



UNIVERSIDAD DE ESPECIALIDADES ESPÍRITU SANTO

**FACULTAD DE ARTES LIBERALES Y CIENCIAS DE LA EDUCACIÓN "ALBERT
EYDE"**

**ANÁLISIS DE LA PRESENCIA DE COMPUESTOS NITROGENADOS EN LOS
SEDIMENTOS DEL ESTERO SAN CAMILO**

**TRABAJO DE TITULACIÓN QUE SE PRESENTA COMO REQUISITO PREVIO A
OPTAR EL GARDO DE INGENIERÍA EN GESTIÓN AMBIENTAL**

AUTORA: María Daniela Limongi Izaguirre

TUTORA: Blga. Maritza Cárdenas Calle (MSc.)

SAMBORONDÓN, ENERO, 2016

ANÁLISIS DE LA PRESENCIA DE COMPUESTOS NITROGENADOS EN LOS SEDIMENTOS
DEL ESTERO SAN CAMILO

DEDICATORIA

“La inteligencia es la capacidad de adaptarse a los cambios”

Stephen Hawking

Dedico este trabajo de investigación a Dios por brindarme sabiduría y dedicación, a mis padres en especial a mi mami, por su apollo económico y emocional.

ANÁLISIS DE LA PRESENCIA DE COMPUESTOS NITROGENADOS EN LOS SEDIMENTOS DEL ESTERO SAN CAMILO

RECONOCIMIENTO

Agradezco al Dr. Luis Trocoli, investigador prometeo del Instituto Nacional de Pesca por su aporte en el análisis de ANOVA, a Oscar Dueñas por su ayuda en el proceso para la realización de esta investigación y Alejandra Mora por la ayuda para desarrollar el abstract.

ANÁLISIS DE LA PRESENCIA DE COMPUESTOS NITROGENADOS EN LOS SEDIMENTOS DEL ESTERO SAN CAMILO

Análisis de la presencia de compuestos nitrogenados en los sedimentos del Estero San Camilo

María Daniela Limongi Izaguirre

mdlimongi@uees.edu.ec (Facultad de Artes Liberales y Ciencias de la Educación-
Escuela de Ciencias Ambientales, Universidad de Especialidades Espíritu Santo, Km.
2,5 Vía Puntilla Samborondón)

Resumen

En la provincia del Guayas se encuentra la mayor población urbana del Ecuador con 3.645.483 habitantes y su ubicación geográfica ha favorecido su producción en sus diversos cantones como lo es el cantón Durán. Debido a las actividades antrópicas, principalmente al urbanismo y al desarrollo agrícola e industrial, se han alterado las condiciones normales de los ecosistemas acuáticos. En este trabajo se evaluó la presencia de nitratos, nitritos y amonio en los sedimentos del Estero San Camilo en noviembre de 2015. Se muestrearon cuatro estaciones considerando la principal actividad productiva del área, en cada sitio se colectaron tres réplicas mediante el uso de la draga Van Veen. Se registraron variaciones espaciales de las concentraciones de los compuestos nitrogenados. Los nitratos (66,30 mg/Kg) y nitritos (0,87 mg/Kg) presentaron las mayores concentraciones promedios en la estaciones con asentamientos urbanos. Mientras que el amonio presentó los valores más altos en la estación con mayor influencia de aportes de zonas agrícolas. Se observaron diferencias significativas con un $p < 0.05$ en las concentraciones de los compuestos nitrogenados, las estaciones más similares fueron la 2 y 3, caracterizadas por la cercanía a asentamientos urbanos y el análisis de componentes principales mostraron que el 96.8% de la variabilidad entre las estaciones se explica por los parámetros amonio y nitritos.

Palabras claves: Nitrógeno, contaminación, sedimento, urbanismo

Abstract

Guayas Province holds Ecuador's largest urban population, with 3.645.483 inhabitants. This fact, as well as its geographical location, has triggered high levels of production in its regions, such as the case of Duran Canton. Factors like urbanism as well as agricultural and industrial development have altered the original and normal conditions of estuaries and other aquatic ecosystems. This paper presents the first evaluation of the presence of nitrites, nitrates and ammonium in San Camilo Estuary's sediments during November 2015. Four stations were studied according to the economic activities developing at each zone. Three replicates of sediments sample were collected by Van Veen dredge. Results were a spatial variations of concentrations of nitrogen compounds was recorded. Nitrates (66.30 mg / kg) and nitrite (0.87 mg / kg) had the highest average concentrations in urban settlements stations. While the ammonium had the highest values in the station most influential contributions of agricultural areas. Significant differences with $p < 0.05$ in the concentrations of nitrogen compounds were observed, the most similar stations 2 and 3 were characterized by proximity to urban settlements and principal component analysis showed that 96.8% of the variability among stations for the ammonium and nitrite variables explained.

Keywords: Nitrogen, pollution, sediment, urban planning

ANÁLISIS DE LA PRESENCIA DE COMPUESTOS NITROGENADOS EN LOS SEDIMENTOS DEL ESTERO SAN CAMILO

Introducción

El impacto de las actividades humanas en ecosistemas acuáticos contribuyen al deterioro de la calidad del agua alterando sus condiciones bioquímicas, aumentando la demanda bioquímica de oxígeno, disminuyendo la concentración del oxígeno disuelto, con la presencia de contaminantes persistentes como metales pesados, hidrocarburos, por hipernitrificación del sistema acuático, entre otros (Ji, 2008; CAAM, 1996). La gran mayoría de efectos producidos se debe al aporte de aguas industriales no tratadas que son vertidas directamente a ríos y estuarios, a la erosión de las costas, el aumento de asentamientos urbanos no planificados que contribuyen con la emisión de residuos domésticos. Lo que ha originado la pérdida de la diversidad biológica a nivel de fitoplancton, zooplancton, invertebrados y peces (Consesa & Lenzi, 2010), cambios en la estructura comunitaria de las comunidades biológicas y desarrollo de especies invasoras (Blondel, Aronson & Bodiou, 2010).

En los últimos cincuenta años la población mundial se ha duplicado, alcanzando los 7 millones de habitantes, así la población ecuatoriana tiene 16.160.980 habitantes (INEC, 2015). Con ello se ha incrementado la demanda de alimentos, la expansión de áreas agrícolas (7 millones de hectáreas), siendo unas de las principales actividades productivas que sustenta la economía ecuatoriana. Entre los principales cultivos que se desarrollan en el país son el cacao, banano, arroz, árboles frutales, arboles maderables, palma africana entre otros (INEC, 2015).

Para acelerar el crecimiento de los cultivos se usan las sustancias nitrogenadas como la urea para fertilizar el suelo, herbicidas, insecticidas y plaguicidas para combatir las plagas (clorofenoles, nitrofenoles, bórax) (Ioris, 2012). Sin embargo estos compuestos constituyen uno de los principales factores contaminantes de los cuerpos hídricos rosas frescas, cacao, aceite de palma, entre otros (Ministerio de Comercio Exterior, 2015).

ANÁLISIS DE LA PRESENCIA DE COMPUESTOS NITROGENADOS EN LOS SEDIMENTOS DEL ESTERO SAN CAMILO

Además, la mejora de tecnologías para la creación de nuevas industrias y para el desarrollo de construcciones civiles para viviendas y demás actividades como la fabricación de pinturas, envases metálicos, adoquines de hormigón, productos agroquímicos, productos farmacéuticos, metal mecánica, balanceados, aportan como otra fuente de nitrógeno (INEC, 2015)(Guzmán-Colis et al., 2011). El aumento de las concentraciones de nitrógeno en el agua provocan la eutrofización, generando un crecimiento excesivo de fitoplancton con la consecuente reducción de la zona fótica y disminución del oxígeno disuelto debido al aumento de oxidación de nutrientes (Pailama, 2012).

