



UNIVERSIDAD NACIONAL DE TUMBES
ESCUELA DE POSTGRADO

TESIS DE MAGISTER EN CIENCIAS
CON MENCIÓN EN:
GESTION AMBIENTAL

EVALUACIÓN DEL GRADO DE AFECTACIÓN DE LA
CALIDAD DEL AGUA DEL RÍO TUMBES Y PROPUESTA DE
RECUPERACIÓN SECTOR PERUANO – AÑO 2011 AL 2014.

MARÍA DEL ROSARIO SILVA PUELLES

TUMBES - PERU
2018



UNIVERSIDAD NACIONAL DE TUMBES
ESCUELA DE POSTGRADO

TESIS DE MAGISTER EN CIENCIAS
CON MENCIÓN EN:
GESTION AMBIENTAL

EVALUACIÓN DEL GRADO DE AFECTACIÓN DE LA
CALIDAD DEL AGUA DEL RÍO TUMBES Y PROPUESTA DE
RECUPERACIÓN SECTOR PERUANO – AÑO 2011 AL 2014.

MARÍA DEL ROSARIO SILVA PUELLES

TUMBES - PERU
2018

DECLARACIÓN DE ORIGINALIDAD

Yo María del Rosario Silva Puelles, declaro que los resultados reportados en esta tesis, son producto de mi trabajo con el apoyo permitido de terceros en cuanto a su concepción y análisis. Asimismo, declaro que hasta donde yo sé no contiene material previamente publicado o escrito por otra persona excepto donde se reconoce como tal a través de citas y con propósitos exclusivos de ilustración o comparación. En este sentido, afirmo que cualquier información presentada sin citar a un tercero es de mi propia autoría. Declaro, finalmente, que la redacción de esta tesis es producto de mi propio trabajo con la dirección y apoyo de mis asesores de tesis y mi jurado calificador, en cuanto a la concepción y al estilo de la presentación o a la expresión escrita.

María del Rosario Silva Puelles

ACTA DE REVISIÓN Y DEFENSA DE TESIS



UNIVERSIDAD NACIONAL DE TUMBES ESCUELA DE POSGRADO

ACTA DE SUSTENTACION DE TESIS

En Tumbes, a los veinticinco días del mes de setiembre del año dos mil dieciocho, a las dos horas, en La Sala de Reuniones de la Escuela de Posgrado se reunieron los miembros del Jurado designados con Resolución Directoral N° 119-2015/UNT-EPG-D, Dr. NAPOLEON PUÑO LECARNAQUE- Presidente; Dr. MIGUEL ANTONIO PUESCAS CHULLY Secretario; Dr. LEOCADIO MALCA ACUÑA – Miembro; y con Resolución Directoral N° 115-2018/UNTUMBES-EPG-D se fijó la fecha de sustentación y defensa de la tesis de maestría: **EVALUACION DEL GRADO DE EFECTACIÓN DE LA CALIDAD DEL AGUA DEL RIO TUMBES Y PROPUESTA DE RECUPERACIÓN SECTOR PERUANO AÑO 2011-2014**; presentado por la egresada del Programa de Maestría en Ciencias con mención en Gestión Ambiental MARIA DEL ROSARIO SILVA PUELLES, asesorada por el Dr. GERARDO JUAN FRANCISCO CRUZ CERRO.

Concluida la exposición y sustentación, absueltas las preguntas y efectuadas las observaciones, lo declaran: Aprobado por unanimidad, dando cumplimiento al Art. 29° del Reglamento de Investigación con fines de Graduación en la Escuela de Posgrado de la Universidad Nacional de Tumbes.

Siendo las seis horas, se dio por concluido el acto académico, y dando conformidad se procedió a firmar la presente acta en presencia del público.

Tumbes, 25 de setiembre de 2018


Dr. NAPOLEON PUÑO LECARNAQUE
Presidente


Dr. MIGUEL ANTONIO PUESCAS CHULLY
Secretario


Dr. LEOCADIO MALCA ACUÑA
Miembro

C.c. Jurado de Proyecto de Tesis (3), Asesor (1), sustentante (1), UI (2)

RESPONSABLES

MARÍA DEL ROSARIO SILVA PUELLES

EJECUTOR

GERARDO JUAN CRUZ CERRO

ASESOR

JURADO DICTAMINADOR

NAPOLEÓN PUÑO LECARNAQUE

PRESIDENTE

MIGUEL PUESCAS CHULLY

SECRETARIO

LEOCADIO MALCA ACUÑA

MIEMBRO

CONTENIDO

CONTENIDO	7
RESUMEN	9
ABSTRACT	10
1. INTRODUCCIÓN.....	11
2. MARCO DE REFERENCIA DEL PROBLEMA	13
2.1. Antecedentes.....	13
2.2. Bases teórico - científicas.	16
2.3. Definición de términos básicos.	22
3. MATERIAL Y MÉTODOS.	28
3.1. Localidad y periodo de ejecución.....	28
3.2. Tipo y diseño de investigación.....	28
3.3. Población, muestreo u muestra.	28
3.4. Material y métodos.....	30
3.5. Procesamiento y análisis de datos.....	31
4. RESULTADOS	33
4.1. Resultados del monitoreo de calidad de agua por época del año.....	33
4.2. Resultados del monitoreo de calidad de agua por época del año 2015-2016.....	50
4.3. Resultados de la aplicación de los Índices de Calidad Ambiental.....	65
4.4. Resultados de la evaluación de sedimentos	67
5. DISCUSIÓN.....	72
5.1. Monitoreos de calidad de agua por época de año	72
5.2. Aplicación de los Índices de Calidad de Agua	75
6. PROPUESTA TÉCNICA.....	76
6.1. Situación Actual	76
6.2. Justificación	77
6.3. Objetivo general.....	77
6.4. Programas 1	77
6.5. Programas 2	79
6.6. Programas 3	81
7. CONCLUSIONES	83
8. RECOMENDACIONES	84

9. REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS	85
10. ANEXOS	92

RESUMEN

Se evaluó la calidad del agua del río Tumbes durante el periodo 2011 al 2014 y 2015 al 2016, a partir de monitoreos participativos desarrollados por la Autoridad Nacional del Agua a través del Proyecto de Modernización de la Gestión de los Recursos Hídricos 2011-2014 y ANA 2015 – 2016; ordenando la información de cada año hidrológico según la época en que se desarrolló los monitoreos (estación seca y estación húmeda), también se agruparon los parámetros evaluados en función a la afectación por actividad antrópica, geología de la cuenca y movimiento natural de las mareas. Toda la data fue procesada utilizando la aplicación de la metodología para la Determinación del Índice de Calidad de Agua ICA-PE, de la Autoridad Nacional del Agua, donde se obtuvo el indicador de calidad del agua por punto de monitoreo, los Mapas de Índice de Calidad de Agua y una propuesta técnica de recuperación de la calidad del agua según el tipo de uso.

Se concluyó que el agua del río Tumbes está muy afectada en el periodo hidrológico evaluado obteniendo como resultado que la calidad del agua es mala, debido a que se ven afectados los parámetros físico químicos y microbiológicos.

Palabras clave: afectación, índice de calidad de agua, monitoreos, parámetros, hidrológico

ABSTRACT

The water quality of the Tumbes River was evaluated during the period 2011 to 2014 and 2015 to 2016, based on participatory monitoring carried out by the National Water Authority through the Modernization Project for Water Resources Management 2011-2014 and ANA 2015 - 2016; ordering the information of each hydrological year according to the time in which the monitoring was carried out (dry season and wet season), the parameters evaluated were also grouped according to the affectation by anthropic activity, geology of the basin and natural movement of the tides. All the data was processed using the methodology for the Determination of the Water Quality Index ICA-PE, of the National Water Authority, where the water quality indicator was obtained by monitoring point, the Index Maps of Water Quality and a technical proposal to recover water quality according to the type of use.

It was concluded that the water of the Tumbes River is very affected in the hydrological period evaluated, obtaining as a result that the quality of the water is bad, because the physical and chemical microbiological parameters are affected.

Keywords: affectation, water quality index, monitoring, parameters, hydrological

1. INTRODUCCIÓN

El agua es el recurso primordial de los seres vivos en la tierra. Su disponibilidad no es homogénea en las diversas áreas, y se encuentra en los tres estados de la materia. El 97.5% del agua en la tierra está en los mares y océanos como agua salina, el 2.5% restante es agua dulce.

El contexto actual el Perú en materia de recursos hídricos se cuenta con: Glaciares tropicales (0.12% del territorio peruano), 12 200 lagunas, 1007 ríos y 159 unidades hidrográficas de los cuales el 50% de unidades hidrográficas presentan algún incumplimiento del estándar de calidad ambiental para aguas superficiales.

El río Tumbes es uno de los ríos más importantes de la vertiente del pacífico debido a su geomorfología que forma delta geográfico formando meandros lo que trae como consecuencia procesos de sedimentación natural y que a través del tiempo el cauce cambie dirección para terminar en un delta que es un ecosistema rico en biodiversidad, a la vez que mueve un importante caudal de agua que recoge, el gran número de poblaciones que sostiene y a su vez la cantidad extensa de área que permite irrigar, sobre todo en los valles de la margen derecha e izquierda del Tumbes.

El río Tumbes presenta un gran problema de afectación de la calidad de sus aguas ya que existen potenciales fuentes de contaminación: Conformación geológica de la cuenca, aguas residuales domésticas, aguas residuales agrícolas, aguas residuales acuícolas, mala disposición de residuos sólidos, agricultura y ganadería (contaminación difusa) que se dan en el curso de toda la cuenca (recordando que el río Tumbes tiene su nacimiento en el Ecuador donde existe una gran explotación minera formal e informal).

Por último, las poblaciones asentadas en las márgenes del río captan el agua del río para ser tratada deficientemente y en otros casos consumida sin ningún tratamiento de uso poblacional y la ciudad de Tumbes tiene como fuente principal de captación para producción de agua de consumo humano

al río Tumbes quedando la población expuesta en este uso poblacional a la eficiencia con la que se trate el agua fuente.

De continuar este problema de afectación del agua del río Tumbes no pasaran muchos años para evidenciar los problemas a la salud de las personas por el inadecuado tratamiento que se da a las aguas superficiales pero que estamos a tiempo de empezar nuevos retos sobre las propuestas para el mejoramiento de la calidad del agua.

Ante este contexto situacional se hace necesario el planteamiento de medidas que inicien la ardua tarea para el mejoramiento de la calidad del agua del río Tumbes, para lo cual se hace necesario que la población primero conozca, comprenda y se concientice del estado actual del agua del río a través del instrumento de gestión de calidad del agua ICA (Índice de Calidad del Agua) y elaborar las propuestas que cada responsable (gobiernos regional y local) pongan en marcha teniendo la conciencia de que es un problema que se solucionará en un periodo de tiempo muy largo.

En el presente trabajo se, evaluará y se identificará las diferentes fuentes de afectación del agua del río Tumbes y se propondrán medidas para su recuperación.

La idea nace como consecuencia de la experiencia de haber observado por muchos años el desarrollo de actividades diversas en general en la cuenca; la misma que está afectando tanto el recurso hídrico como sus bienes asociados a ella. Por lo descrito se formula el problema: ¿Cuál es el grado de afectación del agua del río Tumbes en tres años hidrológicos (2011 al 2014)?

Uno de los problemas grandes en el mundo es la contaminación de aguas superficiales, la contaminación se da por múltiples circunstancias, pero la mayoría de ellas por la intervención del hombre.

El agua del río Tumbes presenta en la actualidad problemas serios de afectación por aguas residuales domésticas, aguas de drenes agrícolas y la

presencia de metales pesados producto de la minería informal en la parte alta de Ecuador; estos agentes muchas veces externos degradan la calidad del agua implicando la pérdida de posibilidades para hacer frente a un gran número de usos con lo que se hace necesario la realización de estudios que permitan adoptar criterios al momento de planificar el uso de dicho recurso. Por lo tanto, para la realización de una adecuada labor de control y vigilancia del agua por parte de los organismos competentes, debe existir un conocimiento previo y lo más completo posible del estado físico, químico y biológico a través de la evaluación periódica para determinar el grado de afectación.

El presente proyecto de tesis nos brindara información muy valiosa e importante, para poder evaluar la calidad del agua del río Tumbes y plantear alternativas de descontaminación.

En el marco de esta coyuntura es que nace la preocupación por realizar la investigación en modalidad de tesis; con el principal objetivo de desarrollar una evaluación de la calidad físico químico y microbiológico del agua del río tumbes y plantear alternativas de recuperación.

2. MARCO DE REFERENCIA DEL PROBLEMA

2.1. Antecedentes.

El principal problema de la Cuenca del río Tumbes proviene de las fuentes contaminantes situadas en la parte alta y media de la misma, las cuales aportan una considerable cantidad de metales pesados al agua y en mayor concentración a los sedimentos del fondo del río. Las actividades fundamentales que producen contaminantes y los agregan al río Puyango – Tumbes son la minería informal en las ciudades de Portovelo y Zaruma en la provincia del Oro Ecuador, así como la generación y vertido de residuos sólidos y aguas residuales crudas de las poblaciones asentadas en las riberas del río.

PUÑO, N. (2015). En su investigación “Plan de manejo ambiental del recurso hídrico de la cuenca del Río Puyango- Tumbes”, llegó a la conclusión que el agua del Río Tumbes no es apta para el consumo directo de personas y animales, ni para el riego de vegetales de tallo corto o largo, y de ser utilizada para potabilizarla debe ser con avanzados sistemas de tratamiento y filtrado. Así mismo, concluyo que las fuentes de contaminación del recurso hídrico de la cuenca del Río Puyango Tumbes son las actividades de la minería informal en la parte alta, la actividad agrícola de la parte baja (Río Tumbes en Perú), generación de aguas residuales domésticas y residuos sólidos urbanos de las ciudades de Portovelo, Zaruma y Tumbes principalmente; y los efluentes de la actividad langostinera.

BERMEJO, L.; CRUZ, G. (2007). En su investigación “Evaluación del contenido de metales pesados en los suelos cultivados con arroz - margen izquierda del Río Tumbes” concluyeron que las principales fuentes de metales pesados identificadas en el suelo agrícola de la margen izquierda del Río Tumbes son los sedimentos arrastrados por el Río Tumbes y los agroquímicos utilizados en el cultivo. Además, el agua de riego, agua subterránea y agua de drenaje mostraron valores de metales solubles inferiores a los límites máximos permisibles (LMP) considerados en la Ley General de Aguas del Perú (As 0.2 mg/L, Cd 0.05 mg/L, Cr 1 mg/L, Cu 0.5 mg/L, Hg 0.01 mg/L, Pb 0.1 mg/L y Zn 25 mg/L).

CARRIL, S.; PACHECO, S. (2002). En su investigación “Contaminación del Río Tumbes por presencia de residuos químicos y microbiológicos” concluyeron que existen niveles elevados de plomo (0.146 mg/l), hierro (119.5 mg/l) y manganeso (1.7 mg/l). Afirmaron que el Río Tumbes está afectado en su calidad por las actividades mineras informales en el Ecuador en las ciudades fronterizas de Cónдор Flores y Zapallal, esta última calificada como la más crítica.

En el Informe técnico N° 019-2013-ANA-PMGRH-CPTUMBES-MRSP indica en sus conclusiones que la calidad del agua en la zona baja de la cuenca Tumbes - Lado Peruano está afectada por arsénico, plomo y hierro luego de la caseta de bombeo de aguas residuales de la ciudad de Tumbes, se observa la disminución de concentraciones de dichos metales en un brazo del río (Boca Malpelo) mientras que en la desembocadura Boca Cherres se observa un incremento en las concentraciones de manganeso y hierro.

OTINIANO, J. (2008). En su tesis "Evaluación del comportamiento del Recurso Hídrico en el Río Puyango – Tumbes periodo 1963 - 2005", llegó a la conclusión que existe la presencia de metales pesados en la Cuenca (As, Cd, Cu, Zn, Hg y Pb).

2.2. Bases teórico - científicas.

2.2.1. Los metales pesados

Los metales pesados son los elementos que presentan una densidad por encima de los 5 g/cm³ cuando están en forma elemental. Se encuentran en cantidades muy bajas, entre 0.1 y 0.01% en la corteza terrestre; asociados con otros compuestos, como los metales ligeros o no metales, como en el caso del As, Ba, Se y B (Saavedra, 2002).

Su nivel toxico de los metales varía de un elemento a otro, estableciendo orden de toxicidad entre los diferentes elementos. Así por ejemplo un orden decreciente de toxicidad sería: Hg > Cd > As > Pb > Cu > Zn (Predesur, 2003).

2.2.1.1. Fuentes de metales

A. Fuentes naturales

La presencia de metales en los componentes del ambiente (aguas y suelos básicamente), está relacionada con la naturaleza geoquímica de la roca madre. Diferentes tipos de rocas presentan diferentes valores característicos del contenido en elementos metálicos, haciendo posible la adición de metales al ambiente, por la alteración *in situ* de estas rocas, e interviniendo en la transferencia de metales al ambiente. Además de la composición de las rocas, los factores físicos, químicos y biológicos que actúan en el ciclo exógeno y condicionan la intensidad y desarrollo de las dispersiones geoquímicas secundarias.

El contenido de metales pesados en los diferentes elementos del ambiente (agua y suelo), solo sería únicamente en función de la composición original del material y de los procesos biogeoquímicos que se desarrollan en el ambiente, pero la actividad antropogénica

aumenta el contenido de estos metales pesados en concentraciones más representativas, siendo esta, la causa más común de los niveles tóxicos (Loredo, 1994).

B. Fuentes Agrícolas

La agricultura es una importante fuente no puntual de metales (Contaminación difusa), que contribuye a su concentración en los suelos, desde el abonamiento del suelo hasta la fertilización o fumigación. Las principales fuentes relacionadas con la actividad agrícola y los metales son las ocasionadas por: las impurezas de los agroquímicos (fertilizantes y pesticidas que contienen cromo, arsénico, plomo, mercurio, manganeso y zinc), estiércol (cobre, arsénico y zinc), lodos de plantas de tratamiento de aguas residuales (cadmio, níquel, cobre, plomo, zinc y otros). (Alloway, 1995)

Los insumos agrícolas como fertilizantes y abonos podrían ser una fuentes potenciales de metales pesados en cantidades considerables, los fosfatos pueden contener entre 0.1 y 170 ppm de cadmio, 0.01 a 1.2 ppm de mercurio, de 7 a 225 ppm de plomo y de 50 a 1 450 ppm de zinc; los nitratos entre 0.05 y 8.5 ppm de cadmio, 0.3 a 2.9 ppm de mercurio, de 2 a 27 ppm de plomo y de 1 a 42 ppm de zinc; el guano entre 0.1 y 0.8 ppm de cadmio, 0.01 a 0.36 ppm de mercurio, de 11 a 27 ppm de plomo y de 15 a 566 ppm de zinc; y el compost (producido de residuos sólidos urbanos) entre 0.1 y 100 ppm de cadmio, 0.09 a 21ppm de mercurio, de 1.3 a 2 240 ppm de plomo y de 82 a 5 894 ppm de zinc (Alloway, 1995).

C. Otras Fuentes

Otra de las fuentes de metales pesados son los lodos de aguas residuales sobre todo de origen industrial. En estos lodos abundan materia orgánica y nutrientes utilizados por la planta, pero se ha

comprobado en diferentes partes del mundo que contienen metales pesados en cantidades considerables (Alloway, 1995).

Otra fuente de metales pesados son las avenidas de ríos y quebradas en los períodos lluviosos, específicamente en el caso del río Tumbes, las avenidas traen una gran cantidad de sólidos suspendidos dentro de los cuales contienen altas concentraciones metales pesados producto básicamente de la actividad minera en las partes altas de la cuenca.

2.2.2. Indicadores de calidad de agua

Los indicadores de calidad de aguas se dividen en, físico-químicos, bioquímicos, químicos y microbiológicos. Dentro de los parámetros físicos se tiene el color, olor y la turbidez, los fisicoquímicos se tiene a la temperatura, pH, potencial redox, conductividad eléctrica y sólidos, los bioquímicos se consideran el oxígeno disuelto, la demanda bioquímica de oxígeno y la demanda química de oxígeno. Por parte de los químicos podemos encontrar metales pesados, hidrocarburos, nutrientes y pesticidas y en los microbiológicos se incluyen los coliformes totales, parásitos entre los más importantes (Carranza, 2001).

Los contaminantes comunes del agua son la demanda bioquímica de oxígeno (DBO), sólidos suspendidos, coliformes totales, pH, nitrógeno amoniacal, fósforo, aceites y grasas y cloro residual (Viessman y Hammer, 2005).

2.2.3. Fuentes Naturales de agua

a) Aguas Atmosféricas: se originan en la atmosfera terrestre en formas de lluvia, granizo, neblina y nieve; para su utilización tienen

que ser captados, almacenados y darles algún tratamiento para que puedan ser consumidos. (Carranza, 2001)

b) Aguas Superficiales: está localizada en superficie terrestre en como lagos, lagunas, ríos y arroyos disponibles como agua dulce, este tipo de agua presenta una cantidad considerable de contaminantes de modo que para su uso como consumo humano, se tiene que someter a tratamientos más completos. (Carranza, 2001)

c) Aguas Subterráneas: se ubican en las capas freáticas del subsuelo terrestre, para su aprovechamiento se tienen que realizar pozos, norias o pozos profundos, para su potabilización se debe aplicar un proceso para eliminar los contaminantes que se encuentren presentes. (Carranza, 2001).

2.2.4. Fuentes de contaminación

Las fuentes primordiales de contaminación corresponden a las industrias, residuos sólidos, minería metálica y no metálica, explotación forestal, etc. Los contaminantes presentes en las plantas industriales por lo general son nutrientes, metales pesados, compuestos orgánicos. Los residuos industriales presentan cantidades elevadas de compuestos orgánicos procedentes de las empresas procesadoras de bebidas y alimentos y de la industria de las curtiembres y de la madera. Otras actividades incrementan la descarga de sedimentos, como los relaves mineros. Las fuentes difusas más evidentes corresponden a la actividad agrícola, por el uso de pesticidas e insecticidas, así como el aporte de residuos de insumos agrícolas y restos de vegetales y animales. (Escobar, 2002)

La actividad forestal intensiva, así como la agricultura es una fuente de contaminación difusa, generando pesticidas, nutrientes y sedimentos (Escobar, 2002).

2.2.5. Riesgos de la Contaminación

Un riesgo para la salud de la población, que se encuentra asentada en la parte media de la cuenca, donde la calidad del agua es preocupante, y algunas poblaciones asentadas en estas zonas, toman aguas de los cuerpos de agua que son abastecidos; encontrándose expuesta a los múltiples residuos y contaminantes que se encuentren en el agua.

Estos poblados están expuestos a los residuos de agroquímicos utilizados en la producción agrícola, a los elementos que vengan de las partes más altas de la cuenca. Siendo los más vulnerables los niños que están expuestos a enfermedades diarreicas y muchos metales pesados que son cancerígenos a largo plazo. (AquaFondo, 2006).

