

# Modelo presión, estado, respuesta (p-e-r), para la clasificación de indicadores ambientales y gestión de la calidad del agua caso: cuenca del río Puyango Tumbes

Model pressure state response (per), for classification of environmental indicators and management of water quality case river basin Puyango Tumbes

Elma Alcira Pandia Fajardo<sup>1</sup>

RECIBIDO: 16/10/2015 - APROBADO: 30/06/2016

---

## RESUMEN

La cuenca del río Puyango-Tumbes deriva de las fuentes contaminantes ubicadas básicamente en su parte alta y media, las cuales incorporan una cantidad considerable de metales pesados al agua y en mayor medida a los sedimentos. Las principales actividades que generan contaminantes y los incorporan al río Puyango-Tumbes, son la actividad minera en las localidades de Portovelo y Zaruma en la provincia de El Oro, Ecuador, así como la generación y vertido de residuos sólidos y aguas residuales de las poblaciones asentadas en el río. Esta situación ya ha generado algunos problemas en la parte baja de la cuenca, sector peruano, donde contamina los suelos arroceros de la margen izquierda del río tumbes y los manglares de Tumbes; perjudicando fuentes de alimentación directa de la población y poniendo en riesgo la salud humana.

En el marco de lo mencionado, este proyecto tiene por finalidad clasificar los indicadores ambientales y contribuir a la gestión de la calidad de las aguas superficiales de la cuenca del río Puyango-Tumbes, por medio del modelo Presión - Estado - Respuesta (P-E-R). El estudio fue realizado en el lado peruano, se evaluaron los programas de gestión de las aguas superficiales de la cuenca Puyango, Tumbes que influyen en la clasificación de los indicadores ambientales en la cuenca del río Puyango-Tumbes; además de los puntos de descargas de aguas servidas, identificando posibles causales de la contaminación.

Los resultados muestran que la cuenca del río Tumbes tiene un índice de Calidad Ambiental (EQI) de 22.97 y la cuenca del río Zarumilla tiene un EQI de 61.51.

**Palabras clave:** Cuenca Puyango-Tumbes, calidad ambiental del agua, modelo Presión-Estado-Respuesta, índice de calidad ambiental.

## ABSTRACT

The Puyango-Tumbes River Basin comes from polluting sources located mainly in the upper and middle of it, which incorporate a considerable amount of heavy water and more to the sediment metals. The main activities that generate pollutants and incorporate the river Puyango-Tumbes are mining in the towns of Portovelo and Zaruma in the province of El Oro Ecuador, as well as the generation and disposal of solid waste and sewage of the populations in the river. This situation has already led to some problems in the lower basin of the Peruvian industry, polluting rice soils of the left bank of the Tumbes river and mangroves of Tumbes; damaging sources of direct feeding of the population and endangering human health.

Under the mentioned this project aims Sort environmental indicators and contribute to the quality management of surface water in the basin of Puyango-Tumbes River through the Pressure - State- Response model (P-E-R), study was performed on the Peruvian side, management programs of surface waters of the basin Puyango-Tumbes influence the classification of environmental indicators in the Puyango-Tumbes river and points sewage discharges were evaluated, identifying possible causes of contamination.

---

<sup>1</sup> Alumna de la maestría Ingeniería Geológica Minera, Metalúrgica y Geográfica - Univerisdad Nacional Mayor de San Marcos. E-mail: rigeo.2010@gmail.com

The results show that the Tumbes River Basin has an Environmental Quality Index (EQI) of 22.97 and Zarumilla river basin has a EQI of 61.51.

**Keywords:** Puyango-Tumbes Basin, environmental water quality model Pressure - State - Response, environmental quality index.

## I. INTRODUCCIÓN

El problema principal de la cuenca del río Puyango-Tumbes deriva de las fuentes contaminantes ubicadas básicamente en la parte alta y media de la misma, las cuales incorporan una cantidad considerable de metales pesados al agua y en mayor medida a los sedimentos. Las principales actividades que generan contaminantes y los incorporan al río Puyango-Tumbes son la actividad minera en las localidades de Portovelo y Zaruma en la provincia de El Oro, Ecuador; así como la generación y vertido de residuos sólidos y aguas residuales de las poblaciones asentadas alrededor del río.