En el Ecuador, se han evidenciado efectos por el aumento de compuestos nitrogenados como floraciones algales, reducción de la transparencia del agua, procesos anaeróbicos que desarrollan malos olores generando un aumento en los costos de gestiones correctivas (biorremediación con biodigestores, aumento de humedales artificiales, etc.) para reducir las concentraciones excesivas del nitrógeno (Benjumea, Bedoya & Álvarez, 2014).

Uno de los cantones de la provincia del Guayas con un mayor crecimiento industrial es el cantón Eloy Alfaro o Durán, se encuentra ubicado en las riberas del río Guayas y Babahoyo a 4 km de la ciudad de Guayaquil. Tiene un área de 311.68 km², de los cuales 58,6 Km² corresponden a la zona urbana y 253.08 Km² a la zona rural, posee una población de 253.769 habitantes (INEC, 2015). Actualmente, es considerado uno de los territorios con mayor demanda para la instalación de industrias, tanto nacionales como internacionales principalmente dedicadas a la fabricación de: pinturas, envases metálicos, adoquines de hormigón, productos agroquímicos, productos farmacéuticos, metal mecánica, balanceados, etc.; cuyos componentes tienen bases nitrogenadas (CAAN, 1996). En el cantón se han asentado industrias reconocidas a nivel nacional que poseen un gran volumen de producción tales como: Procesadora Nacional de Alimentos (PRONACA), Productora Cartonera S.A.

ANÁLISIS DE LA PRESENCIA DE COMPUESTOS NITROGENADOS EN LOS SEDIMENTOS DEL ESTERO SAN CAMILO

(PROCARSA), PLASTIGAMA, entre otros (Páez, 2011). Siendo el Estero San Camilo uno de los cuerpos de agua presentes en esta localidad.

El Estero San Camilo se encuentra ubicado al noroeste de Durán y es parte del sistema hidrográfico de la importante cuenca del Río Guayas, que está formado por numerosos ríos, riachuelos que le proporcionan de una gran riqueza ictiológica a la provincia (Paez, 2011).

La calidad del agua de la cuenca del Río Guayas esta en constante deterioro (Cárdenas, 2013), ya que una gran cantidad de contaminantes ingresan, en especial desechos domésticos e industriales que aumentan las concentraciones de nitrógeno, fósforo, coliformes fecales, virus entéricos, así como la presencia de blanqueadores y cloramidas (Callejas & Ormaza, 1993). Es importante mencionar que a pesar de que el Estero San Camilo recibe aportantes que provienen de zonas agrícolas y de áreas de crecimiento urbano con descargas industriales (Cobeña, 2015), los estudios preliminares en este ecosistema se han realizado únicamente en el agua dejando de lado los análisis de sedimentos, que resulta importante debido a la capacidad de los mismos para acumulación de contaminantes persistentes y a su menor tiempo de resiliencia, por lo tanto el sedimento podría ser un indicador de calidad más afianzado. Este estudio analiza las concentraciones de compuestos nitrogenados presentes en los sedimentos del estero San Camilo, donde a pesar de las evidentes actividades productivas no existe información de la calidad ni cantidad de sustancias nitrogenadas en los sedimentos del mismo.

Fundamentación teórica

Los ecosistemas acuáticos se encuentran normalmente en equilibrio entre los componentes bióticos y abióticos. Sin embargo, este balance ha sido modificado al alterar las concentraciones de los componentes existentes o al integrar nuevos elementos, estos cambios se dan por acciones tanto naturales como antropogénicas (Velasquez, 2011). Estas acciones

ANÁLISIS DE LA PRESENCIA DE COMPUESTOS NITROGENADOS EN LOS SEDIMENTOS DEL ESTERO SAN CAMILO

antropogénicas tienen normalmente como consecuencia procesos contaminantes en dichos ecosistemas, cuyo origen puede ser muy diverso, de los que se destacan dos tipos de fuentes; por un lado las puntuales cuyo origen está geográficamente bien delimitado, por esta razón resulta sencillo realizar un seguimiento de estas, por ejemplo las descargas industriales. Por otro lado existen las fuentes difusas, entre las que se pueden destacar la escorrentía de las zonas urbanas y agrícolas. Estas fuentes difusas provocan normalmente la alteración de áreas extensas y son difíciles de controlar (Argota-Pérez, Argota-Coello & Fernández-Heredia, 2014).

Uno de los problemas más comunes en ecosistemas acuáticos, son los asociados al exceso de compuestos nitrogenados, siendo sus formas iónicas de nitrógeno inorgánico el amonio (NH_4^+), el nitrito (NO_2^-) y el nitrato (NO_3^-), los mismos que proceden de fenómenos naturales como descomposición de la materia orgánica, fijación de nitrógeno por procariontes, escorrentías superficiales y subterráneas, disolución de depósitos geológicos ricos en nitrógeno, deposición atmosférica (Camargo & Alonso, 2007); tormentas eléctricas donde grandes cantidades de nitrógeno son oxidadas a N_2O_5 y su unión con el agua produce HNO_3 que es transportado a la tierra por la lluvia (Sawyer, McCarty & Parkin, 2001). Otra fuente de emisión son los originados de fuentes antropogénicas derivadas de fuentes puntuales y difusas.

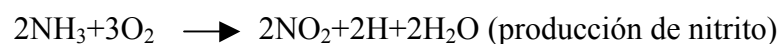
Entre las principales fuentes puntuales de emisión de nitrógeno se encuentran las aguas residuales industriales, municipales y de origen doméstico que son descargadas sin ningún tratamiento a un cuerpo hídrico sea este un río, lago, estuario u océano; los residuos derivados de actividades de acuicultura, piscifactorías, criaderos de animales; filtraciones de botaderos municipales (Camargo & Alonso, 2007). Mientras que las fuentes difusas provienen de descargas de aguas industriales, actividades agrícolas, procesos de escorrentías e

ANÁLISIS DE LA PRESENCIA DE COMPUESTOS NITROGENADOS EN LOS SEDIMENTOS DEL ESTERO SAN CAMILO

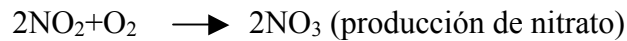
infiltración de praderas y bosques quemados, uso de fertilizantes, emisiones atmosféricas de combustibles fósiles que se depositan sobre las aguas superficiales (Camargo & Alonso, 2007) ingresando al ecosistema acuático. Entre los principales efectos del aumento de compuestos nitrogenados en cuerpos hídricos son la acidificación de ríos y lagos con baja alcalinidad, eutrofización, aumento de algas tóxicas, toxicidad hacia la fauna acuática.

El nitrógeno se encuentra químicamente en forma orgánica e inorgánica, esta última forma química se encuentra mayoritariamente biodisponible en comparación al nitrógeno orgánico que está asociado al carbono, por esta razón las formas orgánicas requieren ser mineralizadas antes de estar biodisponibles. En aguas naturales, las principales formas de nitrógeno presente no sólo incluyen al ion Nitrato (NO_3^-), ion Nitrito (NO_2^-), ion amonio (NH_4^+), sino también al nitrógeno gaseoso disuelto (NO_2), gas amoniacal disuelto (NH_3). La química del nitrógeno es compleja ya que a pesar del alto porcentaje de nitrógeno presente en forma gaseosa (78% de los gases atmosféricos), sólo un pequeño grupo de organismos como las bacterias (Eubacterias y Archaeas) y algas verde azuladas (cianofitas) son capaces de oxidar y fijar el nitrógeno en condiciones aeróbicas o anaeróbicas para que pueda ser aprovechado por otros organismos (Pérez-Peláez, Peña-Varón & Sanabria, 2011). Y otras bacterias son capaces de regresarlo a la atmósfera mediante la desnitrificación (Ji, 2008).