2.2.6. Indicadores fisicoquímicos

La calidad del agua se ha estimado a partir de indicadores y variables químicas, físicas y biológicas, estimadas individualmente o en su totalidad. Los parámetros fisicoquímicos indican la naturaleza de las sustancias químicas del agua y sus propiedades físicas, sin detallar información sobre la influencia en la vida acuática; las evaluaciones biológicas contribuyen esta información, por lo que para tener una buena evaluación de la calidad del recurso hídrico es necesario hacer estudios de ambos componentes. La ventaja de los parámetros fisicoquímicos es que su procesamiento y análisis pueden ser más rápidos y son monitoreados con mayor frecuencia, a diferencia de los parámetros biológicos, fundamentados en la observación y medición de las poblaciones bacterianas presentes en las aguas; además, la selección de las especies debe ser minuciosa ya que de eso depende la evaluación de la calidad del recurso hídrico, que generalmente solo se realiza para un uso determinado. (Samboni *et al.*, 2007).

Los resultados de un monitoreo permitirán resolver diferentes tipos de conflictos como el uso del agua y la integridad ecológica de los sistemas acuáticos, los cuales involucran aspectos socioeconómicos, por lo que los ICA son una herramienta importante pues su cálculo involucra más de una variable, de tal manera que el uso correcto de estos indicadores permite utilizarlos para la evaluación de los programas de gestión de recursos hídricos. (Samboni *et al.*, 2007).

2.2.7. Fitorremediación

Tiene diversas clasificaciones con base en la actividad fisiológica de las plantas al enfrentar los contaminantes. De este modo se tienen plantas que con capaces de remover contaminantes inorgánicos y acumularlos en sus tejidos (fitoextracción/ fitoacumulación/ fitominería) (Ferrera Ronald *et al.* 2006). Otras especies favorecen a la reducción de la migración de contaminantes en aguas subterráneas; así las plantas son utilizadas como un “sistema de bombeo” de agua contaminada mediante el proceso de transpiración. (Ferrera Ronald *et al.* 2006)

La fitorremediación es una técnica, con menor costo efectivo, no se requiere equipos sofisticados, tiene ventajas estéticas, captura gases de efecto invernadero, no requiere de una fuente de energía especializada y se puede aplicar a diferentes niveles de concentración de los contaminantes (Guendy, 2008).

La aplicación de la fitorremediación depende del tipo de componente ambiental contaminado y del objetivo final de la remediación o tipo de proceso que es preferible que ocurra. Según la cooperación interestatal de tecnología y regulación (2001) estos procesos incluyen: estabilización, secuestación, asimilación, reducción, degradación metabolización y/o mineralización. (Dietz and Schnoor, 2001).

2.2.8. Biorremediación

Mecanismo para purificar suelos y aguas contaminadas, usando microorganismos nativos o autóctonos, que son aislados para minimizar la contaminación presente. Los componentes presentes generalmente están compuestos por partículas inorgánicas, materia orgánica y microorganismos. (Iturbe, 2010).

2.3. Definición de términos básicos.

Calidad de agua

“Es la suma de las características físicas, químicas y biológicas, así como de factores bióticos y abióticos, que influyen sobre el uso de un cuerpo de agua en función del desempeño de las especies que en este se mantengan” (Cuéllar-Ángel *et al.* 2010)

Efluente

Los diversos materiales que se descargan al ambiente después de su paso por los estanques de cultivo. Los componentes orgánicos en forma particulada incluyen las microalgas (materia viva), restos de alimento, restos de mudas y heces (materia muerta). Del mismo modo, los componentes orgánicos disueltos, se encuentran bacterias, metabolitos, componentes de células muertas y otras moléculas orgánicas, producto de la lixiviación de heces y alimento. Los componentes inorgánicos particulado se componen fundamentalmente de sedimentos, mientras que los disueltos incluyen los nutrientes, medicamentos y otros compuestos (Martínez 2009).

Cuenca Hidrográfica

Componente de manejo y planificación ambiental, compuesta por el espacio geográfico delimitados por la cima de los cerros y la divortium

Aquarium, por el cual escurre el agua proveniente principalmente de las precipitaciones a un río, lago o mar; conformando un sistema en el que interactúan factores naturales, socioeconómicos y culturales. (Ministerio del Ambiente 2012)

Estándares ambientales

El Estándar de Calidad Ambiental y el Límite Máximo Permisible son instrumentos de gestión ambiental que consisten en indicadores y deberes que buscan regular y proteger la salud pública y la calidad ambiental en que vivimos permitiéndole a la autoridad ambiental desarrollar acciones de control seguimiento y fiscalización de los efectos causados por las actividades humanas. (Ministerio del Ambiente 2010)

Estándar de Calidad Ambiental

Es una herramienta de gestión ambiental que se establece para medir el estado de la calidad del ambiente en el territorio nacional. El ECA establece los niveles de concentración de elementos o sustancias presentes en el ambiente que no representan riesgos para la salud y el ambiente. (Ministerio del Ambiente 2017)

Límite Máximo Permisible

Establece el nivel de concentración o grado de elementos, sustancias o parámetros físicos, químicos y biológicos, presentes en los efluentes o emisiones que se vierten o liberan al ambiente. Con los LMP se busca garantizar un adecuado control ambiental de las actividades económicas. (Ministerio del Ambiente 2017)

Capacidad de autodepuración natural

Conjunto de fenómenos físicos, químicos y biológicos que tiene lugar en un cauce de agua de modo natural, sin intervenciones del hombre y que provocan la destrucción de las materias extrañas incorporadas al río procedente de las aguas residuales, esto depende sobremanera del contenido en oxígeno disuelto. (Cerón y col 2005)

Aguas residuales

Agua que ha sido utilizada por una población o industria y que contiene material orgánico o inorgánico disuelto o en suspensión que tengan que ser vertidas a un cuerpo natural de agua o reusadas y que por sus características de calidad requieran de un tratamiento previo. (MVCS - RNE 2016)

Aguas residuales domésticas

Aguas residuales de origen residencial, comercial e institucional que contienen desechos fisiológicos y otros provenientes de la actividad humana (preparación de alimentos, aseo personal). (MVCS- RNE 2016)

Agua residual municipal

Son aguas residuales domésticas. Se puede incluir bajo esta definición a la mezcla de aguas residuales domésticas con aguas de drenaje pluvial o con aguas residuales de origen industrial, siempre que estas cumplan con los requisitos para ser admitidas en los sistemas de alcantarillado de tipo combinado. (MVCS- RNE 2016)

Coliformes

El grupo coliformes distingue a un grupo de microorganismos bacterianos que presentan características bioquímicas y microbiológicas habituales con importancia como indicadores de contaminación del agua, asociadas a fuentes de patógenos. (Montero y Agurto 2009)

Oxígeno disuelto: OD

El oxígeno disuelto, es la cantidad de oxígeno que se encuentra disuelto en el agua y que es fundamental para el desarrollo de la vida en un cuerpo de agua. La cantidad de Oxígeno disuelto puede indicar si existe contaminación del recurso hídrico, o si existen condiciones adecuadas para el desarrollo de vida acuática. Si se presentan niveles más altos de oxígeno disuelto el agua tendrá una mejor calidad. La determinación de OD es un parámetro de medición in situ, y se puede realizar por medio del método de winkler o por electrodos debidamente calibrados. (Montero y Agurto 2009)

Demanda bioquímica de oxígeno: DBO

La DBO es un ensayo usado para determinar la cantidad de oxígeno para la descomposición bioquímica de la materia orgánica biodegradable. Su determinación permite estimar los impactos de las descargas de efluentes domésticos e industriales sobre la calidad de las aguas de los cuerpos receptores. (Montero y Agurto 2009)

Fosfatos

Son compuestos solubles en agua que las plantas requieren como nutrientes para su mejora, pero si se hallan en niveles altos provocan eutrofización de las aguas. Las masas de agua con altos niveles de fosfatos generalmente tienen niveles altos de DBO_5 debido a las

bacterias que consumen los desechos orgánicos de las plantas y posteriormente a los niveles de Oxígeno Disuelto. (Montero y Agurto 2009)

Nitratos

Los nitratos forman el último producto del ciclo biogeoquímico del nitrógeno, en concentraciones elevadas puede ser toxico para la vida marina en especial para los peces, un contenido elevado en los niveles de nitrato, indica contaminación agrícola. (Montero y Agurto 2009)

Nitritos

Los nitritos se forman en una fase intermedio del ciclo del nitrógeno por lo que su concentración no es constante, su presencia es indicadora de contaminación fecal a mediano o corto plazo. (Montero y Agurto 2009)

Amonio

El amonio es uno de los contaminantes principales de los recursos marinos. Se produce por la descomposición microbiana del nitrógeno contenido en sustancias orgánicas a muy bajas concentraciones de oxígeno. El amonio es la forma ionizada del amoníaco en solución acuosa, se produce en el agua residual y en plantas de tratamiento por la rotura enzimática de la urea, proteínas y otras sustancias nitrogenadas. (Holguin 2006).

Sólidos suspendidos totales (SST)

Los SST es la cantidad de partículas retenidos por un tamiz de fibra de vidrio que posteriormente se seca a una temperatura estándar hasta peso constante. (Montero y Agurto 2009)

Turbidez

Es la falta de transparencia del agua, debido a la presencia de partículas en suspensión y disueltas, cuanto más sólido en suspensión haya en el agua, se apreciara más turbia. La turbidez es considerada una buena medida de la calidad del agua, cuanto más turbia menor será su calidad. (Montero y Agurto 2009)

pH

El pH determina el grado de acidez o alcalinidad. Valores de pH mayores a 7 indican basicidad del agua y valores menores indican acidez. (Montero y Agurto 2009)

Nitrógeno Amoniacal

Se refiere tanto a las formas combinadas moleculares ($\text{NH}_3 - \text{N}$) como a las ionizadas ($\text{NH}_4^+ - \text{N}$); los valores se expresan como N. Para facilitar la comparación, los datos siempre deben ser dados como “nitrógeno amoniacal total”, informando así mismo sobre el pH, la temperatura y la salinidad” (Crespi 2008)

3. MATERIAL Y MÉTODOS.

3.1. Localidad y periodo de ejecución.

La tesis se desarrolló en el departamento de Tumbes, en la cuenca del río Tumbes, evaluando el Grado de Afectación de la calidad de agua del río Tumbes en los periodos comprendidos entre los años 2011 al 2014 y los años 2015 – 2016 (se divide en dos secciones la data debido a la modificación de la normativa respecto de la actualización de los ECA) , tomando como base de datos a los monitoreos participativos desarrollados por la Autoridad Nacional del Agua a través del Proyecto de Modernización de la Gestión de los Recursos Hídricos (2011-2014) y ANA 2015 – 2016, que han sido difundidos los resultados.

3.2. Tipo y diseño de investigación.

3.2.1. Tipo de Investigación:

Aplicada.

3.2.2. Diseño de Investigación:

No experimental, transeccional explicativo causal.

3.3. Población, muestreo u muestra.

3.3.1. Población:

Registro de resultados de parámetros analizados, de los monitoreos participativos realizados por la Autoridad Nacional del Agua según se describe en numeral 3.1 realizados a la Cuenca del Río Tumbes.

3.3.2. Muestra:

Información secundaria recopilada de los monitoreos participativos realizados en cinco años hidrológicos, periodo

2011-2016, así como la información recopilada del monitoreo realizado en el año 2014 de sedimentos de lecho de fondo de río; por la Autoridad Nacional del Agua a través del Proyecto de Modernización de la Gestión de los Recursos Hídricos a la Cuenca del Río Tumbes.

Los puntos de monitoreo establecidos, que se muestran a continuación:

Tabla N° 01: Estaciones de Monitoreo de la Cuenca Tumbes

N°	Estaciones de Monitoreo	Descripción	Coordenadas UTM-WGS84		Altura (msnm)
			Norte	Este	
1	1392RPuya1	Río Puyango, sector fronterizo, Hito: Puesto de Avanzada Cóndor Flores.	9574422	605352	248
2	1392RPuya2	Río Puyango, sector fronterizo, Hito: Cabo Inga.	9559789	566841	148
3	1392RTumb1	Río Tumbes, después de unión con la Qda. Cazaderos.	9583404	560307	35
4	1392RTumb11	Río Tumbes, Estación Hidrometeorológica El Tigre	9583404	560307	18
5	1392RTumb2 ¹	Río Tumbes, Estación Hidrometeorológica El Tigre	9559894	566793	137
6	1392RTumb3	Río Tumbes, Bocatoma La Peña	9593078	560714	26
7	1392RTumb5	Río Tumbes, Bocatoma de la captación de la EPS ATUSA (altura parque El Beso)	9604897	560274	2
8	1392RTumb6	Río Tumbes, 1.5 km aprox. Después de la caseta de bombeo de aguas servidas "Coloma" de la ciudad de Tumbes	9605570	559478	-111
9	1392RTumb7	Río Tumbes, 1.5 km aprox. Antes de la desembocadura al mar "Boca Mal Pelo".	9609685	555611	-111
10	1392RTumb8	Río Tumbes, desembocadura al mar "Boca Cherres".	9612882	559817	0

Fuente: ANA-PMGRH-CTC-ECA Tumbes

¹ La estación de monitoreo 1392RTumb2 fue muestreada hasta el año 2012, luego se reemplazó por la estación de monitoreo 1392RTumb11.

Imagen N° 01: Estaciones de Monitoreo de la Cuenca Tumbes



3.4. Material y métodos.

Recopilación de la Información: El trabajo se realizó a partir de la recopilación de información secundaria generada por la Autoridad Nacional del Agua de los trabajos realizados de la aplicación de los instrumentos de gestión de la calidad de los recursos hídricos como son la Identificación de fuentes contaminantes (Informe Técnico N° 036-2013-ANA- PMGRH-CPTUMBES-MRSP) en el ámbito de la cuenca del río Tumbes y de los monitoreos participativos de la calidad de las aguas superficiales del río Tumbes parte peruana en tres años hidrológicos 2011 – 2016 (Ver Tabla N° 02), así como la información recopilada del monitoreo realizado en el año 2014 de sedimentos de lecho de fondo de río en el Informe Técnico N° 007-2014-ANA- PMGRH-CPTUMBES-MRSP; la misma que es de dominio público al encontrarse publicada en el sitio web del Consejo de Recursos

Hídricos de Cuenca Tumbes en la página web oficial de la Autoridad Nacional del Agua.

Tabla N° 2: Relación de Informes de monitoreos

Monitoreos de calidad de Agua	Fuente de información
I Monitoreo Noviembre-2011	Informe N° 012-2012-ANA-DGCRH-MAP
I Monitoreo Abril-2012	Informe N° 003-2012-ANA-PMGRH-CP TUMBES-MRSP
II Monitoreo Junio-2012	Informe N° 012-2012-ANA-PMGRH-CP TUMBES-MRSP
III Monitoreo Octubre-2012	Informe N° 017-2012-ANA-PMGRH-CP TUMBES-MRSP
IV Monitoreo Enero-2013	Informe N° 013-2013-ANA-PMGRH-CP TUMBES-MRSP
I Monitoreo Abril-2013	Informe N° 019-2013-ANA-PMGRH-CP TUMBES-MRSP
II Monitoreo Mayo-2013	Informe N° 033-2013-ANA-PMGRH-CP TUMBES-MRSP
III Monitoreo Agosto-2013	Informe N° 032-2013-ANA-PMGRH-CP TUMBES-MRSP
IV Monitoreo Diciembre-2013	Informe N° 002-2014-ANA-PMGRH-CP TUMBES-MRSP
I Monitoreo Enero-2014	Informe N° 003-2014-ANA-PMGRH-MRSP
II Monitoreo Marzo-2014	Informe N° 004-2014-ANA-PMGRH-CP TUMBES-MRSP
III Monitoreo Mayo-2014	Informe N° 006-2014-ANA-PMGRH-CP TUMBES-MRSP
IV Monitoreo Noviembre-2014	Informe N° 003-2015-ANA-PMGRH-CP TUMBES-MRSP
I Monitoreo Junio-2015	Informe N° 017-2015-ANA-AAA.JZ-SDGCRH/FZAY
II Monitoreo Octubre-2015	Informe N° 027-2015-ANA-AAA.JZ-SDGCRH/FZAY
I Monitoreo Junio-2016	Informe N° 025-2016-ANA-AAA.JZ-V/FAY
II Monitoreo Agosto-2016	Informe N° 047-2016-ANA-AAA.JZ-SDGCRH/FZAY

3.5. Procesamiento y análisis de datos.

La información está publicada bajo un formato generado por la Autoridad Nacional del Agua en base al DS N° 002-2008-MINAM en los informes técnicos publicados, que fue sistematizada en base de

datos Excel para ser analizados y elaborar diagnóstico de la calidad del agua.

Una vez identificada la data histórica se agrupó la información de cada año hidrológico según la época en que se desarrolló los monitoreos (Estación seca y estación húmeda), también se agruparon los parámetros evaluados en función a la afectación: actividad antrópica, geología de la cuenca y movimiento natural de las mareas.

Luego se seleccionaron los datos correspondientes a los resultados de parámetros que tengan significancia de afectación de la calidad del agua del río Tumbes. Toda la data fue procesada utilizando la aplicación de la metodología para la Determinación del Índice de Calidad de Agua ICA-PE, aplicado a los cuerpos de agua continentales superficiales, de la Autoridad Nacional del Agua, aprobada con Resolución Jefatural N° 068-2018-ANA; en la cual se obtuvo los valores y su respectivo indicador de calidad del agua por punto de monitoreo, y los Mapas de Índice de Calidad de Agua para el periodo Hidrológico 2011-2014 y 2015-2016.

Para los sedimentos de lecho de fondo de río se evaluaron de manera referencial teniendo en cuenta la norma canadiense, específicamente se empleó la guía internacional para sedimentos del Consejo Canadiense de Ministros del Ambiente (CCME, 2002) para la protección de la vida acuática como referencia, debido a que no se cuenta con una normatividad nacional. En la que establecen dos tipos de valores:

ISQG (*Interim Sediment Quality Guidelines* - Valor guía interino de la calidad de sedimento): Concentración por debajo de la cual no se presentan efectos biológicos adversos. PEL (*Probable Effect Level* – Nivel de efecto probable): Concentración por encima de la cual se esperan efectos biológicos adversos con frecuencia.

Posteriormente se establecerá de esta manera el grado de afectación del agua del río Tumbes y se relacionará con el mapa de fuentes contaminantes para determinar la influencia de las mismas.

4. RESULTADOS

4.1. Resultados de calidad de agua por época del año

Durante los monitoreos realizados por cada año hidrológico, por la ANA (2011-2014) mediante el Proyecto de Modernización de la Gestión de los Recursos Hídricos; se agruparon en estación húmeda comprendida en los meses de enero a junio y la estación seca que abarco julio a diciembre.

4.1.1. Parámetros por Actividad Antrópica

4.1.1.1. Coliformes Termotolerantes:

Como se observa en los gráficos N° 01 y 02, los coliformes termotolerantes exceden significativamente los ECA-Agua en las categorías 1-A2 y 3, en el punto de monitoreo 1392RTumb6, durante la evaluación tanto en época húmeda y seca, llegando a obtener valores de concentración máxima de 17650000 13000000 NMP/ 100mL respectivamente para cada punto de monitoreo.

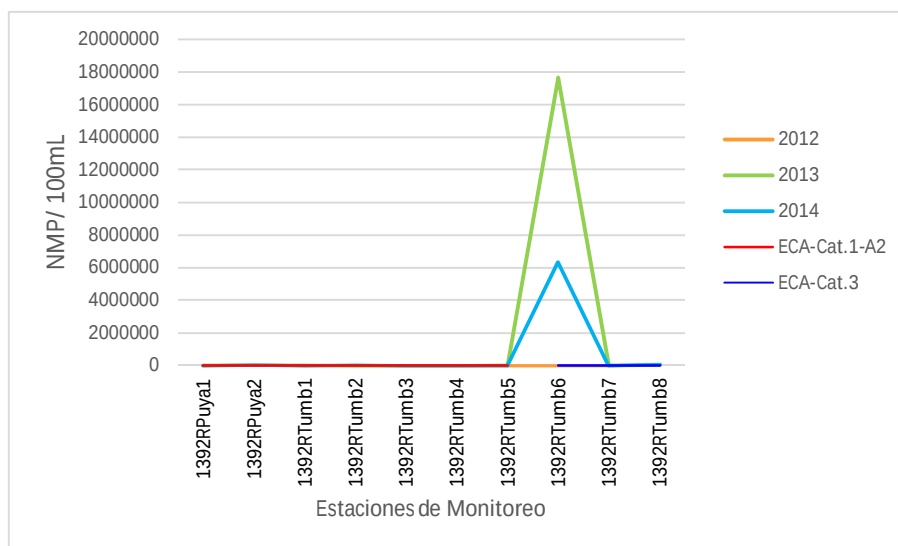


Gráfico N° 01: Variación de Coliformes Termotolerantes - Época Húmeda

Fuente: ANA, 2015

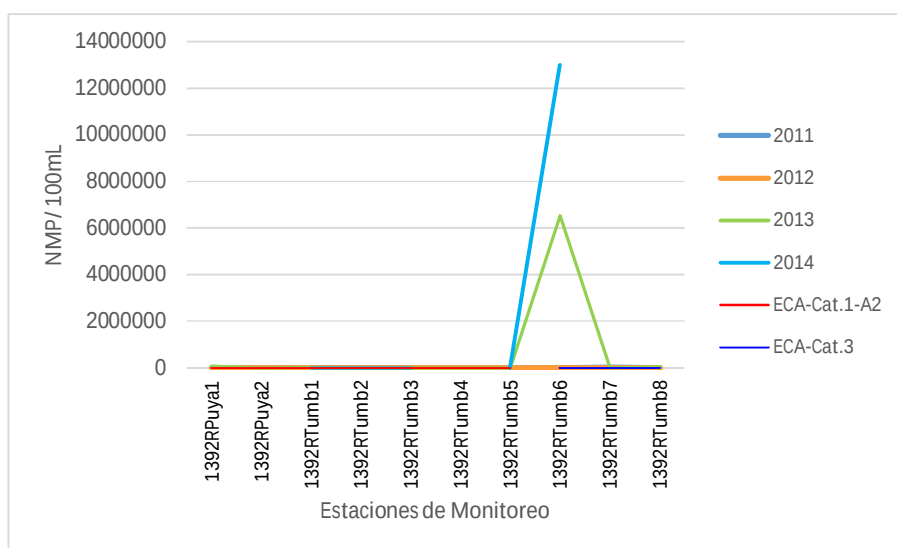


Gráfico N° 02: Variación de Coliformes Termotolerantes - Época Seca

Fuente: ANA, 2015

4.1.1.2. Demanda bioquímica de oxígeno:

En La demanda bioquímica de oxígeno, se observa que en la época húmeda en los años 2012 y 2014, sobrepasa considerablemente los ECA – Agua Categoría 1-A2, obteniendo valores de concentración máximos en la estación 1392RPuya2 con 29 mg/L, como se observa en el gráfico N° 03; a diferencia de la estación seca que se obtuvieron que sus valores de concentración, excedieron los valores del ECA – Agua, Categorías 1-A2 y 3, obteniendo valores de 10.5 y 26 mg/L en las estaciones 1392RPuya1 y 1392RTumb6 respectivamente como se observa en el gráfico N° 04.

