

# Estudio piloto de la toxicidad de los sedimentos del río Pasto en el tramo La Playita-Puente La Carolina, asociada al uso de pesticidas

## Screening toxicity derived from pesticides at sediments of the Pasto River on the stretch La Playita-Puente La Carolina

---

Mario Alberto Jurado Eraso<sup>1</sup>, Jenny Marcela Bravo Melo<sup>2</sup>, Ángela Yulieth Guerrero Ortiz<sup>3</sup>

<sup>1</sup> Universidad Mariana, San Juan de Pasto, Colombia; majuradoe@umariana.edu.co

<sup>2</sup> Universidad Mariana, San Juan de Pasto, Colombia; jenbravo@umariana.edu.co

<sup>3</sup> Universidad Mariana, San Juan de Pasto, Colombia; angelayguerrero@umariana.edu.co

DOI: <http://doi.org/....>

Fecha de recepción: 11/02/2017

Fecha de aceptación del artículo: 15/11/2017

---

### Cómo citar:

Jurado Eraso, M. A., Bravo Melo, J. M., y Guerrero Ortiz, A. Y., (2017). Estudio piloto de la toxicidad de los sedimentos del río Pasto en el tramo La Playita-Puente La Carolina, asociada al uso de pesticidas. Bogotá, 14(1), 194-210. DOI: [org/xx/xxxxx/reds.xxxx](http://dx.doi.org/10.15446/avances.14.1.194-210).

### Resumen

El objetivo del presente estudio piloto fue analizar la toxicidad de los sedimentos del río Pasto en el tramo La Playita-Puente La Carolina en la cuenca alta, una zona con importante actividad agropecuaria donde el agua tiene múltiples usos, utilizando bacterias bioluminiscentes *Vibrio fischeri* como bioindicadores de toxicidad. El estudio se basó en la hipótesis de que ciertos microcontaminantes derivados del uso pesticidas en la zona, son transportados entre las matrices aguas/sedimentos y son los responsables de los niveles de toxicidad hallados. Los resultados señalan niveles variables de toxicidad y posiblemente el fenómeno predominante sea el transporte de pesticidas o sus metabolitos en la masa de agua. Además, se infiere que posiblemente la concentración de plaguicidas no sea la principal causa de los niveles de toxicidad hallados y probablemente podrían asociarse a otras sustancias derivadas del vertimiento de aguas residuales y lixiviados.

**Palabras claves:** Ecotoxicidad, Pesticidas, Plaguicidas, río Pasto, Sedimentos, Toxicidad, *Vibrio fisheri*.

### Abstract

A screening toxicity was carried out at sediments of the Pasto River on the stretch La Playita-Puente La Carolina at its upper basin. This is meaningful farming area where water has multiple uses. For this

purpose, was determined the acute toxicity from sediments by using the photo-luminescent bacteria *Vibrio fischeri*. The hypothesis of the study was that any microcontaminants derived from pesticides uses on the stretch are transported between water/sediments matrix and are responsible for the levels of toxicity found. Varying levels of toxicity were found and possibly the predominant phenomenon is the transport of pesticides or their metabolites in the body of water. In addition, it is inferred that the concentration of pesticides may not be the main cause of the levels of toxicity found and could be associated with other substances derived from the dumping of waste water and leachate.

**Keywords:** Ecotoxicity, Pasto River, Pesticides, Sediments, Toxicity, *Vibrio fischeri*.

## 1. Introducción

En la actualidad, es evidente la importancia del estudio de la calidad del agua de las corrientes superficiales, a razón de su impacto especialmente sobre el frágil equilibrio de los sistemas ecológicos; el control alimentario; el uso agropecuario; el agua para abastecimiento; los servicios ambientales o el control de la contaminación [1]–[3].

En este orden de ideas, la mala calidad del agua de un río, puede estar asociada a diversos factores de origen antrópico o natural, por ejemplo: escorrentías de zonas agrícolas o pecuarias, el vertimiento de aguas residuales domésticas o industriales o por arrastre de material sólido asociado a eventos climáticos [4].

En consecuencia, para estudiar la contaminación de los ríos, se debe considerar las sustancias contaminantes presentes en el agua y los sedimentos, así como los fenómenos de transferencia entre ambas matrices; pues los sedimentos reconcentran sustancias con el transcurso del tiempo, ya que su concentración en el agua es más variable y dinámica [5]–[7].

Además, los sedimentos albergan organismos de la cadena trófica que pueden verse afectados por sustancias orgánicas complejas entre las cuales se encuentran

ciertos compuestos orgánicos persistentes (COPs) o sus metabolitos que pueden ser tóxicos; por ejemplo: ciertos plaguicidas, compuestos farmacéuticos o retardantes de llama [6]–[10]. Así mismo, muchos COPs son altamente hidrofóbicos por lo que su nocividad se debe rastrear en los sedimentos y/o en la biota [8], [11], [12].

A este respecto, la literatura técnica señala entre otros aspectos, que ciertos COPs como los hidrocarburos aromáticos policíclicos (PAHs), los plaguicidas o los fármacos; y los metales pesados, tienden a fijarse y movilizarse a través de los sedimentos de un río. Asimismo, existe una estrecha relación entre los eventos climáticos y el transporte, destino y transformación de tales sustancias en un río [8], [10], [11].

En este contexto, por ejemplo, bajo eventos de lluvias o sequías intensas, los sedimentos pueden transportar contaminantes hacia y desde zonas inundadas o a zonas aguas abajo del río, alejadas de las descargas puntuales. Así, mismo pueden ocurrir diferentes fenómenos de transferencia de masa entre las matrices agua y sedimentos, por ejemplo, aquellos fenómenos relacionados con las características granulométricas de los sedimentos o a las propiedades físico-químicas tanto del agua como de los sedimentos [8], [13], [14].

Así pues, la presencia de sedimentos contaminados en ambientes acuáticos, ya sea en aguas continentales o en aguas marinas, es un asunto cuyo estudio comenzó a intensificarse desde la segunda mitad del siglo veinte hasta la actualidad [8], [15].

Entonces, el estudio de ríos contaminados con sustancias peligrosas para la salud humana y el equilibrio ecológico, resulta ser un tema de interés para la salud pública y la gestión ambiental, especialmente por sus efectos a largo plazo [8], [16]. A este respecto, usualmente los niveles de toxicidad de los sedimentos de un río, asociados a su capacidad de sorción, están correlacionados con impactos negativos sobre la salud humana y los ecosistemas [17].

