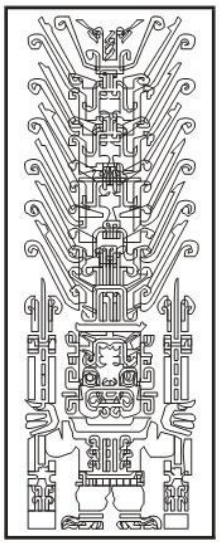
UNIVERSIDAD NACIONAL FEDERICO VILLARREAL
ESCUELA UNIVERSITARIA DE POST GRADO



TESIS:

"EVALUACION DE LA CALIDAD DEL AGUA Y VERTIMIENTO DE EFLUENTES INDUSTRIALES EN LA SUBCUENCA DEL RIO SAN JUAN, 2006-2016, CERRO DE PASCO"

PRESENTADO POR:
AHUBER OMAR VASQUEZ ARANDA

PARA OPTAR EL GRADO ACADEMICO DE:
MAESTRO EN GESTION AMBIENTAL

LIMA-PERU
2018

DEDICATORIA

A:

Dios, por darme la oportunidad de alcanzar una meta más en este duro caminar, por estar conmigo en cada paso que doy e iluminar mi mente, por haber puesto en mi camino a aquellas personas que han sido mi soporte y compañía durante todo este tiempo de estudio.

Mi esposa María Elena y mis hijos Cesar y Adrián por ser la fuerza que siempre me han impulsado a seguir adelante y no desmayar.

Mis padres Alejandro y Juana, por darme la vida, quererme mucho, creer en mí y porque siempre me apoyaron y educaron para ser una persona de bien a la sociedad.

Mis hermanos, Willy, Leo, Iris y Leni por estar conmigo y apoyarme siempre en las buenas y en las malas, siempre estaremos juntos.

Tesis publicada con autorización del autor
No olvide citar esta tesis
UNFV

AGRADECIMIENTO

Gracias a mi Alma Mater, por haberme dado la oportunidad de laborar y formarme profesionalmente en ella.

A mi asesor y maestro el M.Sc. Cesar Muñoz Ortega, por su constante apoyo en el seguimiento de la presente investigación hasta llegar a su finalización.

A mis maestros Dr. Miguel Alva Velásquez, Dr. Aldo Sandoval Ricci y Dra Marlitt Naupay Vega por sus sugerencias y correcciones en el desarrollo final de la tesis.

A mis colegas Ing. Pilar Hoyos Correa, Bach. Ángel Merino Niño y Blga. Rosa Cribillero Huamán por su amistad, aporte y apoyo en la culminación de la presente investigación.

Tesis publicada con autorización del autor
No olvide citar esta tesis
UNFV

INDICE

RESUMEN 10
ABSTRACT 12
INTRODUCCION 14
CAPITULO I: PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA 16
1.1. Antecedentes 16
1.2. Planteamiento del problema 20
1.3. Formulación del problema 22
1.3.1. Problema general 22
1.3.2. Problemas específicos 23
1.4. Objetivos 23
1.4.1. Objetivo general 23
1.4.2. Objetivos específicos 23
1.5. Justificación e importancia 24
1.6. Alcances y limitaciones 25
1.7. Definición de variables 27
CAPITULO II: MARCO TEORICO 28
2.1. Teorías relacionadas al tema 28
2.1.1. Calidad del agua 28
2.1.2. Físico-química de las aguas naturales 29
2.1.3. Minería y Aguas 39
2.1.4. Estándares de Control Ambiental 44
2.2. Caracterización ambiental 46
2.2.1. Ambiente físico 46
2.2.1. Ambiente socioeconómico 67
2.3. Marco conceptual 85
2.3.1. Metal Pesado 85
2.3.2. Drenajes Ácidos de Mina 86
2.3.3. Potencial de Hidrógenos (pH) 86
2.3.4. Conductividad Eléctrica (CE) 86
2.3.5. Oxígeno Disuelto (O.D) 87
2.3.6. Demanda Bioquímica de Oxígeno (D.B.O) 87
2.3.7. Sólidos totales disueltos 87
2.3.8. Aceites y grasas 88
2.3.9. Demanda química de oxigeno 88
2.3.10. Cianuro wad 89
2.3.11. Nitratos 89
2.3.12. Fosfatos 89
2.3.13. Coliformes termotolerantes 89
2.4. Marco legal ambiental 90
2.5. Hipótesis 98
2.5.1. Hipótesis general 98
2.5.2. Hipótesis específicas 98
CAPITULO III: METODO 99
3.1. Tipo de Investigación 99
3.2. Diseño de la Investigación 99
3.3. Estrategia de Prueba de Hipótesis 99
3.4. Variables 102
3.5. Población y Muestra de Estudio. 104