El principal problema para la población asentada en el valle del río Tumbes son las enfermedades de origen hídrico como:

- Enfermedades transmitidas por el agua: Cólera, fiebre tifoidea, Shigella, poliomiélitis, meningitis, hepatitis, diarrea. En general, la mayoría se puede prevenir con un tratamiento adecuado del agua, antes de consumirla. Las enfermedades con base u originadas en el agua son causadas por organismos acuáticos que pasan una parte de su ciclo vital en el agua y otra parte como parásitos de animales, como por ejemplo la esquistosomiasis.
- Enfermedades de origen vectorial: relacionadas con el agua, aquellas enfermedades transmitidas por vectores como los mosquitos, que se crían y viven cerca de aguas contaminadas y no contaminadas. Millones de personas padecen infecciones transmitidas por estos vectores que infectan al hombre con malaria, fiebre amarilla, dengue, filariasis, etc. Estas enfermedades están teniendo un gran avance a través del mundo, pero pueden controlarse fácilmente con una mejor higiene, para lo cual es imprescindible disponer de suministros adecuados de agua potable. (Ministerio de Salud, Dirección Regional de Salud de Tumbes).

Otro de los problemas es la contaminación de los campos de cultivo al ser regados con el agua del río contaminado que, a su vez, contaminan los cultivos. Incluso en el Santuario Nacional Los Manglares de Tumbes se han realizado investigaciones de la concha negra, la cual se encuentra ya con un grado de contaminación de plomo y mercurio.

### I.1 Fundamentos teóricos

La aplicación de la metodología P-E-R surge de la creciente demanda de información ambiental, útil en espacio y tiempo para prever situación ambiental y por tanto capaz de servir a un proceso político preventivo justifica que, a pesar de tener que seguir agudizando esfuerzos en

la obtención de información de base sea preciso avanzar con carácter prioritario en el desarrollo de indicadores.

Si los indicadores ambientales constituyen un valor relativo a un fenómeno capaz de ofrecer más información que se desprende de la mera configuración del parámetro, un sistema de indicadores ambientales debe ofrecer un significado amplio que el asociado a cada uno de los indicadores (Manteiga, 2000). Es decir, los indicadores deben entenderse como las células del sistema, donde es preciso establecer con claridad las conexiones necesarias para dar funcionalidad al conjunto.

Existen diversos esquemas de organización capaces de cumplir con esta tarea. El de mayor proyección es el modelo Presión - Estado - Respuesta, establecido por la OCDE.

Este modelo esquematizado en la figura 1 fue propuesto en 1988, a solicitud del, por entonces, grupo de siete países más desarrollados del mundo, con la finalidad de identificar indicadores ambientales para apoyar la toma de decisiones. Dicho modelo obedece a una lógica según la cual las actividades humanas ejercen presiones sobre el entorno y los recursos naturales, alterando en mayor o menor medida su estado inicial. La sociedad en su conjunto identifica estas variaciones y puede decidir la adopción de políticas ambientales y económicas generales y sectoriales que tratarían de corregir las tendencias negativas detectadas (respuestas). Como consecuencia de estas actuaciones, se supone, o se espera, una mejoría del estado del ambiente.<sup>2</sup>

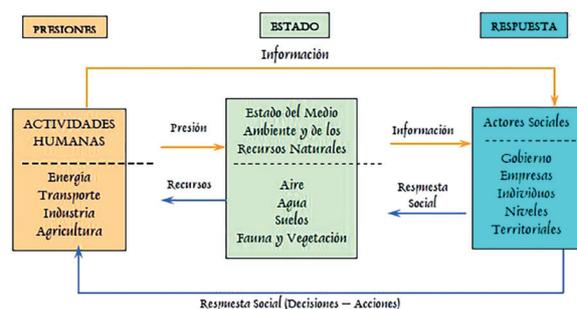


Figura N.º 1. Esquema del modelo Presión-Estado-Respuesta.  
Fuente: Rodríguez M. (2005).

Los usos por cada tipo de indicadores se muestra en la figura 2; como se puede apreciar, la definición e implementación del sistema de indicadores depende del tipo de información de entrada, a su vez esto permite clasificar el

2 Herrera, J., Manteiga L., Sunyer C., García M. (1996). *Indicadores Ambientales: Una propuesta para España*. MIMAM. Estadística y Medio Ambiente 2000. Instituto de Estadística de Andalucía. España. pp: 75-87.

indicador según el enfoque PER, y su uso para el proceso de toma de decisiones acerca del medioambiente y recursos naturales de una localidad.



Figura N.º 2. Usos y tipos de indicadores ambientales Modelo PER.

Fuente: Rodríguez, M. (2005).

El marco de referencia P-E-R es ahora ampliamente usado pero está continuamente en evolución. Uno de los mayores problemas ha sido tratar de diferenciar entre indicadores de presión y estado, y la necesidad de expandir el marco de referencia para tratar más específicamente las necesidades de descripción del desarrollo sostenible.