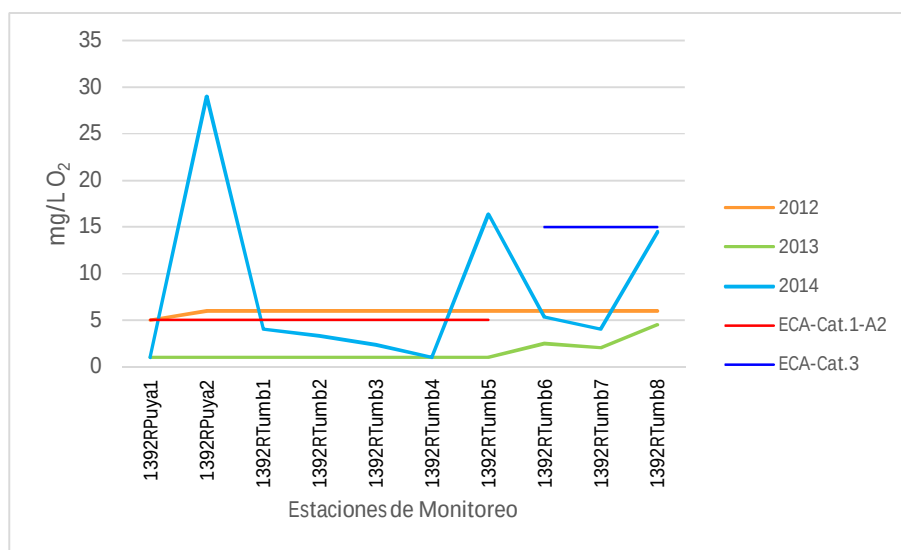


Gráfico N° 03: Variación de Demanda Bioquímica de Oxígeno- Época Húmeda

Fuente: ANA, 2015

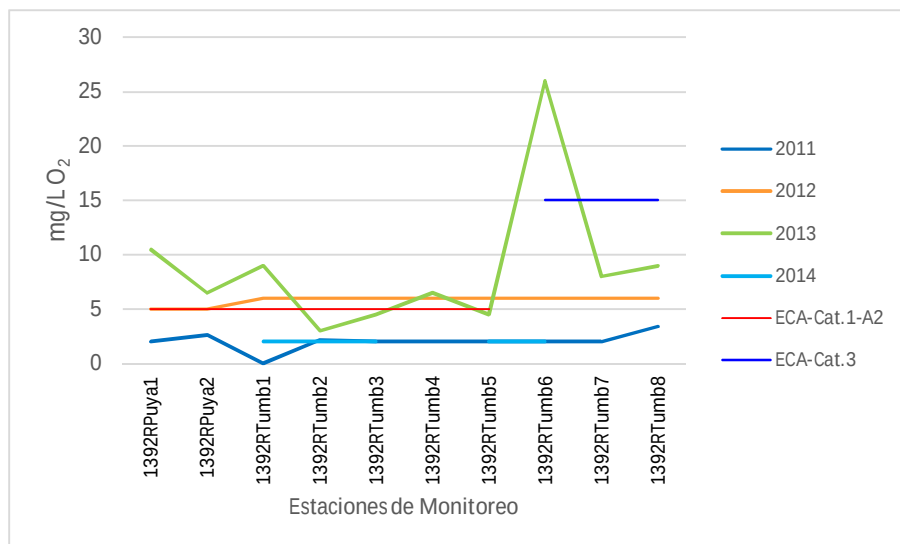


Gráfico N° 04: Variación de Demanda Bioquímica de Oxígeno- Época Seca

Fuente: ANA, 2015

4.1.1.3. Demanda Química de Oxígeno

Los gráficos N° 05 y 06 muestran que los valores obtenidos para la demanda química de oxígeno, exceden los valores del ECA – Agua, Categorías 1-A2 y 3, en cada una de las épocas evaluadas, obteniendo como valor máximo de concentración para la época húmeda, 109 mg/L en el punto de monitoreo 1392RPuya2, y 150.1 mg/L en la punto de monitoreo 1392RTumb6 para la época seca.

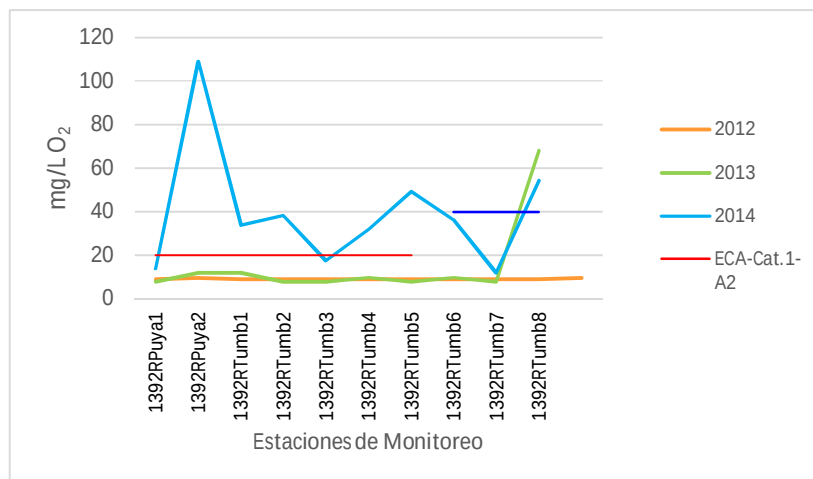


Gráfico N° 05: Variación de Demanda química de oxígeno- Época Húmeda

Fuente: ANA, 2015

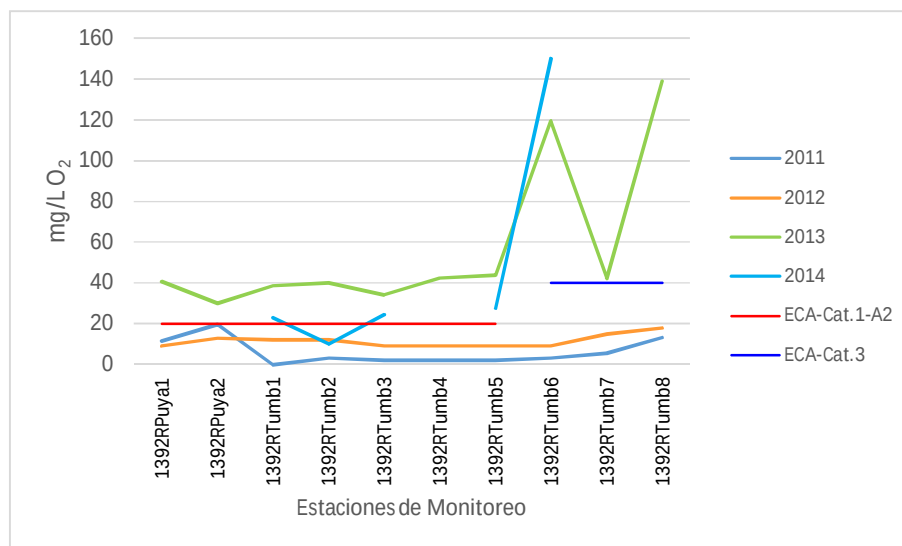


Gráfico N° 06: Variación de Demanda química de oxígeno- Época Seca

Fuente: ANA, 2015

4.1.1.4. Plomo Total

En el gráfico N° 07, se observa que en los monitoreos realizados en la época seca, todas las estaciones de muestreo exceden los valores del ECA – Agua, Categorías

1-A2 y 3, excepto el punto de monitoreo 1392RTumb3 en los años 2013 y 2014, obteniendo un valor de concentración máxima de 0.30 mg/L. En cambio durante la estación seca los resultados obtenidos, se encuentran excediendo los valores del ECA – Agua, Categoría 1-A2, con concentración máxima de 0.3 mg/L excepto la estación de monitoreo 1392RTumb1 en los años 2011 y 2013, para la categoría 3, solo excedió los valores del ECA-Agua el punto de monitoreo 1392RTumb6, como se muestra en gráfico N° 08.

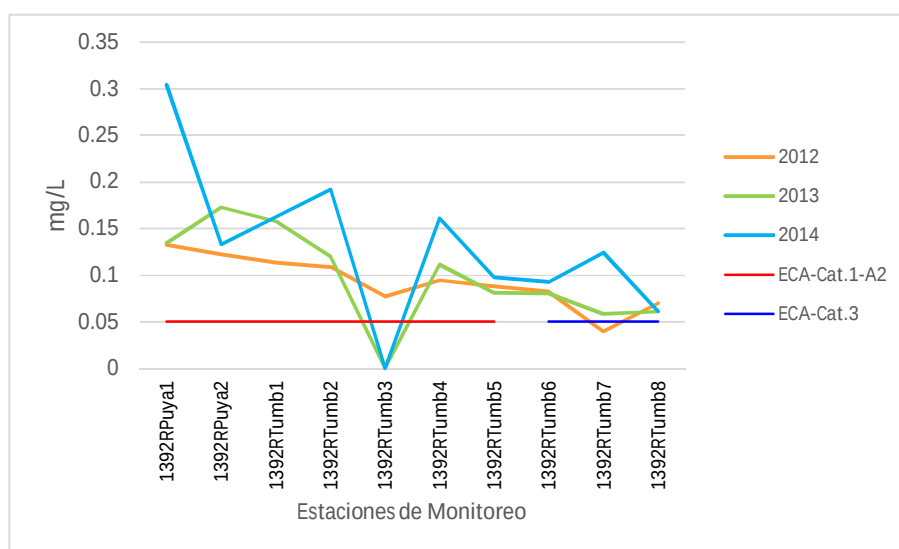


Gráfico N° 07: Variación de Plomo Total- Época Húmeda

Fuente: ANA, 2015

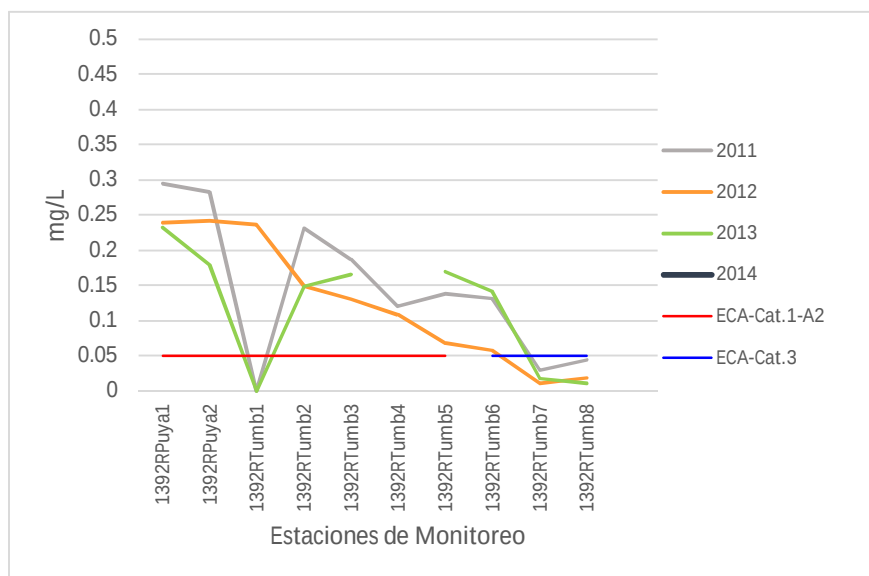


Gráfico N° 08: Variación de Plomo Total- Época Seca

Fuente: ANA, 2015

4.1.1.5. Cadmio Total

En el gráfico N° 09, se observa, que los valores de concentración se encuentran por debajo de los valores del ECA – Agua, en las categorías 1-A2 y 3, para la época húmeda, en cambio durante la época seca si exceden los valores del ECA – Agua, Categoría 1-A2, en las estaciones 1392RPuya1, 1392RPuya2 y 1392RTumb1, obteniendo un valor máximo de concentración de 0.005 mg/L, como se puede observar en el gráfico N° 10.

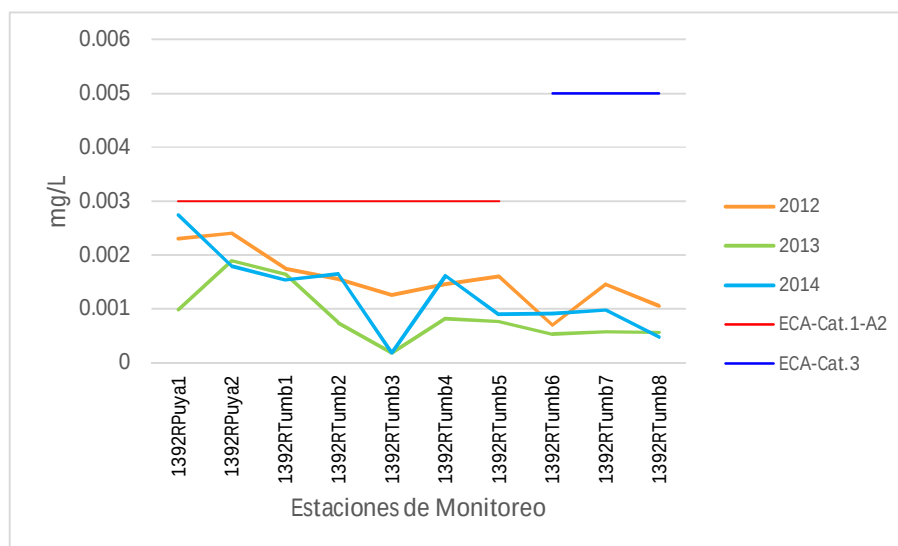


Gráfico N° 09: Variación de Cadmio Total- Época Húmeda

Fuente: ANA, 2015

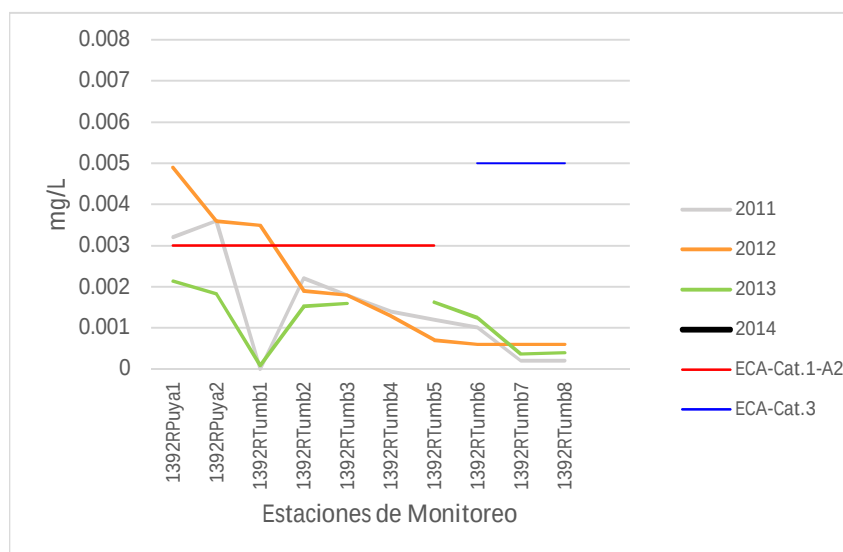


Gráfico N° 10: Variación de Cadmio Total- Época Seca

Fuente: ANA, 2015

4.1.2. Geología de la cuenca

4.1.2.1. Aluminio total

Para el parámetro aluminio como se aprecia en el gráfico N° 11, las concentraciones obtenidas, exceden

considerablemente los valores del ECA – Agua, en las categorías 1-A2, y en la categoría 3 durante el año 2012 se excedió los valores del ECA – Agua; se obtuvo una concentración máxima de 13.97 mg/L, durante la época húmeda. Sin embargo en el gráfico N° 12 para la época seca, los valores obtenidos excedieron los valores del ECA – Agua, en la categoría 1-A2, con una concentración de 6.2 mg/L.

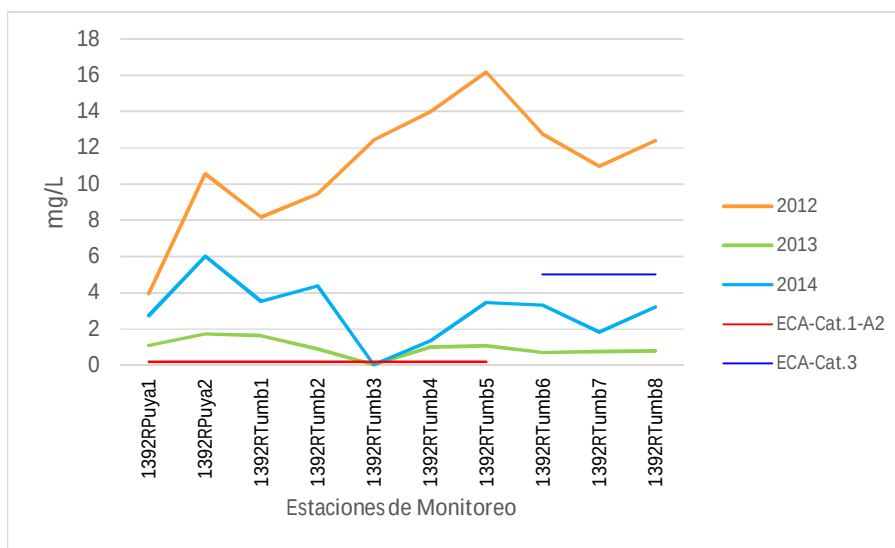


Gráfico N° 11: Variación de Aluminio Total- Época Húmeda

Fuente: ANA, 2015

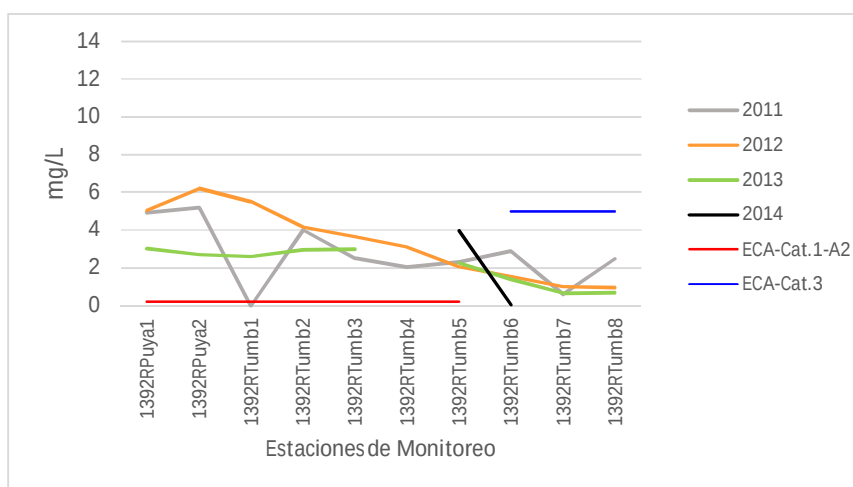


Gráfico N° 12: Variación de Aluminio Total- Época Seca

Fuente: ANA, 2015

4.1.2.2. Arsénico total

En el Arsénico como se aprecia en el gráfico N° 13, las concentraciones obtenidas, exceden considerablemente los valores del ECA – Agua, en las categorías 1-A2, y 3 durante, obteniendo valores de concentración máxima de 0.12 mg/L, durante la época húmeda. En el gráfico N° 12 para la época seca, los valores obtenidos excedieron los valores del ECA – Agua, en las categorías 1-A2 y 3, con una concentración máxima de 0.23 mg/L.

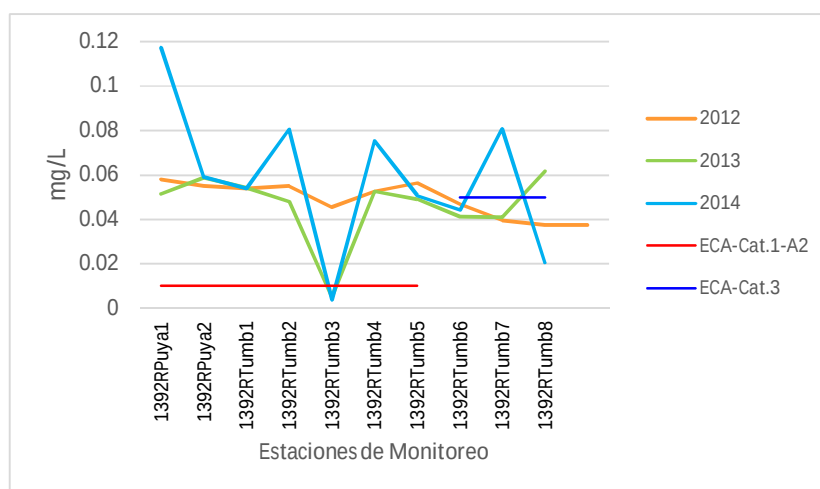


Gráfico N° 13: Variación de Arsénico Total- Época Húmeda

Fuente: ANA, 2015

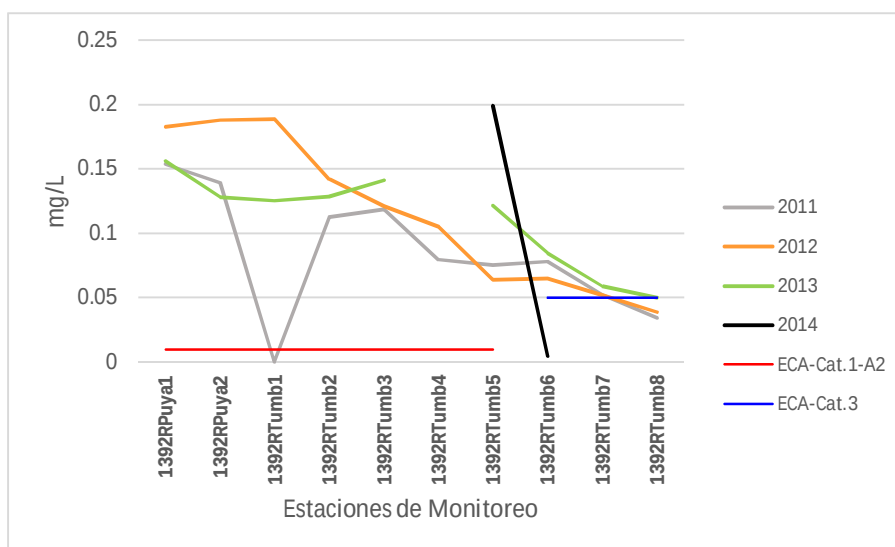


Gráfico N° 14: Variación de Arsénico Total- Época Seca

Fuente: ANA, 2015

4.1.2.3. Hierro total

Para el parámetro Hierro, se obtuvo que en la época seca, los valores de concentración obtenidos exceden a los los valores del ECA – Agua, en las categorías 1-A2 y 3, durante los monitores realizados, teniendo como valor de concentración máxima 23.47 mg/L, como se observa en el gráfico N° 15; en la época seca como se observa en el gráfico N° 16, los valores de concentración obtenidos exceden a los valores del ECA – Agua, en las categorías 1-A2 y 3, con concentración máxima de 45 mg/L para los monitoreos realizados.