Tesis publicada con autorización del autor
No olvide citar esta tesis
UNFV

3.5.1. Población 104
3.5.2. Muestra 104
3.6. Descripción de Instrumentos 104
3.7. Técnicas e instrumentos 107
3.7.1. Técnicas 107
3.7.2. Instrumentos 107
3.7.3. Fuentes 107
3.7.4. Técnicas de Procesamiento y Análisis de Datos Recolectados 107
3.8. Etapas del estudio 108
3.8.1. Etapa preliminar 108
3.8.2. Etapa de campo 111
3.8.3. Etapa de laboratorio 112
3.8.4. Etapa final 115
CAPITULO IV: RESULTADOS Y DISCUSION 117
4.1. Parámetros físicos 117
4.1.1. Temperatura 117
4.1.2. Potencial de hidrógeno 123
4.1.3. Conductividad 128
4.1.4. Sólidos disueltos totales 133
4.2. Parámetros orgánicos 137
4.2.1. Oxígeno disuelto 137
4.2.2. Demanda Bioquímica de oxígeno 142
4.2.3. Demanda química de oxígeno 146
4.2.4. Aceites y grasas 150
4.2.5. Nitratos 155
4.2.6. Fosfatos 159
4.3. Parámetros microbiológicos 162
4.3.1. Coliformes termotolerantes 162
4.4. Parámetros metálicos y no metálicos 167
4.4.1. Cianuro WAD 167
4.4.2. Arsénico 173
4.4.3. Cadmio 178
4.4.4. Cobre 183
4.4.5. Cromo 188
4.4.6. Hierro 192
4.4.7. Manganeso 197
4.4.8. Níquel 202
4.4.9. Plomo 205
4.4.10. Zinc 211
4.4.11. Mercurio 216
4.5. DISCUSION GENERAL 221
4.6. PROPUESTA DE MANEJO: DAM
4.61 Tecnología HDS
CAPITULO V: CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES 228
5.1. Conclusiones: 228
5.2. Recomendaciones 230
REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS 232
ANEXO 236

Tesis publicada con autorización del autor
No olvide citar esta tesis
UNFV

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1: Los efectos negativos del arsénico, cadmio, mercurio y nitritos..... 28
Tabla 2: El contenido de gases y sus factores 32
Tabla 3: Principales iones..... 34
Tabla 4: Principales actividades industriales y sus efluentes o residuos que se generan. 36
Tabla 5: Límites de vertido máximo para iones metálicos pesados en España (mg/l)... 45
Tabla 6: Precipitación Total Mensual (mm)..... 58
Tabla 7: Valores Máximos, Mínimos y Promedios de Precipitación (mm) 58
Tabla 8: Temperatura Media Mensual (ºC) 59
Tabla 9: Valores Máximos, Mínimos y Promedios de temperatura (ºC) 59
Tabla 10: Humedad Relativa Media Mensual (%) 60
Tabla 11: Valores Máximos, Mínimos y Promedios de la humedad (%) 60
Tabla 12: Viento media mensual (m/s)..... 61
Tabla 13 Valores Máximos, Mínimos y Promedios anual del viento 61
Tabla 14: Pasco: Población provincial, 2010-2015..... 68
Tabla 15: Pasco: superficie y población, 2015..... 68
Tabla 16: Pasco: Población al 2014 según provincia y distritos 69
Tabla 17: Pasco: AA.HH por fecha de reconocimiento – 1999 70
Tabla 18: Servicio de agua potable y otros 71
Tabla 19: Servicio de disposición sanitaria..... 72
Tabla 20: Servicio de alumbrado eléctrico 73
Tabla 21: Servicio de telefonía y redes 74
Tabla 22: Pasco: índice de competitividad regional (en detalle, 2015)..... 77
Tabla 23: Pasco: índice de competitividad regional (en detalle, 2015)..... 77
Tabla 24: Pasco: Índice de competitividad regional (en detalle, 2015) 78
Tabla 25: Pasco: índice de competitividad regional (en detalle, 2015)..... 79
Tabla 26: Producción de s Minerales según Estratos a nivel de Empresas 1998 – 1999 83
Tabla 27: Pasco: índice de competitividad regional (en detalle, 2015)..... 85
Tabla 28: Definición de la variable independiente y dependiente de la investigación. 102
Tabla 29: Puntos de monitoreo en la subcuenca del río San Juan..... 110