El esquema P-E-R se fundamenta en tres categorías básicas de interrogantes, que en relación con el tema ambiental son:

¿Cuál es el estado actual de los recursos naturales y del medio ambiente?

¿Qué y quién está afectando los recursos naturales y el medio ambiente?

¿Qué está haciendo la sociedad para mitigar o resolver los problemas ambientales y para fortalecer sus potencialidades?

## 1.2 Presión

Están a menudo clasificadas como factores o fuerzas subyacentes tales como: crecimiento poblacional, consumo o pobreza. Las presiones sobre el medio ambiente son consideradas frecuentemente desde una perspectiva política, como punto de partida para abordar los asuntos medioambientales y desde el punto de vista de indicador, están disponibles para realizar análisis, toda vez que son derivadas sobre la base de datos de seguimiento socioeconómicos, medioambientales y otros. Refleja el objetivo último de las políticas ambientales e incluyen aspectos tales como:

- Las características físicas, químicas y biológicas del entorno.
- La condición del ecosistema y las funciones ecológicas del medio natural.

## 1.3. Estado

El Estado se refiere a la condición del medio ambiente que resulta de las presiones arriba descritas, y el deterioro que en ellos generan las diferentes actividades humanas,

los niveles de contaminación del aire, degradación de la tierra o deforestación. El estado del medio ambiente afectará, a su vez, la salud humana y el bienestar así como el tejido socioeconómico de la sociedad. Por ejemplo, un incremento en la degradación de la tierra conducirá a uno o varios de los siguientes factores: disminución en la producción de alimento, incremento de alimento importado, incremento en el uso de fertilizantes, malnutrición, etc.

Es importante entender tanto el estado del medio ambiente, como los efectos indirectos. Los indicadores de estado deberían ser diseñados para responder a las presiones y al mismo tiempo facilitar acciones correctivas.

## 1.4. Respuesta

El componente de respuesta del marco de referencia P-E-R está relacionado con las acciones tomadas por la sociedad, individual o colectivamente. Estas son diseñadas para facilitar o prevenir impactos medioambientales negativos con el fin de corregir el daño existente o de conservar los recursos naturales. Esas respuestas pueden incluir acciones reguladoras, gastos medioambientales o de investigación, opinión pública y preferencia del consumidor, cambios en las estrategias de manejo y suministro de información medioambiental. Las respuestas deberían estar diseñadas para actuar sobre las presiones, pero pueden al mismo tiempo tener un impacto modificador en los indicadores de estado.

Existen diversos conjuntos de indicadores ambientales, cada uno con propósitos específicos.

Los indicadores suelen usarse en los informes ambientales, la evaluación del desempeño ambiental o del avance hacia el desarrollo sostenible, pero deberían ser una herramienta básica en la planeación, contribuyendo a la claridad en los objetivos de las políticas y el establecimiento de prioridades ambientales.<sup>3</sup>

## 1.5. Cuenca del río Puyango-Tumbes

La cuenca del río Puyango-Tumbes nace en la República del Ecuador. Está formada en su cabecera por numerosas quebradas que discurren principalmente desde la cordillera de Chilla y Cerro Negro.

En su parte alta, es llamado a menudo río Pindo o río Grande, formado por cuatro tributarios principales: los ríos Calera, Amarillo, San Luis y Ambocas. En esta área se encuentran ubicados una serie de poblados, siendo los principales los mineros de Zaruma y Portovelo; posteriormente toma el nombre de Puyango a partir de su confluencia con el Yaguachi cerca de Balsas. La cuenca alta del río Puyango-Tumbes está rodeada por terrenos montañosos con altitudes de alrededor de 3,500 msnm.

Continuando hacia el sur-oeste a partir de su confluencia con el río Yaguachi cerca de Balsas, toma el nombre de Puyango. Siguiendo la dirección occidental por unos 100 km, el río Puyango alcanza la quebrada Cazaderos para formar el río Tumbes en territorio peruano, continuando

3 Rodríguez M. (2005). *Indicadores ambientales para el uso del suelo*. Colombia.

su recorrido hacia el oeste gira hacia el norte y luego de unos 80 km pasando cerca de la ciudad de Tumbes, desemboca formando un delta en el océano Pacífico (ver Figura 3).

