobre el agua y su calidad a partir de los enfoques antropocéntrico y ecocéntrico. De acuerdo con Molinares y Díaz (2021) el antropocentrismo es una corriente que predomina en el mundo y que se centra en la creencia de que los humanos son superiores al resto de la naturaleza, por lo que, como resultado, se considera al ser humano legítimo dueño de los recursos naturales y, como consecuencia, puede utilizarlos para sus propósitos. Por otra parte, el ecocentrismo concede importancia a todos los seres vivos presentes en el planeta tierra, e incorpora las interacciones de estos entre sí y con el ambiente formando una unidad estructurada y funcional. En estos enfoques pareciera haber una dicotomía importante y muchas veces opuestas.

Esta ponencia introduce a los participantes del I Simposio de Calidad del Agua en esta importante temática empleando las unidades de estudio de la ecología (individuos, poblaciones, comunidades, ecosistemas y ecología global). Delimitando como la cantidad y calidad de agua afectan el metabolismo de los individuos, los procesos como la fotosíntesis y la respiración hasta la ecología global que ve los límites planetarios. Se muestra como la calidad del agua medida a través de sus características fisicoquímicas y biológicas afecta a los seres vivos.

La reflexión final muestra la urgente necesidad de usar un enfoque integrador para abordar el tema de la calidad del agua incorporando tanto las necesidades humanas como las

necesidades de los otros seres vivos constituidos en más de un 90% de agua y que la emplean e interactúan con ella. Siguiendo conceptos como agua azul, verde y gris y colocando en la balanza tanto los usos de los seres humanos como los individuos, las poblaciones, las comunidades, los ecosistemas y el planeta en su conjunto. Especialmente, en estos momentos de que estamos cruzando los umbrales que ponen en riesgo nuestra permanencia en el planeta tierra.

Primer Simposio Venezolano sobre Calidad del Agua **Contaminantes Eternos en el Agua**

Resumen

Dr. Javier A. Sánchez Guillén
Instituto de Acueductos y Alcantarillados Nacionales (IDAAN), Panamá.

Palabras clave: Ciclo del Agua, Ciclo de Saneamiento, Contaminantes eternos, PFAS, Agua, Regulaciones, Tratamiento.

Los Contaminantes Eternos son un grupo de compuestos químicos organofluorados sintéticos que tienen múltiples átomos de flúor unidos a una cadena alquílica. Pueden poseer estructuras no poliméricas: *Perfluoroalquílicas* y *Poli-fluoroalquílicas*, y estructuras poliméricas: *Fluoropolímeros*. Estos compuestos también son conocidos como PFAS o PFASs. Ya que tardan cientos de años en descomponerse en el ambiente, en el año 2018 fueron llamados por primera vez “productos químicos eternos” en una publicación del periódico The Washington Post.

Se estima que existen más de 7 millones de “productos químicos eternos” que resisten temperaturas muy elevadas, protegen las superficies contra el agua, la grasa o de la fricción y tienen propiedades ignífugas y anti manchas.

Desde el año 2009, el uso de los PFAS está regulado internacionalmente por el Convenio de Estocolmo sobre Contaminantes Orgánicos Persistentes (COPs). La diseminación de los PFAS en el ambiente está inmersa dentro de los Ciclos del Agua Urbano y Rural, así como en el Ciclo de Saneamiento con lo cual presentan un amplio rango de acción de contaminación ambiental, especialmente en el agua.

Se ha demostrado la presencia de PFAS en fuentes de agua cruda y agua potable en concentraciones máximas que llegan al rango de 8,000 a más de 11,000 ng/L. De igual manera su persistencia en los efluentes provenientes de las Plantas de Tratamiento de Aguas Residuales y en los biosólidos generados en ellas, implica una importante y constante fuente de contaminación que ha llegado a impactar los océanos e incluso los casquetes polares.

Con estos antecedentes, las principales rutas de exposición de los seres humanos a los PFAS a través del agua, no solo incluye el consumo directo del agua sino también el consumo de productos animales y vegetales que han sido expuestos al

agua contaminada con PFAS o al contacto corporal con aguas contaminadas con PFAS durante actividades recreativas.

La presencia de los PFAS en el torrente sanguíneo de los seres humanos ha desencadenado una gran cantidad de enfermedades que afectan muchos órganos y sistemas metabólicos importantes, al igual que han producido daños a nivel genético.

Por esta razón, los organismos nacionales que regulan las concentraciones de las sustancias presentes en el agua para consumo humano se han dedicado durante los últimos años a desarrollar el marco regulatorio para los PFAS en agua potable, ejemplo de ello lo tenemos en países como los Estados Unidos, la Unión Europea, China, Indonesia, Australia, entre otros. Con el fin de dar cumplimiento a dicho marco regulatorio, se han explorado diversos métodos de tratamiento para la remoción de los PFAS durante la producción de agua para consumo humano.