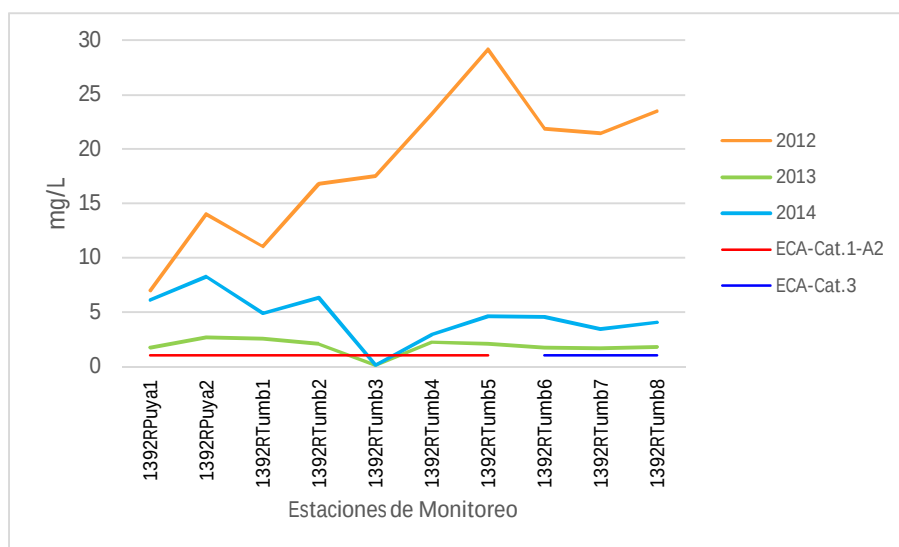


Gráfico N° 15: Variación de Hierro Total- Época Húmeda

Fuente: ANA, 2015

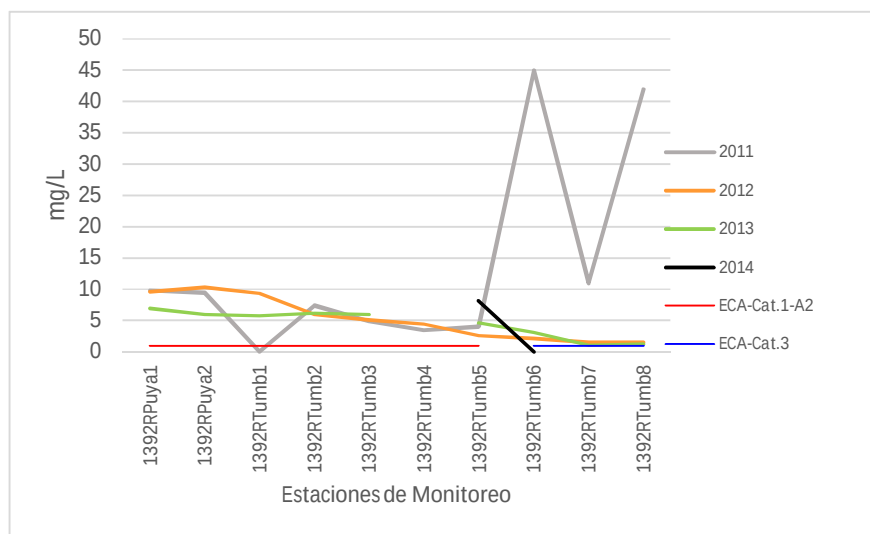


Gráfico N° 16: Variación de Hierro Total- Época Seca

Fuente: ANA, 2015

4.1.2.4. Manganeseo total

En el gráfico N° 17, se observa, durante la época húmeda, que la estación de muestreo 1392RPuya2 excede los valores del ECA – Agua, en la categoría 1-A2 durante el año 2014, con un valor de concentración de 0.89 mg/L; en la

categoría 3, en la punto de monitoreo 1392RTumb7 se obtuvo una concentración máxima de 2.85 mg/L. En el gráfico N° 18, se aprecia que en la época seca se exceden ligeramente los valores del ECA – Agua, en la categoría 1-A2, en cambio en la categoría 3, si exceden los valores de concentración considerablemente teniendo como concentración máxima 4.37 mg/L.

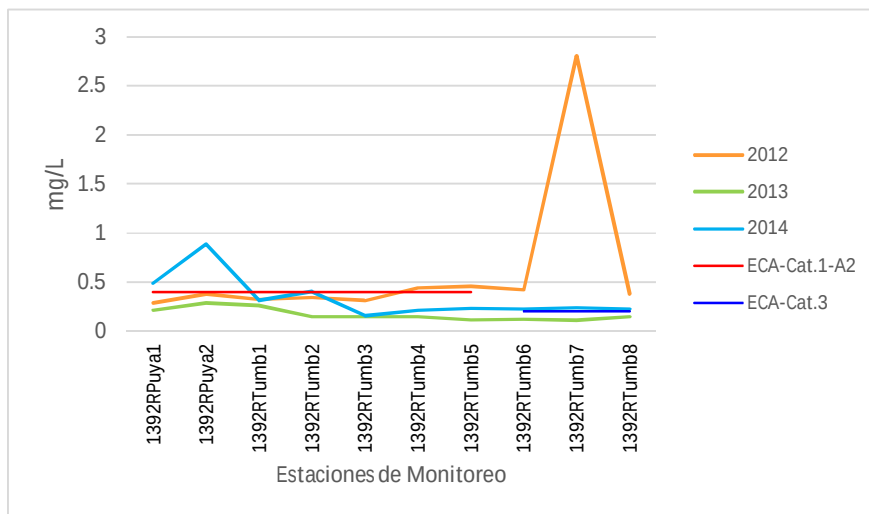


Gráfico N° 17: Variación de Manganeseo Total- Época Húmeda

Fuente: ANA, 2015

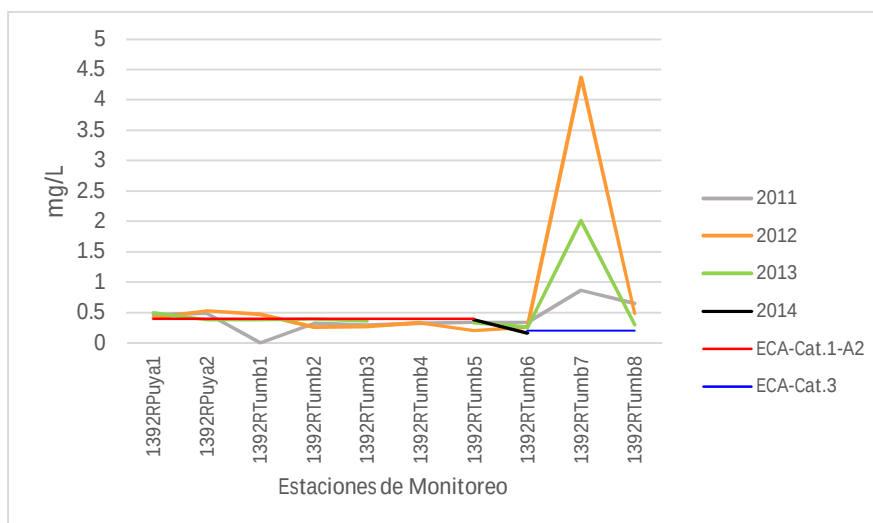


Gráfico N° 18: Variación de Manganeseo Total- Época Seca

Fuente: ANA, 2015

4.1.3. Movimiento Natural de las Mareas

4.1.3.1. Calcio total

Se observa que durante la época húmeda, los resultados obtenidos no exceden los valores del ECA – Agua, en la categoría 3, ya que se tuvo como valor de concentración máxima de 89 mg/L, como se observa en el gráfico N° 19; en cambio se aprecia que en la época seca se exceden considerablemente los valores del ECA – Agua, en la categoría 3, con valores de concentración máxima de 1910.93 mg/L como se aprecia en el gráfico N° 20.

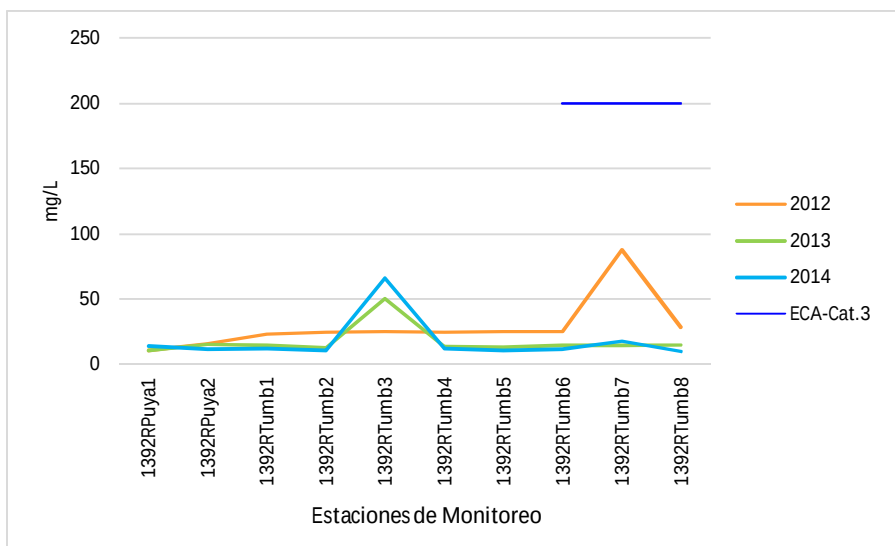


Gráfico N° 19: Variación de Calcio Total- Época Húmeda

Fuente: ANA, 2015

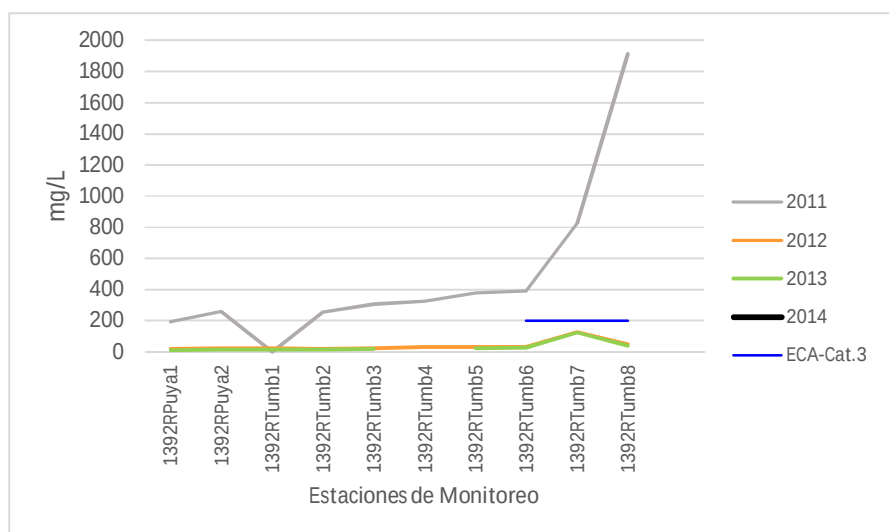


Gráfico N° 20: Variación de Calcio Total- Época Seca

Fuente: ANA, 2015

4.1.3.2. Magnesio total

Se observa en el en el gráfico N° 21, que durante la época húmeda, los resultados obtenidos no exceden los valores del ECA – Agua, en la categoría 3, ya que se tuvo como valor de concentración máxima de 140 mg/L; en cambio se aprecia que en la época seca se exceden considerablemente los valores del ECA – Agua, en la categoría 3, con valores de concentración máxima de 483.31 mg/L como se aprecia en el gráfico N° 22.

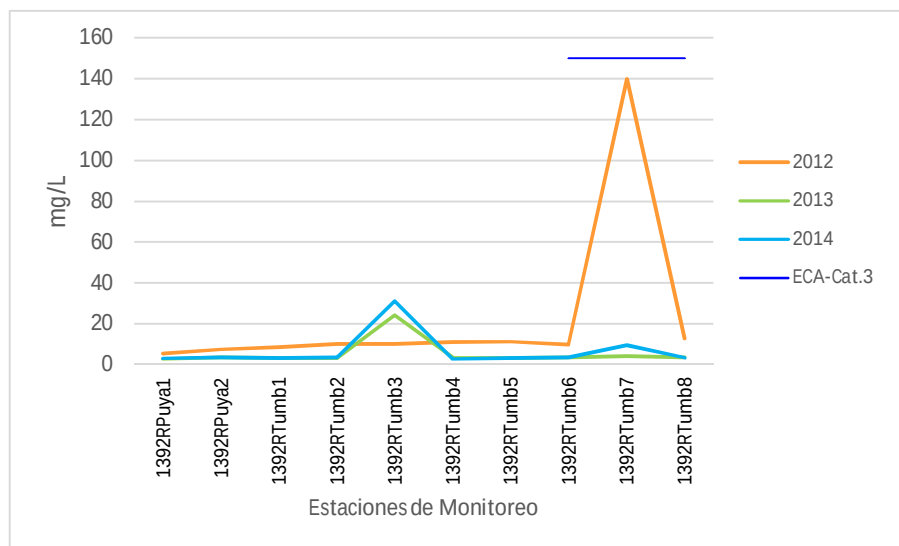


Gráfico N° 21: Variación de Magnesio Total- Época Húmeda

Fuente: ANA, 2015

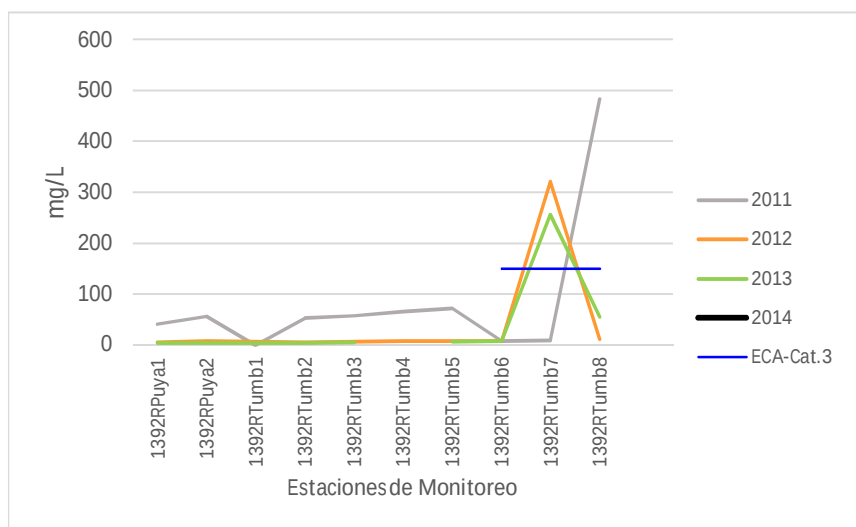


Gráfico N° 22: Variación de Magnesio Total- Época Seca

Fuente: ANA, 2015

4.1.3.3. Sodio total

En el gráfico N° 23, se observa que durante la época húmeda, la estación de muestreo 1392RTumb7 excede los valores del ECA – Agua, en la categoría 3 solo durante el año 2012, con un valor de concentración de 964.73 mg/L; y

en la época seca en el gráfico N° 18, se aprecia que se exceden ligeramente los valores del ECA – Agua, en la categoría 3, se exceden considerablemente los valores de concentración teniendo como concentración máxima 3785.9 mg/L.

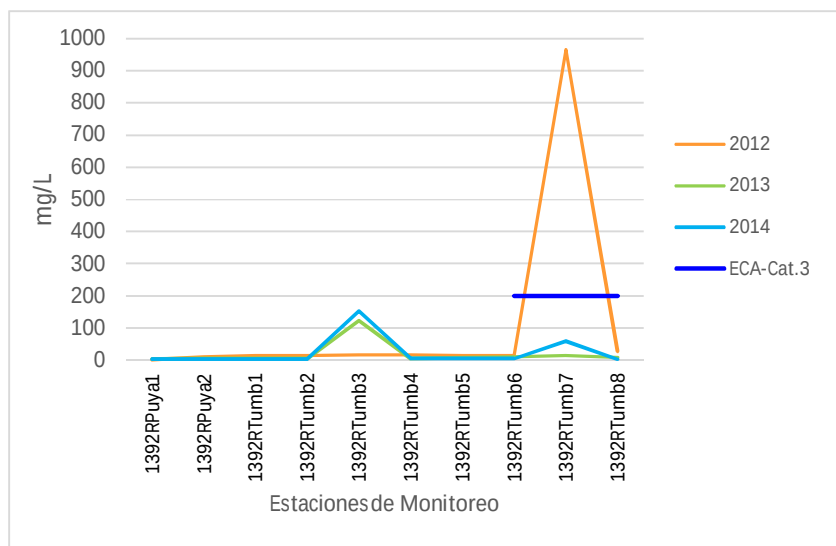


Gráfico N° 23: Variación de Sodio Total- Época Húmeda

Fuente: ANA, 2015

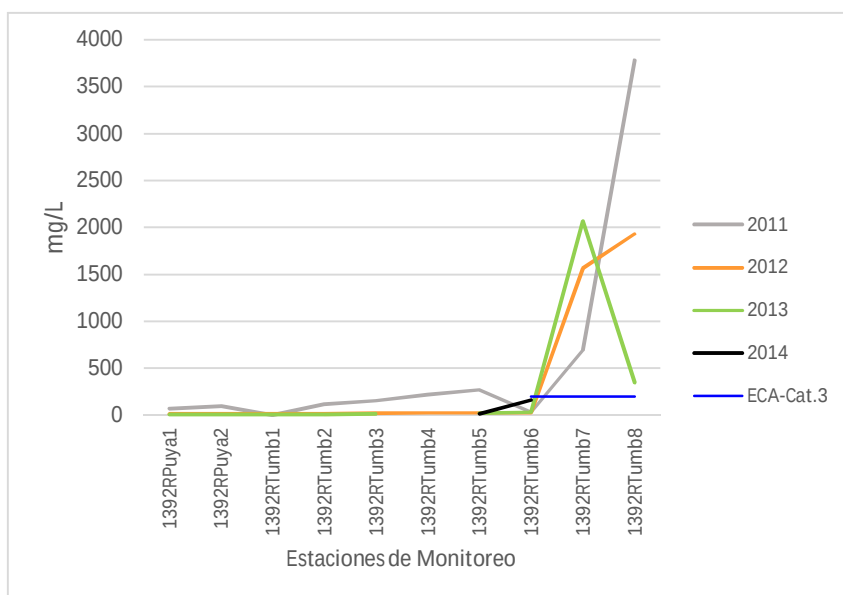


Gráfico N° 24: Variación de Sodio Total- Época Seca

Fuente: ANA, 2015

4.2. Resultados del monitoreo de calidad de agua por época del año 2015-2016

Este periodo hidrológico, se evalúa por separado, debido a una actualización de la data de los monitoreos y los ECA-Agua; durante los monitoreos realizados por cada año hidrológico, por la ANA (2015-2016); se agruparon en estación húmeda comprendida en los meses de enero a junio y la estación seca que abarco julio a diciembre.

4.2.1. Parámetros por Actividad Antrópica

4.2.1.1. Coliformes Termotolerantes:

Como se observa en los gráficos N° 25 y 26, los coliformes termotolerantes exceden significativamente los ECA-Agua en las categorías 1-A2 y 3, en la punto de monitoreo 1392RTumb6, durante la evaluación tanto en época húmeda y seca, llegando a obtener valores de concentración máxima de 13000000 y 46000000 NMP/ 100mL respectivamente para cada estación.

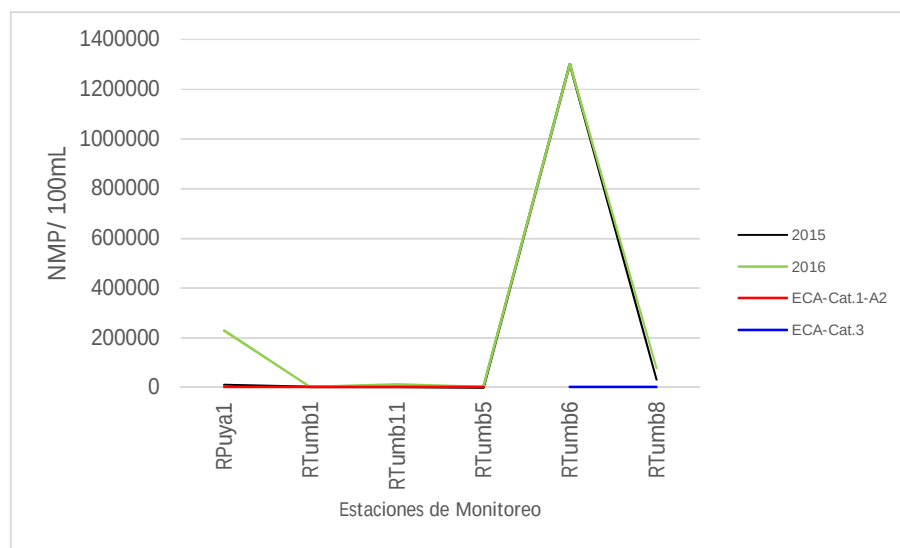


Gráfico N° 25: Variación de Coliformes Termotolerantes - Época Húmeda

Fuente: ANA, 2017

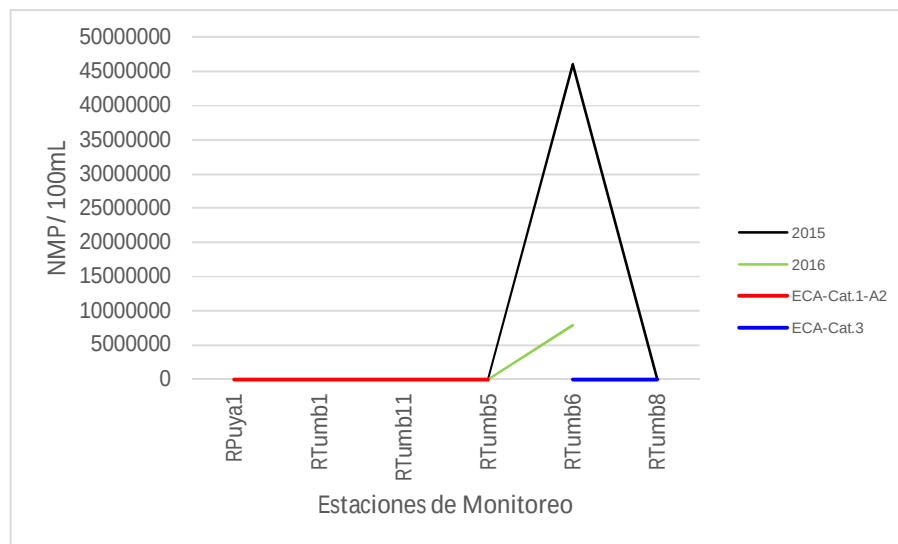


Gráfico N° 26: Variación de Coliformes Termotolerantes - Época Seca

Fuente: ANA, 2017

4.2.1.2. Demanda bioquímica de oxígeno:

En el gráfico N° 27, se observa que, en los monitoreos realizados en la época seca, los puntos de monitoreo RPuya1 y RTumb5 exceden los valores del ECA – Agua, Categorías 1-A2 en el 2016, obteniendo un valor de concentración máxima de 9.0 mg/L. En cambio, durante la estación seca los resultados obtenidos, se encuentran excediendo los valores del ECA – Agua, Categoría 3, con concentración máxima de 62 mg/L en el punto de monitoreo RTumb6 en el año 2015, como se muestra en gráfico N° 08.