En este sentido, los plaguicidas, son sustancias que tienen la capacidad de sorberse en los sedimentos de los ríos facilitando su movilidad hacia las aguas superficiales y subterráneas. Además, sus mezclas, metabolitos e impurezas; tienen la característica de ser persistentes en el ambiente, inclusive; según la literatura científica, pueden franquear los sistemas convencionales de potabilización de agua. Asimismo, actualmente se reconocen diferentes riesgos por exposición a estas sustancias del tipo carcinogénicos, mutagénicos y teratógenos [17]-[22].

Así pues, aunque la contaminación de sedimentos por plaguicidas y sus efectos, en corrientes superficiales es un tema bastante documentado; recientemente ha crecido el interés en el transporte y destino de tales sustancias y los fenómenos de movilidad entre las diferentes matrices ambientales; especialmente en lo que tiene que ver con sus impactos ecotoxicológicos [17], [23], [24].

Al respecto, vale la pena mencionar que, los sedimentos son una parte integral del control de la calidad del agua de los ríos, siendo hábitat de varios tipos de organismos, especialmente de bacterias que participan en la descomposición de materia orgánica, en el ciclo de nutrientes y en el transporte y transformación de contaminantes del medio acuático. En este contexto, los ensayos ecotoxicológicos de sedimentos utilizando bacterias como bioindicadores normalmente se seleccionan entre un conjunto de bioensayos y han resultado ser una herramienta apropiada para estimar el impacto ecotoxicológico de la contaminación en corrientes superficiales [6], [7].

En este orden de ideas, los ensayos con bacterias bioluminiscentes *Vibrio fischeri* han resultado ser uno de los ensayos más importantes, ya que permiten detectar la toxicidad de un amplio espectro de sustancias químicas presentes en los sedimentos de diversos sistemas acuáticos [5]-[7], [13], [25], [26] human, and industrial activities carried out in an ecologically important area of the Ebro River (Spain. Asimismo, tienen otras ventajas, por ejemplo: su disponibilidad comercial, respuesta rápida, mínimas restricciones de control experimental y menor costo frente a otros bioensayos con bacterias. Además, se sabe de la similitud de estas células bacterianas con las células de organismos superiores [27].

La *Vibrio fischeri* es una bacteria luminiscente, flagelada, psicrófila, gramnegativa facultativa de origen marino [27]. Los mecanismos subyacentes bajo los efectos tóxicos de las sustancias químicas sobre las bacterias a menudo son variados y complejos. A este respecto, por ejemplo, la toxicidad puede deberse a interaccio-

nes de las sustancias químicas con los receptores de superficie de la célula, así como a disrupción de las funciones de la membrana celular, o debido a reacciones químicas con componentes de la célula o a cambios en el sistema enzimático [28].

Con base en lo anteriormente expuesto, los bioensayos ecotoxicológicos con bacterias bioluminiscentes *Vibrio fischeri*, se basan en la medición de la bioluminiscencia emitida por las bacterias antes y después de su exposición a una muestra ambiental por un período de entre 5 y 30 min. En relación con lo anterior, la variable de respuesta es el porcentaje de inhibición de la bioluminiscencia, que permite calcular la *toxicidad aguda* de la muestra problema medida como *concentración efectiva al 50%* ( $EC_{50}$ ) o en Unidades de toxicidad ( $UT = 1/EC_{50}$ ) [6], [26].

Al respecto vale la pena mencionar que, en el departamento de Nariño (Colombia), tradicionalmente de vocación agropecuaria; a pesar de la aparente preocupación existente por la calidad del agua de sus numerosas corrientes superficiales, especialmente en la cuenca del río Pasto, posiblemente no se ha prestado mucha atención al transporte, destino y transformación de los plaguicidas que normalmente no se usan o vigilan de manera controlada en analogía con el panorama nacional, y por lo tanto probablemente no se ha discutido suficientemente sobre los posibles efectos ecotoxicológicos negativos en correlación con la exposición a tales sustancias y el uso del agua en la región [29]-[34]

El objetivo de este estudio piloto fue analizar la toxicidad de los sedimentos de ribera del río Pasto en el tramo: La Playita-Puente La Carolina, que discurre

por la cuenca alta del río Pasto. Para ello, se llevaron a cabo bioensayos ecotoxicológicos con bacterias bioluminiscentes *Vibrio fischeri*, durante un periodo húmedo y uno seco del año 2015, con base en la hipótesis de que los niveles de toxicidad están correlacionados directamente con la presencia de microcontaminantes derivados del uso de pesticidas (organoclorados, organofosforados y carbamatos) asociados a las actividades agropecuarias de la zona, especialmente del cultivo de papa, cebolla y maíz. También se midió el contenido de Materia Orgánica Total (MOT), el pH, la temperatura de los sedimentos, la clasificación granulométrica y la concentración de organoclorados, organofosforados y carbamatos (carbofuran) en sedimentos, así como el caudal y la velocidad de la corriente.

## 2. Metodología

### 2.1 Zona de estudio y muestreo

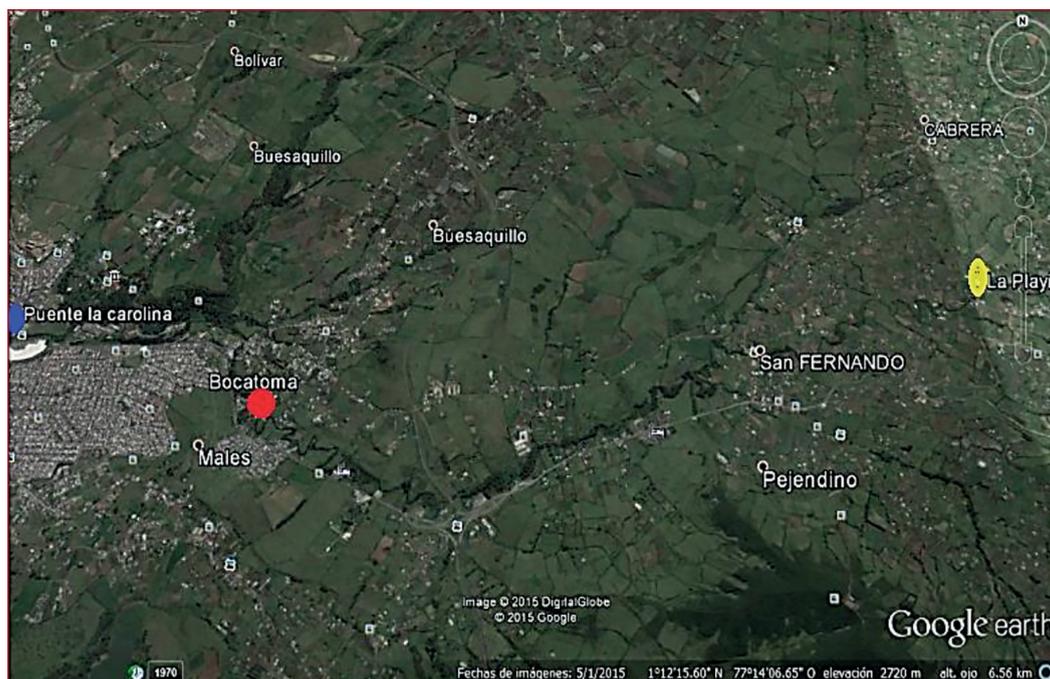
La cuenca del río Pasto se localiza en la vertiente del sistema orográfico de los Andes, al suroriente del departamento de Nariño (Colombia). El río Pasto, con una longitud de 58,62 km, medidos desde la unión de las quebradas El Retiro y Las Tiendas, hasta la desembocadura en el río Juanambú., es una fuente hídrica muy importante en la cuenca, pues esencialmente se utiliza como fuente de abastecimiento y drenaje de aguas residuales domésticas e industriales [33], [35], [36].