Estos métodos incluyen tratamientos físicos y químicos dentro de los que destacan combinaciones de procesos y operaciones unitarias como lo son coagulación – sedimentación – filtración con carbón activado granular; algunos otros lo son intercambio iónico, luz ultravioleta, filtros de cerámica y reacciones catalíticas de degradación. En contraste, el uso de métodos basados en tratamiento biológico se ha enfocado al tratamiento de las aguas residuales, sin embargo, hasta este momento el tratamiento biológico no ha resultado eficaz para lograr los niveles de remoción requeridos.

El actual escenario de los PFAS en el agua involucra una serie de desafíos, dentro de los que se destacan:

1. Incrementar el alcance de los estudios epidemiológicos y toxicológicos,
2. Cerrar la brecha de la ausencia de monitoreo de PFAS en muchos países con el consiguiente desarrollo de las capacidades y habilidades técnicas analíticas,
3. Desarrollar métodos de eliminación de PFAS en el agua que sean eficaces y rentables y
4. Incorporar marcos de gestión efectivos en los países con bajo Producto Interno Bruto.

Primer Simposio Venezolano sobre Calidad del Agua Calidad del Agua Subterránea en Venezuela

Resumen

Dr. Hervé Jacques Jegat Nicolo
CIDIAT - ULA

Palabras clave: Agua subterránea, calidad del agua, Venezuela.

El agua es un recurso único y escaso, esencial para la vida, que tiene un valor económico, pero también un valor social y ambiental. En Venezuela las reservas permanentes de aguas subterráneas han sido estimadas por COPLANARH en unos

8 billones de metros cúbicos considerando únicamente el margen izquierdo del río Orinoco por no disponer de información al sur del mismo.

El agua subterránea representa una fuente de agua potable que toma cada vez más importancia y que debemos preservar para las generaciones futuras. A pesar de la importancia del agua subterránea para abastecimiento de agua potable, no existe una política adecuada para su protección y uso racional.

En este trabajo se presenta la situación de las aguas subterráneas a nivel mundial regional y nacional, ¿Qué son?, ¿Cuál su origen?, ¿Cuánto hay y dónde? Y Cual es su importancia para el planeta.

En el caso particular de Venezuela se presenta la situación actual de las aguas subterráneas, su importancia global, y su distribución espacial en el país.

Una provincia hidrogeológica puede ser definida como una región de características generales similares en cuanto a las condiciones de ocurrencia de las aguas subterráneas. Entre los factores que contribuyen para la definición de una provincia hidrogeológica destacan la conformación geológica y las características fisiográficas.

Existen cuatro provincias hidrogeológicas en Venezuela siendo la provincia del Orinoco por sus propiedades físicas y comportamiento hidrogeológico más importante como reservorio de aguas subterráneas, comprende unidades litológicas.

La mayor parte de las reservas de agua subterránea están ubicadas entonces en los llanos venezolanos siendo la fuente de agua más importante para la actividad agrícola para esta parte del país.

Se presentan las características hidrogeológicas y fisicoquímicas de las subprovincias de los llanos occidentales, centrales y orientales.

Se describen las amenazas tanto cuantitativas como cualitativas a las cuales está sometido este recurso y como enfrentarlas.

En algunas partes, principalmente en los llanos occidentales bajos de Apure y Barinas así como en los llanos orientales, las aguas subterráneas de los acuíferos someros son algo ácidas.

Sin embargo, la información existente es insuficiente y desactualizada. Actualmente, hay un deterioro de su calidad en algunos acuíferos del país tanto por razones naturales como antrópicas.

Primer Simposio Venezolano sobre Calidad del Agua **Intrusión Salina en Acuíferos de Zonas Costeras por** **Incremento del Nivel del Mar motivado por el Cambio** **Climático**

Resumen

Crisanto Silva-Aguilera

Departamento de Ciencias de la Tierra. Universidad
Simón Bolívar. Caracas, Venezuela

Palabras clave: Agua subterránea, calidad del agua, Acuíferos costeros, Cambio climático, Intrusión salina.

Se presentan dos casos de estudios relacionados con la intrusión salina en acuíferos en zonas costeras, el primero en la costa este del estado La Guaira, en los estuarios de Osma y Oritapo, donde a fin de determinar la intrusión salina y la descarga de aguas subterráneas al mar Caribe. Se realizaron modelos conceptuales hidrogeológicos 3D, usando Sensores Remotos (SR), Tomografía de resistividad eléctrica (TRE), usando interpretación con Inteligencia Artificial (IA) soportada por redes neuronales (Fig. 1, izquierda).

