

Pedro Ramos De Santis ^a

Obtención de un índice de contaminación ambiental producto de la actividad petrolera en distintos escenarios de la Amazonía ecuatoriana por medio de análisis de componentes principales

Revista Científica de Investigación actualización del mundo de las Ciencias. Vol. 2 núm., 1, febrero, ISSN: 2588-0748, 2018, pp. 575-597

DOI: [10.26820/reciamuc/2.1.2018.575-597](https://doi.org/10.26820/reciamuc/2.1.2018.575-597)

Editorial Saberes del Conocimiento

Recibido: 09/08/2017

Aceptado: 17/01/2018

a. Universidad de Guayaquil; pedro.ramosd@ug.edu.ec

Obtención de un índice de contaminación ambiental producto de la actividad petrolera en distintos escenarios de la Amazonía ecuatoriana por medio de análisis de componentes principales

Vol. 2, núm. 1., (2018)

Pedro Ramos De Santis

RESUMEN

Al mismo tiempo que la actividad petrolera se consolidó como la principal fuente de generación de ingresos para el Estado Ecuatoriano, lamentablemente se iniciaron, crecieron y consolidaron, diversos escenarios de daño e impacto ecológico que no han sido mitigados, controlados y remediados. Más allá de esto, una preocupación básica es que estos daños no han sido contabilizados en su totalidad ni tampoco analizados estadística y matemáticamente, por medio de las herramientas tecnológicas apropiadas, con el fin de poder obtener índices de contaminación que permitan aterrizar la cruda realidad de esta situación y generar indicadores que faciliten una correcta y oportuna toma de decisiones. Este trabajo se enfoca en gestionar tecnológicamente los datos disponibles para obtener la ubicación de los escenarios con mayor índice de contaminación petrolera, con el fin de que sirva de punto de partida a una tarea de remediación más técnica y enfocada.

Palabras claves: Actividad petrolera, impacto ecológico, índice de contaminación, herramientas tecnológicas, escenarios, remediación.

Obtención de un índice de contaminación ambiental producto de la actividad petrolera en distintos escenarios de la Amazonía ecuatoriana por medio de análisis de componentes principales

Vol. 2, núm. 1., (2018)

Pedro Ramos De Santis

ABSTRACT

At the same time that the oil activity was consolidated as the main source of income generation for the Ecuadorian State, unfortunately began, grew and consolidated, various scenarios of damage and ecological impact that have not been mitigated, controlled and remediated. Beyond this, a basic concern is that these damages have not been completely accounted nor have they been analyzed statistically and mathematically, using the appropriate technological tools, in order to be able to obtain contamination indexes that allow to know the crude reality of this situation and generate indicators that drive to a correct and timely decision making. This work focuses on technologically managing of the available data to obtain the location of the scenarios with the highest oil pollution index, in order to serve as a starting point for a more technical and focused remediation task.

Key words: Oil activity, ecological impact, pollution index, technological tools, scenarios, remediation.

Obtención de un índice de contaminación ambiental producto de la actividad petrolera en distintos escenarios de la Amazonía ecuatoriana por medio de análisis de componentes principales

Vol. 2, núm. 1., (2018)

Pedro Ramos De Santis

Introducción.

En el Ecuador, la primera área geográfica petrolera concesionada data del año 1878 en la actual provincia de Santa Elena a la empresa conocida actualmente como Texaco (en esa fecha, M.G. Mier & Company), sin embargo, recién fue explotada a partir del año 1990 (Steyn, 2003). Hasta los inicios del año 1970, la actividad petrolera en el país era considerada relativamente marginal, ya que servía para satisfacer el consumo interno. Se podría asegurar que el famoso “boom petrolero” del Ecuador se inicia con la explotación del pozo Lago Agrio 1 en el año de 1967, época de bonanza económica que empieza a declinar aproximadamente en el año 1985, cuando confluyen los problemas de la baja de precios del petróleo a nivel mundial y los factores económicos asociados a nuestra deuda externa, produciéndose un deterioro bastante significativo en la economía interna (Fontaine, 2003); además la poca inherencia y participación del estado en comparación con la presencia y control de las compañías extranjeras, redundaron en la ausencia de regulaciones y controles adecuados con respecto a los daños ambientales producidos en los diversos escenarios donde se realizaba la actividad extractiva petrolera.

Recién a partir del año 2005, el estado empieza un proceso de recuperación del control financiero del ingreso petrolero y de las actividades de remediación ambiental, aprovechando el ingreso debido a la ganancia por exceso del precio del barril de petróleo; se elimina el fondo que había sido creado para retener los fondos provenientes del excedente del ingreso petrolero que eran destinados a compra anticipada de la deuda externa y se crea la CEREPS (Cuenta especial para la reactivación productiva y social y del desarrollo científico y tecnológico y de la

Obtención de un índice de contaminación ambiental producto de la actividad petrolera en distintos escenarios de la Amazonía ecuatoriana por medio de análisis de componentes principales

Vol. 2, núm. 1., (2018)

Pedro Ramos De Santis

estabilización fiscal), parte de cuyos fondos son destinados a la remediación ambiental, según la reforma a la Ley de Hidrocarburos No. 42-2006.