La importancia que tienen los compuestos nitrogenados radica no sólo en la generación de proteína sino también en la determinación de la calidad del agua, que se ve afectada por la acción de las bacterias nitrosomona y nitrobacter (Sawyer, McCarty & Parkin, 2001), cuyas acciones forman parte del ciclo del nitrógeno al generar las siguientes reacciones químicas:



ANÁLISIS DE LA PRESENCIA DE COMPUESTOS NITROGENADOS EN LOS SEDIMENTOS DEL ESTERO SAN CAMILO



No obstante el exceso de las concentraciones del nitrógeno orgánico puede provocar problemas en los cuerpos de agua como: La oxidación del NH_4 en NO_3 , donde durante la nitrificación hay consumo de oxígeno, lo que contribuye al agotamiento del mismo; así también las altas concentraciones de NH_3 no ionizadas pueden ser tóxicas para la vida acuática; (Ji, 2008; Palaima, 2012).

En relación a la calidad del agua, la eutrofización que es un fenómeno natural que en condiciones normales toma cientos de años, pero que es acelerado por el aporte de nutrientes como el nitrógeno y el fósforo, provenientes del urbanismo y crecimiento industrial, entre otros; produciendo un enriquecimiento acelerado de las aguas que no pueden ser compensado por la mineralización total, generando el excesivo crecimiento algal debido a la abundancia del nitrógeno, reduciendo la zona fótica del cuerpo de agua y afectando la disponibilidad de oxígeno disuelto, necesario para la supervivencia de los organismos (Ji, 2008; Carneiro, Andreoli & Cunha, 2014). Así mismo, la actividad agrícola depende de fertilizantes para mantener cosechas rentables y con ello las escorrentías de vertidos agrícolas llegan cargadas de fertilizantes y pesticidas (urea, muriato de potasio, fosfato dinámico, nitrofenoles, clorofenoles, entre otros) a los ríos y estuarios; lo que altera su equilibrio (Craig, Vaughan & Skinner, 2012) o afecta la salud humana.

Actualmente, una de las tecnologías más utilizada para la remoción del nitrógeno y fósforo de las aguas residuales, de uso doméstico o industrial que vienen altamente cargadas de amoníaco no ionizado e ión amonio (Espinosa-Lloréns, León-Hernández & Rodríguez-Petit, 2013), es el aprovechamiento de la vegetación acuática (fitorremediación) y el uso de microorganismos (biorremediación) creando humedales artificiales a las salidas de los puntos de descarga de las aguas residuales; donde las plantas y microorganismos cumplen sus

ANÁLISIS DE LA PRESENCIA DE COMPUESTOS NITROGENADOS EN LOS SEDIMENTOS DEL ESTERO SAN CAMILO

funciones al fijar estos elementos en sus raíces y los asimilan como nutrientes mediante la absorción y la metabolización (Pérez et al., 2012; Saldarriaga, Hoyos & Correa, 2011).

En la provincia del Guayas uno de los principales ecosistemas acuáticos afectados por el aporte de nutrientes es el río Daule donde las concentraciones de nitrógeno en sus aguas superan las concentraciones recomendadas para prevenir afloraciones masivas de cianobacterias (G.A.D. Guayas, 2012). Así también el estudio realizado por el Instituto Nacional de Pesca (INP) durante 1993 en el Río Guayas, registró altas concentraciones de nitratos con rangos entre 2,21 y 44,27 mg/Kg; nitritos entre 0,04-50,07 mg/Kg y amonio entre 1,64-38,64 mg/Kg, originadas por las actividades agrícolas, industriales y urbanas (Suéscum et al., 1996). Los valores de nitratos exhibieron un comportamiento de tipo estacional presentando valores altos en la época lluviosa.

A nivel de estuarios en el 2009 se ha registrado en el canal de acceso al Puerto de Guayaquil valores promedios de nitratos de 2,45 mg/l, a nivel de las aguas superficiales. Mientras que en las aguas de fondo se registraron valores promedio de 2,64 mg/l, muestreados en nueve estaciones. Mostrando una variación a nivel de la profundidad del cuerpo hídrico donde las concentraciones más altas se dieron en el fondo. Así también estos datos muestran un incremento en relación al muestreo realizado en el 2008 (CEMA, 2009).

Mientras que estudios de compuestos nitrogenados, metales pesados, e hidrocarburos en sedimentos estuarinos en la provincia del Guayas son escasos, así uno de ellos realizado en noviembre del 2009 registró las concentraciones más altas de nitratos y nitritos en la zona de Cuarentena del Puerto de Guayaquil con valores de 0,8 mg/Kg para nitratos y 0,48 mg/Kg para nitritos (Cárdenas, 2010).

ANÁLISIS DE LA PRESENCIA DE COMPUESTOS NITROGENADOS EN LOS SEDIMENTOS DEL ESTERO SAN CAMILO

En el Estero San Camilo no existe información disponible sobre la presencia de compuestos nitrogenados en las aguas ni en sedimentos. Sin embargo existen pocos estudios que dan indicios de alteraciones en el medio acuático debido a que se ha reportado en el 2014 parámetros fuera de norma en sus aguas, como el oxígeno disuelto que presentó concentraciones de 3,49-3,56 mg/L, valores inferiores a los exigidos en la normativa nacional vigente (5 mg/L) (Cobeña, 2015). Además, se ha evidenciado que la calidad de agua del estero presenta una situación muy crítica debido a los pulsos de contaminación orgánica reflejada en la aplicación del índice biótico BMWP usado para evaluar la calidad de las aguas mediante el uso de la sensibilidad de macroinvertebrados acuáticos como bioindicadores de contaminación orgánica realizado en el 2013 por el Gobierno Autónomo Descentralizado del Guayas (Cárdenas, 2013).

De ahí la importancia de este trabajo que contribuye al conocimiento sobre la calidad de los sedimentos del Estero San Camilo, que sirva de referencia para que los tomadores de decisiones del manejo ambiental en la provincia del Guayas puedan hacer un manejo sustentable de este ecosistema.

Metodología

La presente investigación se basa en el método científico cartesiano que postula la duda fundamentada en el análisis y síntesis de los problemas. Además, el tipo de investigación a utilizarse fue exploratorio de tipo transeccional de paradigma positivista y con enfoque cuantitativo (Bernal, 2010; Hernández et al., 2010). Se usó un diseño de muestreo no probabilístico por juicio para definir las estaciones de estudio dependiendo de las actividades productivas (presencia de industrias y asentamientos urbanos), así como por la cercanía o no a la desembocadura del estero hacia el Río Guayas.

El área estudiada abarcó una extensión aproximada de 3 Km del Estero San Camilo.

ANÁLISIS DE LA PRESENCIA DE COMPUESTOS NITROGENADOS EN LOS SEDIMENTOS DEL ESTERO SAN CAMILO

Se muestrearon los sedimentos de cuatro estaciones durante la bajamar el 23 de noviembre de 2015, durante la época seca. En cada estación de muestreo se recolectó tres réplicas mediante el uso de la draga de Van Veen de capacidad de 0,1 m de capacidad.

Las estaciones de muestreo fueron georeferenciadas mediante el uso de Google Earth, definiéndose de la siguiente manera: Estación 1 paralela a PRONACA (latitud: 9754847.95 m S y longitud: 630835.49 m E); Estación 2 paralela a la ciudadela Brisas de PROCARSA (latitud: 9755850.49 m S y longitud: 631769.27 m E); estación 3 paralela a PROCARSA (latitud: 9755891.47 m S y longitud: 631984.01 m E) y estación 4 ubicada en la bifurcación del Estero San Camilo (latitud: 9755826.77 m S y longitud: 632630.26 m E) (Fig. 1).