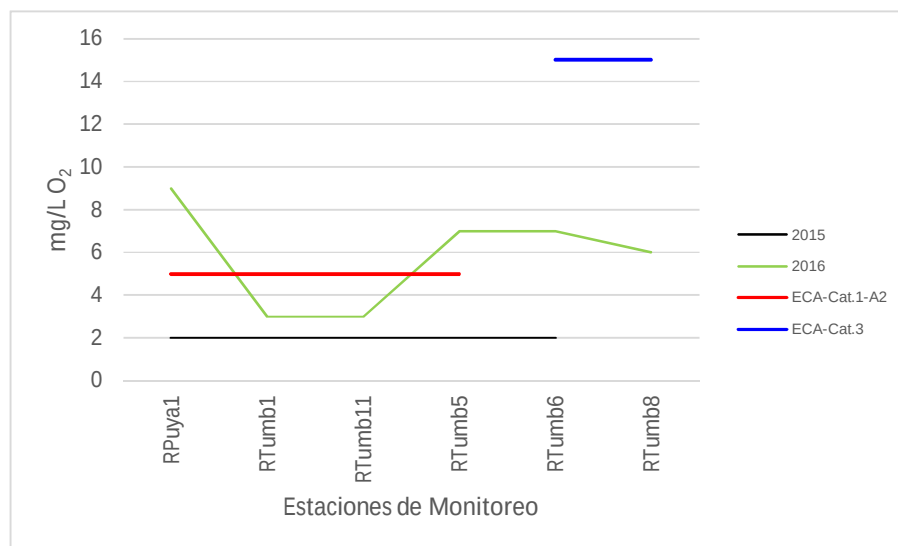


Gráfico N° 27: Variación de Demanda Bioquímica de Oxígeno- Época Húmeda

Fuente: ANA, 2017

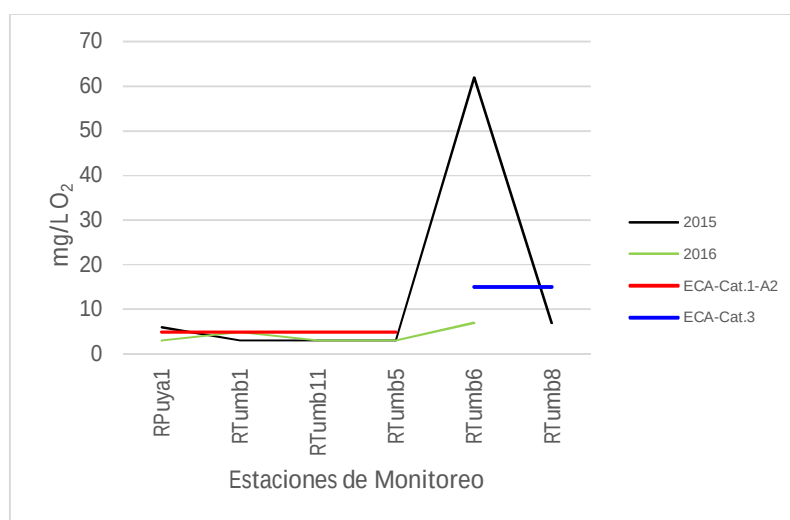


Gráfico N° 28: Variación de Demanda Bioquímica de Oxígeno- Época Seca

Fuente: ANA, 2017

4.2.1.3. Demanda Química de Oxígeno:

En los gráficos N° 29 y 30, se observa en los monitoreos realizados en la época seca, todos los puntos de monitoreo se encuentran por debajo de los valores del ECA – Agua, Categorías 1-A2 y 3. En cambio durante la estación seca en los resultados obtenidos, el punto de monitoreo RTumb6 excede los valores del ECA, para la categoría 3, considerablemente con una concentración de 149 mg/L.

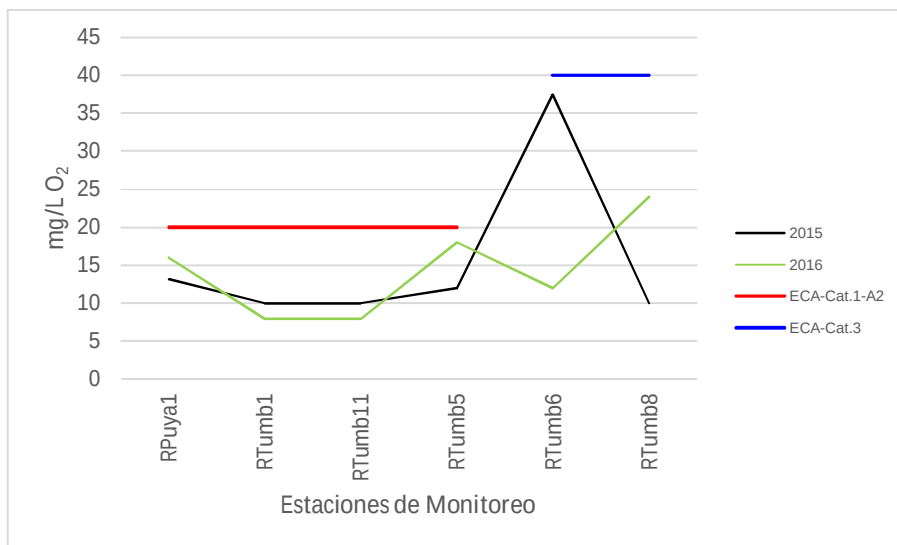


Gráfico N° 29: Variación de Demanda Química de Oxígeno- Época Húmeda

Fuente: ANA, 2017

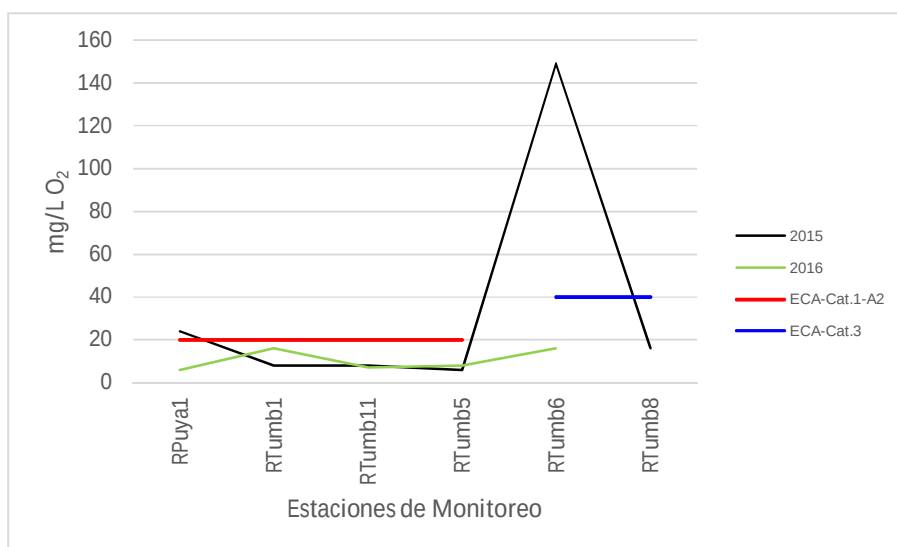


Gráfico N° 30: Variación de Demanda Química de Oxígeno- Época Seca

Fuente: ANA, 2017

4.2.1.4. Plomo Total:

En el gráfico N° 31, se observa en los monitoreos realizados en la época seca, todos los puntos de monitoreo se exceden los valores del ECA – Agua, Categorías 1-A2 y 3, obteniendo los valores más altos en los puntos RPuya1y RTumb11 con concentraciones de 0.133 y 0.125 mg/L respectivamente. En cambio, durante la estación seca en los resultados obtenidos, los puntos de monitoreo RPuya1, RTumb1y RTumb11 exceden los valores del ECA, para la categoría 1-A2, con concentración máxima de 0.163 mg/L.

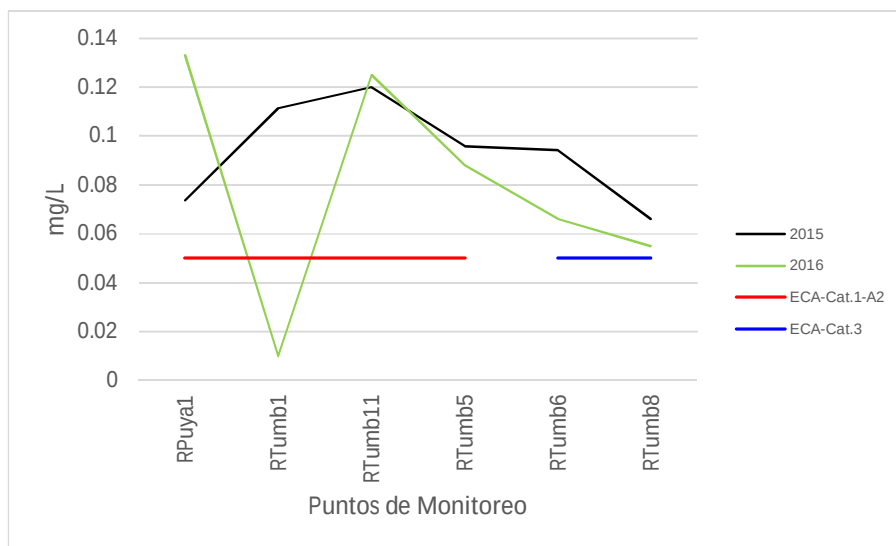


Gráfico N° 31: Variación de Plomo - Época Húmeda

Fuente: ANA, 2017

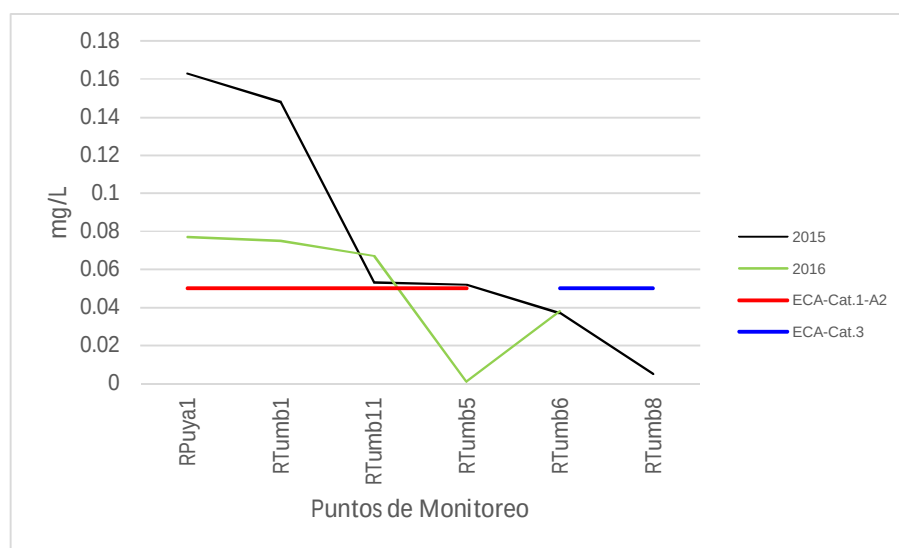


Gráfico N° 32: Variación de Plomo - Época Seca

Fuente: ANA, 2017

4.2.2. Geología de la cuenca

4.2.2.1. Aluminio total

En los gráficos N° 33 y 34, en los monitoreos realizados en las épocas seca y húmeda, todos los puntos de monitoreo

exceden los valores del ECA – Agua, para la Categoría 1-A2, obteniendo los valores más altos en los puntos RPuya1y RTumb11 con concentraciones de 34.04 y 6.11 mg/L respectivamente, obtenidos durante la estación húmeda.

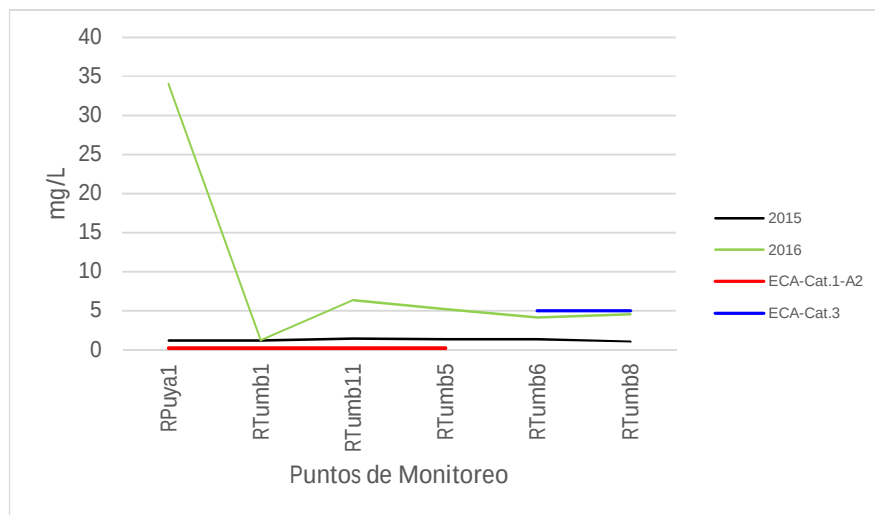


Gráfico N° 33: Variación de Aluminio - Época Húmeda

Fuente: ANA, 2017

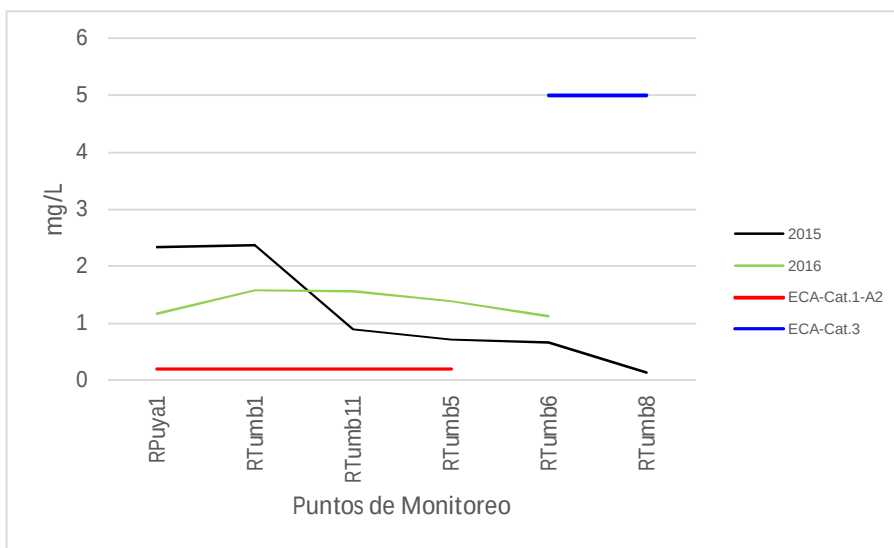


Gráfico N° 34: Variación de Aluminio - Época Seca

Fuente: ANA, 2017

4.2.2.2. Arsénico total

En el gráfico N° 35, se observa en los monitoreos realizados en la estación húmeda, todos los puntos de monitoreo se exceden los valores del ECA – Agua, para la Categoría 1-A2 excepto en el punto RTumb1, obteniendo los valores más altos en los puntos RTumb11y RTumb5 con concentraciones de 0.04 y 0.039 mg/L respectivamente; durante la estación seca los resultados obtenidos, fueron similares, todos los puntos de monitoreo excedieron los valores del ECA – Agua, para la Categoría 1-A2, con valor máximo de 0.067 mg/L, como se aprecia en el gráfico N° 36.

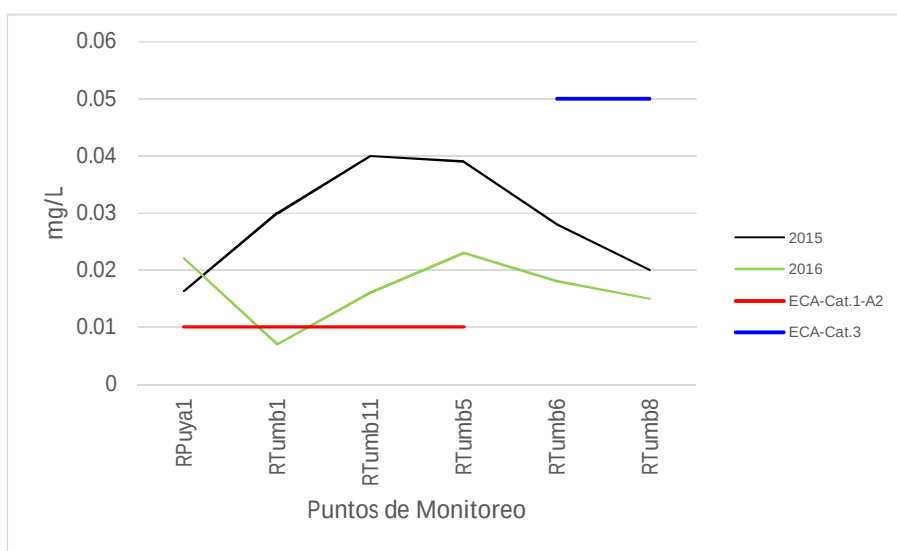


Gráfico N° 35: Variación de Arsénico - Época Húmeda

Fuente: ANA, 2017

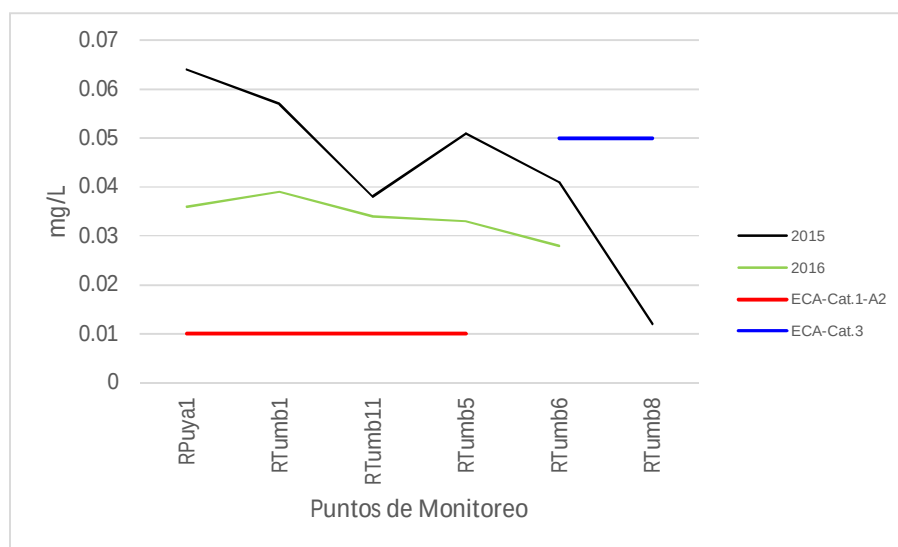


Gráfico N° 36: Variación de Arsénico - Época Seca

Fuente: ANA, 2017

4.2.2.3. Antimonio total

En el gráfico N° 37, en los monitoreos realizados en la estación húmeda, muestra que todos los puntos de monitoreo son inferiores a los valores del ECA – Agua, para las Categorías 1-A2 y 3. En cambio se aprecia en el gráfico N° 38 durante la estación los puntos de monitoreo RTumb11 y RTumb5, excedieron los valores del ECA – Agua, para la Categoría 1-A2, con valores máximo de 0.009 y 0.018 mg/L.

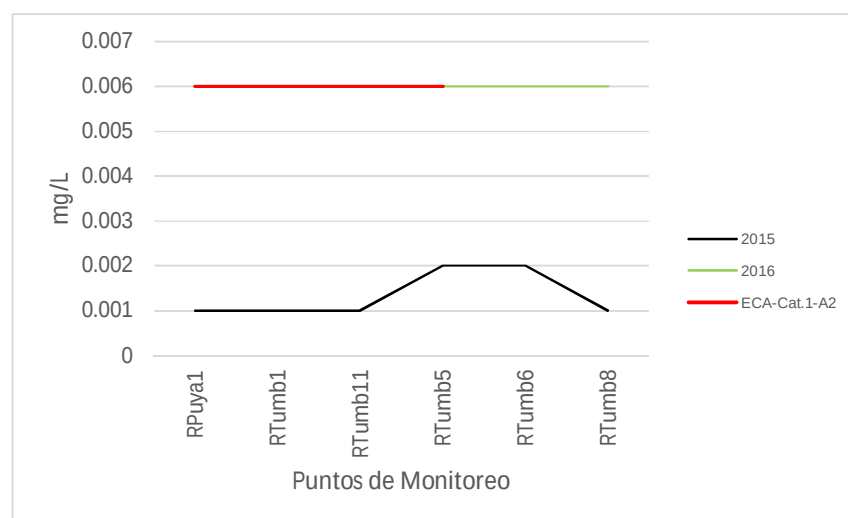


Gráfico N° 37: Variación de Antimonio - Época Húmeda

Fuente: ANA, 2017

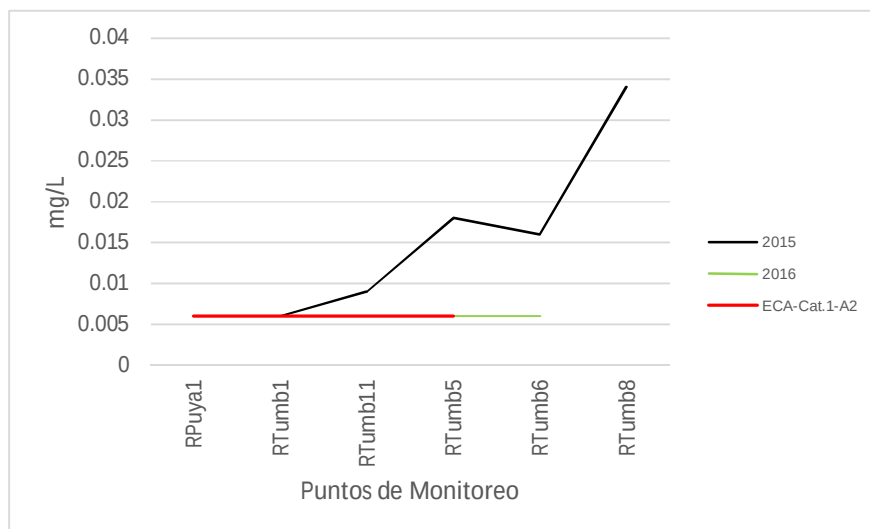


Gráfico N° 38: Variación de Antimonio - Época Seca

Fuente: ANA, 2017

4.2.2.4. Hierro Total

En el gráfico N° 39, en los monitoreos realizados en la estación húmeda, muestra que todos los puntos de monitoreo superan a los valores del ECA – Agua, para las Categorías 1-A2 y 3, obteniendo las concentraciones más altas en los puntos de monitoreo RPuya1 y RTumb11, con concentraciones de 54.04 y 13.73 mg/L. En cambio, se aprecia en el gráfico N° 40 durante la estación húmeda, todos los puntos de monitoreo excedieron los valores del ECA – Agua, para las Categorías 1-A2 y 3, excepto la RTumb8.