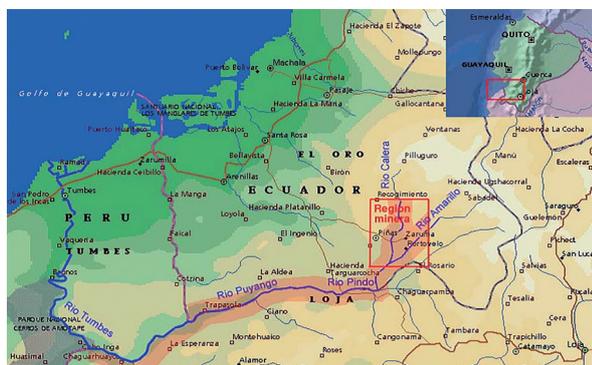


Figura N.º 3. Río Puyango-Tumbes mostrando área de explotación minera.  
Fuente: Proyecto Especial Binacional Puyango -Tumbes PEBPT (2011).

En general, el río Puyango-Tumbes drena un área aproximada de 4,800 km<sup>2</sup>, cerca del 60 % de la cuenca colectora se encuentra en Ecuador, y 40 % en Perú, una parte del caudal del río está siendo utilizada para regar algunas zonas en Perú y en Ecuador.

### 1.6. Cuenca del río Tumbes

Políticamente, la parte peruana de la cuenca del río Tumbes forma parte de los distritos de Tumbes, San Juan de la Virgen, Pampas de Hospital, San Jacinto, La Cruz y Corrales de la provincia y departamento de Tumbes. La cuenca limita por el norte con el océano Pacífico y la cuenca del río Zarumilla, al sur con la quebrada Bocapán y la cuenca del río Chira, al este con las cuencas de los ríos Zarumilla y Chira y al oeste con el océano Pacífico y la quebrada Bocapán. La cuenca del río Tumbes tiene una extensión de 1 893,4 km<sup>2</sup> con alturas hasta los 885 msnm.

Geográficamente, sus puntos extremos de la cuenca se hallan comprendidos entre los 03° 30' y 04° 15' de latitud sur y los 80° 07' y 80°40' de longitud oeste. En el valle destacan cultivos de plátano y arroz, y en menor escala maíz amarillo duro, mango, soya y frejol.

En territorio peruano su longitud aproximada es de 142.1 km, sus aguas normalmente llegan hasta el mar, y en los meses de agosto y setiembre alcanza sus caudales más bajos, debido a la disminución significativa de sus precipitaciones; y al uso intensivo del recurso hídrico con fines agropecuarios, principalmente.

### 1.7. Cuenca del río Zarumilla

Esta cuenca, al igual que la del río Puyango-Tumbes, tiene su origen en las serranías del Ecuador, y en su recorrido de 62.6 km. en territorio peruano, su cauce constituye el límite entre Perú y Ecuador.

La parte peruana de la cuenca del río Zarumilla forma parte de los distritos de Zarumilla, Papayal, Matapalo y

Aguas Verdes de la provincia de Zarumilla del departamento de Tumbes; limita por el este con el Ecuador, al oeste con la cuenca del río Tumbes, al norte con el océano Pacífico, y al sur con la cuenca del río Tumbes.

La superficie total de la cuenca abarca un área de 731.2 km<sup>2</sup>. El clima en la cuenca peruana del río Zarumilla varía desde el clima desértico en la zona costera al semiárido de las zonas montañosas en la parte fronteriza, y está influenciado por la zona de convergencia intertropical (ZCIT) además de la interacción de las corrientes marinas de El Niño y de Humboldt.

Varía notablemente el caudal de sus aguas a lo largo de todo el año, aumentando su descarga en las épocas de grandes precipitaciones pluviales. A partir del mes de mayo el río se seca en su parte baja.

### 1.8. Calidad del agua

El agua, además de constituir un elevado porcentaje de la composición de los seres vivos, es utilizada con diversos fines: uno de los principales a través de su utilización directa como "agua potable" es dar sustento a la vida de los seres humanos; es "agua de riego" cuando se la dedica a la agricultura que es la gran productora de la alimentación y a su vez la mayor consumidora; en las zonas rurales y urbanas y a especies vegetales mayores como en los bosques; según los casos, para abreviar ganado y animales domésticos, en tanto que también da sustento a la "fauna silvestre" de animales la mayoría de ellos mamíferos y peces, y sirve para mantener diversos sistemas ecológicos tanto terrestres como marinos.

Existen asimismo otros usos "benéficos" tales como su utilización en las industrias de diferente índole como metal-mecánica, manufacturera, textil, etc. La minería, la explotación de hidrocarburos, la generación de energía hidroeléctrica es también una fuente de uso importante según la riqueza que la geología o la topografía depara a determinadas zonas del planeta.<sup>4</sup>

Como resultado del uso del agua en cualquiera de las situaciones se produce "agua residual" que justamente por efecto de su uso se ha contaminado y requiere según los casos su recuperación, sobre todo cuando la misma lleva consigo riesgos a otros usos o se la emplea en casos de escasez.