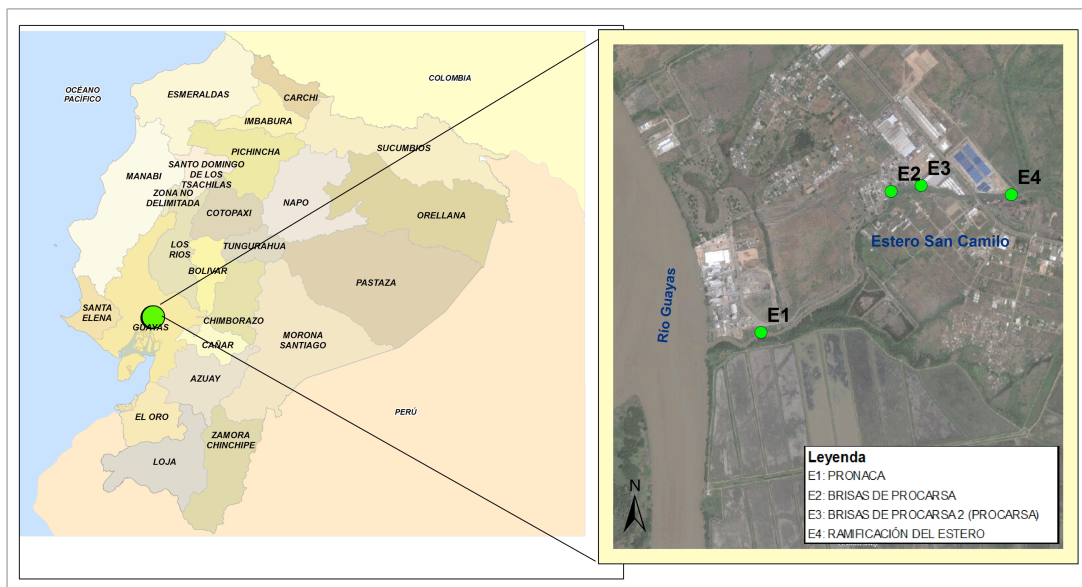


Figura 1. Mapa general de la ubicación de las estaciones de muestreo.

Los sedimentos fueron colectados, almacenados y rotulados en bolsas plásticas herméticas (zylock) y enviadas al Centro de Servicios Técnicos y Transferencia Tecnológica Ambiental (CESTTA), laboratorio que cuenta con el Certificado de Acreditación No. OAE LE 2C 06-008 otorgado por el Servicio de Acreditación Ecuatoriana (SAE). Las muestras fueron mantenidas a temperatura ambiente en un periodo menor a 48 horas para conservar la

ANÁLISIS DE LA PRESENCIA DE COMPUESTOS NITROGENADOS EN LOS SEDIMENTOS DEL ESTERO SAN CAMILO

calidad de las mismas hasta el ingreso al laboratorio. En el laboratorio las muestras de nitrito (NO_2^-), nitrato (NO_3^-) y amonio (NH_4^+) se determinaron por el método espectrofotométrico.

A la estadística se le aplicó análisis multivariado como el de conglomerados para determinar la similitud de las concentraciones de compuestos nitrogenados en las distintas estaciones de muestreo. Este análisis se basó en el método de mínima varianza de Ward's y distancia métrica Euclidiana. Además se realizó un análisis de componentes principales (ACP) para determinar la variable de mayor incidencia en la distribución de las estaciones de muestreo mediante el uso del software estadístico Infostat version libre 2011. Para evaluar la existencia de diferencias significativas entre las estaciones de estudio se realizó un análisis de varianza (ANOVA) mediante el uso del software estadístico Statigraf para cada uno de los compuestos nitrogenados analizados.

Resultados

Los parámetros de nitratos, nitritos y amonio analizados, se caracterizaron por presentar fluctuaciones. Así los valores de nitrato presentaron valores máximos de 61,42 mg/Kg, mínimos de 40,01 mg/Kg y un valor promedio de 54,41 mg/Kg; los valores de nitritos valores máximos de 0,93 mg/Kg, mínimos de 0,25 mg/Kg y un valor promedio de 0,64 mg/Kg; por último el amonio presentó valores máximos de 43,19 mg/Kg, mínimos de 20,10 mg/Kg y un valor promedio de 27,78 mg/Kg, en todas las estaciones muestreadas.

La estación 2 presentó los valores más altos de nitratos y nitritos seguidos de la estación 3, en el caso del amonio la estación que presentó los valores más altos fue la estación 4 seguida de la estación 2; así mismo, la estación 4 es la que presentó los valores más bajos para nitratos y nitritos, en el caso de amonio la estación 3 presenta los valores más bajos. Los

ANÁLISIS DE LA PRESENCIA DE COMPUESTOS NITROGENADOS EN LOS SEDIMENTOS
DEL ESTERO SAN CAMILO

datos de los compuestos nitrogenados de los sedimentos del Estero San Camilo se muestran en la Tabla 1.

Estaciones	Nutrientes	Promedio (mg/Kg)	Desviación estándar (mg/Kg)	Mínimo-Máximo (mg/Kg)
1	Nitratos (NO ₃ ⁻)	48,84	5,77	53,31-42,33
	Nitritos (NO ₂ ⁻)	0,61	0,06	0,68-0,57
	Amonio (NH ₄ ⁺)	22,91	1,56	24,29-21,21
2	Nitratos (NO ₃ ⁻)	66,30	4,39	71,33-63,24
	Nitritos (NO ₂ ⁻)	0,87	0,05	0,92-0,82
	Amonio (NH ₄ ⁺)	26,55	5,62	30,44-20,10
3	Nitratos (NO ₃ ⁻)	56,04	7,60	61,42-47,34
	Nitritos (NO ₂ ⁻)	0,76	0,21	0,93-0,53
	Amonio (NH ₄ ⁺)	22,38	1,19	23,74-21,50
4	Nitratos (NO ₃ ⁻)	46,48	6,86	53,68-40,01
	Nitritos (NO ₂ ⁻)	0,32	0,13	0,47-0,25
	Amonio (NH ₄ ⁺)	39,27	6,33	43,19-42,66

Tabla #1: Parámetros estadísticos (promedio, desviación estándar, mínimo y máximo) de nitratos, nitritos y amonio en sedimento (mg/Kg) por estación de muestreo.

ANÁLISIS DE LA PRESENCIA DE COMPUESTOS NITROGENADOS EN LOS SEDIMENTOS DEL ESTERO SAN CAMILO

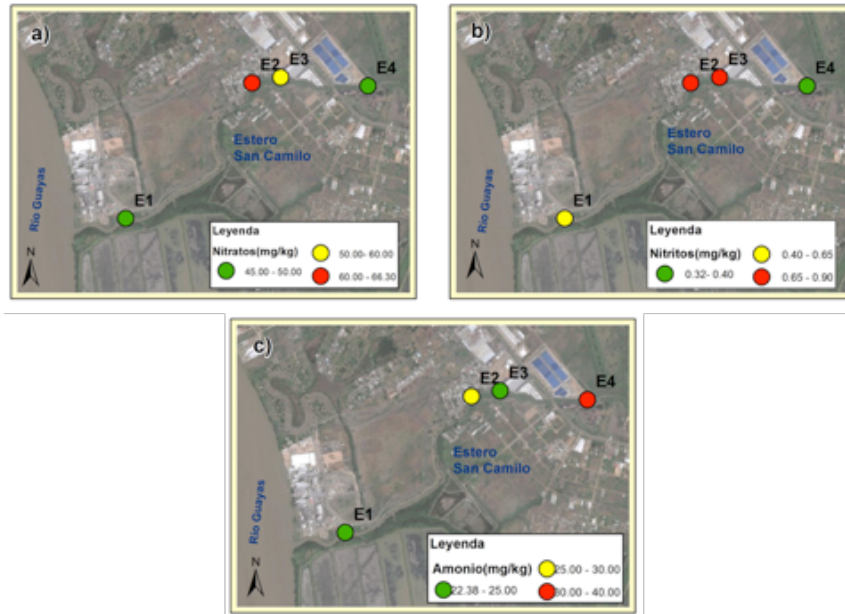


Figura 2. Mapa de valores promedios de los resultados del muestreo. a) Mediciones de nitrato b) Mediciones de nitrito c) Mediciones de Amonio.