Tesis publicada con autorización del autor
No olvide citar esta tesis
UNFV

INDICE DE FIGURAS

Figura 1: Relación entre temperatura, solubilidad de sales y gases 31
Figura 2: Tipo de partículas arrastradas por el agua, en función de su granulometría... 35
Figura 3: Variación del tipo de contenido biológico en un río al alejarnos de un foco de aporte de contaminantes orgánicos 37
Figura 4: Método Convencional para el tratamiento del DAM……... 37
Figura 5: Método HDS para el tratamiento del DAM……. 37

Tesis publicada con autorización del autor
No olvide citar esta tesis
UNFV

INDICE DE GRAFICAS

Gráfica 1: Pasco: crecimiento del PBI real, 2008-2014 (en %) . **¡Error! Marcador no definido.**
Gráfica 2: Variación del ingreso real anual del hogar según quintiles, **¡Error! Marcador no definido.**
Gráfica 3: VAB por sectores 2014, (como % del total) 80
Gráfica 4: Temperatura en época de estiaje y avenida (2006-2016) 117
Gráfica 5: Temperatura en época de estiaje (2006-2016)..... 119
Gráfica 6: Temperatura en época de avenida (2006-2016) 119
Gráfica 7: Temperatura por estaciones (2006-2011)..... 120
Gráfica 8: Temperatura por estaciones (2012-2016)..... 121
Gráfica 9: Potencial de hidrógenos en época de estiaje y avenida (2006-2016)..... 123
Gráfica 10: Potencial de hidrógenos en época de estiaje (2006-2016)..... 124
Gráfica 11: Potencial de hidrógenos en época de avenida (2006-2016) 124
Gráfica 12: Potencial de hidrógenos por estaciones (2006-2011)..... 125
Gráfica 13: Potencial de hidrógenos por estaciones (2012-2016)..... 126
Gráfica 14: Conductividad en época de estiaje y avenida (2006-2016)..... 128
Gráfica 15: Conductividad en época de estiaje (2006-2016) 129
Gráfica 16: Conductividad en época de avenida (2006-2016) 129
Gráfica 17: Conductividad por estaciones (2006-2011)..... 130
Gráfica 18: Conductividad por estaciones (2012-2016)..... 131
Gráfica 19: Sólidos disueltos totales en época de estiaje y avenida (2006-2016)..... 133
Gráfica 20: Sólidos disueltos totales en época de estiaje (2006-2016) 134
Gráfica 21: Sólidos disueltos totales en época de avenida (2006-2016) 134
Gráfica 22: Sólidos disueltos totales por estaciones (2006-2013)..... 135
Gráfica 23: Sólidos disueltos totales por estaciones (2012-2016)..... 136
Gráfica 24: Oxígeno disuelto en época de estiaje y avenida (2006-2016) 137
Gráfica 25: Oxígeno disuelto en época de estiaje (2012-2016) 138
Gráfica 26: Oxígeno disuelto en época de avenida (2012-2016) 138
Gráfica 27: Oxígeno disuelto por estaciones (2012-2016)..... 140
Gráfica 28: Demanda Bioquímica de oxígeno en época de estiaje y avenida (2006-2016) 142
Gráfica 29: Demanda Bioquímica de oxígeno en época de estiaje (2012-2016) 143
Gráfica 30: Demanda Bioquímica de oxígeno en época de avenida (2006-2016)..... 143
Gráfica 31: Demanda Bioquímica de oxígeno por estaciones (2012-2016)..... 144
Gráfica 32: Demanda química de oxígeno en época de estiaje y avenida (2006-2016)146
Gráfica 33: Demanda química de oxígeno en época de estiaje (2012-2016) 147
Gráfica 34: Demanda química de oxígeno en época de avenida (2012-2016)..... 147
Gráfica 35: Demanda química de oxígeno por estaciones (2012-2016) 148
Gráfica 36: Aceites y grasas en época de estiaje y avenida (2006-2016)..... 150
Gráfica 37: Aceites y grasas en época de estiaje (2012-2016)..... 151
Gráfica 38: Aceites y grasas en época de avenida (2006-2016)..... 151
Gráfica 39: Aceites y grasas por estaciones (2012-2016) 153
Gráfica 40: Nitratos en época de estiaje y avenida (2006-2016)..... 155
Gráfica 41: Nitratos en época de estiaje (2012-2016) 157
Gráfica 42: Nitratos en época de avenida (2012-2016)..... 157
Gráfica 43: Nitratos por estaciones (2012-2016) 158
Gráfica 44: Fosfatos en época de estiaje y avenida (2006-2016)..... 159
Gráfica 45: Fosfatos en época de estiaje (2012-2016) 160
Gráfica 46: Fosfatos en época de avenida (2006-2016) 160