En relación con lo anterior, la cuenca alta abarca al río Pasto desde su nacimiento en el páramo de Bordoncillo, hasta el sector donde se encuentra ubicada la bocatoma del acueducto Centenario que abastece

la ciudad [35], [36]. Sin embargo, para esta investigación el área de estudio se amplió hasta el Puente de la Carolina, en la periferia de la ciudad de Pasto en la frontera entre la porción alta y la porción media de la cuenca.

En la Figura 1, obtenida utilizando la herramienta informática *Google Earth*, se muestra el tramo del río Pasto: La

Playita-Puente La Carolina, que discurre por la cuenca alta. En la figura 1, el punto de color amarillo, indica el sitio de muestreo La Playita ( $01^{\circ}12'21.7''$  N,  $077^{\circ}12'52.2''$  W); el punto de color rojo, indica el sitio de muestreo Bocatoma Centenario ( $01^{\circ}12'23.3''$  N,  $077^{\circ}15'36.7''$  W) y el punto de color azul, señala el sitio de muestreo Puente la Carolina ( $01^{\circ}12'05.7''$  N,  $077^{\circ}14'52.3''$  W).



**Figura # 1.** Puntos de muestreo en la cuenca alta del río Pasto.

Vale la pena comentar que, recorriendo la zona correspondiente al primer punto de muestreo, se pudo observar una importante actividad agropecuaria, especialmente a pequeña escala asociada a cultivos de papa, maíz y hortalizas; así como como la crianza de animales de especies menores familiares; especialmente conejos y cuyes, en analogía con lo reportado por la literatura técnica [35].

Ahora bien, con respecto a la zona del punto de muestreo Bocatoma Centenario, ubicada en el área del barrio Popular (zona rural de la ciudad), se observa que ésta se encuentra muy intervenida por asentamientos urbanos, lo que ha derivado en una serie de problemas sociales, económicos y ambientales, como lo reporta la literatura técnica [35]. A este respecto, en la figura 2, se muestra un basurero a cielo abierto, ubicado en este punto de muestreo.



**Figura # 2.** Botadero a cielo abierto barrio Popular.

Finalmente, vale la pena señalar que, en el punto de muestreo correspondiente al Puente de la Carolina adyacente a un importante centro comercial de la ciudad, se distingue claramente el contraste entre la zona urbana y el paisaje rural.

En relación con lo anterior, se menciona que, para la selección de los puntos de muestreo, se tuvo en cuenta la identificación de sitios que no representasen un riesgo para la integridad de las personas involucradas durante los muestreos, así mismo se consideró importante, la facilidad de acceso a los sitios de muestreo, ya sea por medio de puentes o senderos y durante periodos de alto y bajo caudal. Al mismo tiempo, se consideraron descargas aguas arriba y aguas abajo del punto de muestreo (tanto de aguas residuales domésticas y de escorrentía -especialmente derivadas de actividades agropecuarias- como de tributarios, asegurando buena mezcla en el punto seleccionado, como lo recomienda la literatura técnica [6].

## 2.2 Métodos

En cada estación de muestreo se recolectaron dos muestras compuestas de sedimentos de ribera de 1 kg cada una; pues éstos actúan como registros históricos naturales de la contaminación y debido a la alta deposición de sedimentos en sus orillas por tratarse de un río de alta montaña [36]-[39] we determined concentrations of eight potentially toxic metals (PTMs. En este punto, vale la pena mencionar que las muestras se constituyeron por pequeñas sub-muestras recogidas entre 0 y 5 cm de profundidad de modo perpendicular a la lámina de agua en cada sitio en dos jornadas de muestreo durante el año 2015. Posteriormente, las muestras fueron almacenadas a 4 °C para su transporte y hasta su análisis en el laboratorio, todo esto en analogía con lo sugerido por la literatura científica [6], [40]. A este respecto, para la recolección de cada

una de las muestras, se utilizaron palas metálicas y bolsas de aluminio, evitando contaminación cruzada [6], [40].

Como se mencionó anteriormente, para la realización de los muestreos, se decidió incluir una época seca y una época húmeda del año. Para ello, se revisó la información pluviométrica mes a mes, de los últimos 25 años de la estación meteorológica 52047030 WILQUIPAMBA (1°11' 52.700" N, 77°11'34.300" W), del Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales de Colombia (IDEAM), que se encuentra en el punto de muestreo: bocatomía Centenario.

A este respecto, utilizando los datos de la estación; se llevó a cabo un análisis comparativo no paramétrico de Kruskal-Wallis ( $p < 0,05$ ), que permitió identificar a febrero como un mes tradicionalmente seco y a noviembre como un mes húmedo. Con base en esto, el primer muestreo se llevó a cabo el 23 de febrero y el segundo muestreo se llevó a cabo el día 09 de noviembre de 2015. No obstante, vale la pena destacar que, a razón del gran inestabilidad del sistema acoplado Océano-Atmósfera, que afecta principalmente a los países tropicales, conocido como fenómeno del niño, el año de estudio fue excepcionalmente seco en la zona [41].

Al mismo tiempo, en los laboratorios de química de la Universidad Mariana, se llevaron a cabo las determinaciones de algunos parámetros fisicoquímicos de interés por su relación con la toxicidad de los sedimentos. A este respecto, se determinó el contenido de materia orgánica como porcentaje de MOT (%MOT), a través de la técnica colorimétrica de Walkley y Armstrong-Black [42].

Posteriormente, se determinó el pH de las muestras de sedimentos. Para ello, éstas fueron secadas a 105 °C por 24 h, en un horno *BINDER ED115*, luego se tamizaron con un tamiz Taylor (diámetro de partícula < 2 mm). A continuación, se mezcló la muestra seca con agua desionizada en relación 1:1 w/v y se agitó por 1 min. Luego, la muestra se sedimentó por 30 min y se repitió el proceso una vez más. Por último, se midió el pH de la suspensión resultante con una sonda multiparamétrica *EIJKELKAMP 0910* [6].