En el año 2017 se logra modificar las condiciones de los contratos con las empresas petroleras privadas y se obtiene una participación del 1% sobre los ingresos adicionales de las compañías privadas (Ley de Hidrocarburos 2017), situación que se mantiene hasta la fecha, a pesar de la gran caída de precio del barril de petróleo.

El referente de los impactos ambientales de la actividad petrolera en el país es el famoso caso de la “Era Texaco” que toma notoriedad y visible importancia a partir de la demanda realizada por los habitantes de la Amazonía ecuatoriana, buscando la remediación de daños sociales y ambientales generados por la presencia en nuestro país de la citada compañía privada extranjera por más de un cuarto de siglo.

La gran mayoría de estos impactos ambientales se debieron a la ausencia de regulaciones para la explotación petrolera, la indolencia y falta de preocupación del propio Estado. El primer estudio relacionado con este tema encontró que los derrames más grandes del Sistema de Oleoducto Transecuatoriano (SOTE) representan aproximadamente el equivalente a un total de 405.000 barriles (Kimerling, J.); además la actividad extractiva petrolera necesitó la construcción de vías de acceso e implantación de infraestructura, lo que produjo deforestación, extinción de especies, rotura del ecosistema y daño ecológico general en todos los escenarios intervenidos. Una particularidad importante de citar es el hecho de que resulta muy difícil poder distinguir

Obtención de un índice de contaminación ambiental producto de la actividad petrolera en distintos escenarios de la Amazonía ecuatoriana por medio de análisis de componentes principales

Vol. 2, núm. 1., (2018)

Pedro Ramos De Santis

entre los efectos socioeconómicos que se derivan de los parámetros estructurales propios de la sociedad y aquellos efectos que son producto de la actividad petrolera misma.

Los resultados de un muestreo realizado en las zonas de operación de la compañía Texaco mostraron concentraciones entre 46.000 y 405.000 nanogramos de Hidruros Aromáticos Policíclicos (HAP) por cada litro de agua y de 95 a 2.500 microgramos de benceno por litro de agua, siendo esto una causa de que el factor de riesgo de cáncer se multiplica por 100 (Jochnick, et al. 1994).

Actualmente, el Ministerio del Ambiente cuenta con el SIPAS (Sistema de Indicadores de Pasivos Ambientales y Sociales) que dispone de un análisis de los escenarios con mayores impactos ambientales generados por la actividad petrolera.

Este trabajo pretende determinar un índice de contaminación ambiental (ICA) de manera que se pueda lograr establecer una aproximación razonable al universo de los daños ambientales generados por la actividad petrolera mediante el uso de datos oficiales y la aplicación de ellos en las herramientas tecnológicas adecuadas, de tal forma que se puedan realizar comparaciones entre los distintos escenarios afectadas por la actividad petrolera y que la asignación de recursos para la remediación de daños no sea realizada de manera política sino en base a un criterio técnico.

Antecedentes teóricos

Conceptos básicos asociados a la actividad petrolera

Obtención de un índice de contaminación ambiental producto de la actividad petrolera en distintos escenarios de la Amazonía ecuatoriana por medio de análisis de componentes principales

Vol. 2, núm. 1., (2018)

Pedro Ramos De Santis

Los conceptos básicos más importantes asociados con la actividad petrolera y relacionados con este trabajo son:

Pozo petrolífero: perforación o vía de contacto entre un yacimiento, reservorio petrolero o hidrocarburos y la superficie.

Plataforma petrolera: estructura que sirve para extraer petróleo y gas natural de los yacimientos.

Estación petrolera: estructura que alberga todos los recursos físicos necesarios para la exploración y extracción de petróleo.

Piscinas de residuos petroleros: perforación a cielo abierto en las que se descargan los desechos de la actividad petrolera, denominadas aguas de formación.

Derrame de petróleo: vertido del hidrocarburo que se produce por accidente o negligencia y que contamina el ambiente.

Oleoducto: tubería destinada al transporte de petróleo o sus derivados, a excepción del gas natural.

Río simple: es un afluente que corresponde a un curso de agua que no desemboca en el mar, sino en otro río más importante.

Río doble: es un afluente mayor que se forma cuando un río simple confluye con un río de mayor envergadura.

Obtención de un índice de contaminación ambiental producto de la actividad petrolera en distintos escenarios de la Amazonía ecuatoriana por medio de análisis de componentes principales

Vol. 2, núm. 1., (2018)

Pedro Ramos De Santis

Contaminación: descarga inadecuada de sustancias tóxicas al ambiente, ocasionada por accidentes o como resultado de la “operación normal” del agente responsable de la actividad contaminante.

Permeabilidad del suelo: capacidad para trasladar un fluido a través de las grietas, poros y espacios interconectados dentro de una superficie.

Impacto negativo o daño ambiental: efectos adversos significativos sobre agua, suelos y especies naturales protegidas.