En relación a los nitratos las concentraciones más altas se presentaron en la estación 2 con 66,3 mg/Kg cuyos alrededores se caracterizaron por tener asentamientos urbanos y las menores concentraciones de 46,48 mg/Kg, se presentaron aguas arriba en la estación 4 que está ubicada al inicio del estero y que posee actividades productivas de almacenamiento de alimento balanceado en sus alrededores. Los datos de concentración de nitratos presentan una distribución normal (Campana de Gauss), entre todas las estaciones con un valor promedio de 54,41 mg/Kg y desviación estandar de 9,67 mg/Kg. Los valores de nitratos en todas las estaciones se muestran en la Figura 3.

ANÁLISIS DE LA PRESENCIA DE COMPUESTOS NITROGENADOS EN LOS SEDIMENTOS DEL ESTERO SAN CAMILO

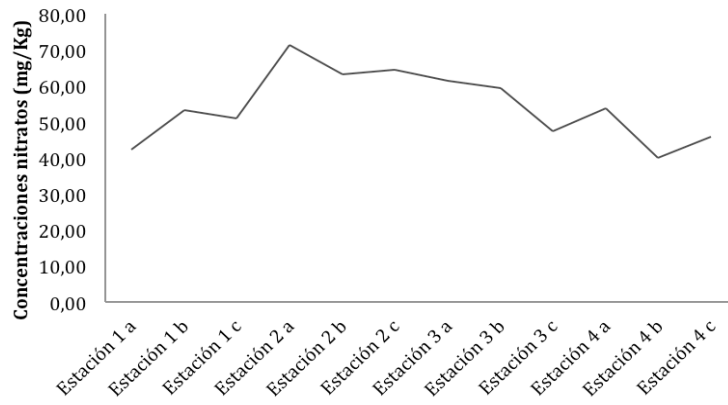


Figura 3. Concentraciones de nitratos (mg/Kg) por muestra recolectada.

Los nitritos al igual que los nitratos presentaron las concentraciones más altas en la estación 2 con 0,87 mg/Kg y las más bajas en la estación 4 con 0,32 mg/Kg. Los datos de todas las estaciones presentan una distribución normal con un promedio de 0,64 mg/Kg y desviación estandar de 0,24 mg/Kg. Los datos mencionados se muestran en la Figura 4.

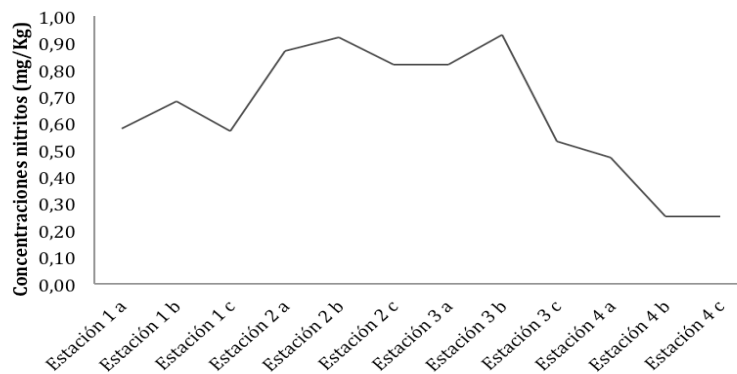


Figura 4. Concentraciones de nitritos (mg/Kg) por muestra recolectada.

El amonio presentó un comportamiento diferente ya que las mayores concentraciones se encontraron en la estación 4 con 39,27 mg/Kg y las menores en la estación 3 con 22,38 mg/Kg, esta estación se ubicó paralela a la empresa PROCARSA. El amonio presenta una

ANÁLISIS DE LA PRESENCIA DE COMPUESTOS NITROGENADOS EN LOS SEDIMENTOS DEL ESTERO SAN CAMILO

distribución normal con un promedio de 27,78 mg/Kg y desviación estandar de 8,03 mg/Kg.

En la Figura 5 se muestra lo mencionado anteriormente.

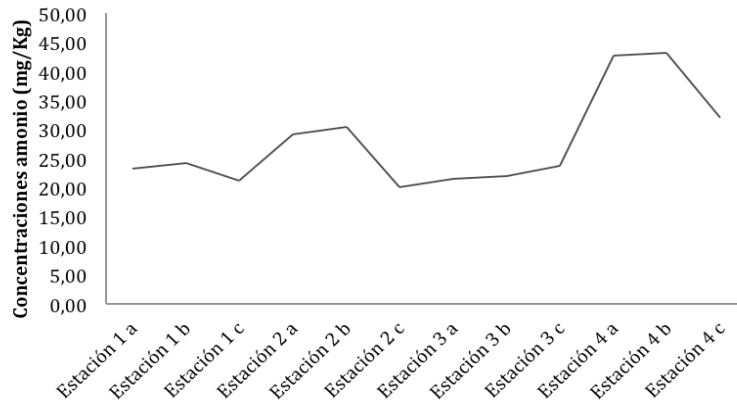


Figura 5. Concentraciones de amonio (mg/Kg) por muestra recolectada.

El análisis de conglomerados (Fig.6) muestra tres grupos bien definidos. Observando el gráfico desde la parte superior izquierda se encuentra un primer grupo conformado por la estación 3 (a y b) y la estación 2 (a, b y c); el segundo grupo esta formado por la estación 3 (c) y la estación 1 (a, b y c). Por otro lado, existe un tercer grupo conformado por las muestras de la estación 4 lo que muestra que esta estación no tiene similaridad con ninguna de las otras dos estaciones. Las estaciones más similares entre sí fueron la estación 2 y la estación 3 donde existen asentamientos urbanos.

ANÁLISIS DE LA PRESENCIA DE COMPUESTOS NITROGENADOS EN LOS SEDIMENTOS DEL ESTERO SAN CAMILO

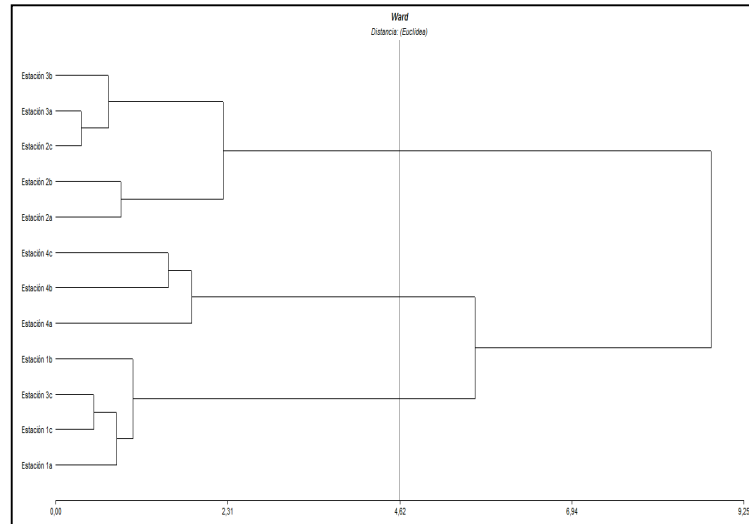


Figura 6. Dendrograma de similaridad que muestra la asociación entre las muestras recolectadas.

Por otra parte, en el análisis de componentes principales, se observa que los tres parámetros analizados explican el 96,8% de la variabilidad explicada de los datos. El amonio es el componente que aporta con la mayor varianza y el de mayor peso para mostrar la totalidad de las variables estudiadas. Los nitritos y los nitratos por su parte aportan menos en la distribución de las muestras ya que son más homogéneos. El parámetro con mayor dominancia en el eje CP1 fueron los nitritos (0,65) y en el CP2 el amonio (0,84). La estación 4 es la que presenta mayor relación con las concentraciones de amonio, mientras que ciertas muestras de la estación 2 con las concentraciones de nitratos y ciertas muestras de la estación 3 con las concentraciones de nitritos (Fig. 7).