Tesis publicada con autorización del autor
No olvide citar esta tesis
UNFV

Gráfica 47: Fosfatos por estaciones (2012-2016) 161
Gráfica 48: Coliformes termotolerantes en época de estiaje y avenida (2006-2016)... 162
Gráfica 49: Coliformes termotolerantes en época de estiaje (2006-2016) 164
Gráfica 50: Coliformes termotolerantes en época de avenida (2006-2016) 164
Gráfica 51: Coliformes termotolerantes por estaciones (2006-2013) 165
Gráfica 52: Coliformes termotolerantes por estaciones (2014-2016) 166
Gráfica 53: Cianuro WAD en época de estiaje y avenida (2006-2016) 167
Gráfica 54: Cianuro WAD en época de estiaje (2006-2016) 169
Gráfica 55: Cianuro WAD en época de avenida (2006-2016) 169
Gráfica 56: Cianuro WAD por estaciones (2006-2011) 170
Gráfica 57: Cianuro WAD por estaciones (2012-2016) 171
Gráfica 58: Arsénico en época de estiaje y avenida (2006-2016) 173
Gráfica 59: Arsénico en época de estiaje (2006-2016) 174
Gráfica 60: Arsénico en época de avenida (2006-2016) 174
Gráfica 61: Arsénico por estaciones (2006-2011) 175
Gráfica 62: Arsénico por estaciones (2012-2016) 176
Gráfica 63: Cadmio en época de estiaje y avenida (2006-2016) 178
Gráfica 64: Cadmio en época de estiaje (2006-2016) 179
Gráfica 65: Cadmio en época de avenida (2006-2016) 179
Gráfica 66: Cadmio por estaciones (2006-2011) 180
Gráfica 67: Cadmio por estaciones (2012-2016) 181
Gráfica 68: Cobre en época de estiaje y avenida (2006-2016) 183
Gráfica 69: Cobre en época de estiaje (2006-2016) 184
Gráfica 70: Cobre en época de avenida (2006-2016) 184
Gráfica 71: Cobre por estaciones (2006-2011) 185
Gráfica 72: Cobre por estaciones (2012-2016) 186
Gráfica 73: Cromo en época de estiaje y avenida (2006-2016) 188
Gráfica 74: Cromo en época de estiaje (2006-2016) 189
Gráfica 75: Cromo en época de avenida (2006-2016) 189
Gráfica 76: Cromo por estaciones (2006-2013) 190
Gráfica 77: Cromo por estaciones (2012-2016) 191
Gráfica 78: Hierro en época de estiaje y avenida (2006-2016) 192
Gráfica 79: Hierro en época de estiaje (2006-2016) 193
Gráfica 80: Hierro en época de avenida (2006-2016) 193
Gráfica 81: Hierro por estaciones (2006-2011) 194
Gráfica 82: Hierro por estaciones (2012-2016) 195
Gráfica 83: Manganeso en época de estiaje y avenida (2006-2016) 197
Gráfica 84: Manganeso en época de estiaje (2006-2016) 198
Gráfica 85: Manganeso en época de avenida (2006-2016) 198
Gráfica 86: Manganeso por estaciones (2006-2011) 199
Gráfica 87: Manganeso por estaciones (2012-2016) 200
Gráfica 88: Níquel en época de estiaje y avenida (2006-2016) 202
Gráfica 89: Níquel en época de estiaje (2012-2016) 203
Gráfica 90: Níquel en época de avenida (2012-2016) 203
Gráfica 91: Níquel por estaciones (2012-2016) 204
Gráfica 92: Plomo en época de estiaje y avenida (2006-2016) 205
Gráfica 93: Plomo en época de estiaje (2006-2016) 206
Gráfica 94 Plomo en época de avenida (2006-2016) 206
Gráfica 95: Plomo por estaciones (2006-2011) 207
Gráfica 96: Plomo por estaciones (2012-2016) 208