Pasivo ambiental: valor cuantificable de daños ambientales que, generados por el hombre y con deterioro progresivo en el tiempo, representa actualmente un riesgo al ambiente y la calidad de vida de las personas. Un pasivo ambiental puede afectar la calidad del agua, el suelo, el aire, y los ecosistemas.

Análisis de componentes principales (ACP)

Es una técnica estadística que busca sintetizar la información con el fin de reducir la dimensión (número de variables) perdiendo la menor cantidad de información posible.

Las nuevas variables construidas para reducir las originales son conocidos como componentes principales o factores y constituyen una combinación lineal de las variables originales y son independientes entre sí. La parte importante en el ACP es la interpretación de los factores, ya que no viene dada a priori, sino que es deducida tras observar la relación de los

Obtención de un índice de contaminación ambiental producto de la actividad petrolera en distintos escenarios de la Amazonía ecuatoriana por medio de análisis de componentes principales

Vol. 2, núm. 1., (2018)
Pedro Ramos De Santis

factores con las variables iniciales. Al no ser una tarea sencilla, es muy importante conocer sobre la materia de investigación, pasivos ambientales en este caso.

La parte técnica del ACP comprende lo siguiente:

Dada la matriz $X = (X_1, X_2, \dots, X_m)$, donde X_1, X_2, \dots, X_m son variables observables de n vectores, entonces los **Componentes Principales** son las variables compuestas, tal que:

$$Y_1 = Xv_1, Y_2 = Xv_2, \dots, Y_m = Xv_m \quad (1)$$

donde,

Y_i es la i -ésima componente principal, y

v_i es el i -ésimo vector propio normalizado de la matriz de varianzas – covarianzas S .

Todo Componente Principal debe cumplir las siguientes propiedades:

- $Var(Y_1)$ está máximo condicionada a $v_1'v_1 = 1$.
- Dados dos componentes principales Y_1 y Y_2 , entonces $cov(Y_1, Y_2) = 0$ y Y_2 es tal que $Var(Y_2)$ está máximo condicionada a $v_2'v_2 = 1$.
- Para $m \geq 3$ la componente Y_3 es una variable no correlacionada con Y_1 ni con Y_2 que tienen varianza máxima y se define de manera análoga para $m > 3$.

Considerando que $Var(Y_i) = \lambda_i$, la variación total de las componentes principales es:

Obtención de un índice de contaminación ambiental producto de la actividad petrolera en distintos escenarios de la Amazonía ecuatoriana por medio de análisis de componentes principales

Vol. 2, núm. 1., (2018)

Pedro Ramos De Santis

$$tr(S) = \sum_{i=1}^m \lambda_i \quad (2)$$

donde $tr(S)$ es la traza de la matriz de varianzas S

Entonces:

- Y_i contribuye con λ_i a la variación total.
- Si $p < m$, Y_1, Y_2, \dots, Y_p contribuyen con una cantidad igual a $\sum_{i=1}^p \lambda_i$ a la variación total.
- El porcentaje de variabilidad explicado por las p primeras componentes principales, es:

$$P_p = \frac{\lambda_1 + \lambda_2 + \dots + \lambda_p}{\lambda_1 + \lambda_2 + \dots + \lambda_m} \times 100 \quad (3)$$

Es importante anotar que la interpretación de las componentes solo tiene sentido en el contexto en que se las usa; es decir, dentro del conocimiento de las variables que se están analizando.

Sea $X = [X_1, X_2, \dots, X_m]$ una matriz $n \times m$ de datos multivariantes, para poder representar gráficamente las filas de X en un espacio reducido, por ejemplo $p = 2$, debemos introducir una distancia. Así, sean x'_i y x'_j , filas de la matriz X , entonces:

$$\delta_{ij}^2 = (x_i - x_j)'(x_i - x_j) = \sum_{h=1}^m (x_{ih} - x_{jh})^2 \quad (4)$$

La matriz formada por los δ_{ij} es de orden $n \times n$ y representa la distancia entre individuos o filas.

La **variabilidad geométrica** de una distancia entre filas (Δ) es el promedio de sus elementos, elevado al cuadrado:

Obtención de un índice de contaminación ambiental producto de la actividad petrolera en distintos escenarios de la Amazonía ecuatoriana por medio de análisis de componentes principales

Vol. 2, núm. 1., (2018)
Pedro Ramos De Santis

$$V_{\delta}(X) = \frac{1}{2n^2} \sum_{i,j=1}^n \delta_{ij}^2 \quad (5)$$

Si se define $V = [V_1, \dots, V_p]_{m \times p}$ como la matriz de los vectores característicos y a $Y_{n \times p}$ la matriz de los componentes principales, entonces $Y = XV$, por lo tanto Y se convierte en una transformación lineal de X y por lo tanto la distancia euclidiana entre dos filas de Y será:

$$\delta_{ij}^2(p) = (y_i - y_j)'(y_i - y_j) = \sum_{h=1}^p (y_{ih} - y_{jh})^2 \quad (6)$$

La variabilidad geométrica en la dimensión $p \leq m$, está dada por:

$$V_{\delta}(Y)_p = \frac{1}{2n^2} \sum_{i,j=1}^n \delta_{ij}^2(p) \quad (7)$$

Además, la variabilidad geométrica de la distancia euclidiana es igual a la matriz de varianzas-covarianzas:

$$V_{\delta}(X) = tr(S) = \sum_{h=1}^m \lambda_h \quad (8)$$

En lo que respecta a criterios de porcentajes, el número de componentes principales se toma de modo que P_p sea alto (mayor a 80%), este porcentaje a partir de un cierto valor k comienza a estabilizarse, entonces, aumentar componentes principales adicionales aporta mínimamente a la variabilidad explicada.