ANÁLISIS DE LA PRESENCIA DE COMPUESTOS NITROGENADOS EN LOS SEDIMENTOS DEL ESTERO SAN CAMILO

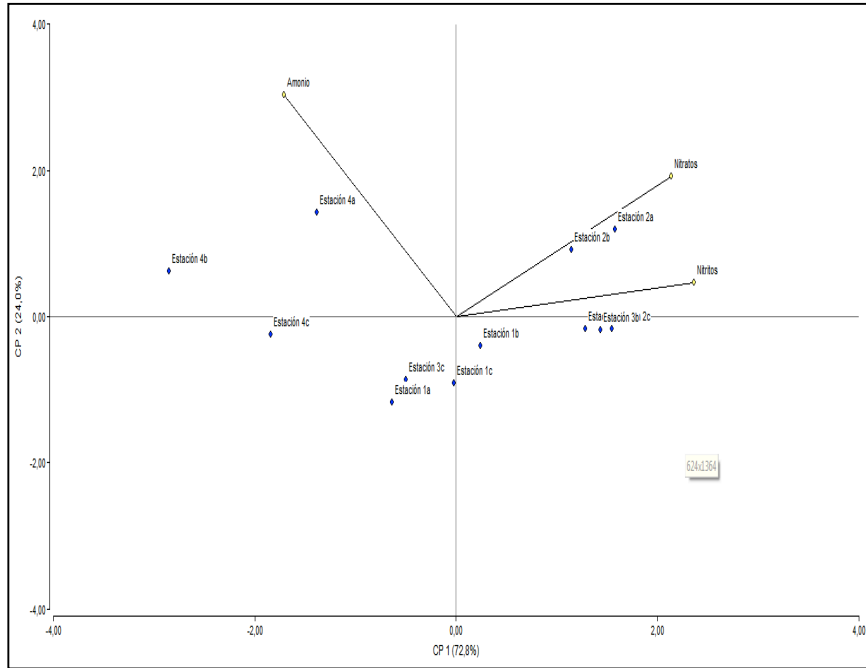


Figura 7. Representación gráfica de componentes principales entre compuestos nitrogenados en las estaciones muestreadas en el Estero San Camilo en noviembre de 2015.

En cuanto al análisis de varianza, de acuerdo a los resultados del ANOVA, los nitratos presentan diferencias significativas ($F=6,04$) con un $P<0,05$ entre las estaciones de muestreo, los rangos de concentración de la estación 1 se encuentran dentro de los rangos de la estación 4. La estación 2 presenta las mayores concentraciones con un rango menos amplio en cuanto a la distribución de sus datos, seguido de la estación 3. En la figura 8 se muestra la variación de las concentraciones para cada estación.

ANÁLISIS DE LA PRESENCIA DE COMPUESTOS NITROGENADOS EN LOS SEDIMENTOS DEL ESTERO SAN CAMILO

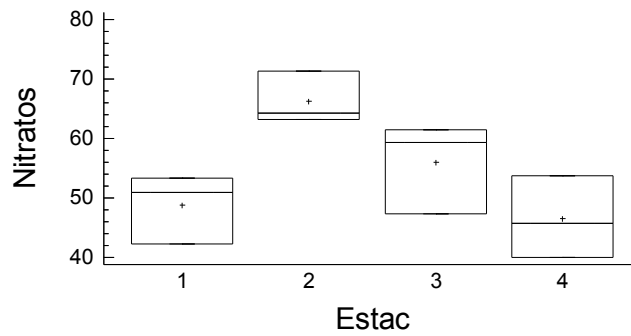


Figura 8. Concentraciones de nitratos en las estaciones de muestreo.

Los nitritos presentaron al igual que los nitratos una diferencia significativa entre las concentraciones de cada estación ($F=10,36$) con un $P<0,05$. Los rangos de concentración de las estaciones 1 y 2 se encuentran dentro del rango de la estación 3, siendo éste mucho más amplio en cuanto a las concentraciones de nitritos. La estación 4 por su parte presenta las menores concentraciones de nitritos. Por estas razones el factor de varianza resultante de este parámetro fué el más alto de los tres parámetros. En la figura 9 se muestran lo mencionado.

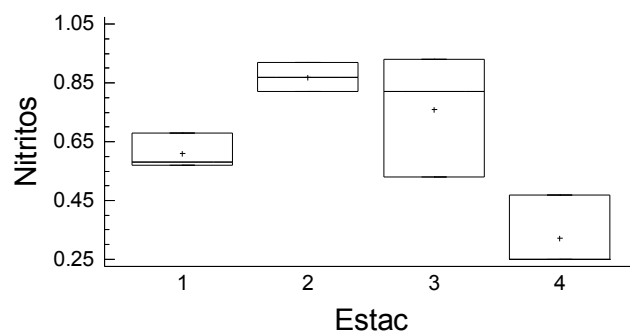


Figura 9. Concentraciones de nitritos en las estaciones de muestreo.

ANÁLISIS DE LA PRESENCIA DE COMPUESTOS NITROGENADOS EN LOS SEDIMENTOS DEL ESTERO SAN CAMILO

Para el amonio, la diferencia entre las estaciones resultó ser significativa ($F=9,87$) con un $P<0,05$. El rango de concentraciones de la estación 4 es el más alto y amplio. Los rangos de la estación 1 y 3 se encuentran dentro del rango de concentraciones de la estación 2, con la diferencia de la amplitud de distribución de los datos de esta (fig. 10). Los análisis de ANOVA muestran diferencias significativas para los tres parámetros en cuanto a la concentración de cada estación, siendo el factor de varianza de nitritos el de mayor valor, seguido del factor de varianza del amonio y el de los nitratos el de menor valor.

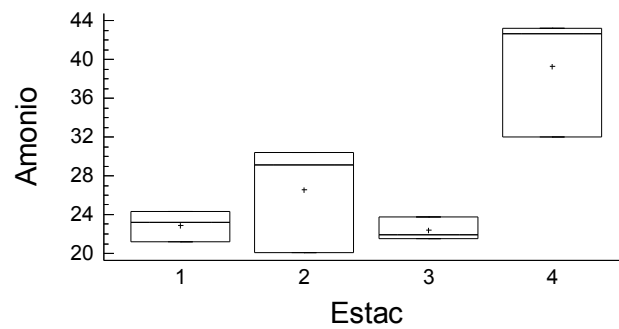


Figura 10. Concentraciones de amonio en las estaciones de muestreo.

Discusión

Los datos obtenidos de este estudio muestran que existe una variación espacial de los compuestos nitrogenados (nitratos, nitrito y amonio) en los sedimentos del Estero San Camilo durante el mes de noviembre de 2015. El compuesto nitrogenado con las concentraciones más altas fue el nitrato, seguido de amonio, mientras que las concentraciones más bajas correspondieron a los nitritos.

ANÁLISIS DE LA PRESENCIA DE COMPUESTOS NITROGENADOS EN LOS SEDIMENTOS DEL ESTERO SAN CAMILO

Las concentraciones de nitratos fueron más altas en la estación 2 y 3 que correspondieron a los sitios muestreados con influencia de asentamientos urbanos (Brisas de Procarsa), los mismos que alcanzaron valores promedios de 66,30 mg/Kg y 56,04 mg/Kg respectivamente. Estos valores fueron menores a los registrados a la estación 1 (ingreso del ramal del río Guayas al estero San Camilo) y en la estación 4 (bifurcación del Estero San Camilo).