Tesis publicada con autorización del autor
No olvide citar esta tesis
UNFV

Gráfica 97: Zinc en época de estiaje y avenida (2006-2016) 211
Gráfica 98: Zinc en época de estiaje (2006-2016)..... 212
Gráfica 99: Zinc en época de avenida (2006-2016) 212
Gráfica 100: Zinc por estaciones (2006-2011)..... 213
Gráfica 101: Zinc por estaciones (2012-2016)..... 214
Gráfica 102: Mercurio en época de estiaje y avenida (2006-2016)..... 216
Gráfica 103: Mercurio en época de estiaje (2007-2016) 217
Gráfica 104: Mercurio en época de avenida (2006-2016)..... 217
Gráfica 105: Mercurio por estaciones (2007-2012) 218
Gráfica 106: Mercurio por estaciones (2012-2016) 219

Tesis publicada con autorización del autor
No olvide citar esta tesis

RESUMEN

El cuerpo receptor en estudio es el rio San Juan, quien pertenece a la Cuenca del rio Mantaro, dicho recurso hídrico se encuentra dentro de una zona de intensa actividad minera, donde se descargan por más de cinco décadas diversos tipos de efluentes de naturaleza orgánica e inorgánica, en este sentido y debido a múltiples quejas y denuncias por parte de los residentes, así como también a la aparición de nuevas normas ambientales a mediados de la década de los noventa dieron como resultado un nuevo enfoque en cuanto al cumplimiento y obligatoriedad de cuidar el ambiente.

El Objetivo principal de la presente investigación es conocer la variación de los parámetros físicos, químicos y microbiológicos durante los últimos 11 años, así como también evaluar su comportamiento a lo largo de todo el tramo monitoreado de la sub cuenca alta del río San Juan.

La presente investigación ha sido desarrollada en base a un monitoreo de Calidad del agua durante once años consecutivos, para lo cual se ha tomado información brindada por la Dirección General de Salud Ambiental (DIGESA) de los años 2006 al 2011 y complementada con otros monitoreos a cargo del investigador para los años 2012 al 2016. Conocedores de las tecnologías que hoy en día aplican las diversas empresas mineras en el tratamiento de sus diferentes efluentes, creemos necesario hacer una evaluación de la Calidad del Agua y contrastar los resultados obtenidos durante los once últimos años y conocer el comportamiento de los diferentes parámetros físico químicos a través de este tiempo y observar así la variación en cuanto a concentraciones o niveles de contaminantes presentes en el agua.

En el Estudio se ha considerado dos estaciones claves la Nº 2 y 5 (Quebrada Quiulacocha y rio Andacancha) que se caracterizan por recibir descargas de tipo Industrial y Doméstico sumado con aportes de escorrentías superficiales, quienes son

Tesis publicada con autorización del autor
No olvide citar esta tesis

finalmente los que impactan directamente en el rio San Juan, alterando su calidad. En general los resultados de las concentraciones de las muestras tomadas a lo largo del tramo monitoreado en las 6 estaciones para los años 2006 al 2016, indican que existe aún cierto grado de alteración de la calidad del agua por la presencia de contaminantes de naturaleza orgánica e inorgánica como metales pesados, materia orgánica y Coliformes Termotolerantes, que si bien es cierto sus concentraciones se han reducido a través del tiempo, aun no alcanzan los valores establecidos por norma.

Los resultados obtenidos han sido comparados con la categoría 3, para el uso de riego de vegetales (D.S 004-2017-MINAM. Estándares de Calidad Ambiental para Aguas).

Tesis publicada con autorización del autor
No olvide citar esta tesis

ABSTRACT

The receiving body under study is the San Juan River, which belongs to the Mantaro River Basin. This water resource is located within an area of intense mining activity, where different types of effluents of organic nature are discharged for more than five decades. Inorganic, in this sense and due to multiple complaints and complaints from residents, as well as the emergence of new environmental standards in the mid-nineties resulted in a new approach in terms of compliance and mandatory care the environment.