El Criterio de Káiser propone lo siguiente: se retienen las p primeras componentes tal que $\lambda_p \geq 1$, donde $\lambda_1, \dots, \lambda_m$ son los valores característicos de la matriz de correlaciones (R), a partir de la cual se obtienen las componentes principales.

Obtención de un índice de contaminación ambiental producto de la actividad petrolera en distintos escenarios de la Amazonía ecuatoriana por medio de análisis de componentes principales

Vol. 2, núm. 1., (2018)

Pedro Ramos De Santis

Análisis de variables propias de la actividad petrolera

En este grupo de análisis se consideran a las variables propias de la actividad petrolera y sus contaminantes; este es el caso de la infraestructura y las fuentes de contaminación ambiental.

En la tabla 1 se presenta un resumen descriptivo de cada una de las variables consideradas.

Según la fuente del Programa de Reparación Ambiental y Social (PRAS), todas las variables indicadas en tabla 1 están medidas sobre una consideración de 97 parroquias, 2.158 pozos, 1.037 plataformas, 1.146 piscinas y un total de 960 derrames.

Descripción	Suma	Mínimo	Media	Mediana	Máximo	Desviación Estándar
Total de pozos	2.158	0	21,20	1	243	43,65
Total de plataformas	1.037	0	10,07	0	129	22,69
Área de derrames (m ²)	3.078.571	0	28.771,69	0	597.352	92.465,25
Descarga total de agua de formación (barriles)	1.185.258.478	0	11.007.182	0	196.427.176	29.029.096
Total de derrames	960	0	9,01	0	158	26,62
Volumen de derrames (barriles)	352.592	0	3.295	0	131.784	15.340
Total de piscinas	1.646	0	15,60	0	259	41,95

Tabla 1. Estadística descriptiva de las variables de actividad petrolera

La figura 1 presenta el porcentaje de número de pozos y porcentaje de número de plataformas con respecto a las cuatro parroquias con valores porcentuales más altos.

Obtención de un índice de contaminación ambiental producto de la actividad petrolera en distintos escenarios de la Amazonía ecuatoriana por medio de análisis de componentes principales

Vol. 2, núm. 1., (2018)
Pedro Ramos De Santis

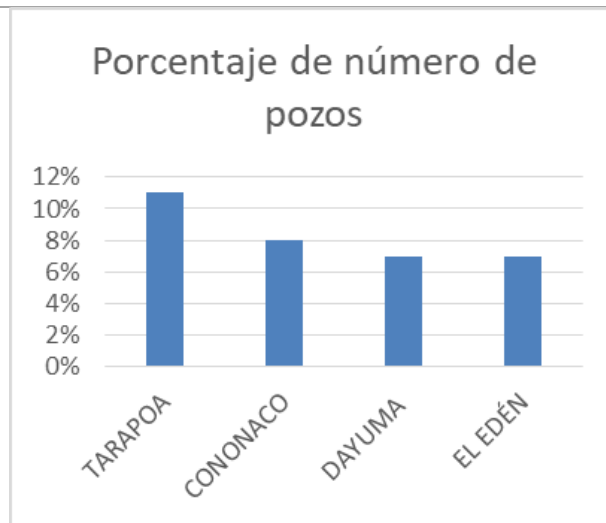
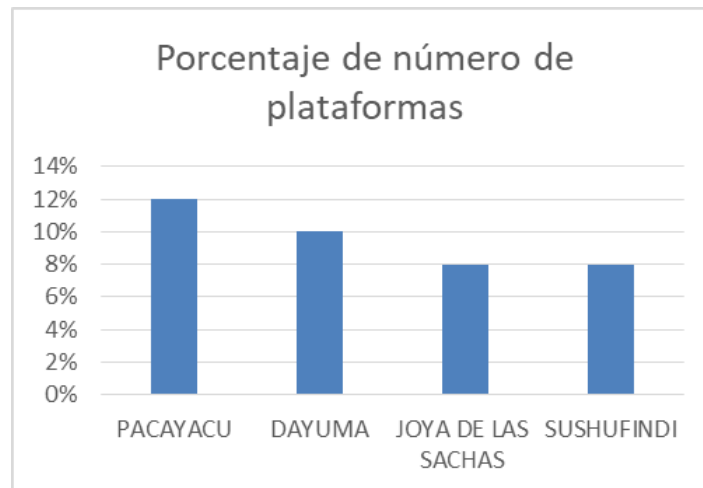