El concepto básico es que cada uno de los usos mencionados necesita una determinada calidad del agua, la cual según las condiciones en que se presente tendrá o acarreará riesgos en su uso. De aquí surge la necesidad de la evaluación de la calidad del agua, que se hace con base en la utilización de diferentes parámetros y sus límites permisibles que se determinan con el apoyo de investigaciones de la ciencia médica, la biología, veterinaria, agronomía, industrial, minera, etc. Para poder llegar a la evaluación y establecer conclusiones de situaciones y tendencias de uso y riesgo es que se utiliza el monitoreo con base en análisis de tipo químico, microbiológico, biológico o ensayos y creación de modelos que permitan ejecutar

4 PROYECTO PUYANGO TUMBES (1990). *Estudio Factibilidad Proyecto Puyango Tumbes - Componente Peruana - CYA Consultores y Asesores AS SRL - LA GESA Ingenieros consultores S.A.* Tomo 6, p. 50.

una adecuada “gestión de la calidad del agua”. Proyecto Especial Binacional Puyango-Tumbes PEBPT (2011).

### I.9 Calidad del agua y contaminación

El origen principal de la existencia de agua en una zona dada es la precipitación que precisamente cae dentro de los límites geográficos de una cuenca; a partir de los cuales se desplaza por acción de la gravedad hacia zonas más bajas tanto superficiales como en el perfil del suelo, hasta llegar a zonas impermeables donde forma un manto de agua subterránea, si las condiciones de la roca madre lo permiten.

Con la lluvia como punto de partida del llamado “ciclo hidrológico” cae el compuesto llamado “agua” formado por hidrógeno y oxígeno que no es más tal al entrar en contacto con la atmósfera, la cual tiene diferentes partículas de polvo que dependen en su calidad de la zona donde se produce la precipitación: en zonas rurales libres de industrias, en grandes ciudades con diferentes grados y tipos de industrialización.

### I.10. Usos del agua

#### a) Poblacional

La provincia de Tumbes presenta un balance deficitario respecto a la oferta de servicios básicos que brinda a su población, especialmente en las zonas rurales. Según los indicadores en abastecimiento de agua para consumo humano de la región Tumbes se tiene la siguiente información:

Centros poblados con abastecimiento de agua de consumo humano: 55%.

Población con abastecimiento de agua para consumo humano: 97.91% Viviendas con abastecimiento de agua: 97.12%. Continuidad del servicio de abastecimiento de agua, en promedio seis horas diarias. Primer Monitoreo participativo organizado por la Autoridad Nacional del Agua. (Julio del 2011).

#### b) Agrario

En el sector agrario en la cuenca del río Tumbes está representado predominantemente por cultivos transitorios con 94,3% de la superficie total (10,047 Ha). El uso total del agua es de 137 millones de m<sup>3</sup> por año. Primer Monitoreo participativo organizado por la Autoridad Nacional del Agua. (Julio del 2011).

#### c) Minero

En el ámbito de las cuencas de los ríos Zarumilla y Tumbes (sector peruano) la minería es inexistente, excepto la explotación de canteras; sin embargo en la parte alta del río Puyango- Tumbes, en el sector ecuatoriano, en los cantones Zaruma, Portovelo y Atahualpa en la provincia El Oro, los tributarios del río Puyango impactados son los ríos Calera y Amarillo por lixiviados producidos por la descomposición de residuos sólidos. Asimismo, existen 20 juntas de contaminación minera, producidos por 300 plantas de beneficio. Primer Monitoreo participativo organizado por la Autoridad Nacional del Agua. (Julio del 2011).

#### d) Industrial

La explotación de peces, bivalvos y crustáceos de la actividad acuícola es considerada una actividad artesanal según el ministerio de la producción y como se aprecia en el cuadro está casi explotada en su totalidad. Primer Monitoreo participativo organizado por la Autoridad Nacional del Agua. (Julio del 2011).

En términos generales, los grados de eficiencia en el uso del agua son bajos y aún en los mejores, existe agua de escorrentía que acarrea parte de los fertilizantes utilizados, ricos en nutrientes como nitrógeno, fósforo, potasio, también se utilizan insecticidas y fungicidas casi todos ellos como compuestos orgánicos con elementos tóxicos para el ser humano y animales y son incorporados a los cauces de los ríos o al agua subterránea causando cambios en la calidad del agua tanto superficial como subterránea.