El segundo caso en Tacarigua de la Laguna, muestra que durante la sequía de 2009-2010 como estrategia de la comunidad ante la ausencia de suministro de agua (tuberías, camiones cisternas, botellas, almacenamiento en tanques, recolección de agua de lluvia), excavaron pozos de agua subterránea someros (entre 2 y 3 m de profundidad y un metro

de ancho) en el patio o jardín de las viviendas. Los suelos en el sitio son del tipo arenoso-arcilloso típico de lagunas de manglares y costas del Caribe. Se estima que durante este evento fueron excavados unos cincuenta (50) pozos, muchos de los cuales fueron tapados luego de la sequía. Sin embargo, algunos pozos fueron revestidos y protegidos con cemento, e incluso a algunos le instalaron bombas, y continúan funcionando actualmente en casos de emergencia, y para riego y limpieza. Los habitantes de la comunidad de estudio mencionan que el agua era menos salada en las áreas al norte, cerca de la playa, que hacia el sur cuando se alejaban de la playa y se acercaban a los manglares. Esta experiencia constituye un claro ejemplo de cómo la comunidad ha desarrollado estrategias de adaptación y resiliencia ante la crisis climática, en este caso ante una sequía extrema (Fig. 1, derecha). Esta comunidad también ha adaptado estrategias ante inundaciones, como la del rompimiento de la presa del Guapo, en 1999, ante eventos de precipitación extrema. Esta investigación colaborativa en conjunto con el Instituto de Zoología y Ecología Tropical de la Universidad Central de Venezuela, comprende entre otros el desarrollo de un modelo de evaluación de la resiliencia de las aguas subterráneas. Como conclusión se determinó la eficacia de la combinación de métodos como SR, TRE, ayudados por la (IA), en la elaboración de modelos hidrogeológicos conceptuales 3D, para evaluar la profundidad, geometría y alcance de la intrusión salina y descarga de aguas subterráneas en estuarios como los de Osma y Oritapo, que permite hacer recomendaciones sobre la gestión de agua.

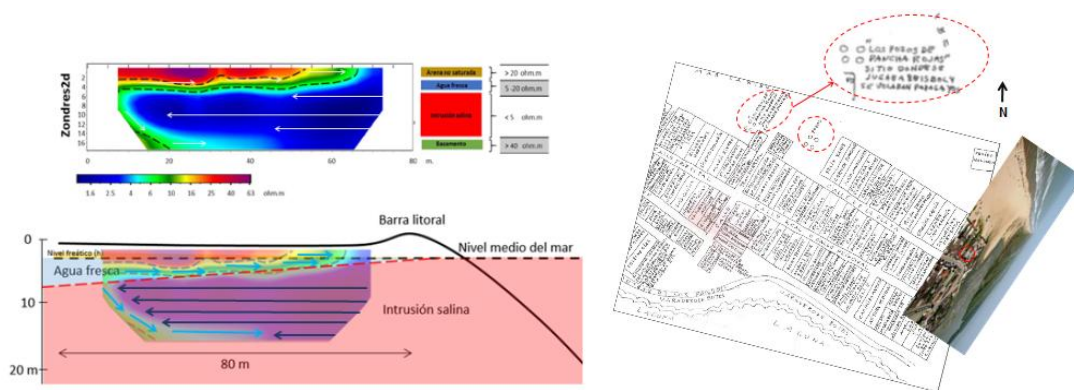


Figura 1: Izquierda: Imagen de la tomografía de resistividad eléctrica (TRE), y su interpretación mostrando las diferentes interfaces de agua fresca y salada (arriba), así como la cuña salina, en el estuario de Osma, estado La Guaira, Venezuela (Modificado de Martín et al. 2020). Derecha: Segmento del plano de Tacarigua de la Laguna, donde se muestra la ubicación de algunos pozos de agua artesanales en la Laguna de Tacarigua, estado Miranda, Venezuela (Modificado de Gutiérrez, 2007)

Algunas de las limitaciones de la investigación incluyen la ausencia de datos de monitoreo subterráneo, hidrometeorológico y oceánicos, así como el acceso a información litológica del subsuelo para verificar la prospección geofísica. Sin esos datos no se puede relacionar la salinización de los acuíferos con efectos como el incremento del nivel del mar motivado por el cambio climático. Por tanto, se recomienda en los sitios de estudio la construcción de pozos de monitoreo y de

exploración y producción de agua subterránea, la instalación de sensores piezométrico y geoquímicos, y el análisis periódico de calidad del agua subterránea. Por otra parte, se necesita instalar estaciones hidrometeorológicas y oceánicas automatizadas.

Próximas acciones de investigación incluyen el inventario de pozos entre Osma y Chuspa, y Tacarigua de la Laguna. Instalación de un pluviómetro automatizado en el estuario de

Osma. Continuar con los métodos de prospección geofísica como TRE en los estuarios de Todasana, La Sabana, Caruao y Chuspa y en la Laguna de Tacarigua. Prospección geofísica usando gravimetría para determinar profundidad de basamento metamórfico en los estuarios. Caracterización geoquímica y calidad de aguas de los ríos, laguna, pozo. Aplicación de isótopos Ra, Rn en la determinación de descarga de aguas subterráneas al mar. Realización de modelos de simulación numéricos, flujo superficial y subterráneo, y transporte de nutrientes y contaminantes.

Referencias

- Gutiérrez, A. (2024). Caracterización Hidrogeofísica de los estuarios de Osma y Oritapo, La Guaira, Venezuela, utilizando métodos eléctricos. TG-Ing. Geof. USB. Inédito.
- Marín, J. D., Silva-Aguilera, C., García, I., Baena J., Bezada, M. (2020). Intrusión salina en zonas costeras utilizando tomografía eléctrica: estuario de Osma, La Guaira, Venezuela. XVI Congreso Venezolano de Geofísica. Caracas, Venezuela.