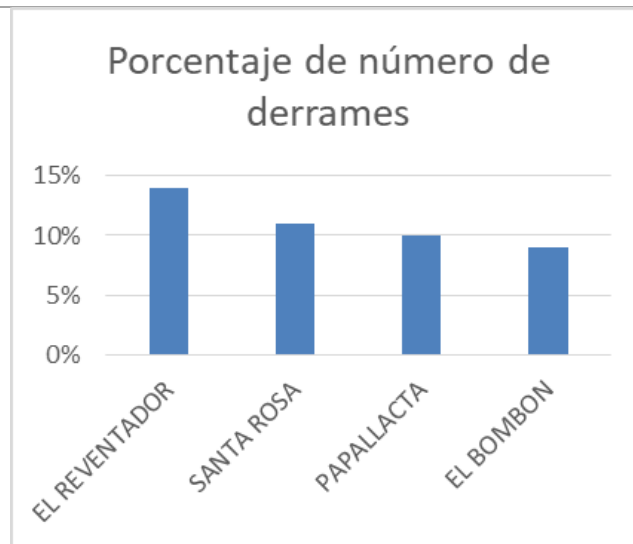
Fig.1. Porcentaje de número de pozos y plataformas con respecto a las 4 parroquias de mayor incidencia



La figura 2 presenta el porcentaje de número de derrames y porcentaje del volumen con respecto a las cuatro parroquias con valore porcentuales más altos.

Obtención de un índice de contaminación ambiental producto de la actividad petrolera en distintos escenarios de la Amazonía ecuatoriana por medio de análisis de componentes principales

Vol. 2, núm. 1., (2018)
Pedro Ramos De Santis



La figura 3 presenta el porcentaje de número de piscinas y porcentaje de área de piscinas con respecto a las cuatro parroquias con valores porcentuales más altos.

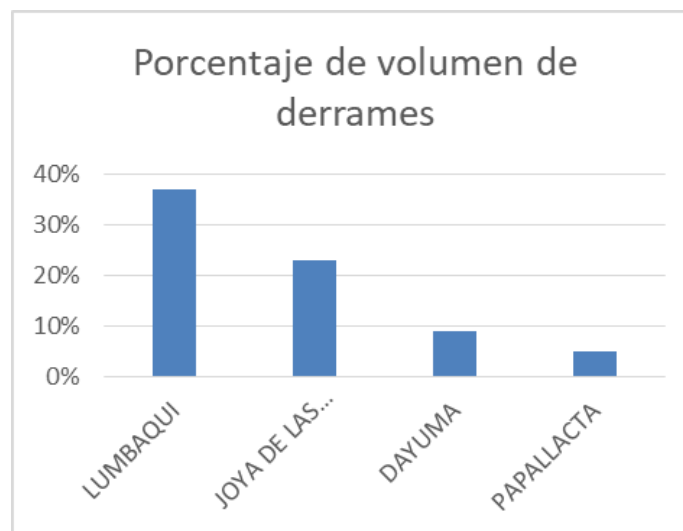


Fig.4. Porcentaje de número de derrames y volumen de derrames con respecto a las 4 parroquias de mayor incidencia

Obtención de un índice de contaminación ambiental producto de la actividad petrolera en distintos escenarios de la Amazonía ecuatoriana por medio de análisis de componentes principales

Vol. 2, núm. 1., (2018)
Pedro Ramos De Santis

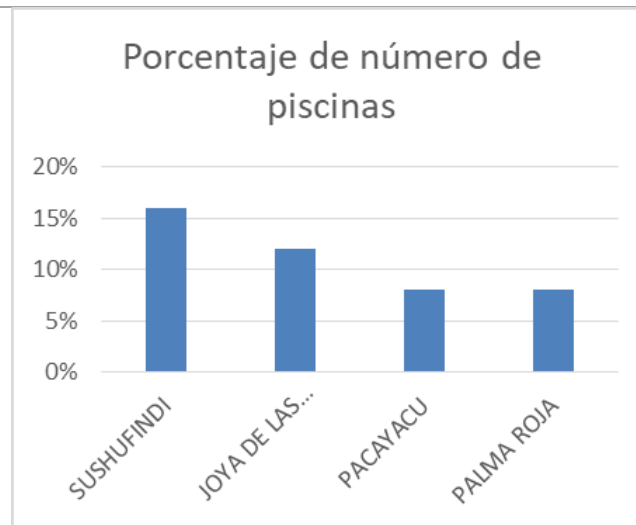


Fig.3 Porcentaje de número de piscinas y área de piscinas con respecto a las 4 parroquias de mayor incidencia.