La mala operación y mantenimiento de los sistemas de transporte, de riego y de drenaje producen erosión acarreado partículas del suelo que además de producir turbidez en el agua –signo de mala calidad– además favorecen que sea vehículo de elementos tóxicos por adherencia a las partículas en suspensión y dan lugar a sedimentos cargados de contaminantes.<sup>5</sup>

## II. MATERIALES Y MÉTODOS

Como marco metodológico se utilizó el modelo de Presión – Estado – Respuesta (P-E-R) al abordar la calidad ambiental que mediante este modelo, hemos considerado dos tipos de calidad ambiental una “calidad” de tipo ecocéntrico y otra de tipo “antropocéntrico”. Desde el punto de vista ecocéntrico se considera que la calidad ambiental es proporcional al grado de naturalidad del área que se analiza; esto es, cuanto menor sea el grado de modificación de las características naturales del medio mayor será su calidad. La óptica antropocéntrica incluye la consideración de las principales funciones que el medio físico desempeña en relación con los seres humanos fuente de recursos, sumidero de residuos, soporte de actividades y proveedor de servicios. (SCOPE, Scientific Committee on Problems of the Environment, 1995). Se entiende como *grado de naturalidad* de una región, la ausencia de modificaciones introducidas por el hombre, se puede concebir el papel del medio físico como *fuentes* de diversos recursos, como *sumidero* de distintos tipos de residuos generados por las actividades humanas y como *soporte* de dichas actividades. Alcaide F., Gutiérrez D., Valdés G. (2001).

El modelo de Presión – Estado – Respuesta (P-E-R) contempla las siguientes fases:

- **Fase1:** Selección del conjunto de indicadores, según el modelo descrito.
- **Fase 2:** Segunda fase consistente en asignar a cada uno de los indicadores seleccionados un valor mínimo y otro máximo, para ello se recurrirá a la consulta de diversas fuentes (reportes de Monitoreo de

5 INFORME TÉCNICO N.º 017 (2012) AUTORIDAD NACIONAL DEL AGUA PMGRHCP-TUMBES-MRSP, *Tercer Monitoreo participativo de la calidad del agua superficial en las cuencas de los ríos Tumbes y Zarumilla lado peruano.*

Calidad de aguas superficiales, incluidas normas nacionales e internacionales, estadísticas municipal y nacional y trabajos de diversa índole relacionados con la temática de gestión ambiental del agua).

- **Fase 3:** Consistió en la medición de cada uno de los indicadores, que incluye información obtenida a partir de resultados de análisis de laboratorios, cartografía de elementos del medio natural, etc.
- **Fase 4:** El siguiente paso consistirá en el cálculo según la expresión concebida en cada indicador.

La etapa de normalizar los datos de los indicadores ambientales seleccionados corresponde con la valoración de cada uno de los indicadores (que no son expresados en %) en una escala nominal de 0 a 100 donde 0 corresponde a la peor situación posible con respecto al indicador en cuestión y 100 a la mejor situación posible con respecto al indicador analizado.

La expresión que utilizamos para la normalización de los indicadores es:

$$V_n = (V_{\max} - V_{\text{cal}}) / (V_{\max} - V_{\min}) \times 100$$

Siendo:

$V_n$  : valor normalizado;

$V_{\max}$  : valor máximo en la zona de estudio;

$V_{\min}$  : valor mínimo en la zona de estudio;

$V_{\text{cal}}$  : valor calculado.

El paso siguiente consiste en el cálculo de los índices de presión, estado y respuesta, para cada una de las cuatro funciones citadas, se utiliza la expresión:

$$IF_p = \sum V_i \div n$$

Siendo:

$IF_p$  = índice de presión sobre la fuente;

$V_i$  = valores normalizados de los indicadores de presión;

$n$  = número total de indicadores presión.

De forma similar se procede para el cálculo de índices de estado y de respuesta, tanto para naturalidad como para las funciones fuente, sumidero, soporte-servicios.

Los índices de presión, estado y respuesta se integran en índices de cada una de las funciones:

$$IF = (IF_p + IF_e + IF_r) \div 3$$

Siendo:

$IF$  el Índice de la función fuente;

$IF_p$  el índice de presión sobre la fuente,

$IF_e$  el índice de estado sobre la fuente,

$IF_r$  el índice de respuesta sobre la fuente.

Procediéndose igualmente para cada una de las funciones abordadas:

$IS$ : índice de la función sumidero de residuos,

$ISS$ : índice de la función soporte - servicio.