Primer Simposio Venezolano sobre Calidad del Agua Planificación y calidad del agua: integrando conceptos para una gestión eficiente del recurso

Resumen

Ing. (M.Sc.) Yajaira G. Olivo Carmona
CIDIAT - ULA

Palabras clave: planificación del uso de los recursos hídricos, desafíos de los planificadores, visión compartida de la planificación.

El agua es la sustancia más abundante que existe en la Tierra y es el principal componente de todos los seres vivos. Se estima que el volumen total de agua en la Tierra es de unos 1.385 millones de kilómetros cúbicos de los cuales solo el 2,5% son de agua dulce, unos 35 millones de Km³. Es un bien esencial para la vida y el desarrollo económico social de las naciones. Sin embargo, este desarrollo ha estado signado por alteraciones en la circulación y la calidad del agua en la naturaleza, pues a medida que circula y se usa, el agua va disminuyendo su espectro de calidad, con la posibilidad de generar conflictos entre usos (consuntivos y no consuntivos) y usuarios. A nivel mundial, se extraen actualmente unos 3.600 km³ de agua dulce para consumo humano, es decir, 1.600 litros/hab-día, de los cuales, sólo se usa la mitad, estimándose en 65% destinado a la agricultura, el 25% a la industria y, tan solo el 10% a consumo doméstico. En el último siglo la población mundial se incrementó 4,4 veces, mientras que la extracción de agua aumentó 7,3 veces en el mismo periodo; es decir, la extracción aumentó 1,7 veces más rápido que la población mundial.

No solo se trata de la extracción de millones de metros cúbicos por día de las fuentes de agua superficiales y subterráneas, sino también de la incorporación de cientos de contaminantes al ciclo hidrológico. Para el suministro de agua

a la población hay que elegir la fuente apropiada de acuerdo a su disponibilidad en cantidad y calidad, ya que cada fuente de agua tendrá sus propias características. Estas deben conocerse para obtener los parámetros de diseño para su tratamiento y ofrecer agua segura para consumo humano, definida como aquella que no representa ningún riesgo significativo para la salud, especialmente para la población vulnerable. Por estas razones, es indispensable considerar la Planificación del Uso de los Recursos Hídricos, herramienta indispensable para la ordenación y gestión del agua, y el desarrollo sostenible. El aprovechamiento de los recursos hídricos para satisfacer las diferentes demandas, implica el conocimiento de las disponibilidades, su distribución espacial, la cantidad, la calidad y su patrón de variabilidad. Asimismo, es necesario normar el uso del agua y asignar las diferentes disponibilidades geográficamente entre los diferentes usos potenciales.

Primer Simposio Venezolano sobre Calidad del Agua Un Enfoque para Modelación de Transporte y Transformación de Plaguicidas Organoclorados en un Río Tropical

Resumen

Ph.D. Adriana Márquez*², Ph.D. Samuel Cárdenas¹,
Ph.D. Edilberto Guevara³ y Ph.D. Sergio Pérez⁴
Centro de Investigaciones Hidrológicas y Ambientales,
Universidad de Carabobo, Venezuela

⁽¹⁾ sfcardenas@uc.edu.ve ⁽²⁾ ammarquez@uc.edu.ve

⁽³⁾ eguevara@uc.edu.ve ⁽⁴⁾ drey@uc.edu.ve

Palabras clave: plaguicidas organoclorados, transporte de plaguicidas organoclorados, transformación de plaguicidas organoclorados.

Este trabajo trata sobre el modelado del proceso de transporte y transformación de plaguicidas organoclorados en el río Tucutunemo, Venezuela. Las novedades consisten en los siguientes aspectos:

1. Modelado de plaguicidas de tipo organoclorado incluyendo DDT y DRIN y sus isómeros como: pp' - DDT, op' -DDT, pp' -DDD, pp' -DDE, op' -DDE, Aldrin, Dieldrin y Endrin.
2. Determinación de parámetros y ajuste estadístico de los coeficientes de difusión y transformación bioquímica en expresiones matemáticas derivadas de la ley de Fick, ecuaciones modificadas de los reactores biofiltrantes para simular la biopelícula adherida sobre medio soporte a la biopelícula adherida sobre sedimentos en el lecho del río.

Se proponen cuatro escenarios para el modelado:

1. difusión molecular sin transformación bioquímica.
2. difusión molecular con transformación bioquímica.
3. difusión advectiva sin transformación bioquímica,
4. difusión advectiva con transformación bioquímica.

La combinación de difusión advectiva con transformación biológica resulta el mejor ajuste para explicar la eliminación de pesticidas organoclorados a lo largo del río.

*Autor de correspondencia: ammarquez@uc.edu.ve, –
teléfono: +58 424-4060222. Dirección. Centro de
Investigaciones Hidrológicas y Ambientales. Universidad de
Carabobo. Municipio Naguanagua.