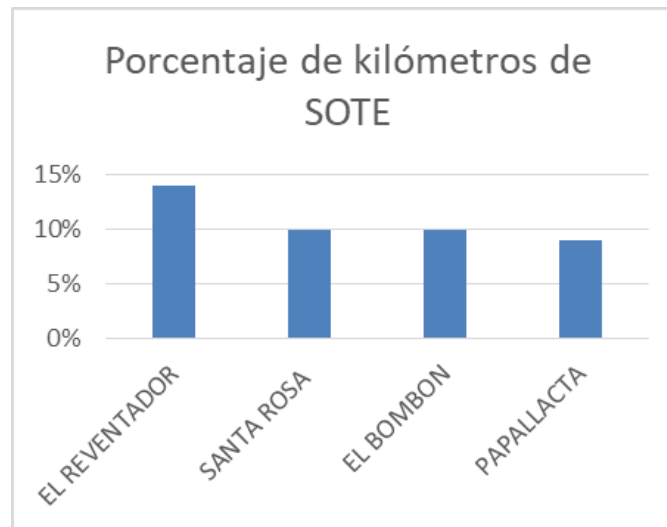


Fig.4 Porcentaje de kilómetros de OCP y de kilómetros de SOTE con respecto a las 4 parroquias de mayor incidencia

Obtención de un índice de contaminación ambiental producto de la actividad petrolera en distintos escenarios de la Amazonía ecuatoriana por medio de análisis de componentes principales

Vol. 2, núm. 1., (2018)

Pedro Ramos De Santis

En lo que se refiere a las variables de tipo ambiental, la tabla 3 nos entrega la estadística descriptiva respectiva.

Descripción	Suma	Mínimo	Media	Mediana	Máximo	Desviación Estándar
Número de ríos simples	2.584	0	24,15	12	256	40,58
Número de ríos dobles	294	0	2,75	2	11	2,29
Área de parroquias (Km ²)	39.806	0,16	372,02	164,98	3949,52	574,52
Cobertura vegetal total en la parroquia (Km ²)	65.565	14,33	612,75	300,73	7.084,77	1.083,67
Área total de tipos de bosques (Km ²)	78.601	34,13	734,59	376,85	8.219,20	1.277,79
Permeabilidad total en parroquias (Km ²)	77.829	33,32	727,38	373,16	8.191,12	1.272,71
Población total (2016)	460.437	0	4.303,15	1.982	58.852	8.747,64

Tabla 3. Estadística descriptiva de las variables tipo ambiental.

Para el porcentaje de número de ríos simples las parroquias con mayor incidencia son: Sarayacu (10%), Cononaco (9%), Montalvo (Andoas) (7%) y Curaray (6%). En el porcentaje de números de ríos dobles las parroquias con mayor representación son: Sarayacu (4%), Curaray (4%), Arajuno (3%) y Montalvo (Andoas) (3%).

Las parroquias con mayor presencia en permeabilidad del suelo en kilómetros cuadrados son: Curaray (11%), Montalvo (Andoas) (10%), Cononaco (8%) y Sarayacu (4%). Las parroquias con mayor porcentaje de población total son: Nueva Loja (13%), Puerto Francisco de Orellana (El Coca) (11%), El Puyo (9%) y Sushufindi (6%).

Obtención de un índice de contaminación ambiental producto de la actividad petrolera en distintos escenarios de la Amazonía ecuatoriana por medio de análisis de componentes principales

Vol. 2, núm. 1., (2018)

Pedro Ramos De Santis

Índice de contaminación ambiental

Análisis Inicial

Para la obtención del índice de contaminación ambiental se procede a realizar un primer ACP con todas las variables consideradas en el análisis. Se detecta que la distancia total de oleoductos es combinación lineal OCP y SOTE; por tanto, debe eliminarse de la matriz. Una vez eliminada la variable mencionada, se obtuvieron los siguientes resultados, que se denominan Análisis Inicial.

Se inicia buscando el número adecuado de componentes principales, para este fin se utiliza el gráfico de sedimentación, que representa los valores propios encontrados en la matriz de correlaciones e indica dónde se produce el cambio brusco de la tendencia, en este caso, se tienen que considerar 4 componentes principales, bajo el criterio analítico de selección de que los valores característicos sean mayores que 1.

La varianza explicada se mide a través de los valores característicos. La tabla 4 muestra la descripción de los componentes principales para el análisis inicial.

Descripción	Componente 1	Componente 2	Componente 3	No explicado
Número de pozos	0,625	0,438	-0,018	39%
Número de plataformas	0,556	0,775	-0,052	6%
OCP	-0,091	-0,025	0,976	5%
SOTE	-0,091	-0,019	0,976	6%
Total de área de derrames	0,443	0,733	0,168	23%
Descarga agua de	0,424	0,789	-0,069	16%

Obtención de un índice de contaminación ambiental producto de la actividad petrolera en distintos escenarios de la Amazonía ecuatoriana por medio de análisis de componentes principales

Vol. 2, núm. 1., (2018)

Pedro Ramos De Santis

formación				
Número de ríos simples	0,866	-0,366	0,073	11%
Número de ríos dobles	0,574	-0,409	-0,015	43%
Área de parroquia (Km ²)	0,882	-0,322	-0,001	11%
Cobertura vegetal total (Km ²)	0,745	-0,488	-0,015	13%
Área total de tipos de bosques	0,767	-0,525	0,005	13%
Permeabilidad total	0,788	-0,525	0,008	13%
Población total	0,149	0,411	0,008	77%
Número de derrames	0,465	0,845	0,034	6%
Volumen de derrames	0,486	0,357	0,430	64%
Número de piscinas	0,467	0,813	-0,012	13%

Tabla 4. Componentes principales del análisis inicial

Análisis final

Luego de que se han tomado en cuenta todas las combinaciones posibles de las variables y el impacto de cada una de ellas para las componentes principales, se realiza un análisis final con la inclusión de la variable “permeabilidad del suelo”, la cual genera resultados aceptables en relación con el agrupamiento de datos realizado en la sección anterior y porque es una variable de alto impacto ambiental ya que si existe un derrame en una zona de alta permeabilidad se tiene una alta probabilidad de afectación ecológica.