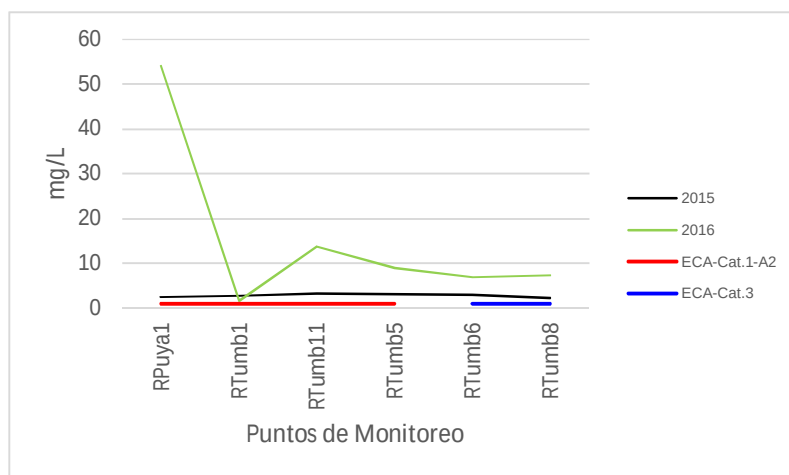


Gráfico N° 39: Variación de Hierro - Época Húmeda

Fuente: ANA, 2017

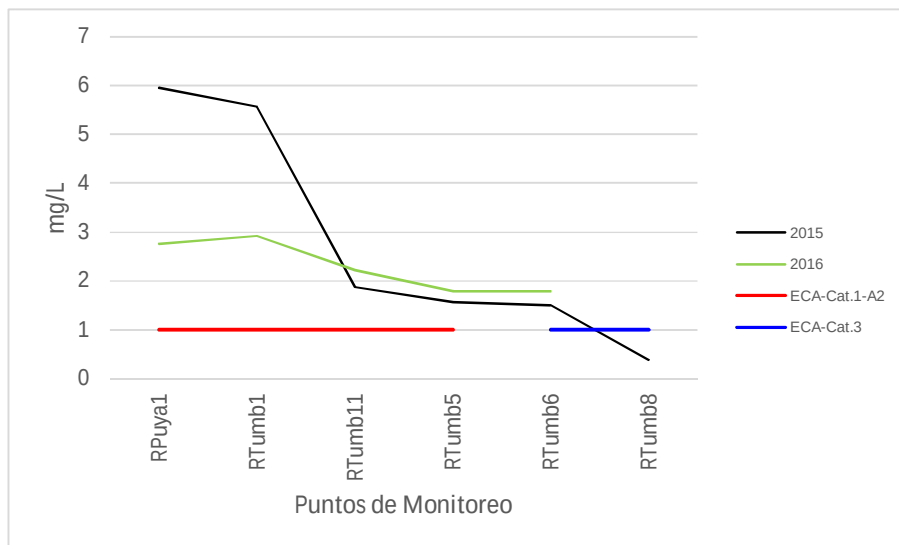


Gráfico N° 40: Variación de Hierro - Época Seca

Fuente: ANA, 2017

4.2.2.5. Manganeseo

En el gráfico N° 41, en los monitoreos realizados en la estación húmeda, muestra que todos los puntos de monitoreo superan a los valores del ECA - Agua, para la Categoría 1-A2 excepto RTumb1, donde se obtuvo la máxima concentración en RPuya1 con 2.77 mg/L, y en la categoría 3 se encuentra ligeramente por encima del ECA el punto de monitoreo RTumb8. En cambio, se aprecia en el gráfico N° 42, todos los puntos de monitoreo presentaron concentraciones inferiores a los valores del ECA – Agua, para las Categorías 1-A2 y 3, excepto la RTumb8.

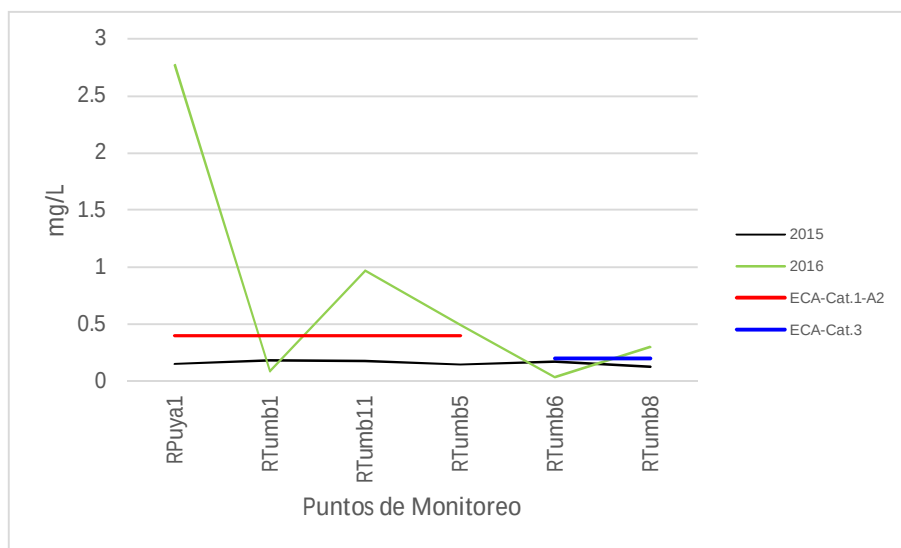


Gráfico N° 41: Variación de Manganeso - Época Húmeda

Fuente: ANA, 2017

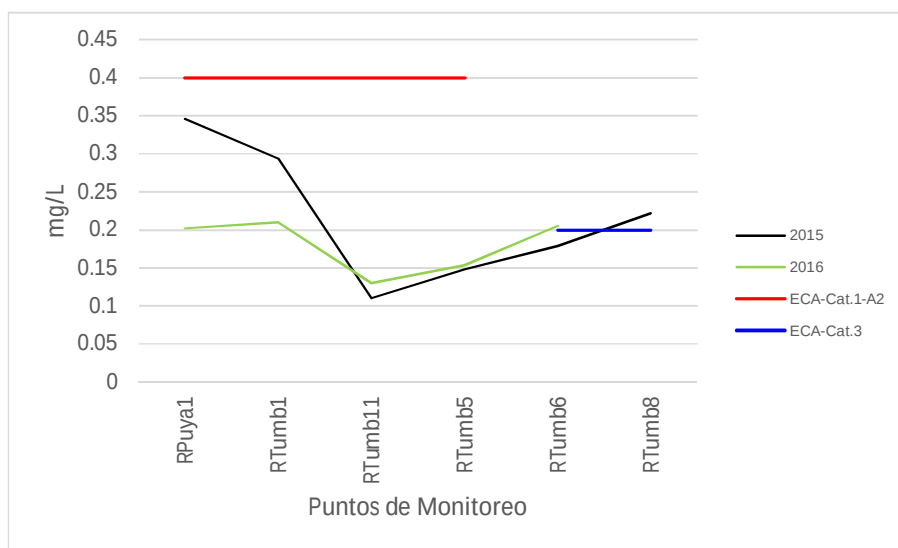


Gráfico N° 42: Variación de Manganeso - Época Seca

Fuente: ANA, 2017

4.2.3. Movimiento Natural de las Mareas

4.2.3.1. Calcio total

En los gráficos N° 43 y 44, en los monitoreos realizados en la estación húmeda y seca, muestra que todos los puntos de monitoreo obtuvieron concentraciones inferiores a los valores del ECA – Agua, para la Categoría 3.

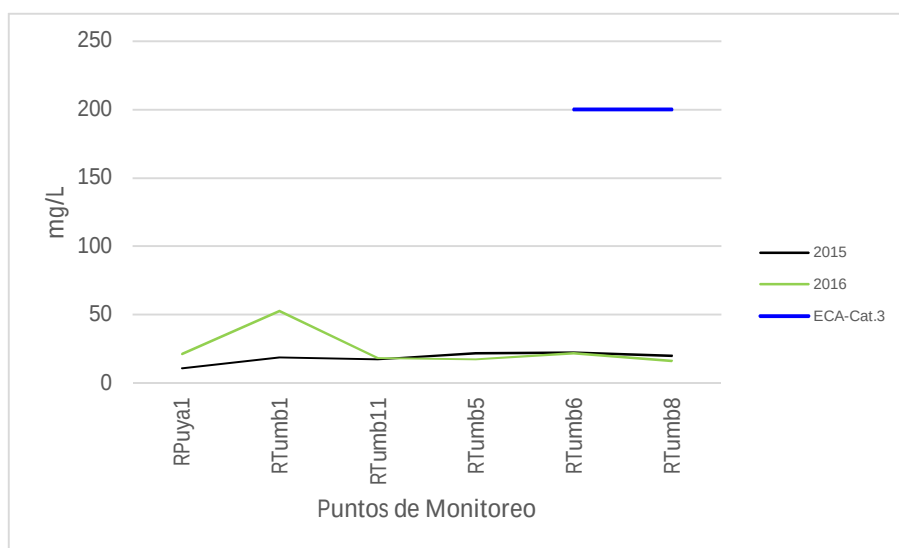


Gráfico N° 43: Variación de Calcio- Época Húmeda

Fuente: ANA, 2017

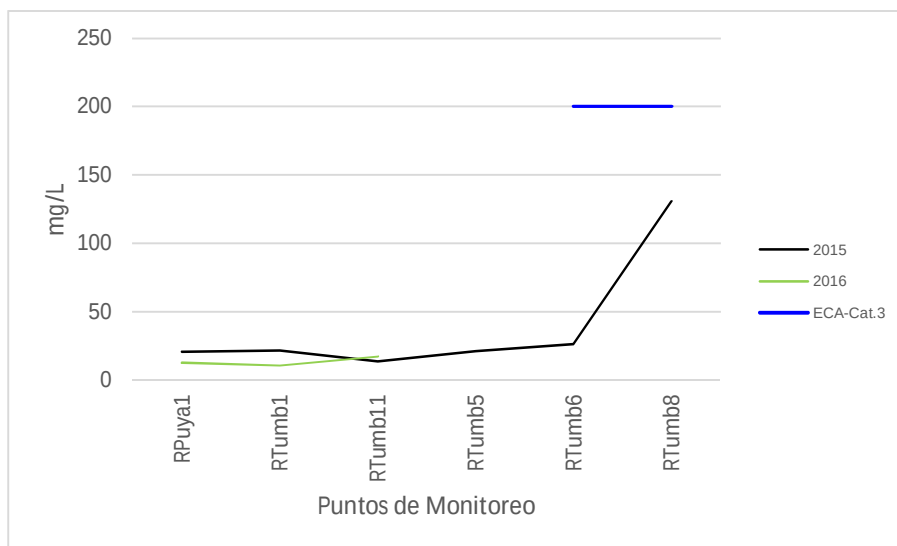


Gráfico N° 44: Variación de Calcio- Época Seca

Fuente: ANA, 2017

4.2.3.2. Magnesio total

En el gráfico N° 45, en los monitoreos realizados en la estación húmeda, muestra que todos los puntos de monitoreo obtuvieron concentraciones inferiores a los valores del ECA – Agua, para la Categoría 3. En cambio, en el gráfico N° 46 se observa, que el punto de monitoreo RTumb8 se obtuvo la concentración de 421.6 mg/L que se encuentra por encima de los valores del ECA – Agua, para la Categoría 3.

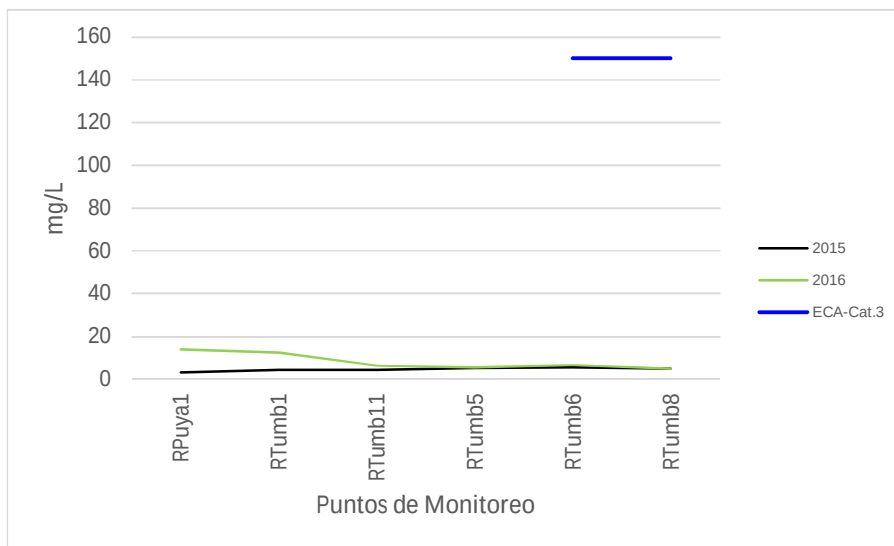


Gráfico N° 45: Variación de Magnesio- Época Húmeda

Fuente: ANA, 2017

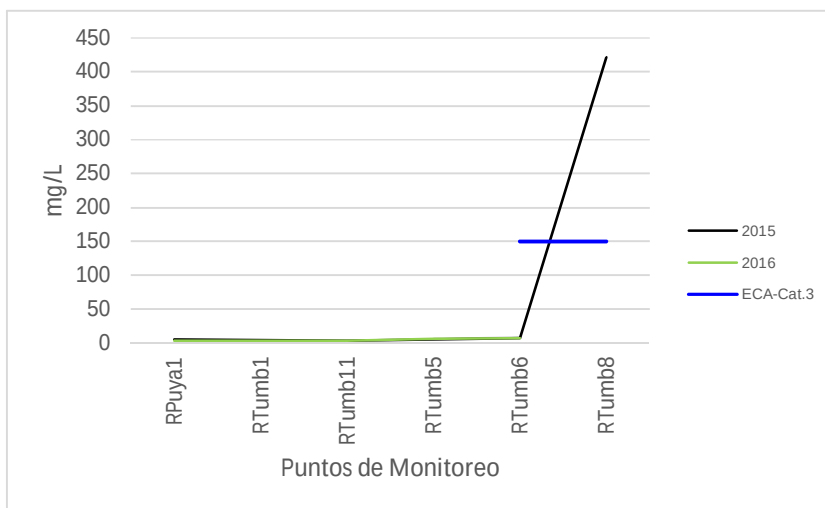


Gráfico N° 46: Variación de Magnesio- Época Seca

Fuente: ANA, 2017

4.2.3.3. Sodio total

En el gráfico N° 47, en los monitoreos realizados en la estación húmeda, muestra que todos los puntos de monitoreo obtuvieron concentraciones inferiores a los valores del ECA – Agua, para la Categoría 3. En cambio, en el gráfico N° 48 se observa, que el punto de monitoreo RTumb8 se obtuvo la concentración de 4165 mg/L que se sobrepasa significativamente los valores del ECA – Agua, para la Categoría 3.

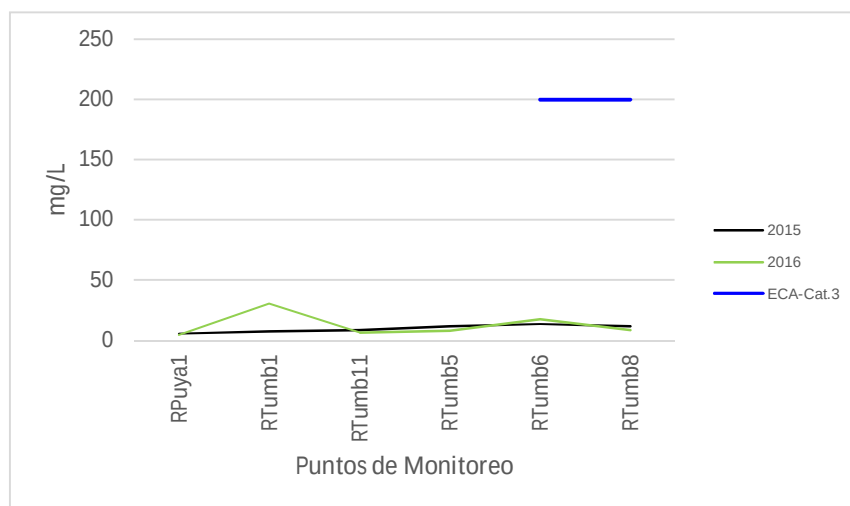


Gráfico N° 47: Variación de Sodio- Época Húmeda

Fuente: ANA, 2017

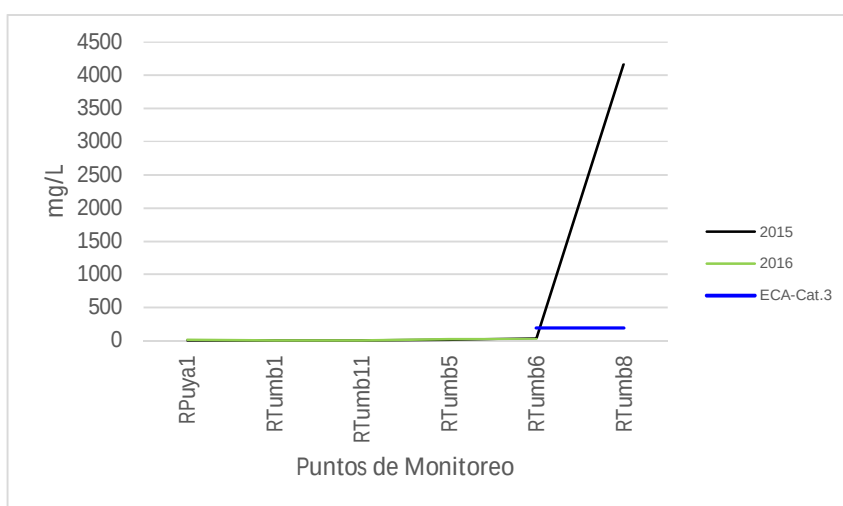


Gráfico N° 48: Variación de Sodio- Época Seca

Fuente: ANA, 2017

4.3. Resultados de la aplicación de los Índices de Calidad Ambiental

Se observa en la tabla N° 02 el indicador de calidad que predomina es **Malo**, excepto en los puntos de monitoreo RTumb11, RTumb7 y RTumb8 en los cuales se obtuvo como indicador **Regular**, con valores de 65.1, 62.48 y 63.29 respectivamente, obtenidos durante el periodo hidrológico 2011-2014.

Durante el periodo hidrológico 2015-2016, la calidad del agua de la Cuenca Tumbes, cambia considerablemente predominando el indicativo **Regular** hasta **Bueno**, mostrando mala calidad solo en dos de los puntos de monitoreo evaluados, RPuya1 que se encuentra en la parte fronteriza del río Tumbes, y por ultimo RTumb6 que se ubica a 1.5 km aproximadamente después de la caseta de bombeo de aguas residuales "Coloma" de la ciudad de Tumbes; como se observa en la tabla N° 03.

Tabla N° 02: Resultados del ICA-PE Cuenca Tumbes 2011-2014

Punto de monitoreo	Cuerpo de Agua	ICA -PE	
1392RPuya1	Río Puyango	48.45	Malo
1392RPuya2	Río Puyango	45.55	Malo
1392RTumb1	Río Tumbes	45.76	Malo
1392RTumb11	Río Tumbes	65.10	Regular
1392RTumb2	Río Tumbes	51.35	Malo
1392RTumb3	Río Tumbes	45.99	Malo
1392RTumb4	Río Tumbes	54.12	Malo
1392RTumb5	Río Tumbes	44.30	Malo
1392RTumb6	Río Tumbes	39.62	Malo
1392RTumb7	Río Tumbes	62.48	Regular
1392RTumb8	Río Tumbes	63.29	Regular

Tabla N° 03: Resultados del ICA-PE Cuenca Tumbes 2015-2016

Punto de monitoreo	Cuerpo de Agua	ICA -PE	
1392RPuya1	Río Puyango	54.83	Malo
1392RTumb1	Río Tumbes	80.14	Bueno
1392RTumb11	Río Tumbes	73.99	Regular
1392RTumb5	Río Tumbes	75.76	Regular
1392RTumb6	Río Tumbes	41.47	Malo
1392RTumb8	Río Tumbes	62.05	Regular

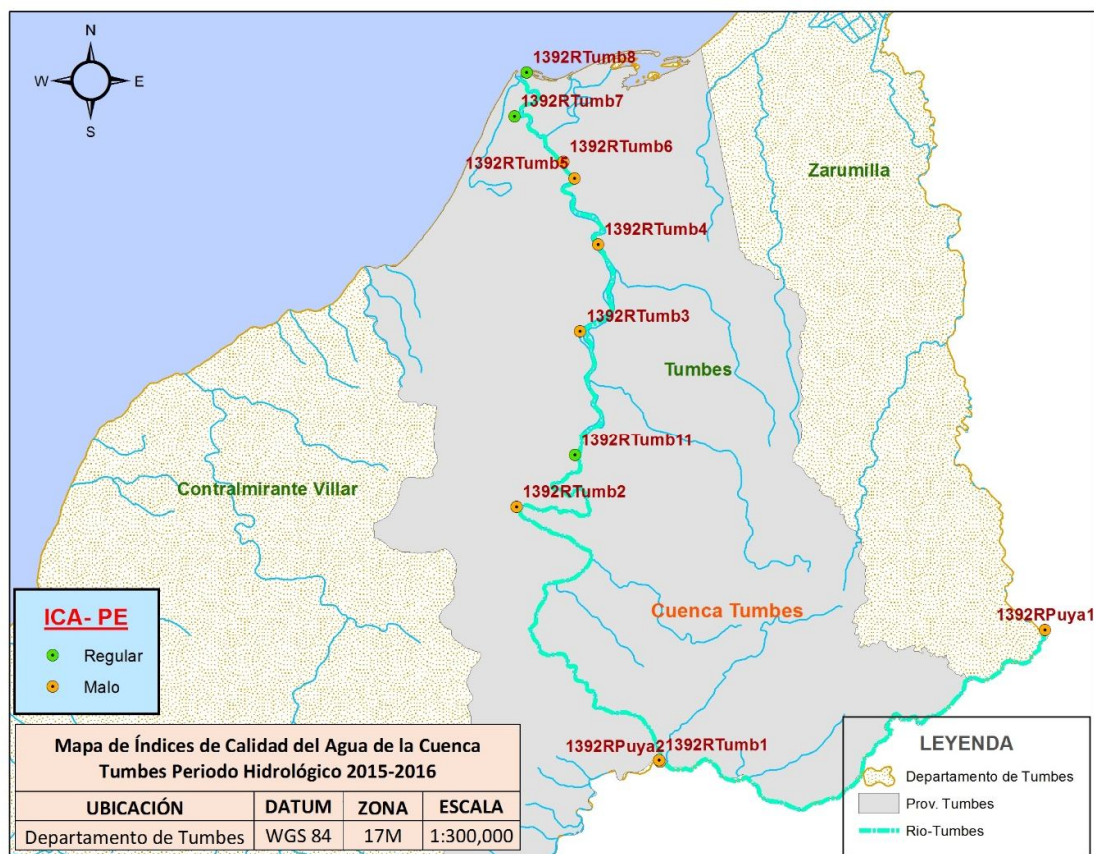


Imagen N° 02: Índices de Calidad del Agua de la Cuenca Tumbes periodo hidrológico 2011-2014.

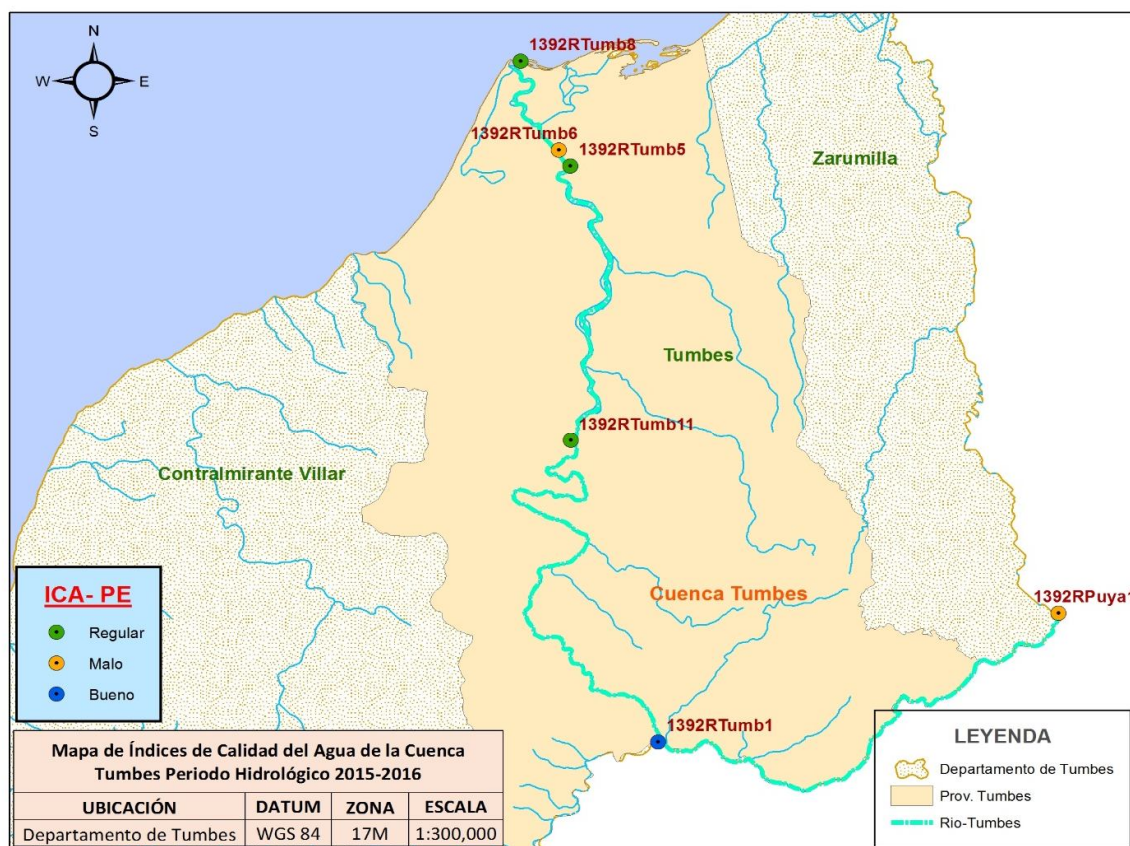


Imagen N° 03: Índices de Calidad del Agua de la Cuenca Tumbes periodo hidrológico 2015-2016.