Primer Simposio Venezolano sobre Calidad del Agua
Propuesta para el Análisis de Contaminantes de
Productos Farmacéuticos en el Agua empleando
Polímeros de Impronta Molecular

Resumen

Dra. Beatriz Elena Soledad Rodríguez
Centro de Investigación y Desarrollo de Ingeniería,
Universidad Católica Andrés Bello (CIDI-UCAB)
bsoledad@ucab.edu.ve

Palabras clave: agua; contaminantes, extracción en fase sólida; polímeros de impronta molecular, MISPE.

Muchos compuestos químicos de origen antrópico contaminan el aire, los suelos y el agua. Los contaminantes ambientales más frecuentes incluyen fármacos provenientes de fábricas, hospitales, urbanizaciones y cría de animales, así como pesticidas y herbicidas utilizados en la agricultura, colorantes utilizados en la industria textil, metales procedentes de minas, centrales nucleares y efluentes líquidos producidos por actividades mineras. Debido a su alto potencial para contaminar tanto el suelo como los recursos hídricos superficiales y subterráneos, estos compuestos causan grandes problemas ambientales. Además, pueden ingresar a los humanos a través de las vías respiratorias, digestivas o de la piel, causando problemas toxicológicos.

La identificación y cuantificación de estos compuestos están a cargo de la química analítica, y las técnicas de análisis más comunes son la cromatografía líquida de alta resolución, la cromatografía de gases y la espectrofotometría.

Frecuentemente se requieren varios pasos de pretratamiento para el análisis de mezclas complejas, y si la sustancia a analizar está en una baja concentración, es necesario concentrarla para que las técnicas analíticas estándares puedan detectarla. Una muestra compleja de compuestos similares requiere limpieza y para mejorar la eficiencia y sensibilidad del análisis instrumental, además de utilizar equipos con alta sensibilidad, es necesario realizar un paso previo de pre-concentración de la muestra ya que los desechos de los contaminantes ambientales suelen tener concentraciones muy bajas (en el orden de $\mu\text{g/kg}$). La técnica de extracción en fase sólida (SPE) permite la preparación y purificación rápida y selectiva de las muestras antes del análisis, y es una técnica ampliamente utilizada para el pretratamiento porque es adaptable y fácil de automatizar.

Los polímeros de impronta molecular, también conocidos como MIP, son polímeros sintéticos altamente estables que sirven como base para la tecnología de impresión molecular.

Esta tecnología, basada en los modelos de funcionamiento de los sistemas biológicos de los seres vivos, produce polímeros con propiedades de reconocimiento molecular selectivo porque los sitios de reconocimiento dentro de la matriz del polímero son complementarios al analito en la forma y posición de los grupos funcionales. La técnica de impresión molecular se basa en la preparación de un polímero altamente entrecruzado alrededor de un analito utilizado como molécula molde, el cual inicialmente se pone en contacto con un monómero adecuado para formar un complejo de pre-polimerización y posteriormente se le añade el entrecruzante, el iniciador y el disolvente con el que se lleva a cabo la polimerización. Una vez obtenido el polímero, se extrae la molécula molde, liberando los sitios de reconocimiento específico. Estos materiales sintéticos son ideales para la detección y cuantificación de contaminantes en la química analítica porque pueden interactuar con los analitos de manera selectiva. En los últimos años, esta tecnología ha experimentado un avance significativo.

Para determinar antibióticos en el ambiente, es necesario disponer de métodos altamente sensibles y con capacidad de reconocimiento del analito para lograr su detección y extracción. Las bajas concentraciones de contaminantes en aguas ambientales no escapan de estos requisitos y los polímeros de impronta molecular combinados con la extracción en fase sólida (MISPE) son empleados para la limpieza y concentración de las muestras.

La validación de las nuevas técnicas de análisis es otro aspecto a tener en cuenta, por lo que el investigador debe concentrarse en la estandarización de métodos que permitan determinar al analito y contribuyan a mejorar las técnicas empleadas, haciéndolas más rápidas y efectivas para que puedan aplicarse a una variedad de muestras. Para que estas nuevas técnicas de análisis sean útiles en varios laboratorios, se deben validar las características analíticas del método, que incluyen el tiempo de retención, el límite de detección, la linealidad del método y su rendimiento.

El objetivo de esta ponencia es presentar el proceso de impresión molecular, así como la aplicación de estos polímeros como adsorbentes para la separación y purificación de muestras para análisis, utilizando la técnica de extracción en fase sólida basada en polímeros de impronta molecular, con diversos productos farmacéuticos presentes como contaminantes de aguas ambientales tales como antibióticos de diferentes familias, entre los cuales se incluyen ampicilina, amikacina y amoxicilina.

5. Estadísticas de los participantes

En este Primer Simposio Venezolano sobre Calidad del Agua se logró la participación con inscripción efectiva de trescientos cuarenta y siete (347) participantes, distribuidos en catorce (14) países con diversos grados académicos (TSU, Licenciatura, Maestría y Doctorado).