Luego de analizar el respectivo gráfico de sedimentación, se obtienen tres valores característicos que son mayores que el valor 1, entonces con tres componentes principales se puede explicar la mayor cantidad de varianza de las variables.

La tabla 5 presenta los valores característicos y la varianza explicada para este análisis.

Obtención de un índice de contaminación ambiental producto de la actividad petrolera en distintos escenarios de la Amazonía ecuatoriana por medio de análisis de componentes principales

Vol. 2, núm. 1., (2018)

Pedro Ramos De Santis

Componente Principal	Valor característico	Diferencia	Proporción	Acumulado
1	6,055	0,000	42%	44%
2	4,018	0,245	30%	73%
3	2,020	1,999	12%	84%
4	0,612	1,415	4%	91%
5	0,457	0,141	3%	93%

Tabla 5. Valores característicos y varianza explicada del análisis final

Como se puede observar, tres componentes principales explican el 86% de la varianza total de las variables, por lo tanto, la restricción de tres componentes principales resulta irrelevante. El proceso de ponderación de los componentes principales del análisis final nos entrega la siguiente información:

Descripción	Componente 1	Componente 2	Componente 3	No explicado
Total de pozos	0,775	0,043	-0,078	41%
Total de plataformas	0,948	-0,259	0,000	6%
OCP	-0,113	-0,004	0,992	1%
SOTE	-0,111	-0,011	0,993	1%
Total área de derrames (Km ²)	0,815	-0,278	0,199	24%
Descarga total aguas de formación	0,882	-0,333	-0,024	13%
Número de ríos simples	0,486	0,881	0,035	4%
Número de ríos dobles	0,199	0,759	0,120	39%
Área de parroquias (Km ²)	0,478	0,799	-0,014	14%
Número de derrames	0,899	-0,338	0,055	8%
Número de piscinas	0,880	-0,321	0,036	14%

Tabla 6. Ponderaciones de los componentes principales del análisis final

De la tabla anterior resalta que se notan bien representadas las siguientes variables:

Obtención de un índice de contaminación ambiental producto de la actividad petrolera en distintos escenarios de la Amazonía ecuatoriana por medio de análisis de componentes principales

Vol. 2, núm. 1., (2018)

Pedro Ramos De Santis

- Para la componente principal 1 (componente de fuentes de contaminación): total de pozos, total de plataformas, total área de derrames, descarga total aguas de formación, número de derrames y número de piscinas.
- Para la componente principal 2 (componente ambiental): número de ríos simples, número de ríos dobles y área de parroquias.
- Para la componente principal 3 (componente de oleoductos): OCP y SOTE.

Habiendo obtenido tres componentes principales mutuamente excluyentes, a continuación, se muestra las 20 parroquias con mayor índice de contaminación ambiental (ICA), con medición entre 0 y 1, y sus respectivas tres componentes principales:

Parroquia	Componente Principal 1	Componente Principal 2	Componente Principal 3	ICA
Pacayacu	4,793	-1,658	0,267	0,622
Dayuna	3,548	0,051	0,111	0,550
La Joya de los Sachas	4,081	-2,421	0,211	0,517
Cononaco	1,811	4,242	-0,269	0,507
Sushufindi	3,735	-1,720	0,020	0,502
Sarayacu	1,221	5,387	-0,147	0,490
Montalvo (Andoas)	0,867	4,137	-0,239	0,403
Palma Roja	2,087	0,251	-0,221	0,391
Curaray	0,853	3,577	-0,172	0,386
El Dorado de Cascales	1,213	0,209	1,690	0,351
Limoncocha	1,661	-0,383	-0,322	0,323
Nueva Loja	1,537	-0,901	0,757	0,315
San Carlos	1,773	-1,311	-0,215	0,303
Tarapoa	1,094	0,444	-0,549	0,281
Inés Arango	0,933	0,572	-0,327	0,279
Santa Rosa	-0,028	-0,187	4,007	0,267
El Reventador	-0,448	0,164	4,922	0,253

Obtención de un índice de contaminación ambiental producto de la actividad petrolera en distintos escenarios de la Amazonía ecuatoriana por medio de análisis de componentes principales

Vol. 2, núm. 1., (2018)

Pedro Ramos De Santis

Taracoa	1,069	-0,567	-0,322	0,249
Chontapunta	0,398	1,342	-0,284	0,244
El Bombón	-0,449	0,432	3,361	0,228

Tabla 7. Asignación de componentes principales e índice de contaminación ambiental para el análisis final.