4.4. Resultados de la evaluación de sedimentos

4.4.1. Arsénico Total

Los análisis realizados a las muestras de sedimentos para el caso del arsénico presentan concentraciones que exceden las norma referenciales canadienses (ISQG) y (PEL) del *Canadian Council of Ministers of the Environment* (CCME). Obteniendo como valor máximo de concentración 935.1 mg/Kg, como se muestra en el gráfico N° 25

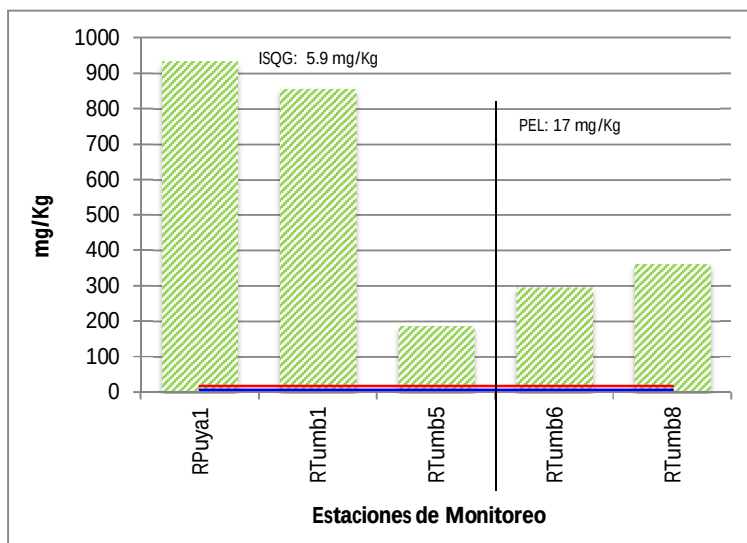


Gráfico N° 25: Medición de Arsénico Total

Fuente: ANA, 2015

4.4.2. Cadmio Total

En el gráfico N° 26, se observa que las muestras analizadas, para cadmio, presentan concentraciones que exceden las norma referenciales canadienses (ISQG) y (PEL) del CCME, llegando a alcanzar concentraciones máximas de 32.431 mg/Kg.

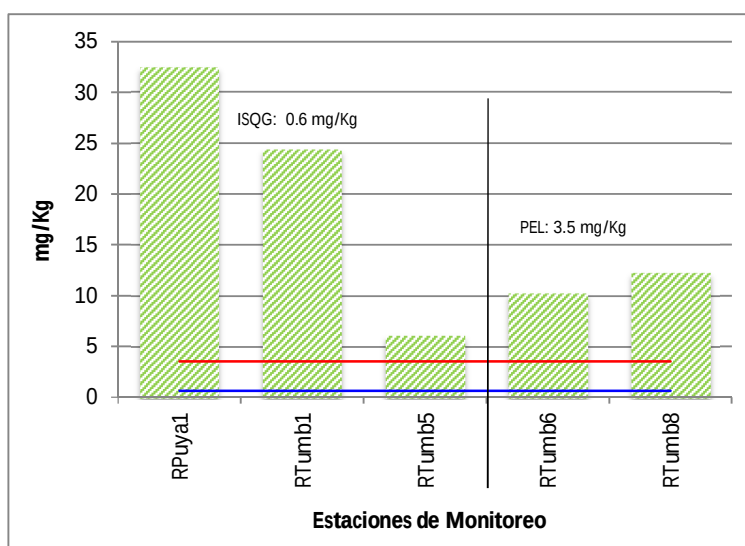


Gráfico N° 26: Medición de Cadmio Total

Fuente: ANA, 2015

4.4.3. Cromo total

Para el parámetro Cromo, las muestras analizadas no exceden las norma referenciales canadienses (ISQG) y (PEL) del CCME, llegando a alcanzar concentraciones máximas de 32.63 mg/Kg, como se muestra en Gráfico N° 27.

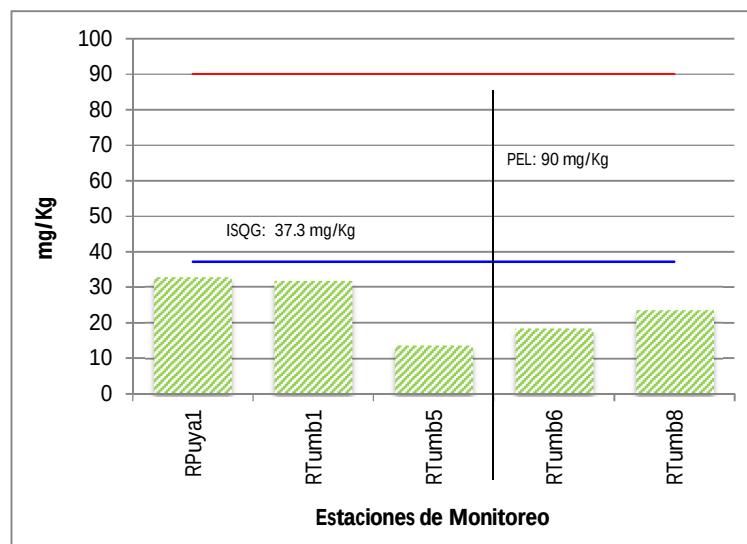


Gráfico N° 27: Medición de Cromo Total

Fuente: ANA, 2015

4.4.4. Cobre total

Las concentraciones obtenidas para el cobre, exceden las norma referenciales canadienses (ISQG) y (PEL) del CCME, con valores máximo de 1726.71 mg/Kg; excepto en la estación de muestreo 1392RTumb5 que tiene concentraciones menores al ISQG, como se muestra en el gráfico N° 28.

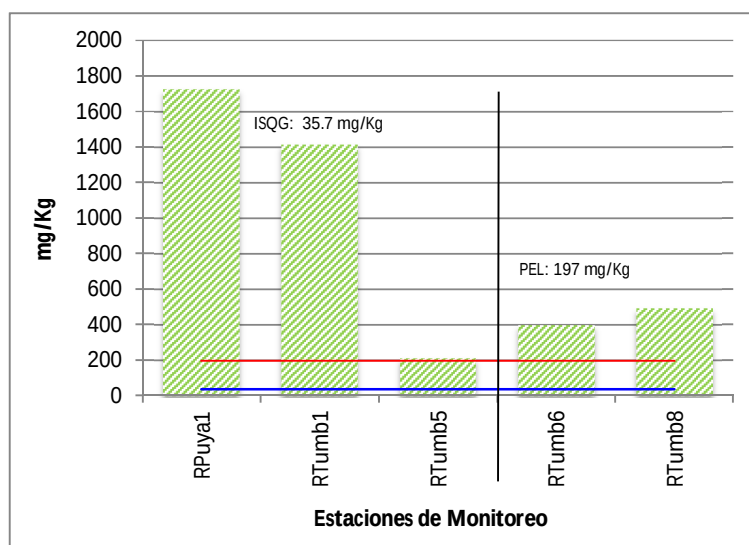


Gráfico N° 28: Medición de Cobre Total

Fuente: ANA, 2015

4.4.5. Mercurio total

Las concentraciones obtenidas para mercurio, exceden las norma referenciales canadienses (ISQG) y (PEL) del CCME, con valores máximo de 1.70 mg/Kg; excepto en la estación de muestreo RTumb5 y RTumb6 que tiene concentraciones menores al ISQG, como se muestra en el gráfico N° 29.

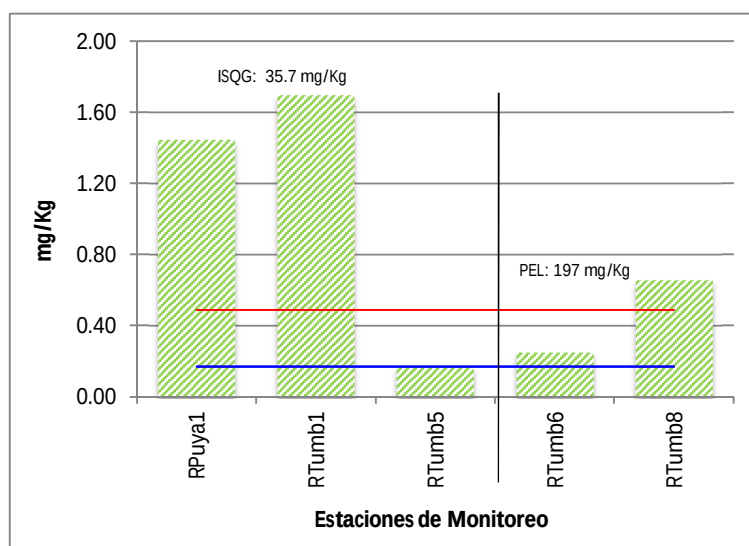


Gráfico N° 29: Medición de Mercurio Total

Fuente: ANA, 2015

4.4.6. Plomo total

En el gráfico N° 30, se observa las concentraciones obtenidas para Plomo, que exceden las norma referenciales canadienses (ISQG) y (PEL) del CCME, con valores máximo de 1132.34 mg/Kg.

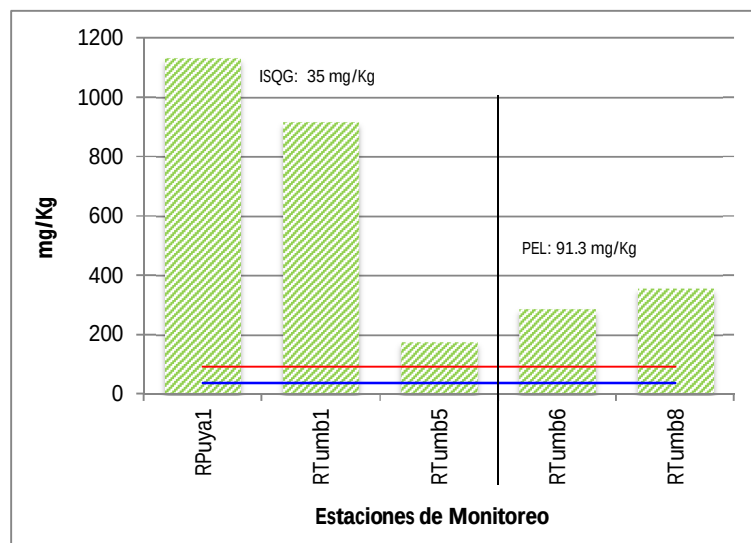


Gráfico N° 30: Medición de Plomo Total

Fuente: ANA, 2015

4.4.7. Zinc total

En el gráfico N° 31, se observa las concentraciones obtenidas para Zinc, que exceden las norma referenciales canadienses (ISQG) y (PEL) del CCME, con valores máximo de 2780.4 mg/Kg.

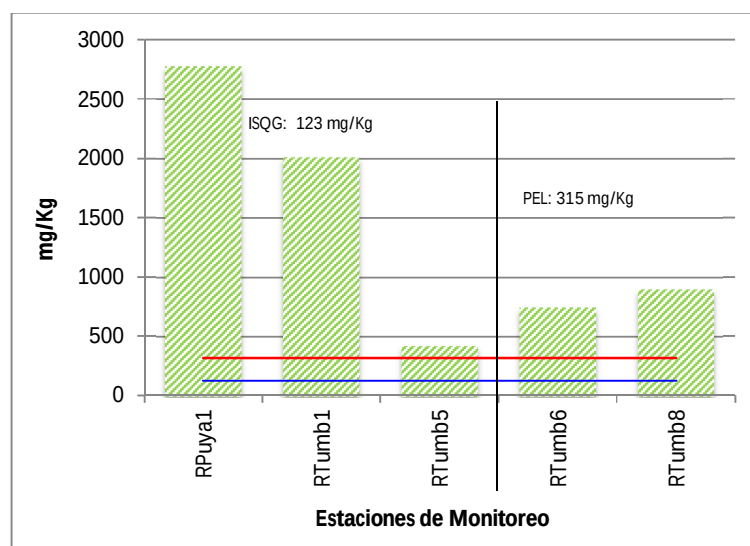


Gráfico N° 31: Medición de Zinc Total

Fuente: ANA, 2015

5. DISCUSIÓN

5.1. Monitoreos de calidad de agua por época de año

5.1.1. Actividad Antrópica

Los coliformes termotolerantes, en la época húmeda y seca, exceden significativamente los ECA-Agua categoría 3, en el punto de monitoreo RTumb6 que se encuentra ubicado en el Río Tumbes, a 1.5 km aproximadamente después de la caseta de bombeo de aguas servidas "Coloma" de la ciudad de Tumbes; este es una de las fuentes potenciales de que la concentración de coliformes se encuentre en cantidades muy elevadas, a diferencia de las otras estaciones de monitoreo.

Para la demanda bioquímica de oxígeno, durante la época húmeda, todas la estaciones de monitoreo exceden el valor de los ECA-Agua categoría 1A-2, siendo más significativos las estaciones RPuya2 y RTumb5; en la época seca el comportamiento es el mismo, además que se agrega que la punto de monitoreo RTumb6 excede el valor de los ECA-Agua categoría 3.

En la Demanda química de oxígeno, las concentraciones obtenidas exceden los valores de los ECA-Agua en las categorías 1A-2 y 3; siendo la más afectada la punto de monitoreo RPuya2 durante la época húmeda, de igual manera en la época seca debido a que sus concentraciones obtenidas exceden los valores de los ECA-Agua en las categorías 1A-2 y 3, siendo el punto más afectado el punto de monitoreo RTumb6, que al igual que la DBO esto se da por elevado contenido de materia orgánica procedente de la estación de bombeo "Coloma".

Luego de analizar las muestras en los diferentes monitoreos, se obtuvo para el Plomo que sus concentraciones exceden los valores de los ECA-Agua en las categorías 1A-2 y 3 en todas las estaciones, durante ambas épocas del año, siendo las estaciones de monitoreo más afectadas RPuya1 y RPuya2, que se encuentran en el Río

Puyango en la frontera con el Ecuador, donde se desarrollan actividades mineras artesanales.

Para el caso del Cadmio, durante la época húmeda, las estaciones de monitoreo se encuentran dentro de los valores del ECA-Agua en las categorías 1A-2 y 3, en cambio en la época seca, las estaciones de monitoreo RPuya1 y RPuya2 sus concentraciones excedieron los valores del ECA-Agua en la categoría 1A-2.

En el caso de los dos últimos parámetros evaluados, que se encuentran en la lista de los más tóxicos para la salud humana, en ambos parámetros sobrepasan el valor del ECA-Agua en las categorías 1A-2 en las estaciones de monitoreo que se encuentran en zona de frontera, donde se desarrolla minería artesanal, y muchos de los efluentes son vertidos a las nacientes de la Cuenca Tumbes.

5.1.2. Geología de la Cuenca

Algunos de los parámetros evaluados en los diferentes monitoreos, su presencia se debe a que son componentes naturales de la cuenca por donde discurre el cauce del río Tumbes, es por ello que algunos elementos como aluminio, arsénico, hierro y manganeso se encuentran en diferentes puntos de monitoreo.

En el caso del aluminio se obtuvieron concentraciones, que exceden considerablemente los valores del ECA – Agua, en las categorías 1-A2, y en la categoría 3; llegando a tener como concentración máxima 34.06 mg/L, durante la época húmeda y 6.2 mg/L durante la época seca en las estaciones RPuya1 y RPuya2 respectivamente, puntos que se encuentran en el sector fronterizo del Río Tumbes.

El arsénico presento concentraciones que exceden considerablemente los valores del ECA – Agua, en las categorías 1-A2, y 3 durante la estación húmeda y seca, donde presento variabilidad en cuanto a los puntos de monitoreo que tuvieron las concentraciones más altas, que estuvo entre el punto RPuya1 y RTumb11 para la estación húmeda, y los puntos RTumb5 y Rtumb6 para la estación seca.

Hierro es un elemento que sus concentraciones excedieron los valores del ECA – Agua, en las categorías 1-A2 y 3, durante todos los monitores realizados, tanto en época húmeda y seca, llegando a obtener concentraciones de 54.04, excediendo hasta 54 veces al ECA-Agua. Los puntos de monitoreo que presentaron las concentraciones más elevadas son RPuya1, RTumb5, RTumb6 y RTumb8.

El Manganeseo presento que todas las concentraciones obtenidas muestran, durante la época húmeda, la estación de muestreo RPuya1 y RPuya2 excede los valores del ECA – Agua, en la categoría 1-A2, con un valor de concentración de 0.89 y 2.77 mg/L; en la categoría 3, en el punto de monitoreo RTumb7 se obtuvo una concentración máxima de 2.85 mg/L. El hierro como el manganeso son dos elementos que se encuentran distribuidos a lo largo de la cuenca del Río Tumbes, presentando problemas en algunos pueblos por la desinfección del agua, ya que forma un precipitado oscuro.

5.1.3. Movimiento Natural de las Mareas

Calcio y magnesio son elementos que exceden los valores del ECA – Agua, en la categoría 3 en la época seca, obteniendo valores de concentración máxima de 1910.93 y 483.31 mg/L respectivamente, esto debido a que en estiaje no hay mucha dilución de las concentraciones ni dispersión de los elementos.

Para el Sodio presenta un caso similar al anterior ya que alcanza concentraciones significativamente elevadas por encima de los valores del ECA – Agua, en la categoría 3 durante la época seca, llegando hasta 3785.9 mg/L. Con la diferencia que en la época húmeda llego a superar los valores del ECA – Agua, en la categoría 3, con la concentración de 964.73 mg/L

5.2. Aplicación de los Índices de Calidad de Agua

Luego de procesar toda la data, de los 13 monitoreos participativos comprendidos durante el periodo 2011-2014, evaluados según la época del año en que se realizaron, teniendo la época húmeda o avenida y la época seca o de estiaje. Con la aplicación de la metodología de determinación del Índice de Calidad de Agua ICA-PE, de la Autoridad Nacional del Agua, se obtiene como indicativo predominante el color naranja en 8 de los 11 puntos de monitoreo que indica que la calidad del agua del Río Tumbes es **Mala**, lo que significa que la calidad del agua en el departamento de Tumbes, necesitaría tratamiento en la mayoría de sus usos.

6. PROPUESTA TÉCNICA

6.1. Situación Actual

El problema principal de la cuenca del río Tumbes es la existencia de potenciales fuentes de contaminación: Conformación geológica de la cuenca, aguas residuales domésticas, aguas residuales agrícolas, aguas residuales acuícolas, mala disposición de residuos sólidos, agricultura y ganadería que se dan en el curso de toda la cuenca. 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.

Por último las poblaciones asentadas en las márgenes del río toman el agua para consumo humano del río directamente, y la ciudad de Tumbes tiene como fuente principal de captación para producción de agua de consumo humano al río Tumbes quedando la población expuesta en este uso poblacional a la eficiencia con la que se trate el agua fuente.

De continuar este problema de afectación del agua del río Tumbes no pasaran muchos años para evidenciar los problemas a la salud de las personas por el inadecuado tratamiento de se le da a las aguas superficiales pero que estamos a tiempo de empezar nuevos retos sobre las propuestas de recuperación de la calidad del agua.

Con la aplicación de la metodología aprobada por la ANA para la determinación del ICA-PE, para el periodo hidrológico 2011-2016, se determinó que la calidad es **Mala**, ante este contexto situacional se hace necesario el planteamiento de medidas que inicien la ardua tarea de la recuperación de la calidad del agua.

6.2. Justificación

Con la implementación de un sistema de tratamiento complementario al uso que se le destine al agua del Río Tumbes uso poblacional, uso agrícola, etc. Se obtendrá la minimización de los metales pesados contaminantes, es decir, para la producción de agua potable a través de la EPS Aguas de Tumbes y/o Juntas Administradoras de Servicios de Saneamiento brindar a la población un agua potable que cumpla con los LMP (DS N° 03 – 2010 – DIGESA) y en el uso agrícola que es administrada por la Junta de Usuarios de Tumbes y sus respectivas comisiones de usuarios se garantiza proporcionar un agua de calidad que cumpla con los ECA – Agua (Categoría 3) establecidos a nivel nacional; así como el mejoramiento de las condiciones de calidad de vida de las personas de la región de Tumbes.

6.3. Objetivo general

- Proponer acciones que permitan mejorar la calidad del agua proveniente del Río Tumbes, para los diferentes usos.

6.4. Programas 1

6.4.1. Título

Implementación de tratamiento complementario en la Empresa Aguas de Tumbes.

6.4.2. Objetivo Especifico

- Instalar un cartucho de carbón activado en la Empresa Aguas de Tumbes.

6.4.3. Meta

Reducir la concentración de metales pesados en el agua potable generada.

6.4.4. Metodología

Actualmente se cuenta con una planta de tratamiento para la producción de agua potable, administrada por la EPS Aguas de Tumbes, que se encarga de abastecer a la mayor parte de la población de Tumbes, que presenta un volumen de producción de 270 l/s, con un sistema hidráulico convencional que cuenta como unidades operativas:

Procesos unitarios por módulo:

- 01 captación de agua del río Tumbes
- 01 Cámara de repartición de Caudal
- 04 Floculadores verticales.
- 04 Decantadores laminares.
- 08 Filtros rápidos de tasa declinante.
- Sala de dosificación de cloro gas con equipos de bombeo (Caseta Química)
- Sala de dosificación de coagulantes con equipos de bombeo (Caseta Química)
- 02 tanques de almacenamiento de coagulantes
- 02 Cisternas de 1000 m³.
- 01 Sala de Distribución equipadas con 05 electrobombas. (Aguas de Tumbes, 2010)

Dentro de las unidades operativas con las que cuenta la planta de tratamiento, no existe estructura que elimine la concentración de metales. Con el desarrollo del presente programa se plantea instalar un filtro de carbón activado granular con una dosis de 0.5 g/L., que será dispuesto después del proceso de desinfección del agua y previo a la distribución y almacenamiento, para que cumpla la función de erradicar los contaminantes que no han sido removidos durante el proceso de potabilización.