Finalmente pasamos a calcular el índice de calidad ambiental (EQI), que se obtiene por medio de la expresión:

$$EQI = IF + IS + ISS \div 3$$

Donde:

$IF$  = Índice de fuente de recursos;

$IS$  = Índice de sumidero de residuos

$ISS$  = Índice de soporte/servicios.

La interpretación del valor final del índice de calidad ambiental, que estará expresado en una escala cuyo valor máximo será cien y el mínimo cero, correspondiendo los valores más altos a la situación ambiental más positiva.

Para ello hemos realizado una clasificación dividida en 5 clases:

- Clase 1: valores del 1 al 19 (calidad ambiental baja).
- Clase 2: valores del 20 a 39 (calidad ambiental moderadamente baja).
- Clase 3: valores entre 40 y 59 (calidad ambiental media o intermedia).
- Clase 4: valores entre 60 y 79 (calidad ambiental moderadamente alta).
- Clase 5: valores entre 80 y 100 (calidad ambiental alta).<sup>6</sup>

### III. RESULTADOS Y DISCUSIONES

En la cuenca Tumbes según el coeficiente de determinación, existe poca relación entre las variables y el caudal de descarga.

- Para las variables DBO, mercurio total y nitratos la correlación de Pearson, el valor es moderado negativo y poco significativo, la relación entre las variables y el caudal de descarga es escasa.
- Dentro de todos los parámetros los valores que presentan mayor relación con el caudal de descarga, el plomo con un valor 0.846 y el arsénico total con un valor de 0.883, con valores moderado positivo y moderadamente significativo.

En la cuenca Zarumilla la mayoría de valores son Débil Positivos;

- Para los parámetros DBO, DQO y mercurio no se pudieron determinar los valores puesto que los valores son idénticos.
- La relación entre los coliformes termo tolerantes y el caudal de descarga es moderada positiva.
- La relación entre el arsénico total y el caudal de descarga es cero, por lo cual existe relación o la relación entre ambas variables es nula.

<sup>6</sup> Alcaide F., Gutiérrez D., Valdés G. (2001). *Sistema de indicadores medio ambientales para el análisis de la calidad ambiental en consejos populares del Municipio Bauta.*

El índice de presión sobre la fuente para el río Tumbes presenta un valor de 90.93, el cual es mayor los obtenidos en los índices de estado y de respuesta, lo que significa que existen diversos factores que ejercen acción negativa sobre la cuenca Tumbes.

En la función sumidero, el índice de respuesta es el más alto con un valor de 61.29, mientras que el índice de presión es menor y el valor del índice de estado es -94.76. Estos valores indican que existe acción por parte de las autoridades y gestores de la cuenca, lo cual es congruente con el índice de estado que registra un valor negativo por las condiciones actuales de contaminación en la cuenca del río Tumbes.

En la función soporte, el índice de respuesta presenta el valor más alto (70.96), siendo menor el índice de presión y el valor más bajo es el índice estado con 24.37, estos índices muestran que existe acción por parte de las autoridades en la gestión de localidad del agua en la cuenca Tumbes.

La función soporte de servicios en la cuenca Tumbes presenta el valor más alto con 40.80, que la función fuente y la función sumidero, lo cual indica que el área está siendo actualmente empleada para diversas actividades antrópicas principalmente la agricultura.

El índice de calidad ambiental EQI para la cuenca Tumbes es de 22.97, un valor moderadamente bajo.

El índice de estado sobre la fuente de recursos para el río Zarumilla presenta un valor de 89.78, el cual es mayor a los obtenidos para los índices de presión y de respuesta, por lo que las condiciones ambientales referente a localidad del agua es bastante favorable y el índice de respuesta es el más bajo con un valor de 33.33, lo cual refleja la escasa participaciones en la gestión de la calidad del agua en este sector de la cuenca durante el periodo de evaluación de los datos para el presente estudio.

En la función sumidero el índice de estado es el más alto con un valor de 91.93, mientras que el índice de presión es menor con 33.33 por lo que en la cuenca Zarumilla se viene realizando actividades de tipo pecuarias en la zona de evaluación.

En la función soporte el índice de respuesta presenta el valor más alto 68.46 y el más bajo es el índice de presión con 46.02, lo mismo que en el párrafo anterior la cuenca Zarumilla se encuentra en mejores condiciones en comparación con la cuenca Tumbes

La función soporte de servicios presente el valor más alto con 69.60, que la función fuente y la función sumidero, lo cual indica que en la cuenca Zarumilla se viene realizando actividades de tipo pecuarias.

El índice de calidad ambiental EQI para la cuenca Zarumilla es de 61.51, un valor moderadamente alto.

La cuenca Tumbes tiene un índice de Calidad Ambiental (EQI) de 22.97 y la cuenca Zarumilla tiene un EQI de 61.51.

Los resultados obtenidos confirman la información inicial dado que las aguas residuales domésticas del distrito de Tumbes son canalizadas por la empresa ATUSA, las que

son descargadas directamente por la margen derecha del río Tumbes, a través de una tubería de concreto de 24" de diámetro aproximadamente.

El agua de la descarga es utilizada para riego de cultivos de ciclo corto (camote, maíz, yuca, entre otros). Asimismo se observó presencia de residuos sólidos, viviendas y animales. En las localidades colindantes a la cuenca Zarumilla todas sus aguas son tratadas antes de la descarga al río. (Plan Maestro Optimizado de la Empresa Prestadora de Servicios de Saneamiento Aguas de Tumbes S.A. para el periodo 2010 – 2039).

#### IV. CONCLUSIONES

1. Mediante el Modelo Presión - Estado - Respuesta se pudo aplicar para evaluar indicadores de calidad ambiental del agua en la cuenca Puyango Tumbes sector peruano y reconocer la situación actual de la cuenca para contribuir de esa manera a una mejor Gestión, en las localidades del área de estudio en los ríos Tumbes y Zarumilla.
2. Los reportes de calidad emitidos por la Autoridad Nacional del Agua (ANA) permitió crear una base de datos cuantitativa para poder calcular los índices de calidad ambiental.
3. La información tomada de otras fuentes como revistas, planes maestros de la zona entre otros ofrecía información cualitativa por lo cual no contribuyó a la toma de información para la base de datos, pero sí como información secundaria de tipo cualitativa, marco teórico.
4. Los resultados muestran que la cuenca Puyango Tumbes presenta un Índice de Calidad Ambiental (EQI) menor al de la cuenca Zarumilla, debido principalmente a que las aguas residuales tanto domésticas como no domésticas son vertidas directamente al río, ya que no cuentan con un sistema de tratamiento de aguas residuales.
5. Por medio de los ensayos estadísticos se pudo determinar que existe relación entre la descarga de aguas residuales y la presencia de metales pesados además de otros contaminantes como nitratos y coliformes fecales en ambas cuencas, pero cabe resaltar que la relación es débil en la mayoría de parámetros analizados,

#### V. AGRADECIMIENTOS

Al MSc José Vilca Cáceres, asesor, por su valiosa contribución en la revisión de la tesis, a los profesores de la UPG Ingeniería Geológica, Minera, Metalúrgica y Geográfica de la Universidad Nacional Mayor de San Marcos, por sus enseñanzas durante mi formación académica. A los profesores miembros del jurado informante, al Dr. Carlos Cabrera Carranza y al Dr. Francisco Alcántara Boza, al Dr. Jesús Ángel Chávez Machado, por sus enseñanzas y oportuna disposición en la elaboración de la tesis.

Para el Ing. Gerardo Requena Simbala, por su aporte en la elaboración de planos temáticos y análisis estadístico. Al Dr. José Benjamín Aquize Carpio, por su apoyo en las consultas y contribución en la asesoría académica y al Ing. Hugo Campuzano Espinoza, Gerente General de la empresa HC& Asociados, por permitirme contar con la información necesaria para elaborar el marco teórico de la tesis.

## VI. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. Alcaide F., Gutiérrez D., Valdés G. (2001). *Sistema de indicadores medio ambientales para el análisis de la calidad ambiental en consejos populares del Municipio Bauta*.
2. Herrera, J., Manteiga L., Sunyer C., García M. (1996). *Indicadores Ambientales: Una propuesta para España*. MIMAM. *Estadística y Medio Ambiente 2000*. Instituto de Estadística de Andalucía. España. pp: 75-87.
3. Ministerio de Salud, *Dirección Regional de Salud de Tumbes, Plan Concertado Regional de Salud. 2011-2015*.
4. Proyecto Puyango Tumbes, (1990). *Estudio Factibilidad Proyecto Puyango Tumbes - Componente Peruana - CYA Consultores y Asesores AS SRL - LA GESA Ingenieros consultores S.A.* Tomo 6, 50 pp.
5. Informe técnico N.º 017 .(2012). Autoridad Nacional del Agua .PMGRHCP-Tumbes-MRSP, *Tercer Monitoreo participativo de la calidad del agua superficial en las cuencas de los ríos Tumbes y Zarumilla lado peruano*.