El siguiente punto fueron los ensayos ecotoxicológicos sobre las muestras de sedimento. Para ello, se llevaron a cabo bioensayos con bacterias bioluminiscentes *Vibrio fischeri*, los cuales fueron realizados por un laboratorio externo: Laboratorio de Investigaciones Ambientales de la Pontificia Universidad Javeriana de Cali. Éstos análisis, se realizan sobre extractos orgánicos de los sedimentos, usando un solvente no tóxico para las bacterias [6] con base en el método US EPA 3546 [43] y la norma ISO 11348-3:2007 [44].

Al respecto, debe señalarse que, los niveles de toxicidad sobre extractos orgánicos de sedimentos se clasifican con base en los valores de la  $EC_{50}$ , según la literatura científica, en: No Tóxico (NoTox), Marginalmente Tóxico (MaTox), Moderadamente Tóxico (MoTox) y Altamente Tóxico (HiTox) [45].

Por otra parte, para los análisis químicos, se usó cromatografía de gases acoplada a masas (GC-MS), cuyos ensayos se llevaron a cabo por un laboratorio externo certificado por el IDEAM: Universidad de Nariño de Pasto-Sección de Laboratorios, mediante un cromatógrafo de gases/espectrómetro de masas *Shi-*

*madzu QP2010S*; columna *Shimadzu SHRX15-MS*; fase móvil He UAP. En este punto vale la pena mencionar que, se manejó el detector selectivo de masas en modo de operación *full scan*, interface a 300 (para carbofuran) y a 280 (para organoclorados y organofosforados) e inyector *splitless* a 250 . Los análisis se llevaron a cabo mediante extracción en fase sólida a presión reducida a 30 y elución con acetato de etilo de alta pureza (para carbofuran) y n-hexano:acetona de alta pureza (para organofosforados y organoclorados).

Por último, se menciona que, en todos los casos los extractos orgánicos se conservaron a hasta el momento del análisis con inyección de  $1 \mu\text{L}$  al equipo GC-MS.

Posteriormente, se llevó a cabo una clasificación granulométrica de los sedimentos, utilizando el método hidrométrico de Bouyoucos. Este método permite determinar la distribución de las partículas elementales que componen los sedimentos, clasificándolos en tres grandes grupos: arena, limos y arcillas [46].

### 3. Resultados

En la Tabla 1, se presentan los puntos de muestreo, y los valores de las características fisicoquímicas de los sedimentos seleccionadas para este estudio: clasificación granulométrica, pH %MOT y Temperatura. Así mismo, se presentan el

caudal y la velocidad de la corriente. En general, los sedimentos presentaron un elevado contenido de arena, con un pH ligeramente neutro y bajo contenido de materia orgánica.

Por otra parte, en la Tabla 2, se presentan los resultados de toxicidad aguda de los bioensayos con *Vibrio fischeri* sobre las muestras de sedimentos reportados como  $EC_{50}$ , Unidades de Toxicidad (UT) y el criterio de toxicidad, asignado según la literatura técnica [6], [45]. La información obtenida, evidencia la presencia de toxicidad en los sedimentos.

Posteriormente, en lo referente a los resultados de los análisis GC-MS, en ningún punto y en ninguno de los periodos de muestreo, se alcanzaron niveles cuantificables de pesticidas organoclorados, organofosforados y carbamatos (carbofuran).

Ahora bien, el bajo contenido de materia orgánica podría estar asociado con la movilidad de los sedimentos debido a la alta velocidad de la corriente por resuspensión, así como con una elevada tasa de recambio del material orgánico entre el compartimiento sedimentos y la columna de agua adyacente, al igual que con una alta tasa de reaireación, por tratarse de un río de alta montaña; pues se reconoce que normalmente la materia orgánica y la fracción mineral fina tienen capacidad de sorción de agroquímicos o sus metabolitos [36], [39], [47].

**Tabla # 1.** Características fisicoquímicas de los sedimentos.

<b>Sitio de Muestreo</b>	<b>Tipo se Sedimento</b>	<b>% de arena</b>	<b>% de limo</b>	<b>% de arcilla</b>	<b>Textura</b>	<b>pH</b>	<b>%MOT</b>	<b>Temperatura (°C)</b>	<b>Caudal (m<sup>3</sup>/s)</b>	<b>Velocidad (m/s)</b>
La Playita*	Fluvial	87,0	1,0	12,0	Franco Arenoso	6,3	4,8	11,4	1,9	1,3
La Playita**	Fluvial	86,0	2,0	12,0	Franco Arenoso	6,5	2,2	15,3	0,9	0,6
Bocatoma Centenario*	Fluvial	85,0	1,0	14,0	Franco Arenoso	5,8	0,8	13,4	1,9	0,9
Bocatoma Centenario**	Fluvial	83,6	6,4	10,0	Franco Arenoso	7,1	3,7	15,6	0,8	0,4
Puente La Carolina*	Fluvial	87,0	1,0	12,0	Franco Arenoso	6,6	0,6	15,6	1,9	0,8
Puente La Carolina**	Fluvial	86,0	2,0	12,0	Franco Arenoso	7,2	0,4	17,3	1,0	0,4

\*. Periodo seco.

\*\*. Periodo húmedo.

Por otra parte, el pH de los sedimentos regula la biodisponibilidad de nutrientes, metales y compuestos orgánicos, así como el tipo y la actividad microbiana, además de la movilidad de los contaminantes hacia la columna de agua [47], [48]. Al respecto, solo por poner un ejemplo, la biodisponibilidad de algunos metales aumenta para valores de pH ácidos [48]. En este orden de ideas, posiblemente el pH puede estar influyendo en el fenómeno de sorción de la materia orgánica desde los sedimentos hacia la masa de agua adyacente o viceversa [39].

**Tabla # 2.** Resultados de los ensayos de toxicidad aguda.

Sitio de Muestreo	Respuesta de los ensayos de toxicidad aguda con <i>Vibrio fisheri</i> sobre muestras de extractos orgánicos de sedimentos		
	EC50 en % (V/V)	Unidades de Toxicidad (UT)	Criterio
La Playita	> 100*	0.010*	NoTox*
La Playita	58**	0.172**	MaTox**
Bocatoma Centenario	36*	0.028*	MaTox*
Bocatoma Centenario	27**	0.037**	MoTox**
Puente La Carolina	> 100*	0.010*	NoTox*
Puente La Carolina	12**	0.083**	HiTox**

\*. Periodo seco.