Esto confirmaría el deterioro de las aguas y sedimento del Estero San Camilo con evidentes pulsos de eutrofización, los mismos que han sido demostrados con la disminución de las concentraciones de oxígeno disuelto registrado en el 2015 en las cercanías de la estación 3 con valores de (3,49 mg/L a 3,56 mg/L), valores que fueron inferiores a los registrados en la cercanía a la estación 1 que presentó concentraciones entre 5,54 y 5,84 mg/Kg, esto se debe al aporte de aguas y escorrentías de zonas agrícolas y áreas de crecimiento urbano con descargas industriales (Cobena, 2015). Este proceso podría no ser reciente y podría ser una de las variables asociada a la disminución de macroinvertebrados acuáticos presentes en los sedimentos en este estero durante el 2013 y donde la valoración de la calidad de sus aguas basado en la composición de macroinvertebrados y la aplicación de índice biótico Biological Monitoring working Party (BMWP) modificado para el neotrópico Colombiano, donde se determinó que las aguas del Estero San Camilo están fuertemente contaminadas y su condición es muy crítica (Cárdenas, 2013).

A nivel de los nitritos, estos mostraron la misma tendencia de las concentraciones de los nitratos, siendo las estaciones con mayores concentraciones la estación 2 y 3 con 0,87 mg/Kg y 0,76 mg/Kg respectivamente. Mientras que las menores concentraciones se registraron en la estación 1 y 4 con 0,61 mg/Kg y 0,32 mg/Kg respectivamente.

El amonio presentó un patrón distinto a los otros compuestos nitrogenados, así el valor más elevado se registró en la estación 4 con 39,27 mg/Kg, seguido de la estación 2 con 26,55

ANÁLISIS DE LA PRESENCIA DE COMPUESTOS NITROGENADOS EN LOS SEDIMENTOS DEL ESTERO SAN CAMILO

mg/Kg y en menor concentración se registró en las estaciones 1 y 3 con 22,91 mg/Kg y 22,38 mg/Kg respectivamente. El incremento de amonio en la estación 4 se debe probablemente a las actividades de construcción del nuevo Parque Industrial de Durán, debido al uso de nitrato de amonio (NH_4NO_3) como explosivo, el nitrato al ser fijado por las plantas directamente es transformado en gas nitrógeno (N_2) y emitido a la atmosfera, el amonio por el contrario debe ser transformado primero en nitrato por bacterias por lo que su tiempo de permanencia es mayor. Además la estación 4 recibe tres aportantes de zonas agrícolas que utilizan fertilizantes compuestos con contenido de nitrógeno como: nitrato de amonio (NH_4NO_3), sulfato de amonio ($(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$), urea ($\text{CH}_4\text{N}_2\text{O}$) (UAN), entre otros; estos aportes agrícolas se van descomponiendo hasta llegar a la estación 1 donde el estero desemboca en el Río Guayas, que hay mayor remoción de las aguas por acción de la marea, por esto podría aumentar la dilución de los compuestos nitrogenados disminuyendo las concentraciones de los mismos. Es importante mencionar que el uso de suelos de la zona es industrial de alto impacto (INPI, 2015).

De los análisis realizados en los sedimentos del Estero San Camilo se muestra que tanto la estación 1 como la estación 4 presentan en sus alrededores actividades de producción alimenticia siendo PRONACA S.A. y DAJAHU S.A. las industrias asentadas en sus riberas, respectivamente. Las estaciones 2 y 3 presentan una alta similitud como lo demuestra el análisis estadístico de conglomerados ya que se encuentran muy cercanas (220 m de distancia) y sus alrededores presentan las mismas actividades (asentamientos humanos). La estación 3 tiene la peculiaridad de presentar asentamientos industriales además de los humanos en sus alrededores (PROCARSA S.A. y SURPAPEL S.A.); sin embargo, la varianza de concentraciones entre los parámetros de nitritos y amonio no resultó significativa. En el caso de los nitratos las concentraciones resultaron visiblemente diferentes (estación 2= 66,30 mg/Kg y estación 3= 56,04 mg/Kg). Las viviendas presentes en el sector descargan materia

ANÁLISIS DE LA PRESENCIA DE COMPUESTOS NITROGENADOS EN LOS SEDIMENTOS DEL ESTERO SAN CAMILO

orgánica sanitaria al estero, conteniendo urea en los residuos fecales u orina. También existe un aporte indirecto de gases nitrogenados desde las cocinas que al interactuar con el agua tienen un aporte indirecto de nitrógeno al ecosistema.

Existen diferencias significativas entre las concentraciones de nitratos, nitritos y amonio con un $p < 0,05$ entre las estaciones de estudio; esto indicaría que existen aportes puntuales de fuentes estresoras, que cambian y alteran la composición de los compuestos nitrogenados en el Estero San Camilo, mostrando que el amonio y los nitritos son las variables que marcan la diferencia entre las estaciones muestreadas.

Conclusiones

Las concentraciones de compuestos nitrogenados en el Estero San Camilo se ven influenciadas por el tipo de actividades que se presentan en los alrededores de las mismas. Es por esto que las concentraciones fluctuaron en las diferentes estaciones ya que las actividades productivas que se presentaban cerca de las estaciones eran diferentes, predominando actividades agrícolas, de vivienda, constructivas, almacenamiento de alimentos y de producción papelera en el área de influencia del cuerpo de agua.

Las estaciones que presentaron mayores valores de nitratos y nitritos fueron la estación 2 y 3 relacionadas a zonas con asentamientos urbanos, mientras que el amonio presentó la mayor concentración en la estación 4 donde existe una bifurcación cuyos ramales provienen de zonas agrícolas. Entre la estación 2 y la estación 3 existió una similaridad notoria ya que se encontraban a una distancia corta y con actividades antrópicas parecidas en sus alrededores.

La estación 4 por su parte resultó totalmente diferente a las demás debido a las concentraciones de amonio que fueron superiores a las otras estaciones lo que estaría probablemente relacionado a las actividades constructivas que se desarrollan en el área

ANÁLISIS DE LA PRESENCIA DE COMPUESTOS NITROGENADOS EN LOS SEDIMENTOS DEL ESTERO SAN CAMILO

además de las actividades agrícolas que se desarrollan cerca de los canales aportantes al encontrarse en la zona inicial del estero.

En general se observó una tendencia de acumulación de los compuestos nitrogenados en las estaciones cercanas a los asentamientos urbanos (viviendas), principalmente de los nitratos y los nitritos. Cabe mencionar que las descargas de las viviendas son vertidas directamente al estero.

Las actividades domésticas, agrícolas e industriales que se desarrollan alrededor del Estero San Camilo podrían explicar el exceso de nutrientes y su variación espacial en los sedimentos de manera significativa, generando deterioro de la calidad del agua por lo tanto deberían implementarse normativas para evaluar los niveles máximos permitidos de nitratos, nitritos y amonio en sedimentos y controlar de forma efectiva las emisiones de aguas residuales en la zona de estudio.

Recomendaciones

Es importante incorporar en la normativa nacional vigente parámetros máximos permisibles de calidad de suelos para ríos y estuarios, ya que actualmente el país no cuenta con los mismos; debido a que el sedimento sería un indicador de calidad más potente por el tiempo de residencia de los contaminantes en comparación al agua.

También porque el sedimento es donde los contaminantes se transforman en otros compuestos químicos y donde junto a parámetros ambientales como temperatura, pH, oxígeno, salinidad, incrementan o disminuyen su toxicidad especialmente para los invertebrados bentónicos y peces, afectando su habilidad para sobrevivir, crecer y reproducirse.