Se puede observar que la parroquia Pacayacu es la de mayor índice de contaminación ambiental y la que tiene el mayor coeficiente de componente principal de Fuentes de Contaminación, la parroquia Sarayacu es la que posee el mayor coeficiente de componente principal Ambiental y la parroquia El Reventador cuenta el mayor coeficiente de componente principal de Oleoductos.

Conclusiones.

El análisis realizado en este trabajo privilegia la consideración de las parroquias con mayor cantidad de fuentes de contaminación e infraestructura petrolera, logrando construir un índice de contaminación ambiental que coloca a las parroquias de Pacayacu, Dayuna y La Joya de los Sachas como las más afectadas.

La metodología utilizada es una herramienta que sirve para una toma de decisiones técnica y focalizada en lo que respecta a las tareas de remediación ambiental, para por ejemplo darle prioridad a las parroquias con mayor índice de contaminación ambiental y por ende al componente principal mayormente afectado de las mismas.

Es importante anotar que ni siquiera el mayor índice de contaminación calculado, que es 0,622 y que corresponde a la parroquia Pacayacu, es relativamente alto y cercano a 1, porque

Obtención de un índice de contaminación ambiental producto de la actividad petrolera en distintos escenarios de la Amazonía ecuatoriana por medio de análisis de componentes principales

Vol. 2, núm. 1., (2018)

Pedro Ramos De Santis

para que esto suceda debería encontrarse una parroquia que tenga al mismo tiempo, la mayor cantidad de superficie, el mayor número de pozos, mayor número de plataformas, mayor cantidad de ríos, mayor cantidad de derrames, mayor cantidad de kilómetros de oleoducto, mayor cobertura vegetal, mayor número de piscinas de residuo y mayor cantidad de descarga de aguas de formación; lo cual en la práctica es imposible.

Recomendaciones.

A pesar de que en Ecuador el PRAS realiza notorios esfuerzos por mantener una línea base de variables relacionadas con la contaminación ambiental producto de las actividades petroleras y que han servido de sustento para este trabajo, la obtención de datos sobre daños al medio ambiente aún es muy limitada. Es recomendable realizar trabajos más profundos y frecuentes con el fin de obtener a mediano plazo una base de datos que sea sensible de alimentación y actualización periódica.

Resulta conveniente relacionar la información de los índices de contaminación ambiental obtenidos por medio del análisis de los componentes principales con un análisis policromático de datos, con el fin de asignar a cada valor de componente principal un valor de la escala RGB y el color que representa el índice de contaminación para cada una de las parroquias, así por ejemplo, rojo para el índice con mayor valor; de tal forma que por medio de algún software de posicionamiento global, representar los índices por color en el mapa de Ecuador y poder observar la distribución de la contaminación de una manera directa y descriptiva.

Obtención de un índice de contaminación ambiental producto de la actividad petrolera en distintos escenarios de la Amazonía ecuatoriana por medio de análisis de componentes principales

Vol. 2, núm. 1., (2018)

Pedro Ramos De Santis

Bibliografía.

- Aitchison, J. (2003). *The Statistical Analysis of Compositional Data*. Chapman & Hall.
- H., & Vogel, J. H. (2009). Aportes para una estrategia ambiental alternativa: indicadores de sustentabilidad y políticas ambientales.
- Araujo, Alejandro. (2006). Clasificación de datos porcentuales mediante características matemáticas de orden, comparación de particiones y análisis policromático de datos (Tesis de Magíster en Estadística Aplicada, Quito: EPN, 2006.)
- Cuadras, C. (2014). *Nuevos métodos de análisis multivariante*. CMC Editions, Barcelona - España.
- Fontaine, G., (coord.). (2003). Informe final. Proyecto FLACSO PETROECUADOR. Segunda fase. Estudio sobre los conflictos socio ambientales en los campos Sacha y Sushufindi (1994-2002). Quito: FLACSO / PETROECUADOR.
- Greenacre, M. J. and Lewi, P. (2009). Distributional equivalence and sub compositional coherence in the analysis of compositional data, contingency tables and ratio-scale measurements. *Journal of Classification*.
- Ortiz, Diego. (2016). Índice de Contaminación Ambiental debido a la actividad petrolera en la Amazonía Ecuatoriana (Tesis de Grado, EPN).
- PRAS. El Sistema Nacional de Información de Pasivos Ambientales y Sociales. Mimeografiado, 2010.
- PRAS. Informe de procesamiento de información. Quito: Mimeografiado.
- PRAS. Informe de SIPAS H-E Julio 2010. Quito: Mimeografiado.
- PRAS. Informe sobre las etapas de definición, validación y cálculo de indicadores e índices del SIPAS. Quito: Mimeografiado.
- PRAS. Plan de Reparación Ambiental y Social 2009. Quito: Mimeografiado.
- Quiroga, R. (2009). Guía metodológica para desarrollar indicadores ambientales y de desarrollo sostenible para América Latina y el Caribe. Santiago de Chile: CEPAL.
- Smeets, E., & Weterings, R. (1999). *Environmental indicators: Typology and overview*. Copenhagen: Environmental European Agency.