6.4.5. Beneficiarios

Usuarios de la empresa Aguas de Tumbes, que cuentan con conexiones domiciliarias.

6.4.6. Responsable

Empresa Aguas de Tumbes.

6.5. Programas 2

6.5.1. Titulo

Mejoramiento de la calidad de agua administrada por las Juntas Administradoras de Servicios de Saneamiento.

6.5.2. Objetivo Especifico

- Implementar un sistema de tratamiento para el tratamiento de aguas en la jurisdicción de las JASS.

6.5.3. Meta

Mejorar la calidad de agua potable que distribuye, las JASS a sus usuarios.

6.5.4. Metodología

Las Juntas Administradoras de Servicios de Saneamiento, que administran los sistemas de abastecimiento de agua de las poblaciones rurales alejadas de Tumbes, actualmente solo cuentan con algunas infraestructuras, solamente de almacenamiento del agua, como se describen a continuación.

- **Rica Playa**, abastecido con agua captada directamente del Río Tumbes con electro bomba, la cual funciona 3 horas /día y abastece a 107 usuarios. El agua es almacenada en un tanque

ubicado en la parte alta del pueblo, allí es tratada solo con 200 g de hipoclorito de sodio y sulfato de aluminio; los usuarios cuentan con agua todo el día.

- **La Capitana**, abastecido con agua del Río Tumbes con electro bomba, que funciona 2 horas/día y abastece a 95 usuarios, aproximadamente. El agua es almacenada en un tanque ubicado en la parte alta del pueblo; los usuarios cuentan con agua interdiario y por algunas horas al día.
- **Higuerón**, la electro bomba funciona 2 horas/mañana y 2 horas/tarde abastece a 123 usuarios. Atiende a los pueblos de Higuerón, el Huaco y una parte de Carretas.
- **Oidor**, la electro bomba, la cual funciona 10 horas /día y abastece a 450 usuarios. Atiende a los pueblos de Oidor, Casa Blanqueada y la otra parte a Carretas. (Ministerio de Agricultura, 2013)

De las JAAS existentes, solo en la de Rica Playa se cuenta con un tratamiento mínimo de sedimentación y desinfección que se está aplicando previo a la distribución a los usuarios; con el desarrollo del presente programa para mejorar la calidad de agua, se implementara las siguientes estructuras para el desarrollo del tratamiento del agua:

- Tanque de almacenamiento, que permitirá almacenar el agua captada del río Tumbes, por medio del bombeo.
- Tanques de floculación, donde se aplicara sulfato de aluminio para eliminar el contenido de partículas suspendidas y disueltas en el agua.
- Pozos de sedimentación, donde las partículas formadas en el proceso anterior, comienzan a sedimentar.
- Desinfección, se utilizara tanques de cloro gas, para eliminar los agentes biológicos que pueda contener el agua.
- Filtros de carbón activado, serán dispuestos para reducir los compuestos químicos restantes luego del proceso de tratamiento.

- Reservorio y distribución a los usuarios

6.5.5. Beneficiarios

Pobladores de los centros poblados de Rica Playa, La Capitana, Higuerón, el Huaco Carretas, Oidor y Casa Blanqueada.

6.5.6. Responsable

Juntas Administradoras de Servicios de Saneamiento

6.6. Programas 3

6.6.1. Título

Mejoramiento de la calidad de agua para uso agrícola administrada por la Junta de Usuarios de Tumbes.

6.6.2. Objetivo Especifico

- Implementar estructuras que permitan mejorar la calidad de agua para la actividad agrícola.

6.6.3. Meta

Mejorar la calidad de agua usada, en la agricultura, administrada por la Junta de Usuarios de Tumbes.

6.6.4. Metodología

Para el sector agrario las encargadas de la distribución es la Junta de Usuarios de Tumbes y sus respectivas comisiones de usuarios que captan agua del río Tumbes, actualmente se cuentan con 17 comisiones de usuarios establecidas en los diferentes sectores, que en total manejan 64.82 m³ de agua distribuida, para abastecer 11 000 hectáreas.

Tratamiento del agua

Se instalara en el ámbito de influencia de la Junta de Usuarios y sus respectivas comisiones de usuarios que captan agua del río Tumbes, como unidades de tratamiento.

a) Desarenador, para separar del agua cruda la arena y partículas en suspensión gruesa, con el fin de evitar sobrecargas en los procesos posteriores de tratamiento. El desarenado se refiere normalmente a la remoción de las partículas superiores a 0.2 mm.

b) Sedimentador, para la remoción de partículas inferiores a 0.2 mm y superiores a 0.05 mm.

c) Filtros, se instalara un filtro de carbón activado, para eliminar los contaminantes presentes en el agua, y poder utilizar agua en los cultivos, que cumpla con los estándares de calidad ambiental.

6.6.5. Beneficiarios

Agricultores y población en general que consumen los productos del valle de Tumbes.

6.6.6. Responsable

Junta de Usuarios de Tumbes.

7. CONCLUSIONES

- Las aguas del Río Tumbes, se ven afectados por parámetros físico químicos y microbiológicos, dando como resultado un agua de mala calidad, que no es apta para ningún uso; teniendo como los parámetros que más afectan, los coliformes termotolerantes, plomo, cadmio, aluminio, arsénico, hierro y manganeso, de los indicados algunos son de origen natural por la composición geológica de la cuenca.
- Los sedimentos de lecho de fondo de río Tumbes para el tramo binacional del río representado por los puntos RPuya1 y RPuya2, presenta concentraciones más elevadas en la parte alta de la cuenca, ya sea en los metales que están presente por la geoquímica propia de la cuenca tal como el arsénico, cobre y zinc; o por acción de la actividad minera de la parte alta de la cuenca (parte ecuatoriana) tal como el plomo, cadmio, mercurio que exceden el ISQG y el PEL de la norma canadiense. El cromo es el único metal cuya concentración no excede la norma canadiense.
- La aplicación de la metodología aprobada por la ANA, Índice de calidad del Agua (ICA-PE), permite determinar que el agua del Río Tumbes está muy afectada durante el periodo hidrológico evaluado, obteniendo como resultado que la calidad del agua es mala, tanto en la estación seca como húmeda, para los puntos de monitoreo evaluados.
- La propuesta de implementación de un sistema de tratamiento complementario, por tipo de uso, permite una manera viable para mejorar la calidad del agua procedente del Río Tumbes, aplicando una tecnología innovadora, como es la utilización del carbón activado como mecanismo de adsorción de los contaminantes presentes en el agua.

8. RECOMENDACIONES

- Aplicar acciones para mejorar la calidad de agua, según el uso destinado de la misma para garantizar agua en condiciones óptimas, debido al grado de contaminación que está afectando actualmente al Río Tumbes.
- Realizar evaluaciones de calidad de los cuerpos de agua de las cuencas del departamento de Tumbes para conocer, el índice de calidad ambiental de cada cuenca, y así aplicar medidas correctivas para mejorar la calidad de vida de la población.

9. REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS

1. Agencia de Protección Ambiental. 2000. Folleto Informativo de Tecnología de Aguas Residuales: Humedales de Flujo Subsuperficial. Office of Water. Washington DC, Estados Unidos.
2. Aguas de Tumbes. 2010. Plan Maestro Optimizado de la Empresa Prestadora de Servicios de Saneamiento Aguas de Tumbes S.A. para el periodo 2010-2039.
3. Álvarez, J., Panta, J., Ayala, C., y Acosta, E. 2008. Calidad Integral del Agua Superficial en la Cuenca Hidrológica del Río Amajac. Vol. 19. Nº 6 – 2008.
4. Alloway B. 1995. Heavy Metals in Soils. 2 ed. London (GB): Blakie Academic & Professional.
5. Araujo, I., Gómez, A., Barrera, M., Angulo, N., Morillo, G., Cárdenas, C., y Herrera, I. 2008. Surfactantes Biológicos en la Biorremediación de Aguas Contaminadas con Crudo Liviano, Vol. 33 Nº 4.
6. Autoridad Nacional del Agua. Dirección de Calidad de los Recursos Hídricos. 2015. Informe Técnico de Resultados del Primer Monitoreo Participativo de la Calidad de Agua Superficial de las cuencas del Río Tumbes y Zarumilla. Informe Técnico Nº 017-2015-ANA-AAA.JZ-SDGCRH/FZAY.
7. Autoridad Nacional del Agua. Dirección de Calidad de los Recursos Hídricos. 2015. Informe Técnico de Resultados del Segundo Monitoreo Participativo de la Calidad de Agua Superficial de las cuencas del Río Tumbes y Zarumilla. Informe Técnico Nº 027-2015-ANA-AAA.JZ-SDGCRH/FZAY.
8. Autoridad Nacional del Agua. Dirección de Calidad de los Recursos Hídricos. 2016. Informe Técnico de Resultados del Primer Monitoreo Participativo de la Calidad de Agua Superficial de las cuencas del Río Tumbes y Zarumilla. Informe Técnico Nº 025-2016-ANA-AAA.JZ-V/FAY.

9. Autoridad Nacional del Agua. Dirección de Calidad de los Recursos Hídricos. 2016. Informe Técnico de Resultados del Segundo Monitoreo Participativo de la Calidad de Agua Superficial de las cuencas del Río Tumbes y Zarumilla. Informe Técnico N°047-2016-ANA-AAA.JZ-SDGCRH/FZAY.
10. Autoridad Nacional del Agua. Proyecto de Modernización y Gestión de los Recursos Hídricos. 2012. Informe Técnico de Resultados del Primer Monitoreo Participativo de la Calidad de Agua Superficial de las cuencas del Río Tumbes y Zarumilla. Informe Técnico N°012-2012-ANA-DGCRH-MAP.
11. Autoridad Nacional del Agua. Proyecto de Modernización y Gestión de los Recursos Hídricos. 2012. Informe Técnico de Resultados del Primer Monitoreo Participativo de la Calidad de Agua Superficial de las cuencas del Río Tumbes y Zarumilla. Informe Técnico N°003-2012-ANA-PMGRH-CP TUMBES-MRSP.
12. Autoridad Nacional del Agua. Proyecto de Modernización y Gestión de los Recursos Hídricos. 2012. Informe Técnico de Resultados del Segundo Monitoreo Participativo de la Calidad de Agua Superficial de las cuencas del Río Tumbes y Zarumilla. Informe Técnico N°012-2012-ANA-PMGRH-CP TUMBES-MRSP.
13. Autoridad Nacional del Agua. Proyecto de Modernización y Gestión de los Recursos Hídricos. 2012. Informe Técnico de Resultados del Tercer Monitoreo Participativo de la Calidad de Agua Superficial de las cuencas del Río Tumbes y Zarumilla. Informe Técnico N°017-2012-ANA-PMGRH-CP TUMBES-MRSP.
14. Autoridad Nacional del Agua. Proyecto de Modernización y Gestión de los Recursos Hídricos. 2013. Informe Técnico de Resultados del Cuarto Monitoreo Participativo de la Calidad de Agua Superficial de las cuencas del Río Tumbes y Zarumilla. Informe Técnico N°013-2013-ANA-PMGRH-CP TUMBES-MRSP.

15. Autoridad Nacional del Agua. Proyecto de Modernización y Gestión de los Recursos Hídricos. 2013. Informe Técnico de Resultados del Primer Monitoreo Participativo de la Calidad de Agua Superficial de las cuencas del Río Tumbes y Zarumilla. Informe Técnico N°019-2013-ANA-PMGRH-CP TUMBES-MRSP
16. Autoridad Nacional del Agua. Proyecto de Modernización y Gestión de los Recursos Hídricos. 2013. Informe Técnico de Resultados del Segundo Monitoreo Participativo de la Calidad de Agua Superficial de las cuencas del Río Tumbes y Zarumilla. Informe Técnico N°033-2013-ANA-PMGRH-CPTUMBES-MRSP.
17. Autoridad Nacional del Agua. Proyecto de Modernización y Gestión de los Recursos Hídricos. 2014. Informe Técnico de Resultados del Cuarto Monitoreo Participativo de la Calidad de Agua Superficial de las cuencas del Río Tumbes y Zarumilla. Informe Técnico N°002-2014-ANA-PMGRH-CP TUMBES-MRSP.
18. Autoridad Nacional del Agua. Proyecto de Modernización y Gestión de los Recursos Hídricos. 2014. Informe Técnico de Resultados del Primer Monitoreo Participativo de la Calidad de Agua Superficial de las cuencas del Río Tumbes y Zarumilla. Informe Técnico N°003-2014-ANA-PMGRH-MRSP.
19. Autoridad Nacional del Agua. Proyecto de Modernización y Gestión de los Recursos Hídricos. 2014. Informe Técnico de Resultados del Segundo Monitoreo Participativo de la Calidad de Agua Superficial de las cuencas del Río Tumbes y Zarumilla. Informe Técnico N°004-2014-ANA-PMGRH-CPTUMBES-MRSP
20. Autoridad Nacional del Agua. Proyecto de Modernización y Gestión de los Recursos Hídricos. 2014. Informe Técnico de Resultados del Tercer Monitoreo Participativo de la Calidad de Agua Superficial de las cuencas del

Río Tumbes y Zarumilla. Informe Técnico N°006-2014-ANA-PMGRH-CPTUMBES-MRSP.

21. Autoridad Nacional del Agua. Proyecto de Modernización y Gestión de los Recursos Hídricos. 2015. Informe Técnico de Resultados del Cuarto Monitoreo Participativo de la Calidad de Agua Superficial de las cuencas del Río Tumbes y Zarumilla. Informe Técnico N°003-2015-ANA-PMGRH-CP TUMBES-MRSP.
22. Autoridad Nacional del Agua. Proyecto de Modernización y Gestión de los Recursos Hídricos. 2014. Primer Monitoreo Participativo de la Calidad del Sedimento en Medio Acuático de los Ríos Tumbes y Zarumilla. Informe Técnico N° 007-2014-ANA-PMGRH-CPTUMBES-MRSP.
23. Barba Ho, Luz. 2002. Conceptos Básicos de la Contaminación del Agua y Parámetros de Medición. Universidad del Valle
24. Bermejo Luis y Cruz Gerardo. 2008. Contaminación físico-química en las aguas de drenaje agrícola de la margen izquierda del río Tumbes. Universidad Nacional de Tumbes.
25. Carranza R. 2001. Medio ambiente – Problemas y soluciones. Perú (PE).Universidad Nacional del Callao.
26. Carril, Víctor y Pacheco, Samuel. 2002. Contaminación del Río Tumbes por presencia de residuos químicos y microbiológicos. Universidad Nacional de Tumbes.
27. Dietz A. y Schnoor J. 2001. Advances in Phytoremediation. Environmental Health Perspectives. Department of Civil and Environmental Engineering, University of Iowa, Iowa City, Iowa, USA. Vol. 109.

28. Fernández, E. 2010. Proyecto Ejecutivo de Planta de Tratamiento de Aguas Residuales para la Localidad de Xochiapa. Facultad de Ingeniería Civil. Región Xalapa. Universidad Veracruzana. México
29. Fundación Nacional de la Salud (FUNASA). 2013. Manual Práctico de Análisis de Aguas. Cuarta Edición. Brasilia- Brasil.
30. Guendy M. 2008. Pigments and Moisture Contents in *Phragmites Australis* (Cav.) Trin. Ex steudel, would be engines for monitoring biodegradation of petroleum contaminants in constructed wetlands. Australian Journal of basic and applies Sciences.
31. Iturbe, Rosario. 2010. ¿Qué es la biorremediación? Universidad Nacional Autónoma de México. Ciudad Universitaria, Delegación Coyoacán, C.P. 04510, México, Distrito Federal. Primera edición.
32. Ley General del Ambiente – Ley N° 28611. 2005.
33. Ley Marco del Sistema Nacional de Gestión Ambiental - Ley N° 28245, 2004.
34. Ley de Recursos Hídricos – Ley N° 29338. 2009.
35. Ley del Sistema Nacional de Evaluación y Fiscalización Ambiental - Ley N° 29325. 2009
36. López, J., García, O., Grima, J., Ballesteros, B., y Pérez, M. 2001. Técnicas de Biorrecuperación In Situ en Acuíferos Contaminados por Metales Pesados. Instituto Geológico y Minero de España. Oficina de Proyectos de Valencia.
37. Loredó J. 1994. Caracterización y Control de la Contaminación por Metales Pesados en Aguas y Suelos. Universidad de Oviedo. Escuela de Minas. España.

38. Manahan. 2007. Introducción a la Química Ambiental. México (MX): Editorial Reverte. UNAM.
39. Ministerio del Ambiente. 2008. Estándares Nacionales de Calidad Ambiental para Agua. Lima – Perú.
40. Ministerio del Ambiente. 2010. Límites Máximos Permisibles. Lima – Perú. Ministerio del Ambiente.
41. Ministerio del Ambiente. 2010. Plan de la calidad Ambiental Perú- Ecuador: Catamayo-Chira y Puyango-Tumbes. Consorcio E8H. Ministerio del Ambiente. Accedido el 16 de setiembre del 2013, de <http://www.consultorias.minam.gob.pe:8080/bitstream/12>
42. Ministerio del Ambiente. 2012. Glosario de Términos para la Formulación de Proyectos Ambientales.
43. Ministerio del Ambiente. 2012. Glosario de Términos para la Gestión Ambiental Peruana.
44. Ministerio de Agricultura. 2013. Autoridad Nacional del Agua. 2013. Proyecto de Modernización de la Gestión de los Recursos Hídricos. Plan de Gestión de Recursos Hídricos de la Cuenca del Río Tumbes. Ingeniería del Agua. Ministerio de Agricultura. Accedido el 23 de setiembre del 2013, de http://www.ana.gob.pe:8093/media/13511/diagnostico_cuencatumbes_vfinal-07-02-13.pdf
45. Ministerio de Agricultura - Autoridad Nacional del Agua. 2013. Plan de Gestión de Recursos Hídricos de la Cuenca Tumbes.
46. Ministerio de Vivienda, Construcción y Saneamiento. 2002. Plan de Gestión de la Oferta de Agua en la Cuenca del Ámbito del Proyecto Puyango - Tumbes. Volumen II tomo 2.4 Aspectos ambientales en la gestión de agua,

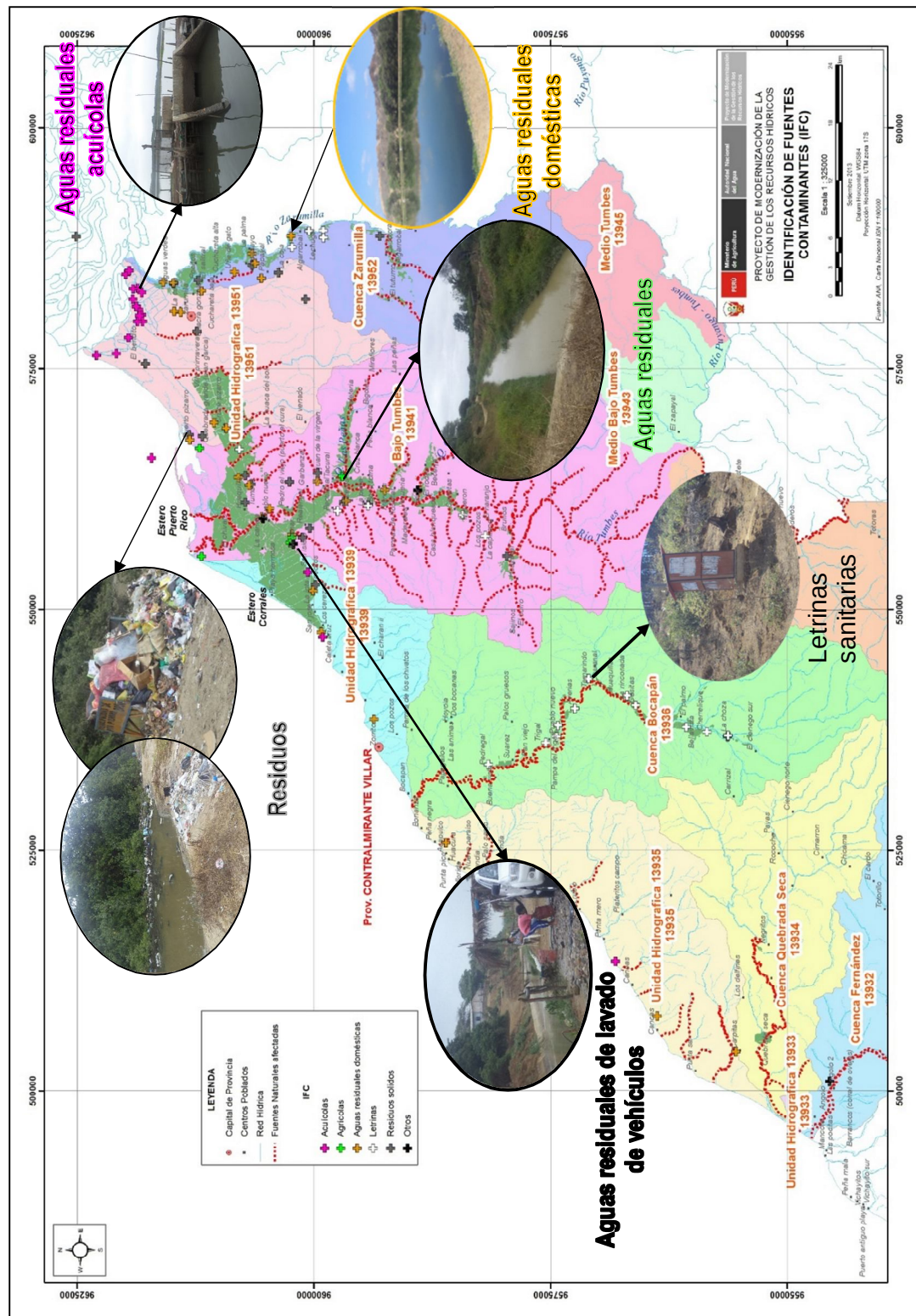
erosión y sedimentación de la cuenca". Accedido el 16 de Setiembre del 2013, de

<http://www.ana.gob.pe:8093/media/9180.derosion%20y%20sedimentacionpdf>

47. Otiniano Ñaños, Jaime. 2008. Evaluación del Comportamiento del Recurso Hídrico en el Río Puyango – Tumbes Periodo 1963 – 2005. Universidad Nacional de Piura. Maestría en Ingeniería Ambiental.
48. Pacheco, Samuel y Querevalu, José. 2006. Determinación del contenido de mercurio y plomo en el pez sábalo (Brycon sp.) en el Río Tumbes-Perú.
49. Programa de Desarrollo del Sur (PREDESUR). 2003. Evaluación de la Contaminación por Metales Pesados en el Río Catamayo. Quito.
50. Puño Lecarnaque, Napoleón. 2010. Plan de Manejo Ambiental del Recurso Hídrico de la Cuenca del Río Puyango – Tumbes.
51. Saavedra M. 2002. Estudio de Contaminación con Metales Pesados en las Riberas del Río Piura. Universidad nacional de Piura. Tesis de maestría en ingeniería ambiental.
52. Viessman y Hammer. 2005. Water Supply and Pollution Control. Estados Unidos (USA): Pearson Prentice Hall Edition.

10. ANEXOS

10.1 Mapa de Ubicación de Fuentes de Contaminación



Fuente: PMGRH Cuenca Tumbes

Dedicatoria

Este trabajo va dedicado al motor de mi vida, mis hijos Mario Ramon y Juan Diego y al apoyo incondicional de mi amado esposo Ramon.