ANÁLISIS DE LA PRESENCIA DE COMPUESTOS NITROGENADOS EN LOS SEDIMENTOS DEL ESTERO SAN CAMILO

Referencias bibliográficas

- Argota-Pérez, G., Argota-Coello, H., & Fernández-Heredia, Á. (2014). Determinación de Cu, Zn, Pb y Cd por espectrometría de emisión atómica con plasma inductivamente acoplado en aguas y sedimentos del ecosistema San Juan, Santiago de Cuba. *Revista Cubana De Química*, 26(2), 85-93.
- Benjumea Hoyos, C. A., Bedoya Castaño, C. L., & Álvarez Alzate, D. A. (2014). Evolución de la carga de nutrientes de ríos de montaña que fluyen a un embalse, Cuenca media del río Magdalena. *Revista EIA*, 11(22), 77-91. doi:10.14508/reia.2014.11.22.77-91
- Bernal, C. A. (2010). Metodología de la Investigación. Colombia: Pearson Educación.
- Blondel, J., Aronson, J., & Bodiou, J. (2010). Mediterranean Region : Biological Diversity Through Time and Space (2nd Edition). Oxford, GBR: Oxford University Press. Retrieved from <http://www.ebrary.com>
- CAAN, B. J. (1996). *Desarrollo y problemática ambiental del área de Golfo de Guayaquil*. Ecuador: CREARIMAGEN.
- Callejas, M., Ormaza, F. (1993). Pesticides and other toxic compounds in some water shrimp ponds in the area of Taura. Unpublished data.
- Cárdenas, M. (2013). *Calidad de las aguas de los ríos de la provincia del Guayas mediante el uso de macroinvertebrados acuáticos*. Ecuador: Prefectura del Guayas.
- Cárdenas, M. (2010). *Efecto de la actividad hidrocarburífera sobre la estructura comunitaria de macroinvertebrados bentónicos presentes en los sedimentos del Estero Salado* (Tesis de maestría). Universidad Estatal de Guayaquil, Ecuador-Guayaquil.
- Camargo, J. A., & Alonso, A. (2007). Contaminación por nitrógeno inorgánico en los ecosistemas acuáticos: problemas medioambientales, criterios de calidad del agua, e implicaciones del cambio climático. *Revista Ecosistemas*, 16(2).
- Carneiro, C., Andreoli, C. V., & Cunha, C. D. L. D. N. (2014). Reservoir Eutrophication : Preventive Management : An applied example of Integrated Basin Management Interdisciplinary Research. London, GBR: IWA Publishing. Retrieved from <http://www.ebrary.com>
- CEMA (2009). *Informe del monitoreo ambiental del grado de mantenimiento del canal de acceso al puerto marítimo de Guayaquil*. Ecuador: ESPOL.
- Cobeña, M. (2015). *Auditoría ambiental de cumplimiento construcción, montaje y operación de la maquinaria papelería 1 MP-1 de la compañía SURPAPEL CORP S. A.* Ecuador: Prefectura del Guayas.
- Consessa, G. C., & Lenzi, M. A. (2010). Check Dams, Morphological Adjustments and Erosion Control in Torrential Streams. Hauppauge, NY, USA: Nova Science Publishers, Inc.. Retrieved from <http://www.ebrary.com>

ANÁLISIS DE LA PRESENCIA DE COMPUESTOS NITROGENADOS EN LOS SEDIMENTOS
DEL ESTERO SAN CAMILO

- Craig, J. R., Vaughan, D. J. & Skinner, B. J. (2012). *Recursos de la tierra y el medio ambiente, 4^a edición*. Madrid, España: Pearson.
- Espinosa-Lloréns, M. C., León-Hernández, Y., & Rodríguez-Petit, X. (2013). Problemática de la determinación de especies nitrogenadas (nitrógeno total y amoniacal) en aguas residuales. (Spanish). *Revista CENIC Ciencias Químicas*, 44(1), 1-12.
- EPA (1998). *Causal and response variables field and laboratory methods nutrient enrichment and ammonia toxicity*. USA: Environmental and Protection Agency (EPA).
- Guzmán-Colis, G., Ramírez-López, E. M., Thalasso, F., Rodríguez-Narciso, S., Guerrero-Barrera, A. L., & Avelar-González, F. J. (2011). Evaluación de contaminantes en agua y sedimentos del río San Pedro en el Estado de Aguascalientes. *Universidad y ciencia*, 27(1), 17-32.
- Hernández, R., Fernández, C., Baptista, M. (2010). *Metodología de la Investigación*. México: Mc Graw Hill.
- International Plant Nutrition Institute IPNI (2015). *Fuentes de Nutrientes-Específicos*. España: Copyright. <https://www.ipni.net/specifics-es>.
- Instituto Ecuatoriano de Estadísticas y Censos INEC (2015). Ecuador en cifras-datos ambientales. Ecuador <http://www.ecuadorencifras.gob.ec>.
- Ioris, A. A. R. (Ed.). (2012). *Ashgate Studies in Environmental Policy and Practice : Tropical Wetland Management : The South-American Pantanal and the International Experience*. Abingdon, Oxon, GBR: Ashgate Publishing Group. Retrieved from <http://www.ebrary.com>
- Ji, Z. (2008). *Hydrodynamics and Water Quality: Modeling Rivers, Lakes, and Estuaries*. Hoboken, NJ, USA: Wiley. Retrieved from <http://www.ebrary.com>
- Paez, K. (2011). *Plan de desarrollo territorial del canton Eloy Alfaro Durán. Durán, Ecuador: AME*.
- Pérez-Peláez, N. R., Peña-Varón, M. R., & Sanabria, J. (2011). Comunidades bacterianas involucradas en el ciclo del nitrógeno en humedales construidos. *Ingeniería Y Competitividad*, 13(2), 83-92.
- Palaima, A. (Ed.). (2012). *Ecology, Conservation, and Restoration of Tidal Marshes : The San Francisco Estuary*. Berkeley, CA, USA: University of California Press. Retrieved from <http://www.ebrary.com>
- Pérez, H., Alexander, L., Urbano, P., Julieth, S., Rodríguez, M., & Pablo, J. (2012). Determinación de la eficiencia en la remoción del nitrógeno y fósforo mediante un sistema piloto de humedal artificial superficial. *Revista Entérese Boletín Científico Universitario*, (32), 49-54.
- Gobierno Autónomo Descentralizado Provincial del Guayas G.A.D. Guayas (2010). *Plan de*

ANÁLISIS DE LA PRESENCIA DE COMPUESTOS NITROGENADOS EN LOS SEDIMENTOS
DEL ESTERO SAN CAMILO

Desarrollo y Ordenamiento de la provincial del Guayas. Ecuador: G.A.D. Guayas.

Ministerio de Comercio Exterior (2015). *PROECUADOR*. Quito.
http://www.proecuador.gob.ec/pubs/proec_eee2015_enero/.

Saldarriaga, J.C., Hoyos, D. Á., & Correa, M. A. (2011). Evaluación de procesos biológicos unitarios en la remoción simultánea de nutrientes para minimizar la eutrofización. *Revista EIA*, (15), 129-140.

Sawyer, C. N., McCarty, P. L. & Parkin, G. F. (2001). *Química para ingeniería ambiental*. Colombia: Mc Graw Hill.

Suércum, R., Maridueña, A., Castro, R., Moncayo, D., Morán, C., Estrella, T., Guale, M., Sonnenholzner, J., Freire, M. & Massuh, P. (1996). *Condiciones físicas, químicas y biológicas del Estuario Interior del Golfo de Guayaquil durante 1994-1996*. Ecuador: Instituto Nacional de Pesca (INP).

Velasquez, H. R. (Ed.). (2011). *Air, Water and Soil Pollution Science and Technology: Pollution Control: Management, Technology and Regulations*. New York, NY, USA: Nova. Retrieved from <http://www.ebrary.com>

ANÁLISIS DE LA PRESENCIA DE COMPUESTOS NITROGENADOS EN LOS SEDIMENTOS DEL ESTERO SAN CAMILO

APENDICE

Apendice 1:

