Revista Internacional de Investigación e Innovación Tecnológica

Página principal: www.riiit.com.mx

Evaluación de la contaminación por metales pesados en suelos de la Reserva Ecológica de Manglares Cayapas Mataje (REMACAM) – Ecuador

Evaluation of contamination by heavy metals in soils of the Cayapas Mataje Mangrove Reserve (REMACAM) – Ecuador

Muyulema-Allaica, J.C.[a]*, Canga-Castillo, S.M.[b], Pucha-Medina P.M.[c], Espinosa-Ruiz, C.G.[d]

[a]* Escuela de Diseño Industrial, Pontificia Universidad Católica del Ecuador Sede Ambato (PUCESA), Av. Manuelita Sáenz, s/n. Ambato, Tungurahua, Ecuador.
[b] Agente de Desarrollo Local en Comunidades de Manglar y Fronterizas. San Lorenzo, Esmeraldas, Ecuador.
[a, c] Grupo Consultor Empresarial CAAPTES-Ecuador. Riobamba, Chimborazo, Ecuador.
[c] Dpto. Administración de Empresas. Universidad de Cantabria. Santander, Cantabria, España.
[d] Facultad de Ciencias Administrativas, Gestión Empresarial e Informática, Universidad Estatal de Bolívar. Guaranda, Bolívar, Ecuador.
E-mail: juanca327@hotmail.com; cancasmax@yahoo.es; pumepm@hotmail.com; cgabrieler89@gmail.com

Innovación Tecnológica: Evaluación de la contaminación por metales pesados en suelos.

Área de aplicación Industrial: Impacto ambiental sobre humedales de manglar en reservas naturales.

Enviado: 10 Junio 2019.
Aceptado: 20 Octubre 2019.

Abstract

Currently, ecosystems are exposed to metal pollutants from human development activities, whose protected areas are not isolated from this problem. The soils can act as collectors and facilitate the release of metals to organisms that have contact on it, and it can generate biomagnification problems on the trophic chain. Given this situation, the present study evaluates heavy metal contamination in soils of the Mangrove Cayapas Mataje Ecological Mangrove Reserve (REMACAM) through the application of pollution indices, based on analyzed soil concentrations of the reserve and background concentration values. The indices applied were: Igeo, EF and PLI. It was determined that the element with the highest contamination values is Cadmium (Cd). The study concludes by highlighting the need to adopt substantial changes in agricultural uses and practices, and to reform legal regulations and management programs in order to provide, in an

integrated and inclusive manner, the basic guidelines for conservation action Natural and cultural heritage, the provision of ecosystem and cultural services that contribute to the sustainability of the area, the good living of its local populations and strengthen the management of the protected area.

Keywords: Soil, Mangrove Cayapas Mataje Ecological Mangrove Reserve, Igeo, EF, PLI.

Resumen

En la actualidad, los ecosistemas están expuestos a contaminantes metálicos provenientes de las actividades propias del desarrollo humano, cuyas zonas protegidas no se encuentran aisladas de dicha problemática. Los suelos pueden actuar como captadores y facilitar la liberación de metales hacia los organismos que tienen contacto sobre él, pudiendo generar problemas de biomagnificación sobre la cadena trófica. Ante esta situación, el presente estudio evalúa la contaminación por metales pesados en suelos de la Reserva Ecológica Manglares Cayapas Mataje (REMACAM) mediante la aplicación de índices de polución, basándose en concentraciones analizadas de suelo propias de la reserva y valores de concentraciones de fondo. Los índices aplicados fueron *Igeo, EF* y *PLI*. Se determinó que el elemento con mayores valores de contaminación es el Cadmio (Cd). El estudio concluye poniendo de manifiesto la necesidad de adoptar cambios sustanciales en los usos y prácticas agrícolas, y de reformar la normativa legal y los programas de manejo con el fin de suministrar de una manera integrada e integradora, los lineamientos básicos de acción para la conservación del patrimonio natural y cultural, la provisión de servicios ecosistémicos y culturales que contribuyen a la sostenibilidad del área, al buen vivir de sus poblaciones locales y a fortalecer la gestión del área protegida.

Palabras clave: Suelo, Reserva Ecológica Manglares Cayapas Mataje, Igeo, EF, PLI.

1. Introducción

El ser humano en su crecimiento económico y de globalización ha originado evidentes beneficios para la sociedad, y ha provocado la aparición de nuevos riesgos al medioambiente (Lorente, 2014; Ochoa-Hueso, 2017; Pérez, Amado, Segovia, Conesa y Alarcón, 2019). Según Ramos y Muñoz (2015); Bautista *et al.,* (2017); Builes-Cadavid *et al.,* (2018) todo ecosistema se expone a una gran carga de sustancias que provienen de actividades urbanas e industriales del ser humano específicamente en cantidades importantes de residuos y sustancias contaminantes son vertidas al ecosistema generalmente sin algún tipo de tratamiento con consecuencias negativas sobre el medioambiente, donde las zonas protegidas no están exentas de esta problemática.

De acuerdo con Londoño-Franco *et al.,* (2016); Rodríguez (2017); Ubeid, Al-Agha, y El-Turk (2018) los contaminantes de mayor peligrosidad ambiental en el subsuelo son los metales pesados (Mp). Los Mp son elementos químicos de significativo interés en estudios medioambientales, la mayoría son persistentes y producen efectos tóxicos en la biota aún en bajas concentraciones (Castro y Valdés, 2012; Londoño-Franco *et al.,* 2016). La mayor fuente de contaminación por Mp es generada por causas antropogénicas,

especialmente por la minería, las prácticas agronómicas, emisiones industriales, la aplicación de lodos externos a los suelos *insitu* y de sedimentos residuales (Fu y Wang, 2011; Liu, Yan, Birch, y Zhu, 2014; Soleimani, Taghavi y Ghaemy, 2017; Zafra-Mejía, Rondón-Quintana, y Gutiérrez-Malaxechebarria, 2018). Indistintamente de que los Mp se bioacumulen en la biota dañando las cadenas tróficas, el mayor problema se genera cuando exceden los estándares límites permisibles según las normas oficiales de calidad ambiental, del agua para el uso/consumo humano, su presencia en productos alimenticios destinados al consumo; entre otros (González-Salazar *et al.,* 2015; Hamilton *et al.,* 2017; Zambrano y Meiners, 2018; Thanh-Nho *et al.,* 2019).

El Ecuador tiene una superficie total de 283,560 km^2 (100%), de las cuales, 126 son áreas protegidas que cubre el 25% de su superficie, según la base de datos de Environmental Justice Organisations, Liabilities and Trade (EJOLT). Las áreas protegidas en Latinoamérica reportan indicios de la presencia de Mp que rebasan los estándares oficiales y un caso en particular es el de Colombia, con los mayores casos de contaminación química de sus áreas protegidas (Rodríguez-Jorquera *et al.*, 2016). Específicamente en el Ecuador, La Reserva Ecológica Manglares Cayapas Mataje (REMACAM) considerada en el mundo como una zona de alta biodiversidad, de la provincia Pacífica e incluye la parte sur de la Ecorregión Tumbes-Chocó-Magdalena (anteriormente Chocó-Darién-Ecuador Occidental) (MAE, 2014), es una de las 25 Ecorregiones Terrestres Prioritarias (ETP) o hotspots de desarrollo humano (MAE, 2009; Molina, 2012); fue considerada en esta investigación para cuantificar y determinar la presencia de los Mp, esperando que los resultados contribuyan a este desarrollo de forma sustentable permitiendo gestionar, proteger y preservar a la REMACAM. Los humedales de la representan el complejo ecosistémico más rico del litoral Pacífico tropical, ha sido catalogada como una región altamente representativa del Ecuador en cuanto a la conservación de biodiversidad mundial (Molina, 2012; MAE, 2014). Por su ubicación en la zona tropical húmeda, tienen una alta productividad primaria tanto de fitoplancton como de bosque de manglar. Los manglares están enmarcados en un sistema ecológico abierto de ambiente marino/terrestre interactuando con las aguas marinas y continentales, así como con la atmósfera (Rodríguez, Aguirre, y Chiriboga, 2016; Banguero-Camacho y Giraldo-Díaz, 2018; Romero-Berny *et al.,* 2019). El ecosistema manglar de la REMACAM es una unidad ecológica con características de mosaico en parches de diferentes formaciones vegetales; que al ser interdependientes, una posible trasformación por Mp en alguno de sus parches, puede traer alteraciones significativas entre sí a su entorno natural (Brenner, 2018).

El escenario se representa como una comunidad compleja y diversidad de especies, algunas de ellas endémicas, y más de algunas de éstas se encuentran en peligro de extinción como: la nutria (Lontra longicaudata), el perezoso o perico ligero (Bradypus variegatus), el jaguar (Panthera onca), el loro (Touit dilectissima), la pava de monte (Ortalis erythroptera), el cocodrilo (Crocodylus acutus), entre otros (Luzuriaga, Solano y Cevallos, 2007; Flores, 2010; Columba, 2013). Los manglares cumplen funciones ecológicas trascendentales como el reciclaje de nutrientes, la producción y exportación de hojarasca y detritos, el mantenimiento de la calidad del agua, la protección de las costas y de las riberas de los esteros frente a procesos erosivos y la retención y acumulación de sedimentos.

Para evaluar las concentraciones de fondo de los Mp se planteó la hipótesis de que los Mp presentes en los suelos de la REMACAM están afectando la calidad ambiental del ecosistema, el mismo se fundamentó bajo diferentes perspectivas analíticas de la literatura (Ayala-Armijos *et al.*, 2015; Marín *et al.*, 2016; Tobar *et al.*, 2017; Pernía *et al.*, 2018). El objetivo de este artículo se centra en: *"Evaluar la contaminación por metales pesados en suelos de la REMACAM mediante la aplicación de índices de polución"*, y para cumplirlo se recurrió al apoyo de los siguientes objetivos específicos: (i) Evaluar concentraciones de fondo de los suelos del sitio de estudio como parámetro de referencia para la aplicación de índices de calidad; (ii) Aplicar índices de polución por Mp a los suelos de la REMACAM, basándose en la geoquímica del sitio o valores de fondo y el contenido total de Mp; (iii) Comparar las concentraciones de Mp en suelos con la normativa ecuatoriana; (iv) Delimitar las zonas de mayor contaminación y fuentes en de la REMACAM, aplicando índices de polución y proponer medidas de gestión.

2. Metodología

2.1. Área de estudio

En la Tabla 1, se presentan las características generales de la REMACAM que abarca una superficie de 51.300 hectáreas, constituyendo una de las 34 Eco Regiones Terrestres Prioritarias (ETPS) de mayor diversidad biológica a nivel mundial (MAE, 2014).

Tabla 1. Área y localización de estudio.

Localización	Reserva Ecológica Manglares Cayapas Mataje (REMACAM).
Ubicación	Noroccidente de Ecuador, en la provincia de Esmeraldas, entre La Tola, Borbón y el Río Mataje- y limita con la frontera colombiana, en la costa del Pacífico.
Provincia	Esmeraldas.
País	Ecuador.
Extensión original	51.300 hectáreas.
Extensión actual	47.321,02 hectáreas.
Altura	0 metros sobre el nivel del mar, en el sector occidental. 35 metros sobre el nivel del mar en las colinas orientales.
Tierras particulares	13.741 hectáreas
Tierras comunitarias	Desmembradas: 3.978,98 hectáreas
Sus coordenadas UTM son:	Esquina Noroeste: 163000 – 710000. Esquina Noreste: 163000 – 750000. Esquina Suroeste: 123000 – 710000. Esquina Sureste: 123000 – 750000.
Ecosistemas	a) Manglar b) Guandal c) Bosque húmedo tropical d) Asociación manglar/bosque húmedo tropical e) Ecosistemas acuáticos de agua dulce f) Ecosistemas acuáticos salobres o de mezcla g) Herbazales inundados
Reconocimientos Internacionales	Sitio Ramsar N°1292 del 12 de junio del 2003. (Reconocimiento de la UNESCO)

Fuente: Elaboración propia a partir de datos de Flores (2010); Molina (2012); MAE (2014).

La REMACAM se sitúa en el noroccidente de los cantones San Lorenzo (parroquias Ancón, Mataje, Tambillo) y Eloy Alfaro (parroquias Valdez, Pampanal de Bolívar, La Tola y Borbón); entre la comunidad La Tola, en la desembocadura del río Cayapas, y el río

Mataje límite con Colombia (MAE, 2009; Flores, 2010;). De acuerdo con el MAE (2014) la Reserva se encuentra entre la "Y" a Borbón y el Río Mataje, en un cuadrante con vértices opuestos 1º 29` 31.7`` N; 79º 12` 8.5`` W y 1º 02` 22.9`` N; 78º 45` 12.9`` W. En esta superficie está incluido también el bosque de manglar de Olmedo y Majagual. Pertenece a la provincia Pacífica e incluye la parte sur de la Ecoregión Tumbes-Chocó-Magdalena (anteriormente Chocó-Darién-Ecuador Occidental), es una de las 25 Ecorregiones Terrestres Prioritarias (ETP) o hotspot de mayor diversidad biológica identificadas en el mundo.

La bioregión del chocó comienza al Este del Canal de Panamá, atraviesa la región pacífica colombiana y continúa hasta los bosques húmedos del NO de Ecuador. Con 62 especies El Chocó es la segunda Área de Aves Endémicas (EBA) más importante, le sigue el grupo de las islas Salomón con 79 especies (MAE, 2009; Cuesta *et al.*, 2015). Los manglares y ambientes asociados a la REMACAM representan sitios de descanso, alimentación y reproducción de cientos de aves tanto residentes como migratorias, razón por la cual esta área protegida ha sido identificada como uno de los más recientes sitios Ramsar en el Ecuador y como una de las Áreas Importantes para la Conservación de las Aves (AICAs) a nivel nacional e internacional (Flores, 2010; Molina, 2012), tal y como se puede observar en la Figura 1.

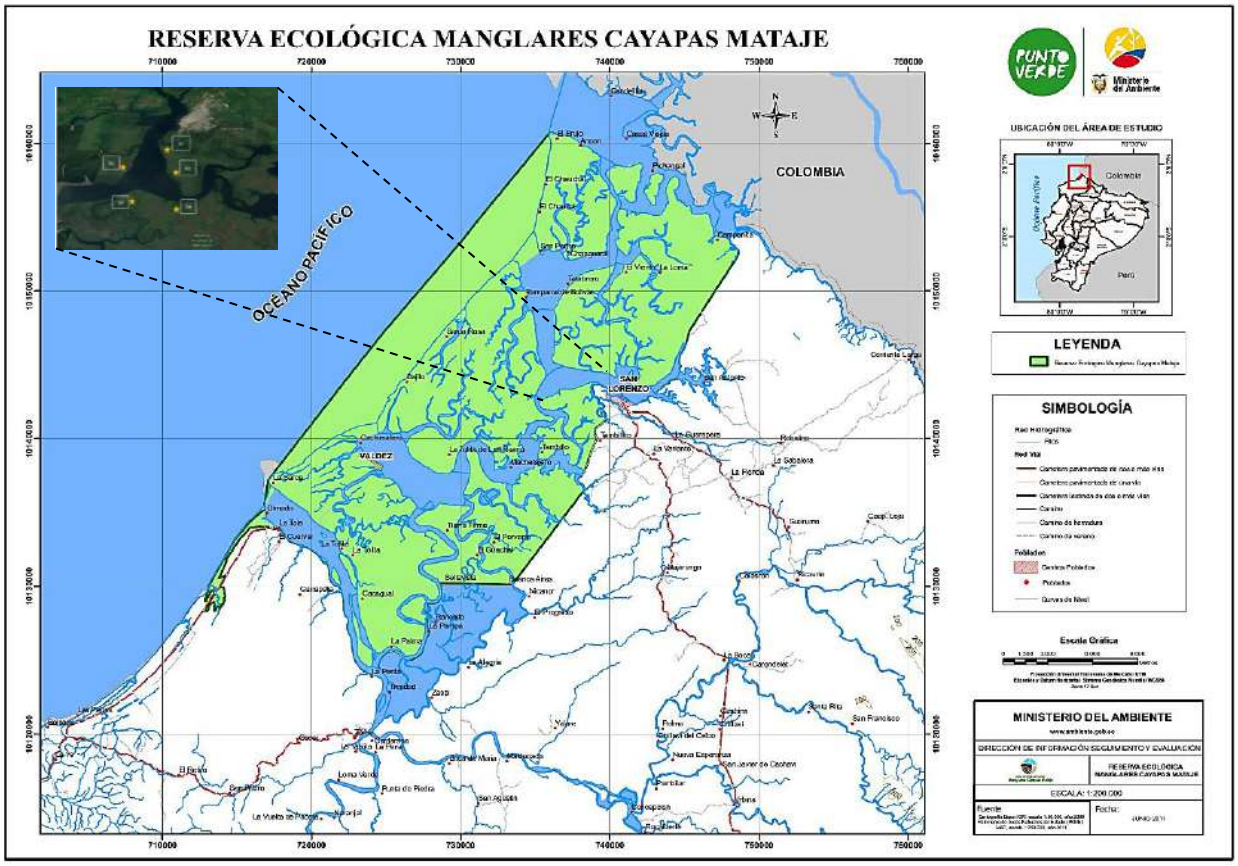


Figura 1. Ubicación de la REMACAM. Fuente: Adaptado, a partir de información extraída de MAE (2014).

2.2. Zona de Influencia de la REMACAM

Las áreas de influencias directa e indirecta, que responden a los criterios socioeconómicos y biofísicos se describen a continuación:
Directa. – Región donde su población depende de la utilización directa de los recursos de la REMACAM y cuyos pobladores, sin ser usuarios directos de sus recursos, sufren cambios directos y relativamente rápidos a consecuencia del manejo de la REMACAM. Incluye también las áreas situadas fuera de los límites de la REMACAM, en las que el tipo y la intensidad de uso de sus recursos naturales afectan o podría afectar más o menos rápido y directo a la conservación de los recursos.

Indirecta. - Zonas donde utilizan indirectamente los recursos de la REMACAM, ya sea porque las comercializan o los consumen. Incluye también todos aquellos sitios a los que con mayor frecuencia se traslada la población de la REMACAM en busca de mejores condiciones de vida. El área de influencia indirecta sobrepasa el ámbito regional, por tanto, con fines del manejo de Reserva, el área de mayor interés es la directa (Zona de Amortiguamiento).

2.3. Metodología de campo

La selección de la ubicación de los puntos de muestreo tiene la finalidad de proporcionar una amplia cobertura espacial y permitir una evaluación general de la calidad de sedimentos y suelos de la REMACAM; la necesidad de cubrir fuentes puntuales específicas de contaminación. Las muestras representan los suelos superficiales a una profundidad de (0 - 10 cm).

Se establecieron 5 estaciones de muestreo para la toma de sedimentos, en un área significativa de la zona centro de la REMACAM (Figura 1). La zona fue considerada tomando en cuenta la confluencia de los cauces hídricos de la REMACAM y donde se presenta alta conflictividad de extracción legal de metales, principalmente “oro”, así como la tala del bosque y la presencia actividades de recolección de moluscos concha y cangrejo, entre otras.

1. Puntos de muestreo

Las muestras fueron recolectadas en el mes de diciembre del año 2018. En la siguiente Figura 2, se muestran los cinco puntos de muestreo con la ubicación de donde fueron recolectadas las muestras.

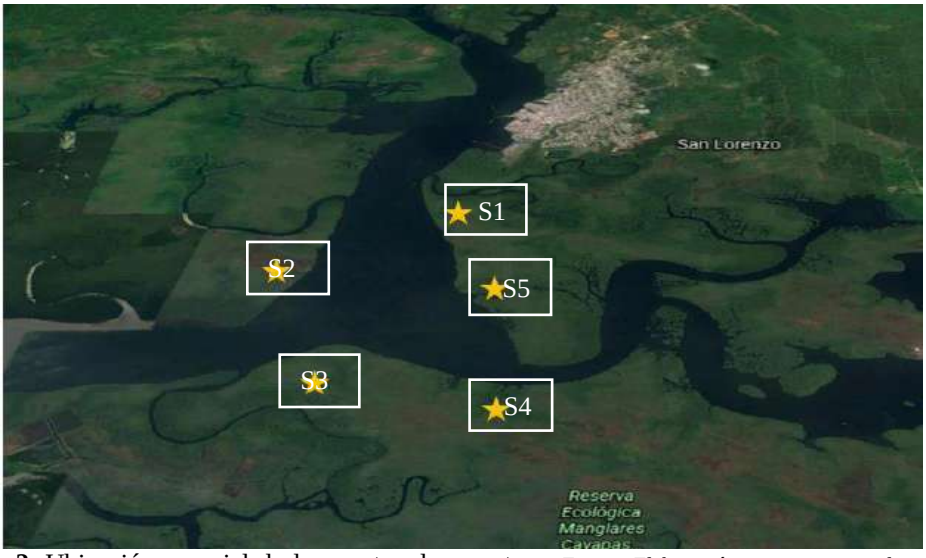


Figura 2. Ubicación espacial de los puntos de muestreo. Fuente: Elaboración propia, a partir de información extraída de https://www.google.com/maps/d/viewer?msa=0&ie=UTF8&t=m&ll=1.2143418244984248%2C-78.80840098995179&spn=0.480529%2C0.583649&z=11&source=embed&mid=1cH7e8ReIOei0g3qLKjFyNeG_M4g.

El muestreo de sedimentos de fondo se llevó a cabo con una Draga Van Veen. Las muestras fueron georeferenciadas para su mejor localización y dispuestas en fundas zyploc herméticamente selladas, con un volumen mínimo de 500 g. Inmediatamente se almacenaron dichas muestras en un cooler durante 10 horas, para la adecuada preservación temporal de las citadas muestras, hasta la entrega para análisis al Centro de Servicios Técnicos y Transferencia Tecnológica Ambiental CESSTA – ESPOCH, ubicado en la ciudad de Riobamba, provincia de Chimborazo, dentro de las instalaciones de la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo (ESPOCH).

En la siguiente Tabla 2, se detallan las características de los puntos de muestreo en cuanto a coordenadas, condiciones climáticas y descripciones propias.

Tabla 2. Detalle de los puntos de muestreo de suelo.

Punto de muestreo	Coordenadas	Clima	Observaciones
Punto 1 (S1)	17 N 0738650 0143501	Cálido nublado	Zona de manglar. Actividades de recolección de moluscos concha y cangrejo.
Punto 2 (S2)	17 N 0737216 0144857	Cálido nublado	En este punto se encuentra una camaronera inactiva. Zona de pesca.
Punto 3 (S3)	17 N 0735655 0144556	Cálido nublado	Zona donde se desarrolla únicamente recolección de concha.
Punto 4 (S4)	17 N 0735360 0143703	Cálido nublado	Zona de recolección de cangrejo.
Punto 5 (S5)	17 N 0736806 0143387	Cálido nublado	Zona netamente de manglar. Recolección de concha.

Fuente: Elaboración propia, a partir de información extraída de la investigación de campo.

2. Obtención de valores de fondo

Dadas las condiciones de la reserva y su heterogeneidad, se ha procedido a tomar como valores de fondo a concentraciones teóricas dado que toda la reserva se encuentra bajo la influencia de actividades antrópicas de pesca y recolección de moluscos. Dichas concentraciones de fondo se basan en rocas sedimentarias de tipo pizarra y han sido propuestas por Turekian y Wedepohl (1961).

De acuerdo con Jiménez, Conde y Martín (2010); Cáceres *et al.*, (2013); El-Amier, Alghanem y Alzuaibr (2017); Cabrera (2018); Querol-Suñé (2019) es válido utilizar concentraciones teóricas de fondo para comparaciones del estado de contaminación de diferentes ecosistemas ubicados en diversas localidades, sin embargo, el desarrollo de metodologías y técnicas para la determinación de valores de fondo para lugares específicos resulta ser de gran interés.

La Tabla 3 muestra los valores teóricos propuestos por Turekian y Wedepohl (1961), para una serie de metales.

Tabla 3. Concentraciones teóricas de fondo.

Elemento	Concentración teórica de fondo (mg/kg)
Al	80000
As	13
Ba	580
Cd	0,3
Co	19
Cr	90
Cu	95
Mn	850
Ni	68
Pb	20
Zn	95
Pb	20

Fuente: Elaboración propia, a partir de información extraída de Turekian y Wedepohl (1961).

3. Determinación de contenido total de metales en sedimentos y/o suelos

La Tabla 4, muestra el procedimiento utilizado para la determinación de cada Mp, tomando en consideración los parámetros de determinación, el método utilizado y la unidad de medida.

Tabla 4. Procedimientos para la determinación del contenido total de metales.

Parámetros	Método / Norma	Unidad
Potencial de hidrógeno (pH)	EPA 9045 D	Adimensional
Conductividad eléctrica	EPA 9045 D	uS/cm
Aluminio	3051 A / 6010 D	mg/Kg
Cadmio	3051 A / 6010 D	mg/Kg
Níquel	3051 A / 6010 D	mg/Kg
Plomo	3051 A / 6010 D	mg/Kg
Zinc	3051 A / 6010 D	mg/Kg

Fuente: Elaboración propia, a partir de información extraída de los resultados del CESSTA-ESPOCH, 2019.

2.4. Índices de polución en la determinación de la contaminación en sedimentos y suelos

Los índices de polución para determinar en sedimentos y suelos el grado de contaminación con respecto a las concentraciones y su valor de fondo, fueron los siguientes: Enrichment Factor (*EF*), Índice de geoacumulación (*Igeo*) y Pollution Load Index (*PLI*).

La elección de estos índices se da principalmente por los medios y capacidades de los laboratorios nacionales. Los índices basados en la movilidad y especiación del metal requieren de un análisis de laboratorio fuera del alcance de los laboratorios consultados, mientras que, en los basados en

la toxicidad, se requieren de pruebas toxicológicas extensas.

1. Índice de geoacumulación (Igeo)

El índice de geoacumulación denota en una escala cualitativa el grado de contaminación metálica en suelos mediante la comparación de valores de concentraciones medidas y valores de fondo. Este ha sido ampliamente utilizado en distintos tipos de suelo en varios continentes (Cáceres *et al*., 2013). La siguiente ecuación se determina la cuantificación de *Igeo*.

$$Igeo = \log_2 (Cn/1{,}5Bn) \quad \textbf{(Ec. 1)}$$

Donde:
- *Cn* es la cantidad de metal en la muestra,
- *Bn* la referencia regional y/o valor de fondo.

Una vez calculado el índice de *Igeo*, se interpreta sus resultados bajo los criterios de Cáceres *et al.,* (2013); Cabrera (2018), mismos que se presentan en la Tabla 5.

Tabla 5. Interpretación de índice de *Igeo*

Valor	Interpretación
Igeo ≤ 0	No contaminado.
0 ≤ *Igeo* ≤ 1	No contaminado a moderado.
1 ≤ *Igeo* ≤ 2	Moderado.
2 ≤ *Igeo* ≤ 3	Moderado a fuerte.
3 ≤ *Igeo* ≤ 4	Fuerte.
4≤ *Igeo* ≤ 5	Fuerte a extremadamente fuerte.
Igeo ≥ 5	Extremadamente fuerte.

Fuente: Elaboración propia, a partir de información extraída de Cáceres *et al*., (2013); Cabrera (2018).

Dependiendo de los valores medidos de Igeo, al sedimento o suelo se lo puede clasificar como No contaminado: (Igeo ≤ 0); No contaminado a moderado (0 ≤ Igeo ≤ 1); Moderado: (1 ≤ Igeo ≤ 2); Moderado a fuerte: (2 ≤ Igeo ≤ 3); Fuerte: (3 ≤ Igeo ≤ 4); Fuerte a extremadamente fuerte (4≤ Igeo ≤ 5); Extremadamente fuerte (Igeo ≥ 5).

2. Enrichment Factor (EF)

El factor de enriquecimiento identifica anomalías en concentraciones de metales, tomando en cuenta el enriquecimiento atribuido por efectos de acciones antrópicas en relación a un elemento conservativo. Al igual que Igeo, compara valores mesurados y valores de fondo o prehistóricos (Cabrera, 2018; Querol-Suñé, 2019; Oluwagbenga, Tunde y Funsho, 2019).

Un elemento conservativo es aquel elemento mineral resistente a procesos naturales de meteorización química, es decir, que no tienen mayores transformaciones en ciclos geoquímicos, dentro de estos destaca el aluminio (Al) (Barbieri, 2016). A continuación, se presenta la ecuación del índice antes mencionado.

$$\mathrm{EF} = \frac{[Me]Sample/[Al]Sample}{[Me]Background/[Al]Background} \quad \textbf{(Ec. 2)}$$

Donde:
- *[Me]Sample:* es la concentración de metal en una muestra dada,
- *[Al]Sample:* corresponde a la concentración de aluminio o elemento conservativo en una muestra,
- *[Me]Background:* es la concentración de metal de fondo, y
- *[Al]Background:* es la concentración de aluminio o elemento conservativo de fondo.

Una vez calculado el índice, se procede a interpretar el grado de contaminación, bajo los criterios de Barbieri (2016), mismos que se presentan en la Tabla 6.

Tabla 6. Interpretación de Enrichment Factor (*EF*).

Valor	Interpretación
EF ≤ 2	Enriquecimiento mínimo.
2 ≤ EF ≤ 5	Enriquecimiento moderado.
5 ≤ EF ≤ 20	Enriquecimiento significante.
EF ≥ 40	Enriquecimiento extremadamente alto.

Fuente: Elaboración propia, a partir de información extraída de Barbieri (2016).

Si el valor medido presenta valores EF menores que 2, existe enriquecimiento mínimo; Si EF está entre 2 y 5, hay enriquecimiento moderado; si EF está entre 5 y 20 existe enriquecimiento significante y si EF supera 40, el enriquecimiento es extremadamente alta.

3. Pollution Load Index (PLI)

El PLI evalúa el nivel de carga de contaminación en una muestra para un total de elementos metálicos analizados en una muestra a diferencia de los índices tratados anteriormente que determinan la contaminación de un solo elemento. Este índice se define como la enésima raíz del producto de la relación medida de un metal i, para su respectiva concentración de fondo (Pejman, *et al*., 2015).

A continuación, se presenta la ecuación del presente índice.

$$PLI = \sqrt[n]{C^1f * C^2f * C^3f *..* C^nf} \quad \textbf{(Ec. 3)}$$

$$C^if = \frac{C^is}{C^in} \quad \textbf{(Ec. 4)}$$

Donde:

- *Cif:* es la concentración de un metal en la muestra,
- *Cis*: es la concentración medida para un metal i, y
- *Cin:* es la concentración de fondo para un metal i en una muestra.

La Tabla 7, presenta la interpretación del índice *PLI*, bajo los criterios de Pejman *et al*., (2015).

Tabla 7. Interpretación de Enrichment Factor (*EF*).

Valor	Interpretación
PLI > 1	Existencia de contaminación
PLI <1	Ausencia de contaminación

Fuente: Elaboración propia, a partir de información extraída de Pejman *et al*., (2015).

Si el valor de PLI > 1, implica la existencia de contaminación, mientras que PLI < 1 denota ausencia de contaminación.

3. Resultados

3.1. Evaluación de las concentraciones totales medidas de metales en suelos de la REMACAM

Los resultados de los Mp seleccionados para su estudio en los 5 puntos de monitoreo en la REMACAM se muestran en la Tabla 8.

Tabla 8. Valores de concentraciones totales de metales en suelo REMACAM (mg/Kg).

Elemento	Zona de manglar y recolección de moluscos.	Zona de camaronera inactiva.	Zona de recolección de concha	Zona de recolección de cangrejo.	Zona netamente de manglar y recolección de concha.
	Punto 1	Punto 2	Punto 3	Punto 4	Punto 5
Aluminio (Al)	47835.65	20008.00	38568.43	23770.25	49950.02
Cadmio (Cd)	0.25	0.25	0.25	0.25	0.25
Níquel (Ni)	18.72	10	18.26	10	17.01
Plomo (Pb)	10	10	10	10	10
Zinc (Zn)	58	50	50	50	50.58

Fuente: Elaboración propia, a partir de información extraída de los resultados del CESSTA-ESPOCH, 2019

En la Figura 3 se representa los valores de concentración de los Mp de los 5 puntos de monitoreo, tomados como puntos de referencia y en esta se aprecia que el Al se manifestó con un valor alto para la muestra 5 (Zona de manglar y actividades de recolección de concha), bajo para la muestra 2. El Cd, se aprecia que no varía el valor en ninguno de los puntos de muestreo. El Ni presenta un valor mayor en el punto 3 (Zona de recolección de concha), y un menor valor en los puntos 2 y 4. El valor de Pb, no varío en todos los puntos de muestreo, presentando un valor constante. Finalmente, el Zn, muestra un valor alto en el punto 1 (Zona de manglar y de actividades de recolección de moluscos concha y cangrejo) y bajo en los puntos 2, 3, y 4.

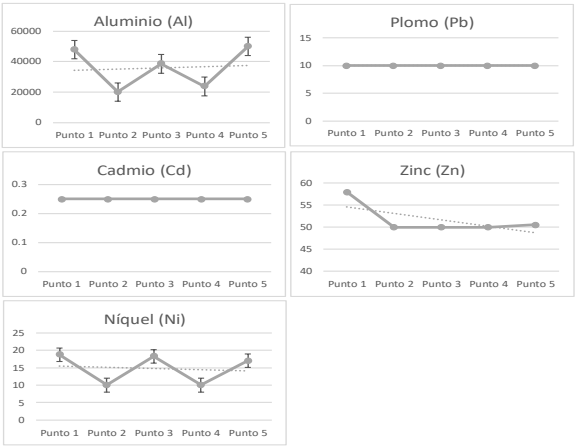


Figura 3. Valores de concentraciones totales de metales en suelo REMACAM (mg/Kg).

3.2. Aplicación de índices de polución

La Tabla 9, muestra los valores de los índices de polución y su respectiva interpretación.

Tabla 9. Cálculo de índices de polución para suelos de la REMACAM.

Punto	Elemento	Concentración medida (mg/Kg)	Concentración de fondo (mg/Kg)	EF	Igeo	PLI		Interpretación		
						CPn	Total	EF	Igeo	PLI
S1	Al	47835,65	80000	1	-1,3268763	0,597945625	1,23073532	Mínimo	No Contaminado	Existencia de contaminación
	Cd	0,25	0,3	1,39366073	-0,84799691	0,833333333		Mínimo	No Contaminado	
	Ni	18,72	68	0,46039992	-2,44591681	0,275294118		Mínimo	No Contaminado	
	Pb	10	20	0,83619644	-1,5849625	0,5		Mínimo	No Contaminado	
	Zn	58,63	95	1,03213046	-1,28125096	0,617157895		Mínimo	No Contaminado	
S2	Al	20008	80000	1	-2,58438554	0,2501	1,17678987	Mínimo	No Contaminado	Existencia de contaminación
	Cd	0,25	0,3	3,33200053	-0,84799691	0,833333333		Moderado	No Contaminado	
	Ni	10	68	0,58800009	-3,35049725	0,147058824		Mínimo	No Contaminado	
	Pb	10	20	1,99920032	-1,5849625	0,5		Mínimo	No Contaminado	
	Zn	50	95	2,10442139	-1,51096192	0,526315789		Moderado	No Contaminado	
S3	Al	38568,43	80000	1	-1,63754208	0,482105375	1,21153942	Mínimo	No Contaminado	Existencia de contaminación
	Cd	0,25	0,3	1,72852944	-0,84799691	0,833333333		Mínimo	No Contaminado	
	Ni	18,26	68	0,55699319	-2,48181048	0,268529412		Mínimo	No Contaminado	
	Pb	10	20	1,03711766	-1,5849625	0,5		Mínimo	No Contaminado	
	Zn	50	95	1,0917028	-1,51096192	0,526315789		Mínimo	No Contaminado	
S4	Al	23770,25	80000	1	-2,33580542	0,297128125	1,18165396	Mínimo	No Contaminado	Existencia de contaminación
	Cd	0,25	0,3	2,80462623	-0,84799691	0,833333333		Moderado	No Contaminado	
	Ni	10	68	0,49493404	-3,35049725	0,147058824		Mínimo	No Contaminado	
	Pb	10	20	1,68277574	-1,5849625	0,5		Mínimo	No Contaminado	
	Zn	50	95	1,77134288	-1,51096192	0,526315789		Mínimo	No Contaminado	
S5	Al	49950,02	80000	1	-1,26447725	0,62437525	1,22337298	Mínimo	No Contaminado	Existencia de contaminación
	Cd	0,25	0,3	1,33466747	-0,84799691	0,833333333		Mínimo	No Contaminado	
	Ni	17,01	68	0,40063577	-2,58411411	0,250147059		Mínimo	No Contaminado	
	Pb	10	20	0,80080048	-1,5849625	0,5		Mínimo	No Contaminado	
	Zn	50,58	95	0,85272607	-1,49432298	0,532421053		Mínimo	No Contaminado	

Fuente: Elaboración propia, a partir de información extraída de los resultados del CESSTA-ESPOCH, 2019.

De la Tabla 9, se puede apreciar que los resultados son muy homogéneos en todos los puntos de muestreo, donde se observa que los valores denotan valores mínimos.

El análisis de cada índice será profundizado en el apartado 3.4 Interpretación de índices de polución.

3.3. Comparativo de concentraciones medidas de suelo con normativa ecuatoriana

La Tabla 10, muestra el comparativo entre los resultados obtenidos del análisis de laboratorio con valores límites establecidos por la normativa oficial para suelos.

Tabla 10. Comparación con normativa legal.

Punto y referencia	Elemento	Concentración medida (mg/Kg)	Limite legislación (mg/Kg)	Supera/No supera
S1: Zona de manglar y recolección de moluscos	Cd	0,25	0,5	No supera
	Ni	18,72	19	No supera
	Pb	10	19	No supera
	Zn	58,63	60	No supera
S2: Zona de camaronera inactiva	Cd	0,25	0,5	No supera
	Ni	18,26	19	No supera
	Pb	10	19	No supera
	Zn	50	60	No supera
S3: Zona de recolección de concha	Cd	0,25	0,5	No supera
	Ni	18,26	19	No supera
	Pb	10	19	No supera
	Zn	50	60	No supera
S4: Zona de recolección de cangrejo	Cd	0,25	0,5	No supera
	Ni	10	19	No supera
	Pb	10	19	No supera
	Zn	50	60	No supera
S5: Zona netamente de manglar	Cd	0,25	0,5	No supera
	Ni	17,01	19	No supera
	Pb	10	19	No supera
	Zn	50,58	60	No supera

Fuente: Elaboración propia, a partir de información extraída de los resultados del CESSTA-ESPOCH, (2019); MAE, (2015).

Del comparativo de la Tabla 10, se puede apreciar que, de los valores medidos de concentraciones de metales, ninguno sobrepasa la normativa legal ecuatoriana de límites máximos permisibles. Sin embargo, es necesario tomar en cuenta a los elementos Ni y Zn.

En cuanto al elemento Ni, existen valores que están muy próximos al límite máximo permisible. Estos valores corresponden a los puntos de zona de recolección de moluscos (S1), zona de recolección de conchas (S3) y zona de manglar (S5), por lo tanto, es necesario corroborar mediante la aplicación de índices de polución que dichos valores no implican peligro para el ecosistema y principalmente para la salud de los habitantes ya que estas zonas son de recolección de alimentos para el autoconsumo.

En relación al elemento Zn, nuevamente se denota a la zona de manglar y recolección de moluscos dado que el valor mostrado en esta zona se encuentra muy próximo al límite máximo permisible, lo que podría implicar riesgos para el ecosistema en cuestión.

3.4. Interpretación de índices de polución

1. Índice de geoacumulación (*Igeo*)

La Figura 4, muestra los resultados del índice *Igeo*, donde se evidencio que ninguno de los elementos en las muestras analizadas supera el valor de 0, por lo tanto, el presente índice afirma que dentro de todos los puntos de muestreo de la REMACAM no existe contaminación por los elementos analizados, de igual forma se infiere que la presencia de dichos elementos metálicos no implica un riesgo para el ecosistema ni la salud de los habitantes de la zona.

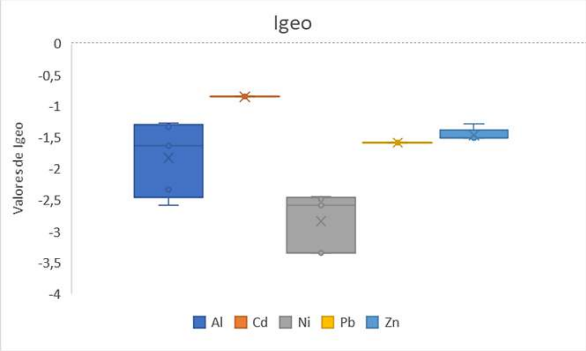


Figura 4. Resultados del índice de geoacumulación (*Igeo*). Fuente: Elaboración propia, a partir de información de la Tabla 9.

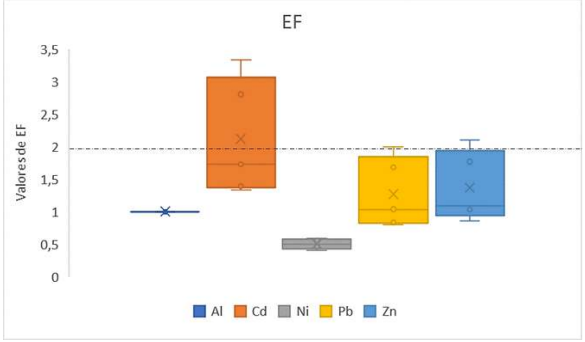


Figura 5. Resultados Enrichment Factor (*EF*). Fuente: Elaboración propia, a partir de información extraída de la Tabla 9.

El elemento que mayores valores de *Igeo* presenta es el Cd (-0,84799691; Igeo ≤ 0; No contaminado), aunque no llega a ser peligroso para dicho hábitat (Peligro, 1 ≤ Igeo ≤ 2; Moderado). Este resultado pone en consideración que se deben realizar monitoreos periódicos a fin de conocer la variabilidad temporal del elemento, además denota la importancia de poner énfasis en la gestión agrícola y de aguas residuales de los poblados cercanos a la reserva, considerando que este elemento podría proceder de dichas actividades.

En general, los valores presentados hasta el momento, de acuerdo al índice aplicado proporcionan resultados alentadores en cuanto la gestión desarrollada en la reserva.

2. Enrichment Factor (EF)

La Figura 5, presenta el *EF*, en donde se obtuvo que los elementos analizados Al, Ni y Pb mostraron un enriquecimiento mínimo en todos los 5 puntos de muestreo, sin implicar riesgos sobre el medio ambiente ni la seguridad alimentaria de las poblaciones adyacentes.

El Zn mostró un enriquecimiento moderado atribuido a que existe una zona de camaronicultura inactiva, no obstante, su presencia puede relacionar con rezagos de fertilizantes, antibióticos y productos químicos para la crianza de larvas que persisten en el ecosistema. Según Rodríguez, Aguirre y Chiriboga (2016); González *et al.*, (2017) el uso de químicos y agua salobre es tan fuerte que el suelo se saliniza en pocos años, y queda inutilizable para la industria camaronera o cualquier otra actividad. Es por eso que abundan las camaroneras abandonadas.

El elemento que mayor enriquecimiento presenta es el Cd. Si bien el anterior índice analizado *Igeo* mostró que dicho elemento no representaba riesgos para el ecosistema, EF presenta que en la mayoría de puntos analizados existe enriquecimiento de tipo moderado, representando mayores riesgos sobre la reserva. Nuevamente dichos valores proporcionan indicios de que la actividad agrícola de la zona y la descarga de aguas sin tratamiento pueden implicar riesgos sobre la REMACAM.

Adiciónateme, a las dificultades identificadas, de contaminación, se debe no solamente a la falta de alcantarillado, sistemas de tratamiento de aguas negras y grises en ciudades como San Lorenzo, Limones o la Tola, sino que

fundamentalmente no hay sistemas para el tratamiento de desechos tóxicos como aceites y combustibles que son utilizados por la flota pesquera y en general el sistema de transporte, entre otros.

De acuerdo con González *et al.*, (2017), los efectos de la contaminación no solamente incurren sobre la diversidad local, sino que también son atentatorios contra la salud humana, en la medida de que varios de los organismos normalmente consumidos por el hombre (i.e. conchas) realizan la función de filtradores del agua y por lo tanto almacenes de sustancias químicas no degradables.

Si bien al momento existen vedas nacionales que controlan la talla de captura de las conchas marinas y la época de muda y reproducción de cangrejo azul, quedan algunos vacíos en relación a la restricción de captura de otros recursos, a la aplicabilidad de estas vedas en la zona de la REMACAM, pero fundamentalmente dudas sobre los efectos que el proceso de extracción genera sobre el propio recurso, las especies ecológicamente relacionadas y en general el mismo ecosistema. A esto se suma las artes de pesca inadecuadas, el crecimiento demográfico y la migración que han significado el aumento en la presión sobre los recursos.

Por experiencia propia de uno de los autores, por más de 10 años, como gestor de desarrollo local en comunidades de manglar y fronterizas, en especial en el cantón San Lorenzo, provincia de Esmeraldas, se puede expresar que, si bien la cacería y la extracción de madera son problemas de incidencia respectivamente baja, es posible que su corta importancia se deba justamente a que la existencia de este tipo de recursos es tan baja que no resulta rentable en términos de tiempo y dinero a los cazadores y madereros. Es decir, es posible que la REMACAM, al menos en lo que tiene que ver con su fauna mayor y flora maderable haya llegado al límite inferior en dos de sus ecosistemas más importantes: el bosque húmedo tropical y el sistema fluvial o de agua dulce.

3. Pollution Load Index (PLI)

Es necesario volver a mencionar que los índices Igeo y EF denotan el grado de contaminación por elementos individuales (Cieslewicz *et al*., 2017; Cáceres *et al*., 2013), mientras que PLI muestra el nivel de contaminación total en una muestra por el conjunto de todos los elementos de una muestra (Pejman *et al.*, 2015).

La Figura 6 presenta los resultados PLI, para el conjunto de elementos analizados en cada muestra, todos los puntos tomados en cuenta de la reserva presentan evidencia de contaminación.

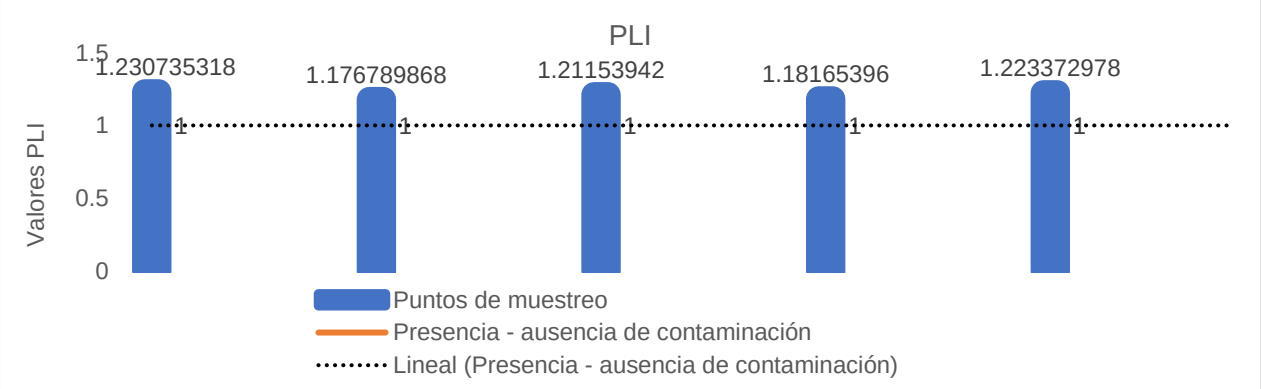


Figura 6. Resultados Pollution Load Index (*PLI*). Fuente: Elaboración propia, a partir de información extraída de la Tabla 9.

El mayor valor de PLI se presenta en el Punto 1 correspondiente a la zona de manglar y recolección de moluscos, lo que denota que por conjunto de metales analizados esta área es la de mayor contaminación, por lo que, de manera global, podría existir peligro para el medio ambiente y la seguridad alimentaria de los pobladores de la zona.

En cuanto a normativa ecuatoriana relacionada a zonas protegidas se ha establecido el acuerdo sobre la Reserva Primera Milla Marina, el mismo que establece la prohibición de toda actividad pesquera dentro de una milla medida desde la orilla del perfil de la costa continental por ser zona de reserva de producción de especies bioacuáticas. Dentro de esta se permite la recolección, extracción o captura manual de moluscos y crustáceos por parte de pescadores artesanales y se permite además la utilización de artes de pesca tradicionales. En lo correspondiente a la REMACAM se permite el ejercicio de la actividad pesquera artesanal regulada (MAE, 2014). Dicho esto, de la comparación de los resultados obtenidos de concentraciones de suelos con normativa legal técnica de Ecuador, se puede apreciar que ninguna concentración medida supero la normativa, sin embargo, hay que tomar en cuenta que la normativa ecuatoriana para suelos no distingue valores especiales para zonas protegidas, por lo tanto, es necesario que además de medidas espaciales de protección, se planteen valores específicos de concentraciones de metales en suelos para zonas protegidas en Ecuador, para de esta forma determinar concisamente si se está o no sobrepasando los límites legales.

De los estudios consultados en bibliografía hay que tomar en cuenta que no se ha encontrado ningún estudio sobre índices de polución aplicados a suelos en territorio ecuatoriano, motivo por el cual se dificulta obtener una referencia teórica de valores de concentraciones de fondo, del mismo modo las condiciones heterogéneas de composición de suelo de la REMACAM han obstaculizado la determinación de dichos valores. De acuerdo a estudios realizados por Jiménez, Conde y Martín (2010); Cáceres *et al.*, (2013); El-Amier, Alghanem y Alzuaibr (2017); Cabrera (2018); Querol-Suñé (2019), desde el enfoque investigativo, es válido utilizar concentraciones teóricas dado que permite realizar comparaciones del estado de contaminación entre diferentes ecosistemas ubicados en diversas localidades, sin embargo, es de gran interés el desarrollo de metodologías y técnicas para la determinación de valores de fondo para lugares específicos.

La contaminación de metales en el componente suelo puede persistir por periodos considerables en el medioambiente (Cabrera, 2018). En el caso de elementos como el Cd, Cu y Pb pueden llegar a tener una vida media en el suelo de 15 a 1100, 310 a 1500 y 740 a 5900 años respectivamente. Las concentraciones y persistencia están influenciadas por características propias del suelo tales como: granulometría, clima y topografía (Rueda, Rodríguez y Madriñán, 2011). Realizado el análisis de *Igeo*, se determina que ningún elemento analizado supone un peligro hacia el ecosistema de manglar, sin embargo, obtenidos los análisis de EF, se establece que los elementos que podrían generar posibles afectaciones al medio ambiente son Zinc y Cadmio principalmente en la zona de la camaronera inactiva, lo que denota que existe una persistencia del elemento Cadmio sobre la REMACAM.

Citando reiteradamente la normativa ecuatoriana relacionada a zonas protegidas, donde se ha establecido el acuerdo sobre la Reserva Primera Milla Marina (Acuerdo Ministerial Nº 134), el mismo que instaura la prohibición de toda actividad pesquera dentro de una milla medida desde la orilla del perfil

de la costa continental por ser zona de reserva de producción de especies bioacuáticas. Se pone en evidencia que, dentro de la REMACAM, no se están cumpliendo procedimientos artesanales de pesca y recolección. De esta forma, es ineludible la profundización del conocimiento sobre el efecto de las camaroneras dentro de la zona para realizar un adecuado control de dicha actividad económica sobre los manglares tropicales.

Dentro de esta se permite la recolección, extracción o captura manual de moluscos y crustáceos por parte de pescadores artesanales y se permite además la utilización de artes de pesca tradicionales. En lo correspondiente a la REMACAM se permite el ejercicio de la actividad pesquera artesanal regulada (MAE, 2014). Dicho esto, de la comparación de los resultados obtenidos de concentraciones de suelos con normativa legal técnica de Ecuador, se puede apreciar que ninguna concentración medida supero la normativa, sin embargo, hay que tomar en cuenta que la normativa ecuatoriana para suelos no distingue valores especiales para zonas protegidas, por lo tanto, es necesario que además de medidas espaciales de protección, se planteen valores específicos de concentraciones de metales en suelos para zonas protegidas en Ecuador, para de esta forma determinar concisamente si se está o no sobrepasando los límites legales.

Un índice de polución se define como un modelo aplicado para medir el estado actual y las tendencias en condiciones físicas, químicas o biológicas del medio ambiente (Muyulema, 2018). Puesto que va acompañado de umbrales para la adecuada gestión con la finalidad de lograr los objetivos deseados sobre un determinado ecosistema (Rees *et al*., 2008; Cáceres *et al.*, 2013; González-Salazar *et al.*, 2015; Builes-Cadavid *et al.*, 2018). En cuanto al análisis de PLI, este denota que todas las muestras de suelo tomadas en cuenta presentan contaminación. Si bien este índice denota la presencia o no de contaminación, el mismo no detalla claramente el grado de contaminación que posee el suelo analizado, por lo que para el análisis de contaminación por un conjunto de metales se deben desarrollar índices que detallen mayor información sobre el estado de contaminación del suelo de un ecosistema.

El suelo actúa como captador potencial de contaminantes, así que los Mp pueden llegar a ser extremadamente dañinos para los ambientes acuáticos y en particular para los organismos huéspedes que están en contacto directo con el componente suelo (Londoño-Franco *et al.*, 2016; Pernía *et al.*, 2018; Toriz-Robles *et al.*, 2019). La intensidad de contaminación tiene gran impacto en su supervivencia, incluso llegando a acumularse sobre sus tejidos, lo que implica el ingreso de metales sobre la cadena alimentaria y amenazando a la salud del ecosistema entero a través de fenómenos de bioacumulación y biomagnificación (Liu *et al.*, 2014; Soleimani, Taghavi y Ghaemy, 2017; Zafra-Mejía *et al.*, 2018; Oluwagbenga, Tunde y Funsho, 2019). Dicho esto, de acuerdo al análisis de PLI se establece que las zonas de mayor contaminación son las áreas netamente de manglar y de recolección de moluscos, lo que muestra que podrían existir problemas de bioacumulación sobre los moluscos recolectados en la zona para el consumo de las poblaciones circundantes.

La bioacumulación y biodisponibilidad de un elemento metálico en el suelo está en función de: la forma química y física en la que se encuentra en el medio y de la capacidad de los organismos para absorberlo o ingerirlo (Liu *et al.*, 2014; Ayala-Armijos *et al.*, 2015; Cabrera, 2018). Los elementos metálicos acumulados en los organismos pueden ser de tres a cinco ordenes de magnitud mayores que la concentración del medio donde vive (González-Salazar *et al.*, 2015; Bautista *et al.*,

2017; Pérez *et al.*, 2019). Dado que los lugares que presentan mayores valores de PLI, están relacionados al consumo de especies para la alimentación es necesario realizar análisis detallados a las especies comestibles del lugar para determinar el potencial de afectación a la salud de los habitantes de las poblaciones aledañas. Así mismo, se deben ejecutar exámenes médicos a la población de la zona de influencia directa de la REMACAM.

4. Conclusiones

Se concluye de la evaluación de las concentraciones de fondo de los suelos del sitio de estudio como parámetro previo para la aplicación de índices de calidad, la decisión de la utilización de valores de fondo teóricos, considerando, similares condiciones geográficas, ambientales y socioeconómicas que lo hacen parecido a la zona estudiada, y que a su vez han sido utilizados en estudios publicados recientemente en revistas de alto impacto, los mismos que han presentado valores fiables sobre el estado de la contaminación en sus correspondientes zonas de estudio. Puesto que, dadas las condiciones de la reserva en relación a las presiones antrópicas como pesca, recolección de moluscos y desarrollo de comunidades cercanas a la zona, se dificultó la determinación de valores de fondo propios de la zona.

Se aplicaron satisfactoriamente índices de polución para la determinación de la contaminación de la REMACAM. Los índices basados en la geoquímica del sitio y valores de fondo han proporcionado una aproximación global sobre el estado actual del ecosistema tratado, ante la falta de investigaciones en relación al estado de contaminación del suelo de dicha reserva, el presente estudio representa una base para la continuación del desarrollo del análisis y el estudio de zonas protegidas de manglar. Mediante la aplicación de *Igeo*, se pudo determinar que no existen problemas de contaminación por elementos metálicos en el suelo, sin embargo, al contrastar con los resultados obtenidos a partir de la aplicación de *EF*, se apreció que el elemento Cadmio (Cd) presentó enriquecimiento moderado en la mayoría de los puntos, mientras que Zinc mostró igualmente enriquecimiento moderado en el punto correspondiente a la camaronera inactiva. El índice *PLI* no proporciona un nivel claro del estado de contaminación para un conjunto de metales en una muestra, sin embargo, denota que existe problemática de contaminación en los puntos tomados en cuenta, por lo tanto, es necesario continuar con investigaciones relacionadas al comportamiento de metales en su conjunto para determinar claramente una magnitud específica sobre el estado de contaminación global.

Las concentraciones obtenidas después del proceso de análisis de laboratorio fueron comparadas con normativa legal técnica ecuatoriana, donde se mostró que ningún elemento metálico analizado en los suelos de la REMACAM superó el máximo permisible, sin embargo, se puede evidenciar que no es suficiente cumplir con la normativa legal. Se debe evaluar la dinámica de las concentraciones en un determinado metal para afirmar que no se están produciendo riesgos para un ecosistema y más aún, si se trata de una zona protegida. Muestra de esto, es el elemento Cd que, aunque no supero la normativa mostró valores de enriquecimiento moderado en la mayoría de puntos de muestreo, pudiendo implicar riesgos sobre la reserva.

Una vez aplicados los índices de polución tratados, se han identificado dos zonas de mayor problemática ambiental. La primera corresponde a (S1) comprendiendo a la zona de manglar y recolección de moluscos, lo que

puede denotar que dicha área puede actuar como sumidero de contaminantes metálicos por las dinámicas del agua que se pueden dar en este punto. La segunda corresponde a (S2) comprendiendo a la zona de la camaronera inactiva, por lo que se puede asumir que existen rezagos de químicos relacionados a estas actividades persistentes todavía en el ecosistema.

5. Agradecimientos

La presente publicación forma parte de los estudios correspondientes al proyecto de investigación «Evaluación de la contaminación por metales pesados en suelos de la Reserva Ecológica de Manglares Cayapas Mataje (REMACAM) del cantón San Lorenzo – Esmeraldas – Ecuador», cuya clave es ECMAMGA2323400, y se encuentra financiado por el Grupo Consultor Empresarial CAAPTES – Ecuador, desarrollado en acuerdo de colaboración en investigación con el Lcdo. Santelmo Máximo Canga Castillo, M.Sc - Agente de Desarrollo Local en comunidades de manglar y fronterizas del cantón San Lorenzo, de la provincia de Esmeraldas, Ecuador.

6. Referencias bibliográficas

1. Ayala-Armijos, H., Pérez-Rodríguez, J., Quezada-Abad, C., Silva-Ochoa, A., & Cortéz-Suarez, L. (2015). «Cuantificación de metales pesados (Hg, As, Pb y Cr) en organismos acuáticos: cangrejo rojo (Ucides occidentalis)». *Revista Ciencia UNEMI, 8(16),* 54-60.

2. Banguero-Camacho, V., & Giraldo-Díaz, R. (2018). «Mangrove Economy: etho-politics and social change». *Entramado, 14(1),* 104-110. doi: https://dx.doi.org/10.18041/entramado.2018v14n1.27156.

3. Barbieri, M. (2016). «The Importance of Enrichment Factor (EF) and Geoaccumulation Index(Igeo) to Evaluate the Soil Contamination». *Geology & Geophysics, 5(1),* 1-4. doi:10.4172/2381-8719.1000237.

4. Bautista, F., Campuzano, E., Delgado, C., & Goguitchaichvili, A. (2017). «Índices de sorción de metales pesados en suelos urbanos: el caso de Morelia, Michoacán». *Boletín de la Sociedad Geológica Mexicana, 69(2),* 433-445.

5. Brenner, L. (2018). «The impacts of Public Policies on Mangroves in Chiapas, Mexico: A Consequence of Lacking Environmental Policy Integration». *Gestión y Política Pública, 27(1),* 237-267.

6. Builes-Cadavid, C. I., Garcés-Giraldo, L. F., & Saldarriaga, L. E. (2018). «Antecedentes de la ecosofía». *Producción + Limpia, 13(1),* 120-125. doi:10.22507/pml.v13n1a9.

7. Cabrera, D. J. (2018). *Assessment of heavy metals contamination in sediments and soils of Biological Reserve Limoncocha – Ecuador by pollution indices.* Santander: Universidad de Cantabria, ETS de Ingenieros Industriales y de Telecomunicación. Obtenido de https://repositorio.unican.es/xmlui/bitstream/handle/10902/14196/409479.pdf?sequence=1.

8. Cáceres, L. F., Ramos, O. E., Valdez, S. N., Choque, R., Choque, R. G., Fernández, S. G., Bhattacharya, P. (2013). «Fractionation of heavy metals and assessmentof contamination of the sediments of Lake Titicaca». *Environmental Monitoring and Assessment, 185(12),* 9979–9994. doi:10.1007/s10661-013-3306-0.

9. Castro, G., & Valdés, J. (2012). «Concentración de metales pesados (Cu, Ni, Zn, Cd, Pb) en la biota y sedimentos de una playa artificial, en la bahía San Jorge 23°S, norte de Chile». *Latin american journal of aquatic research, 40(2)*, 267-281. doi:10.3856/vol40-issuec-fulltext-3.

10. Columba, Z. K. (2013). *Manual para la Gestión Operativa de las Áreas Protegidas de Ecuador.* Agencia de los Estados Unidos para el Desarrollo Internacional (USAID), Chemonics International para el Ministerio del Ambiente de Ecuador (MAE). Quito: FLACSO. Obtenido de http://suia.ambiente.gob.ec/documents/10179/346515/Manual-para-la-Gesti%C3%B3n-Operativa-de-las-%C3%81reas-Protegidas-de-Ecuador.pdf/d313841d-e30d-4edf-a387-c42309147482.

11. Cuesta, F., Peralvo, M., Baquero, F., Bustamante, M., Merino, A., Muriel, P., . . . Torres, O. (2015). *Áreas prioritarias para la conservación del Ecuador continental.* Quito: Ministerio de Ambiente, CONDESAN, Pontificia Universidad Católica del Ecuador, GIZ.

12. El-Amier, Y. A., Alghanem, S. M., & Alzuaibr, F. M. (2017). «Bioaccumulation and Translocation of Heavy Metals from Coastal Soil by Wild Halophytes». *American Journal of Environmental Protection, 5(2)*, 52-60. doi:10.12691/env-5-2-4.

13. Flores, L. (2010). «Tasa de crecimiento de Anadara tuberculosa (Sowerby, 1833) (Bivalvia: Arcidae) en la reserva ecológica manglares Cayapas-Mataje (REMACAM): Un análisis basado en sistemas de cajas suspendidas». *Revista Ciencias del Mar y Limnología, 4(1)*, 89-98. Obtenido de http://hdl.handle.net/1834/4838.

14. Fu, F., & Wang, Q. (2011). «Removal of heavy metal ions from wastewaters: A review». *Journal of Environmental Management, 92(3)*, 407-418. doi:10.1016/j.jenvman.2010.11.011.

15. Gómez, L. F., Gallego, B., & Naranjo, L. G. (2017). *Atlas socioambiental de las cuencas transfronterizas Mira y Mataje: aportes para su ordenamiento y gestión integral Colombia - Ecuador.* Cali: WWF-Colombia. Obtenido de http://d2ouvy59p0dg6k.cloudfront.net/downloads/atlas_socioambiental_de_las_cuencas_mira_y_mataje_aportes_para_su_ordenamiento_y_gestion.pdf.

16. González, V., Valle, S., Nirchio, M., Olivero, J., Tejeda, L., & Valdelamar, J. (2017). «Evaluación del riesgo de contaminación por metales pesados (Hg y Pb) en sedimentos marinos del Estero Huaylá, Puerto Bolívar, Ecuador». *Revista del Instituto de Investigación FIGMMG-UNMSM, 21(41)*, 75-82.

17. González-Salazar, I. G., López-Herrera, M., Monks, S., & Pulido-Flores, G. (2015). «Presencia de metalespesados en la Reserva de la Biosfera Barranca de Metztitlán, Hidalgo, México». *Estudios en Biodiversidad, 13*, 1-5. Obtenido de http://digitalcommons.unl.edu/biodiversidad/13.

18. Hamilton, S. E., Lovette, J. P., Borbor-Cordova, M. J., & Millones, M. (2017). «The Carbon Holdings of Northern Ecuador's Mangrove Forests». *Annals of the American Association of Geographers, 107(1)*, 54-71. doi:https://doi.org/10.1080/24694452.2016.1226160.

19. Jiménez, B. R., Conde, B. P., & Martín, R. J. (2010). «Niveles de fondo geoquímico e influencia del marco geológico en las concentraciones edafogeoquímicas de base de suelos seleccionados de Castilla-La Mancha». *Estudios Geológicos, 66(1),* 123-130. doi:10.3989/egeol.40214.119.

20. Liu, E., Yan, T., Birch, G., & Zhu, Y. (2014). «Pollution and health risk of potentially toxic metals in urban road dust in Nanjing, a mega-city of China». *Science of the Total Environment, 476-477,* 522-531. doi:https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2014.01.055.

21. Londoño-Franco, L. F., Londoño-Muñoz, P. T., & Muñoz-García, F. G. (2016). «Los riesgos de los metales pesados en la salud humana y animal». *Biotecnología en el Sector Agropecuario y Agroindustrial, 14(2),* 145-153. doi:10.18684/BSAA(14)145-153.

22. Lorente, J. I. (2014). «La gestión informativa del riesgo medioambiental». *CIC - Cuadernos de Información y Comunicación, 19,* 179-194. doi:http://dx.doi.org/10.5209/rev_CIYC.2014.v19.43910.

23. Luzuriaga, V. d., Solano, C. F., & Cevallos, D. (2007). «Bioecología de huevos y larvas de peces Cetengraulis mysticetus (Chuhueco), Opisthonema sp. (Pinchagua) y Anchoas en la reserva ecológica manglares Cayapas-Mataje - Ecuador». *Acta Oceanográfica del Pacífico, 14(1),* 101-114. Obtenido de http://hdl.handle.net/1834/2404.

24. MAE (Ministerio del Ambiente del Ecuador). (2009). *Ficha Informativa de los Humedales de Ramsar (FIR) Sitio Ramsar Reserva Ecológica Cayapas Mataje.* Guayaquil: MAE. Obtenido de http://www.ambiente.gob.ec/userfiles/50/Resumen%20Sitios%20Ramsar%20Ecuador.pdf.

25. MAE (Ministerio del Ambiente del Ecuador). (2014). *Plan de Manejo de la Reserva Ecológica Manglares Cayapas Mataje.* Guayaquil: MAE. Obtenido de http://maetransparente.ambiente.gob.ec/documentacion/Biodiversidad/PLAN_MANEJO_REMACAM_2015-2.pdf.

26. MAE (Ministerio del Ambiente del Ecuador). (2015). *Quinto Informe Nacional para el Convenio sobre la Diversidad Biológica.* Quito: MAE.

27. MAE (Ministerio del Ambiente del Ecuador). (2016). *Estrategia Nacional de Biodiversidad 2015–2030, primera edición.* Quito: Ministerio del Ambiente del Ecuador. Obtenido de https://www.undp.org/content/dam/ecuador/docs/documentos%20proyectos%20ambiente/Estrategia%20Nacional%20de%20Biodiversidad%202015-2030%20-%20CALIDAD%20WEB.pdf.

28. Marín, A., Gonzalez, V. H., Lapo, B., Molina, E., & Lemus, M. (2016). «Niveles de mercurio en sedimentos de la zona costera de El Oro, Ecuador». *Gayana (Concepción), 80(2),* 147-153. doi:http://dx.doi.org/10.4067/S0717-65382016000200147.

29. Molina, E. (2012). «Estudio comparativo de los sitios Ramsar en el Ecuador como oferta turística del Patrimonio Natural del Ecuador». *RICIT, 3,* 45-81.

30. Muyulema, A. J. (2018). «La ecología industrial y la economía circular. Retos actuales al desarrollo de industrias básicas en el Ecuador». *Dilemas Contemporáneos: Educación, Política y*

Valores, 5(2)., 101-120. doi:https://orcid.org/0000-0002-9663-8935.

31. Ochoa-Hueso, R. (2017). «El ciclo del nitrógeno y el hombre: De lo esencial a lo excesivo». *Revista Ecosistemas, 26(1)*, 1-3. doi:10.7818/ECOS.2017.26-1.01.

32. Oluwagbenga, A. P., Tunde, O. L., & Funsho, A. I. (2019). «A Study of Heavy Metals Pollution in the Coastal Marine Sediment of Ondo State, Nigeria». *Current Journal of Applied Science and Technology, 34(1)*, 1-10. doi:10.9734/CJAST/2019/v34i130112.

33. Ortiz-T, P. (2011). «Conflictos socioambientales o los escenarios urgentes para las ciencias sociales ecuatorianas en el Siglo XXI». *Universitas. Revista de Ciencias Sociales y Humanas, 14*, 191-207.

34. Pejman, A., Bidhendi, G. N., Ardestani, M., Saeedi, M., & Baghvand, A. (2015). «A new index for assessing heavy metals contamination in sediments: A case study». *Ecological Indicators, 58*, 365-373. doi:https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2015.06.012.

35. Pérez, C. P., Amado, Á. J., Segovia, O. E., Conesa, G. C., & Alarcón, C. J. (2019). «La degradación ambiental y sus efectos en la contaminación de las aguas superficiales en la cuenca del río Conchos (Chihuahua - México)». *Cuadernos GeográFicos, 58(1)*, 47-67. doi:10.30827/cuadgeo.v58i1.6636.

36. Pernía, B., Mero, M., Cornejo, X., Ramírez, N., Ramírez, L., Bravo, K., . . . Zambrano, J. (2018). «Determinación de cadmio y plomo en agua, sedimento y organismos bioindicadores en el Estero Salado, Ecuador». *Enfoque UTE, 9(2)*, 98-105. doi:http://dx.doi.org/10.29019/enfoqueute.v9n2.246.

37. Querol-Suñé, F. (2019). «Composición de los sedimentos de la cuenca del río Sonora y valores de fondo». *Revista Latino-Americana de Hidrogeología, 1, Número Especial*, 63-77.

38. Ramos, R. M., & Muñoz, A. L. (2015). «La enseñanza de la química ambiental: una propuesta fundamentada en la controversia científica y la resolución de problemas». *Revista de la Facultad de Ciencia y Tecnología -Tecné, Episteme y Didaxis, (38)*, 133-146.

39. Rees, H. L., Hyland, J. L., Hyland, K., Mercer, C. S., Roff, J. C., & Ware, S. (2008). «Environmental indicators: utility in meeting regulatory needs. An overview». *ICES Journal of Marine Science, 65*, 1381-1386. doi: https://doi.org/10.1093/icesjms/fsn153.

40. Rodríguez, C. G., Aguirre, L. G., & Chiriboga, C. F. (2016). «La gestión ambiental empresarial, su función frente a los cambios climáticos globales. Camaroneras, caso: manglares de Ecuador». *Universidad y Sociedad, 8(3)*, 43-50.

41. Rodríguez, H. D. (2017). «Intoxicación ocupacional por metales pesados». *MEDISAN, 21(12)*, 7003-7016.

42. Rodríguez-Jorquera, I. A., Siroski, P., Espejo, W., Nimptsch, J., Choueri, P. G., Choueri, P. J., . . . Toor, G. (2017). «Latin American protected areas: Protected from chemical pollution?». *Integrated Environmental Assessment and Management, 13 (2)*, 360-370. doi:10.1002/ieam.1839.

43. Romero-Berny, E. I., Tovilla-Hernández, N., Torrescano-Valle, & Schmoo, B. (2019). «Heterogeneidad estructural del manglar como respuesta a factores ambientales y antrópicos en el Soconusco, Chiapas, México». *Polibotánica, 47*, 39-58. doi:10.18387/polibotanica.47.4.

44. Rueda, G., Rodríguez, J. A., & Madriñán, R. (2011). «Metodologías para establecer valores de referencia de metales pesados en suelos agrícolas: Perspectivas para Colombia». *Acta Agronómica, 60(3)*, 203 – 218.

45. Senplades (Secretaría Nacional de Planificación y Desarrollo). (2013). *Agenda Zonal: Zona 1-Norte. Provincia Esmeraldas, Imbabura, Carchi, Sucumbios: 2013-2017.* Quito: Senplades.

46. Soleimani, B., Taghavi, M., & Ghaemy, M. (2017). «Synthesis, Characterization and Heavy Metal Ion Adsorption Behavior of Imidazole-Based Novel Polyamides and Polyimides». *Journal of the Mexican Chemical Society, 61(3)*, 229-240.

47. Thanh-Nho, N., Marchand, C., Strady, E., Huu-Phat, N., & Nhu-Trang, T.-T. (2019). «Bioaccumulation of some trace elements in tropical mangrove plants and snails (Can Gio, Vietnam)». *Environmental Pollution, 248*, 635-645. doi:https://doi.org/10.1016/j.envpol.2019.02.041.

48. Tobar, J., Ramírez-Muñoz, M., Fermín, I., & Senior, W. (2017). «Concentración de Metales Pesados en Bivalvos anadara tuberculosa y a. Similis del Estero huaylá, Provincia de el Oro, Ecuador». *Boletín del Centro de Investigaciones Biológicas, 51(1)*, 19-30.

49. Toriz-Robles, N., Ramírez-Guzmán, M. E., Fernández-Ordoñez, Y. M., Soria-Ruiz, J., & Ybarra, M. M. (2019). «Comparison of linear and nonlinear models to estimate the risk of soil contamination». *Agrociencia, 53*, 269-283.

50. Turekian, K., & Wedepohl, K. (1961). «Distribution of the Elements in Some Major Units of the Earth's Crust». *Geological Society of America Bulletin, (72)*, 175-192. doi:10.12691/env-5-2-4.

51. Ubeid, K. F., Al-Agha, M. R., & El-Turk, M. F. (2018). «Heavy Metals Distribution and Pollution in the Sediments of the Wadi Gaza Mouth, Eastern Mediterranean Coast, Palestine». *Serie Correlación Geológica, 34 (1)*, 71-88.

52. Zafra-Mejía, C., Rondón-Quintana, H., & Gutiérrez-Malaxechebarria, Á. (2018). «Heavy metal contribution by runoff in a high-altitude megacity: a method based on the road-deposited sediment characterization». *DYNA, 85(206)*, 85-94. doi: https://doi.org/10.15446/dyna.v85n206.64839.

53. Zambrano, R., & Meiners, C. (2018). «Notas sobre taxonomía, biología y pesquería de Ucides occidentalis (Brachyura: Ocypodidae) con énfasis en el Golfo de Guayaquil, Ecuador». *Revista Peruana De Biología 25(1), 055-066. https://doi.org/10.15381/rpb.v2*, 55-66. doi:https://doi.org/10.15381/rpb.v25i1.13821.