\*\* . Periodo húmedo.

De acuerdo con algunos investigadores, se puede inferir que la posible presencia de pesticidas en concentraciones no cuantificables por las técnicas o equipos usados en este estudio, estén relacionados con los bajos contenidos de materia orgánica,

la textura arenosa y el pH ligeramente neutro [6], [8], [39], [47].

En consecuencia, el fenómeno predominante podría ser el de flujo en corto circuito en los sedimentos, lo que afecta la tasa de descomposición, los contenidos de nutrientes y materia orgánica en este compartimiento ambiental, predominando los microcontaminantes en la masa de agua. Lo que permite considerar a los sedimentos en este tramo como sedimentos minerales. Además, esto podría estar asociado a la erosión de la cuenca y de las orillas, así como a la destrucción de bosques de ribera, cuya consecuencia sería el transporte de sólidos suspendidos y material particulado de la atmósfera. Al respecto, se sabe que el tamaño de partícula controla los fenómenos de sorción, y que la variación en el tamaño de partícula y su forma influyen en las características de su transporte. No obstante, la variación en la intensidad de contaminantes en los sedimentos puede ser usada para monitorear los impactos antropogénicos sobre el río Pasto [49].

A pesar de ello, los niveles variables de toxicidad, señalan que posiblemente debe considerarse la influencia de las técnicas de pretratamiento de las muestras antes de la inyección al GC-MS, así como los procedimientos de recolección, almacenamientos y manipulación de las muestras durante los muestreos y los análisis en el laboratorio, con el fin de controlar diversos fenómenos, por ejemplo: fotodegradación y volatilización, que pudieron de igual manera haber influido en los resultados obtenidos [39], [50], [51]. Al respecto, vale la pena mencionar que en la actualidad muchos estudios se concentran en estos aspectos [6], [8], [52], [53].

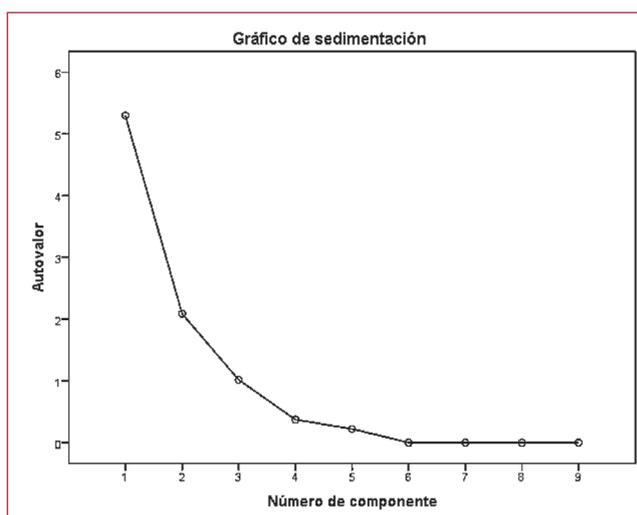
En este punto conviene decir que, la variación en la precipitación durante periodos húmedos y secos, puede influir sobre la transferencia de contaminantes entre las matrices agua/sedimentos, como lo señala la literatura técnica [6], [39], [47]. Algunas investigaciones sugieren que durante periodos de alta precipitación la cantidad de materia orgánica y residuos de plaguicidas o sus metabolitos sorbidos en los sedimentos es menor. Aunque la cuantificación de agroquímicos no se puede explicar concluyentemente por estos fenómenos [6], [39].

De igual manera, los niveles de toxicidad encontrados también sugieren la presencia de otras sustancias tóxicas asociadas a los vertimientos derivados de las actividades en la zona. Al respecto, la literatura sugiere: compuestos farmacéuticos, retardantes de llama, hidrocarburos aromáticos policíclicos y compuestos solubles no polares, tales como sales de metales pesados (adsorbidos en los sedimentos), entre otros [8], [10], [11], [23], [54].

Sobre la base de las consideraciones anteriores, se llevó a cabo un Análisis de

Componentes Principales (ACP), con el fin de analizar las relaciones entre la distribución granulométrica, pH, temperatura de los sedimentos y %MOT; así como el caudal y la velocidad de la corriente y la toxicidad hallada durante los periodos de estudio. Cabe indicar que, a razón de no encontrar niveles cuantificables de los plaguicidas de interés, éstos no se incluyeron en el análisis ACP.

En este orden de ideas, en primer lugar, se encontró un grado de correlación entre las variables propuestas () y las comunidades de interés en el ACP fueron: 96.0% (pH), 95.3% (%MOT), 97.3% (temperatura de sedimentos), 83.3% (caudal de la corriente), 98.8% (velocidad de la corriente), 98.0% (% de arena), 96.3% (% de limo), 96.9% (% de arcilla) y 79.6% (criterio de toxicidad aguda). Con base en esto, se consideró que las variables quedan bien explicadas por el modelo de ACP. En este orden de ideas, en la figura 3, se presenta la gráfica de sedimentación del análisis, donde se puede observar tres componentes principales que explican el 93.4% de la variabilidad.



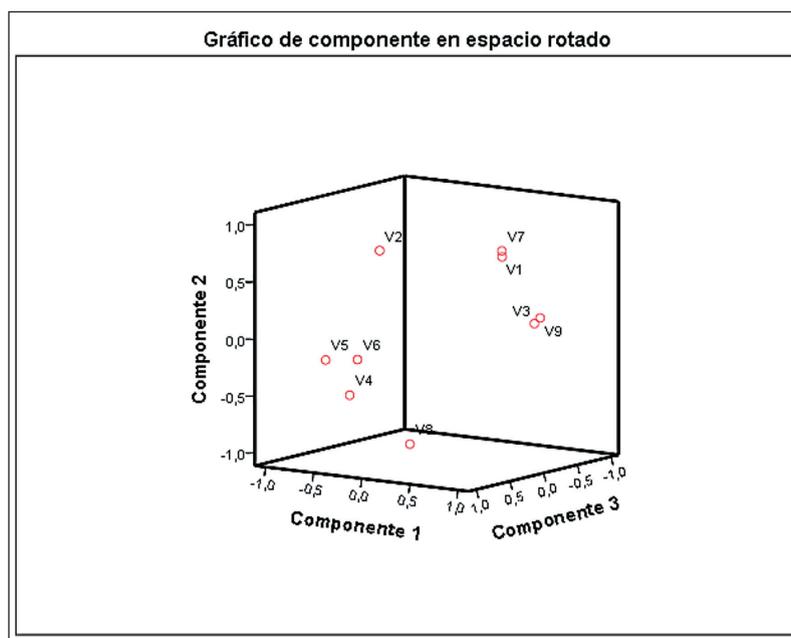
**Figura #3.** Grafica de sedimentación del ACP.

Por otra parte, en la figura 4, se presenta una gráfica de las variables que hacen parte de cada uno de los componentes. En la figura 4: V1 (pH), V2 (%MOT), V3 (temperatura de los sedimentos), V4 (caudal de la corriente), V5 (velocidad de la corriente), V6 (% de arena), V7 (% de limo), V8 (% de arcilla) y V9 (criterio de toxicidad).

Con base en lo anterior, se ha agrupado en el primer componente (C1) a las variables: pH, temperatura de sedimentos, criterio de toxicidad y % de limo; en el segundo componente (C2) a las variables: caudal de la corriente, velocidad de la corriente

te y % de arena; finalmente, en el tercer componente (C3) a las variables: %MOT y % de arcilla.

Al respecto, se puede inferir que posiblemente los niveles de toxicidad estén relacionados con material orgánico (no únicamente pesticidas) transportado como sólidos suspendidos, que pueden ingresar a la corriente como material particulado y por erosión de la cuenca, más que por transferencia entre las matrices agua/sedimentos, como lo sugiere la literatura científica, aunque esto no puede ser concluyente [47], [55], [56].



**Figura #4.** Gráfica de componentes en el espacio.

Al mismo tiempo, se puede inferir que probablemente los fenómenos de flujo en corto circuito son predominantes en los sedimentos de este tramo de la corriente, con bajas tasas de reacción y con predominancia de sedimentos minerales en las orillas (esto último, asociado con la velocidad de la corriente, por tratarse de un río de alta montaña); lo que puede

derivar en el transporte de pesticidas en la masa de agua, especialmente en periodos próximos a su aplicación y con elevada pluviosidad en analogía con estudios similares [8], [39], [47], [57]

En este contexto, posiblemente los mayores riesgos a la salud y a los ecosistemas en este tramo del río Pasto, derivados de

pesticidas, pueden asociarse a periodos de aplicación. Sin embargo, vale la pena que se considere continuar con este tipo de estudios en relación con pesticidas, con el fin de buscar resultados más concluyentes; así como con el estudio de otro tipo de COP's en la zona, dada la presencia de vertimientos domésticos y lixiviados. Llama la atención, especialmente el punto Bocatoma Centenario, debido especialmente, a la posibilidad de que tales sustancias o sus metabolitos, puedan franquear el sistema de tratamiento de agua en esta zona, entre otros posibles escenarios.

## Conclusiones

La técnica de bioensayos con bacterias *Vibrio fischeri*, permitió establecer niveles variables de toxicidad en los sedimentos de ribera del río Pasto en la cuenca alta durante el año 2015. En este contexto, según los resultados obtenidos se puede inferir que posiblemente la variación de la toxicidad en los sedimentos de ribera, podría estar asociada a las condiciones climáticas y al transporte de pesticidas en la masa de agua, más que en la inmovilización de éstos en los sedimentos, debido a su posible carácter de sedimentos minerales, la baja temperatura, pH neutro y bajo contenido de materia orgánica. Además, de las características hidráulicas de la corriente.

En relación con las actividades agropecuarias y vertimientos puntuales de aguas residuales domésticas y lixiviados en el tramo La Playita-Puente La Carolina del río Pasto, es posible que la concentración de plaguicidas no sea la principal causa de los niveles de toxicidad hallados, y

posiblemente podrían asociarse a otras sustancias como: compuestos farmacéuticos, retardantes de llama, hidrocarburos aromáticos policíclicos y metales pesados. En este orden de ideas, este trabajo abre la puerta para llevar a cabo un estudio más profundo en relación con la toxicidad de este importante tramo de esta corriente tan relevante para la región.

## Agradecimientos

Los autores agradecen al Programa de Ingeniería Ambiental de la Universidad Mariana por el apoyo económico, y a la Policía Nacional de Colombia, por brindar seguridad y acompañamiento durante las jornadas de muestreo.

## Referencias

- [1] S. Gyawali, K. Techato, C. Yuangyai, and C. Musikavong, "Assessment of Relationship between Land uses of Riparian Zone and Water Quality of River for Sustainable Development of River Basin, A Case Study of U-Tapao River Basin, Thailand," *Procedia Environ. Sci.*, vol. 17, pp. 291-297, 2013.
- [2] P. R. Pawar, "Monitoring of impact of anthropogenic inputs on water quality of mangrove ecosystem of Uran, Navi Mumbai, west coast of India.," *Mar. Pollut. Bull.*, vol. 75, no. 1-2, pp. 291-300, Oct. 2013.
- [3] S. Gabarrón, W. Gernjak, F. Valero, A. Barceló, M. Petrovic, and I. Rodríguez-Roda, "Evaluation of Emerging Contaminants in a Drinking Water Treatment Plant using Electrodialysis Reversal Technology.," *J. Hazard. Mater.*, vol. 309, pp. 192-201, Feb. 2016.

- [4] P. Torres, C. H. Cruz, and P. J. Patiño, "Índices de calidad de agua en fuentes superficiales utilizadas en la producción de agua para consumo humano. Una revisión crítica," *Revista Ingenierías Universidad de Medellín*, vol. 8, no. 15 Sup. 1, pp. 79–94, 2009.
- [5] A. Coz, O. Rodríguez-Obeso, R. Alonso-Santurde, M. Álvarez-Guerra, A. Andrés, J. R. Viguri, D. Mantzavinos, and N. Kalogerakis, "Toxicity bioassays in core sediments from the Bay of Santander, northern Spain.," *Environ. Res.*, vol. 106, no. 3, pp. 304–12, Mar. 2008.
- [6] W. Ocampo-Duque, J. Sierra, N. Ferré-Huguet, M. Schuhmacher, and J. L. Domingo, "Estimating the environmental impact of micro-pollutants in the low Ebro River (Spain): an approach based on screening toxicity with *Vibrio fischeri*," *Chemosphere*, vol. 72, no. 5, pp. 715–21, Jun. 2008.
- [7] W. A. Ocampo Duque, "On the development of decision-making systems based on fuzzy models to assess water quality in rivers." Universitat Rovira i Virgili, 03-Feb-2009.
- [8] R. Sarria-Villa, W. Ocampo-Duque, M. Páez, and M. Schuhmacher, "Presence of PAHs in water and sediments of the Colombian Cauca River during heavy rain episodes, and implications for risk assessment.," *Sci. Total Environ.*, vol. 540, pp. 455–65, Jan. 2016.
- [9] M. Widelka, M. J. Lydy, Y. Wu, and D. Chen, "Statewide surveillance of halogenated flame retardants in fish in Illinois, USA.," *Environ. Pollut.*, vol. 214, pp. 627–634, Apr. 2016.
- [10] V. Osorio, A. Larrañaga, J. Aceña, S. Pérez, and D. Barceló, "Concentration and risk of pharmaceuticals in freshwater systems are related to the population density and the livestock units in Iberian Rivers.," *Sci. Total Environ.*, vol. 540, pp. 267–77, Jan. 2016.
- [11] K. Karlsson, M. Viklander, L. Scholes, and M. Revitt, "Heavy metal concentrations and toxicity in water and sediment from stormwater ponds and sedimentation tanks.," *J. Hazard. Mater.*, vol. 178, no. 1–3, pp. 612–8, Jun. 2010.
- [12] R. J. Strong, C. J. Halsall, M. Ferencik, K. C. Jones, R. F. Shore, and F. L. Martin, "Biospectroscopy reveals the effect of varying water quality on tadpole tissues of the common frog (*Rana temporaria*).," *Environ. Pollut.*, vol. 213, pp. 322–337, Feb. 2016.
- [13] N. Roig, J. Sierra, M. Nadal, I. Moreno-Garrido, E. Nieto, M. Hampel, E. P. Gallego, M. Schuhmacher, and J. Blasco, "Assessment of sediment ecotoxicological status as a complementary tool for the evaluation of surface water quality: the Ebro river basin case study.," *Sci. Total Environ.*, vol. 503–504, pp. 269–78, Jan. 2015.
- [14] M. L. Feo, A. Ginebreda, E. Eljarrat, and D. Barceló, "Presence of pyrethroid pesticides in water and sediments of Ebro River Delta," *J. Hydrol.*, vol. 393, no. 3–4, pp. 156–162, Nov. 2010.
- [15] B. Rubio, L. Gago Duport, F. Vilas, M. A. Nombela Castaño, S. García Gil, I. Alejo, and O. Pazos, "Interpretación de tendencias históricas de contaminación por metales pesados en testigos de sedimentos de la ría de Pontevedra," *Thalassas: An international journal of marine sciences*, vol. 12, no. 1. Servicio de Publicaciones, pp. 137–152, 1996.
- [16] X. Seguí, E. Pujolasus, S. Betrò, A. Agueda, J. Casal, W. Ocampo-Duque, I. Rudolph, R. Barra, M. Páez, E. Barón, E.

- Eljarrat, D. Barceló, and R. M. Darbra, "Fuzzy model for risk assessment of persistent organic pollutants in aquatic ecosystems.," *Environ. Pollut.*, vol. 178, pp. 23-32, Jul. 2013.
- [17] U. S. McKnight, J. J. Rasmussen, B. Kronvang, P. J. Binning, and P. L. Bjerg, "Sources, occurrence and predicted aquatic impact of legacy and contemporary pesticides in streams.," *Environ. Pollut.*, vol. 200, pp. 64-76, May 2015.
- [18] M. Younes and H. Galal-Gorchev, "Pesticides in drinking water--a case study.," *Food Chem. Toxicol.*, vol. 38, no. 1 Suppl, pp. S87-90, Jan. 2000.
- [19] R. Gwiazda, C. K. Paull, W. Ussler, and C. R. Alexander, "Evidence of modern fine-grained sediment accumulation in the Monterey Fan from measurements of the pesticide DDT and its metabolites," *Mar. Geol.*, vol. 363, pp. 125-133, May 2015.
- [20] J. Jiang, A. Sharma, B. Sivakumar, and P. Wang, "A global assessment of climate-water quality relationships in large rivers: an elasticity perspective.," *Sci. Total Environ.*, vol. 468-469, pp. 877-91, Jan. 2014.
- [21] A. Roustan, M. Aye, M. De Meo, and C. Di Giorgio, "Genotoxicity of mixtures of glyphosate and atrazine and their environmental transformation products before and after photoactivation.," *Chemosphere*, vol. 108, pp. 93-100, Aug. 2014.
- [22] S. A. Dar, A. R. Yousuf, M.-H. Balkhi, F. A. Ganai, and F. A. Bhat, "Assessment of endosulfan induced genotoxicity and mutagenicity manifested by oxidative stress pathways in freshwater cyprinid fish crucian carp (*Carassius carassius* L.)," *Chemosphere*, vol. 120, pp. 273-83, Feb. 2015.
- [23] P. Montuori, S. Aurino, F. Garzonio, and M. Triassi, "Polychlorinated biphenyls and organochlorine pesticides in Tiber River and Estuary: Occurrence, distribution and ecological risk," *Sci. Total Environ.*, vol. 571, pp. 1001-1016, 2016.
- [24] C. Cruzeiro, E. Rocha, M. Â. Pardal, and M. J. Rocha, "Environmental assessment of pesticides in the Mondego River Estuary (Portugal)," *Mar. Pollut. Bull.*, vol. 103, no. 1, pp. 240-246, 2016.
- [25] N. de Castro-Català, M. Kuzmanovic, N. Roig, J. Sierra, A. Ginebreda, S. Pérez, M. Petrovic, Y. Picó, and I. Muñoz, "Ecotoxicity of sediments in rivers: Invertebrate community, toxicity bioassays and the toxic unit approach as complementary assessment tools," *Sci. Total Environ.*, vol. 540, pp. 297-306, 2016.
- [26] S. H. A. Hassan, S. W. Van Ginkel, M. A. M. Hussein, R. Abskharon, and S.-E. Oh, "Toxicity assessment using different bioassays and microbial biosensors," *Environ. Int.*, vol. 92, pp. 106-118, 2016.
- [27] E. A. Widder, "Bioluminescence in the ocean: origins of biological, chemical, and ecological diversity.," *Science*, vol. 328, no. 5979, pp. 704-8, May 2010.
- [28] M. T. Cronin and T. W. Schultz, "Structure-toxicity relationships for three mechanisms of action of toxicity to *Vibrio fischeri*," *Ecotoxicol. Environ. Saf.*, vol. 39, no. 1, pp. 65-9, Jan. 1998.
- [29] F. Tobón M and L. López G, "Genotoxicity of water contaminated by plaquicidas in an area of Antioquia," *Rev. MVZ Córdoba*, vol. 16, no. 2, pp. 2605-2615, 2011.
- [30] J. Vilorio-De la Hoz, *Economía del Departamento de Nariño: Ruralidad y aislamiento geográfico*. Banco de la República, 2007.

- [31] F. R. Mafla Chamorro, "Cuantificación de los impactos de la urbanización en el macro drenaje de la cuenca del río Pasto, Nariño, Colombia." Universidad Nacional de Córdoba. Facultad de Ciencias Exactas, Físicas y Naturales., 2015.
- [32] G. L. C. Calvachi, F. M. Chamorro, M. L. L. Martinez, and C. L. D. Villa, "Simulación de La Calidad del Agua en La Quebrada Chapal UNA APLICACIÓN DEL MODELO QUAL 2K," *Revista UNIMAR*, vol. 27, no. 1. 27-Mar-2014.
- [33] M. L. López-Martínez, "Determinación de la calidad del agua del río pasto mediante la utilización de bioindicadores," *Rev. UNIMAR*, no. 52, pp. 35-43, 2009.
- [34] C. A. García Ubaque, J. C. García Ubaque, and M. L. Vaca Bohórquez, "Persistent organic pollutants in Colombia: quantification and diagnosis for organochlorine pesticides," *Tecnura*, vol. 19, no. 43, pp. 163-169.
- [35] CORPONARIÑO, "Plan de ordenación del río Pasto," 2011.
- [36] M. L. López Martinez, D. F. Galindo Gonzáles, and G. D. Romo Moreno, "Determinación de la Constante de Desoxigenación por Demanda Béntica en el Río Pasto," *Criterios*, pp. 59-73, 2009.
- [37] H. Stiborova, M. Kolar, J. Vrkoslavova, J. Pulkrabova, J. Hajslova, K. Demnerova, and O. Uhlík, "Linking toxicity profiles to pollutants in sludge and sediments," *J. Hazard. Mater.*, vol. 321, pp. 672-680, 2017.
- [38] C. M. Alonso-Hernández, I. Tolosa, M. Mesa-Albernas, M. Díaz-Asencio, J. A. Corcho-Alvarado, and J. A. Sánchez-Cabeza, "Historical trends of organochlorine pesticides in a sediment core from the Gulf of Batabanó, Cuba," *Chemosphere*, vol. 137, pp. 95-100, 2015.
- [39] F. Masís, J. Valdez, T. Coto, and S. León, "Residuos De Agroquímicos En Sedimentos De Ríos, Poás, Costa Rica," *Agron. Costarric.*, vol. 32, no. 1, pp. 1-12, 2008.
- [40] R. Villares, X. Puente, and A. Carballeira, "Heavy Metals in Sandy Sediments of the Rías Baixas (NW Spain)," *Environ. Monit. Assess.*, vol. 83, no. 2, pp. 129-144.
- [41] "Fenómeno del Niño podría llegar hasta marzo del 2016," *Diario El tiempo*, Bogotá. D.C., 27-Aug-2015.
- [42] A. Walkley and I. Armstrong-Black, "An examination of the Degtjareff method for determinig soil organic matter, and a proposed modification of the chromic acid titration method," *Soil Sci.*, vol. 37, no. 1, pp. 29-38, 1934.
- [43] US EPA, "US EPA SW-846 Test Method 3546: Microwave Extraction," 2007.
- [44] ISO 11348-3:2007, "Water quality — Determination of the inhibitory effect of water samples on the light emission of *Vibrio fischeri* (Luminescent bacteria test) — Part 3: Method using freeze-dried bacteria."
- [45] M. Bombardier and N. Bermingham, "The SED-TOX index: Toxicity-directed management tool to assess and rank sediments based on their hazard-concept and application," *Environ. Toxicol. Chem.*, vol. 18, no. 4, pp. 685-698, Apr. 1999.
- [46] G. J. Bouyoucos, "A rapid method for mechanical analysis of soils.," *Science*, vol. 65, no. 1692, pp. 549-51, Jun. 1927.
- [47] J. J. Ramírez-R and J. F. Noreña, "Caracterización del sedimento de una laguna tropical rasa," *Caldasia*, vol. 26, no. 1, pp. 173-184, 2004.
- [48] J. C. Aciego Pietri and P. C. Brookes, "Relationships between soil pH and

- microbial properties in a UK arable soil," *Soil Biol. Biochem.*, vol. 40, no. 7, pp. 1856-1861, 2008.
- [49] B. Tansel and S. Rafiuddin, "Heavy metal content in relation to particle size and organic content of surficial sediments in Miami River and transport potential," *Int. J. Sediment Res.*, vol. 31, no. 4, pp. 324-329, 2016.
- [50] V. Naddeo, T. Zarra, and V. Belgiorno, "Optimization of sampling frequency for river water quality assessment according to Italian implementation of the EU Water Framework Directive," *Environ. Sci. Policy*, vol. 10, no. 3, pp. 243-249, May 2007.
- [51] Y. Wang, J. M. Wilson, and J. M. VanBriesen, "The effect of sampling strategies on assessment of water quality criteria attainment.," *J. Environ. Manage.*, vol. 154C, pp. 33-39, Feb. 2015.
- [52] E. Concha-Graña, G. Fernández-Martínez, V. Fernández-Villarrenaga, M. I. Turnes-Carou, S. Muniategui-Lorenzo, P. López-Mahía, and D. Prada-Rodríguez, "A study of large-volume on-column injection GC-ECD for the ultratrace analysis of organochlorine pesticides in water," *Talanta*, vol. 78, no. 3, pp. 764-771, 2009.
- [53] E. Concha-Graña, M. I. Turnes-Carou, S. Muniategui-Lorenzo, P. López-Mahía, E. Fernández-Fernández, and D. Prada-Rodríguez, "Optimisation of a programmed split-splitless injector in the gas chromatographic-mass spectrometric determination of organochlorine pesticides.," *J. Chromatogr. A*, vol. 958, no. 1-2, pp. 17-24, Jun. 2002.
- [54] L. M. Jaacks and L. R. Staimez, "Association of persistent organic pollutants and non-persistent pesticides with diabetes and diabetes-related health outcomes in Asia: A systematic review.," *Environ. Int.*, vol. 76, pp. 57-70, Mar. 2015.
- [55] P. Zhao, X. Xia, J. Dong, N. Xia, X. Jiang, Y. Li, and Y. Zhu, "Short- and long-chain perfluoroalkyl substances in the water, suspended particulate matter, and surface sediment of a turbid river," *Sci. Total Environ.*, vol. 568, pp. 57-65, 2016.
- [56] C. Rivetti, C. Gómez-Canela, S. Lacorte, S. Díez, W. L. Lázaro, and C. Barata, "Identification of compounds bound to suspended solids causing sub-lethal toxic effects in *Daphnia magna*. A field study on re-suspended particles during river floods in Ebro River," *Aquat. Toxicol.*, vol. 161, pp. 41-50, 2015.
- [57] R. M. Gersberg, D. Daft, and D. Yorkey, "Temporal pattern of toxicity in runoff from the Tijuana River Watershed," *Water Res.*, vol. 38, no. 3, pp. 559-568, 2004.