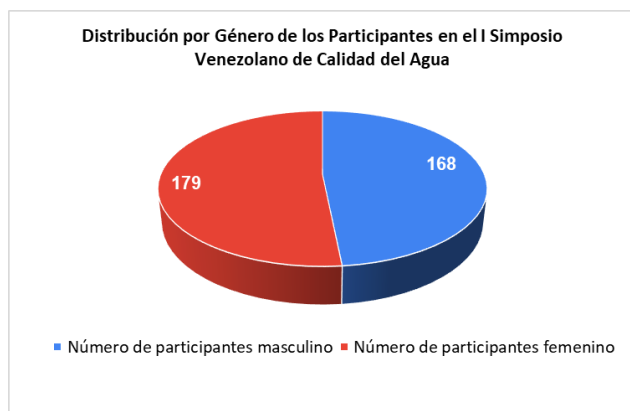
MEMORIAS DEL
PRIMER SIMPOSIO VENEZOLANO SOBRE CALIDAD DEL AGUA

En la Tabla 1 y el Gráfico 1 se observa la distribución por género de los participantes.

Tabla 1. Distribución por género de los participantes en el I Simposio Venezolano de Calidad del Agua.

Distribución por género		
Número total de participantes inscritos	347	participantes
Número de participantes masculino	168	hombres
Número de participantes femenino	179	mujeres

Gráfico 1. Distribución por género de los participantes en el I Simposio Venezolano de Calidad del Agua.

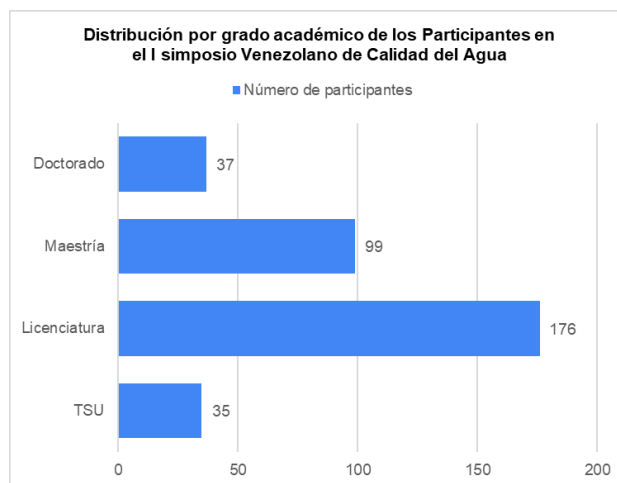


En la Tabla 2 y el Gráfico 2 se muestra la distribución del nivel académico de los participantes:

Tabla 2. Distribución por grado académico de los participantes en el I Simposio Venezolano de Calidad del Agua.

Grado académico	Número de participantes
TSU	35
Licenciatura	176
Maestría	99
Doctorado	37
Total	347

Gráfico 2. Distribución por grado académico de los participantes en el I Simposio Venezolano de Calidad del Agua.

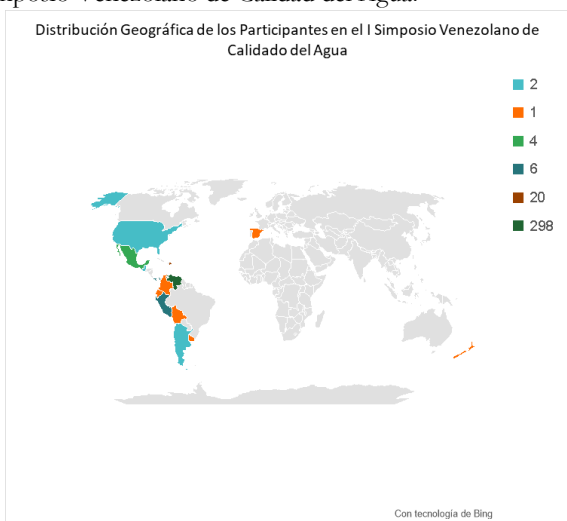


En la Tabla 3 y el Gráfico 3 se muestra la distribución geográfica de los participantes:

Tabla 3. Distribución geográfica de los participantes en el I Simposio Venezolano de Calidad del Agua.

País	Número de participantes
Argentina	2
Bolivia	1
Colombia	1
Chile	1
Ecuador	1
España	1
Guatemala	2
México	4
Nueva Zelanda	1
Panamá	6
Perú	6
República Dominicana	20
Estados Unidos	2
Uruguay	1
Venezuela	298
Total	347

Gráfico 3. Distribución geográfica de los participantes en el I Simposio Venezolano de Calidad del Agua.



Los participantes formaron parte de los diversos sectores de la sociedad que se conforman como actores clave en el proceso de gobernanza para la calidad del agua: Estado, Academia, Organismos Internacionales, ONG's, Empresa Privada y Comunidad, representados en ciento cuarenta y cinco (145) organizaciones participantes.

Entre ellas:

- El **Estado**, a través de los entes gubernamentales a nivel nacional como Ministerios; a nivel estatal representado en las Gobernaciones y a nivel municipal, con participación de algunas Alcaldías. También se contó con la participación de entes gubernamentales de otros países, como Perú, República Dominicana y Colombia.
- **Empresas Hidrológicas:** se contó con la participación de empresas hidrológicas tanto nacionales (6) como internacionales (2).
- **Academia**, representada por las veintinueve (29) Universidades y Casas de Estudio que participaron, tanto de Venezuela, como de Panamá, Uruguay, México, Perú, República Dominicana y Estados Unidos.
- **Organismos Internacionales:** con la participación de la FAO y Acción contra el Hambre.
- **ONG's y Fundaciones:** la representación de este sector se vio nutrida con la participación de diecisiete (17) ONG's y Fundaciones tanto nacionales como internacionales.
- **Empresa Privada:** representada en treinta y tres (33) participantes.
- **Comunidad:** representada en gran parte por el conglomerado de profesionales independientes que participaron en este evento.

En la Tabla 4 y el Gráfico 4 se muestran las organizaciones participantes:

Tabla 4. Organizaciones participantes en el I Simposio Venezolano de Calidad del Agua.

Organizaciones participantes	Número de participantes
ANIH – VE	3
Acción Campesina	1
Acción Contra el Hambre	1
Acción Democrática	1
Aguas de Mérida	2
Aguas de Yaracuy	10
Alcaldía de San Felipe	1
Ambitek Services Inc	2
AQUA INTUITUM, México	1
Aquafluens, México	1
Aquafortus Ltd, New Zealand	1
Asistentes de salud pública	2
Asociación de Ejecutivos del Estado Carabobo	
AEEC	1
Bomberos Forestales	1
Cátedra Guaicaipuro	1
Cementos Catatumbo, C.A. (CECAT)	1
CENIPA	3
Chemiconsult, C.A.	1
CHUNIKAI	1
CIDIAT-ULA	8
CIV - Caracas, Zulia y Guárico	4
Codelpa, Rep. Dom.	1
COFOPRI, Perú	1
Coite de Hidrogeno Bolivia	1
Colegio de Abogados	1
Colegio de Ingenieros del Perú	1
Colegio La Concepción	1
Comunidad	2
Consejo legislativo	1
Consultores ambientales	3
Contraloría Sanitaria	1
CVM Loma de Níquel	1
Dirección de Salud Ambiental	21
Educación	2
Empresas Polar	2
Entornos S&S	1
Escuela de Química, USAC, Guatemala	1
ETA José F. Espinoza de los M. UPAOB	1
Fábrica Nacional de Cementos	1
FAO	1
FEDE	1

MEMORIAS DEL
PRIMER SIMPOSIO VENEZOLANO SOBRE CALIDAD DEL AGUA

Fertigenetics	1	MINAGUAS	2
Formulaciones Químicas & Asesorías QA, C.A	2	MINEC	15
Frente Amb Padre Reupa Madre Shaseung	1	Ministerio de Educación	1
Funda Chiguará	1	Ministerio de Medio Ambiente y Recursos Naturales, Rep. Dom	1
Fundación Azul Ambientalistas	1	Ministerio Público	2
Fundación CIEPE	4	MINSA, Min. Salud Panamá	1
Fundacion Instituto IDEA	3	MPPAPT	1
FundaLaguna	1	MPPS	6
Fundelec	3	MUNICIPALIDADES, Perú	1
Funvive	1	Nestlé	1
Gente de Agua Carabali	4	Oficina de Proyectos Hidromecánicos	1
GeoSoul Consulting	1	ONCC/RNO	1
Gerencia Calidad y Productividad	1	ONG Venunba	1
Gestión de Riesgos Sanitario-Ambientales	1	Otecnagua, C.A.	1
GHLab SpA	1	PDVSA	3
Gobernación edo. Amazonas	1	Premezclados Occidente	1
Gobernación edo. Mérida	1	Profesionales Consultores Geoambientales, C.A.	1
Grupo Jurídico LDT	1	Programa de DDHH Ambientales en atención a los Ofidios	1
Grupo Proamsa	1	PROSALUD	1
Hidráulica Tamanaco SA	1	Protección Civil	1
Hidrológica del Caribe Hydrocaribe	3	Provita	2
Hidroportuguesa	1	Salud Empresarial	1
Hidrosuroeste	1	SCALL, México	1
Hidroven	3	SDA, Colombia	1
Hydrocivil	1	SIHISA SRL, Rep. Dom	1
ICAE	1	SINFRA, estado Carabobo	1
ICLAM	9	Soc. Ven. Cruz Roja	1
IDAAN	1	Solidarites Internacional	1
Impacta 2023 C.A	1	UAEMEX	1
INAMEH	1	UBV	2
INAPA	14	UCAB	6
Independiente	27	UCLA	7
INDER	1	UCV	15
Ingeniería de Petróleo	1	UDO	1
Ingeniería Sanitaria	3	ULA	12
INIA	3	UNEFM	3
Injuvem	1	UNESUR	1
Inparques	5	UNET	3
Instituto de Zoología y Ecología Tropical, IZET		UNETRANS	2
UCV	1	UNEXPO	1
IVIC	11	Universidad Autónoma de Santo Domingo	3
Jubilada MINEC/ Docente UBV- Nva Esparta	1	Universidad de Panamá	1
Kenbran C.A	1	Universidad Nacional de Cajamarca, Perú	1
Laboratorio de Calidad de Agua	2		
LUZ	2		

Universidad Nacional Experimental Marítima del Caribe	1
Universidad Tecnológica del Uruguay	1
University of Minnesota, Minnesota Geological Survey	1
UPAOB	1
UPEL	1
UPT José Félix Ribas	1
UPTM Mérida	1
UPTP Luis Mariano Rivera	1
USB	2
USR	1
VIMORCA	1
VRV Ingenieros Consultores	1
Wataniba	3
Wesleyan University / UCV	1
YPN - Venezuela	1
Total	347

Por último, pero no menos importante, cabe resaltar la heterogeneidad de perfiles profesionales afines al tema transversal de la calidad del agua, y que se refleja en los participantes, aun cuando más del 52% están vinculados con el ejercicio de la Ingeniería (182 participantes). Así, en la Tabla 5 y el Gráfico 5 se muestran los perfiles profesionales de los participantes:

Tabla 5. Perfiles profesionales de los participantes en el I Simposio Venezolano de Calidad del Agua.

Profesión	Número de participantes
Abogado	10
Administrador	2
Administrador de Empresas	2
Agroecología	1
Agrónomo	2
Analista Gestión Ambiental	1
Arquitecto	6
Asistente administrativo	1
Bionalista	1
Biólogo	18
Biólogo Marino	2
Comerciante	1
TSU en Calidad del Agua	1
Contador	1
Docente	6
Estudiante	7
Geógrafo	14
Geoquímico	4

Gestor ambiental	7
Gestión en Salud Pública	1
Guardaparques	1
Informático	1
Ing. Agroalimentación	3
Ing. Agroindustrial	3
Ingeniero	26
Ing. Agrónomo	28
Ing. Ambiental	13
Ing. Alimentación	1
Ing. Civil	43
Ing. de Materiales	1
Ing. en Manejo de Cuencas y Ambiente	1
Ing. en Procesamiento y Distribución de Alimentos	2
Ing. en Procesos Químicos	4
Ing. en Recursos Naturales Renovables	2
Ing. En Producción Animal	1
Ing. Forestal	10
Ing. Geociencias	1
Ing. Minas	1
Ing. Sanitario	3
Ing. Mecánico	6
Ing. Petróleo	1
Ing. Metalúrgico	1
Ing. Geodesta	1
Ing. Geólogo	3
Ing. Químico	23
Ing. Hidrometeorologista	1
Ing. Industrial	2
Ing. Pesquero	1
Insp. Sanitario	2
Inspector de salud publica	6
Lic. en Artes	1
Lic. Tecnología de Alimentos	1
Lic. Biología	4
Lic. Gestión Ambiental	5
Lic. Geografía	5
Lic. Química	5
Lic. Educación	3
Lic. Ciencia y Cultura de la Alimentación	1
Lic. Ciencias Agrícolas	1
Maestra en Calidad Ambiental	1
Maestro Mayor de Obras	1
Magister Desarrollo humano	1

MEMORIAS DEL
PRIMER SIMPOSIO VENEZOLANO SOBRE CALIDAD DEL AGUA

Médico Veterinario	1
Médico	1
Médico Epidemiólogo	1
Microbiólogo	1
Obrero	1
Penitenciarios	1
PhD Ciencia y Tecnología Química.	1
Profesor	4
Químico	14
Sociólogo	1
TSU Química	5
TSU Alimentos	2
TSU Producción Agroalimentaria	1
Topógrafo	1
TSU en Construcción Civil	1
TSU Recursos Naturales Renovables	1
Turismo	1

Total	347
-------	-----

Adicionalmente, cabe destacar que, por la naturaleza del evento, la participación fue de tipo híbrida: síncrona y asíncrona. En este sentido, es necesario señalar que la plataforma Zoom del CIDIAT, a través de la cual se llevó a cabo el evento, tiene un aforo máximo permitido de 100 plazas o cuentas, que fueron llenadas tanto por participantes individuales como por grupos que ocupaban una sola plaza o cuenta, lo que permite inferir que, durante la transmisión en vivo, se tenía más de 100 participantes como espectadores.

Asimismo, para la fecha de elaboración del presente informe, el canal YouTube donde quedaron alojados las sesiones, cuenta con más de 520 vistas para la primera de ellas, y con más de 120 vistas para el resto de las mismas.

Estas estadísticas reflejan, sin duda, el resultado de un esfuerzo colectivo y la preocupación e interés generalizado por el tema de calidad del agua, sobre el cual todavía estamos en deuda.

Gráfico 4. Organizaciones participantes en el I Simposio Venezolano de Calidad del Agua.



Gráfico 5. Perfil de los participantes en el I Simposio Venezolano de Calidad del Agua.