The main objective of the present investigation is to know the variation of the physical, chemical and microbiological parameters during the last 11 years, as well as to evaluate their behavior throughout the monitored section of the upper sub basin of the San Juan River.

The present investigation has been developed based on water quality monitoring for eleven consecutive years, for which information provided by the General Directorate of Environmental Health (DIGESA) from 2006 to 2011 has been taken and complemented with other monitoring to charge of the researcher for the years 2012 to 2016. Aware of the technologies currently applied by the various mining companies in the treatment of their different effluents, we believe it is necessary to make an evaluation of the Water Quality and to compare the results obtained during the last eleven years and know the behavior of the different physical-chemical parameters through this time and observe the variation in terms of concentrations of contaminants present in the water.

In the Study has been considered two key stations No. 2 and 5 (Quebrada Quiulacocha and Andacancha river) that are characterized by industrial and domestic discharges coupled with contributions of surface runoff, who are ultimately those that directly impact the river San Juan, altering his quality. In general, the results of the concentrations of the samples taken along the section monitored at the 6 stations for the

Tesis
No olv

years 2006 to 2016, indicate that there is still a certain degree of alteration in water quality due to the presence of pollutants of an organic nature. Inorganic as heavy metals, organic matter and thermotolerant coliforms, which although it is true their concentrations have been reduced over time, they still do not reach the values established by norm.

The results obtained have been compared with category 3, for the use of vegetable irrigation (D.S 004-2017-MINAM, Environmental Quality Standards for Water).

Tesis publicada con autorización del autor
No olvide citar esta tesis

INTRODUCCION

La Industria Minera es considerada dentro del sector como una de las actividades extractivas más contaminantes e impactantes para el ambiente, dentro de ellas sin duda alguna tenemos a las aguas superficiales y subterráneas como dos componentes que han sido afectados durante muchos años con descargas incontroladas, los cuales contienen elementos inorgánicos como metales pesados (cobre, zinc, plomo, cadmio, plata, arsénico, manganeso, etc.) y drenajes ácidos, siendo en definitiva cuerpos receptores de todo tipo de contaminantes. Se ha estimado que las actividades mineras y metalúrgicas en conjunto descargan anualmente más de 13 billones de metros cúbicos de efluentes en los cuerpos de agua del país (Banco Mundial, 2000). Sin embargo, desde mediados de la década pasada el sector minero ha ido asumiendo progresivamente responsabilidades ambientales en cuanto a la mitigación de los daños y prevención en otros.

De acuerdo a la clasificación de aguas superficiales establecida por la Autoridad Nacional del Agua (R.J Nº 056-2018-ANA), el río San Juan se encuentra dentro de la categoría Nº 3, el cual debería reunir condiciones óptimas para el Riego y Bebida de Animales. Considerando los años que este cuerpo receptor estuvo siendo impactada por las diversas actividades de las industrias mineras como Aurex, Centro Min Perú (ex VOLCAN), hoy en día Cerro SAC S.A.A, en cerro de Pasco y El Brocal en Colquijirca, resulta necesario conocer la calidad del agua a fin de establecer nuevas estrategias de manejo, en caso se mantengan los mismos niveles de contaminación o de lo contrario, saber si después de algunos años de emitidas las normas ambientales, los sistemas de tratamiento aplicados para los efluentes industriales han permitido mejorar la calidad del agua del rio San Juan.

Tesis publicada con autorización del autor
No olvide citar esta tesis
UNFV

Cabe recalcar que de acuerdo a su categoría el tipo de agua debería ser apta para riego y bebida de animales, sin embargo aún no se sabe con certeza si es que la Calidad del agua ha mejorado sustancialmente luego que se emitieran dichas normas ambientales más exigentes a mediados de los años 90, las cuales obligan a implementar sistemas de tratamiento de aguas residuales industriales que permitan alcanzar los Límites Máximos Permisibles.

Tesis publicada con autorización del autor
No olvide citar esta tesis

CAPITULO I: PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

1.1. Antecedentes

El Banco Interamericano de Desarrollo BID, 1997, en el Proyecto Control de la Contaminación Ambiental de Origen Minero Metalúrgico en la Cuenca del Río Mantaro (Sub Proyecto Mantaro), identifican problemas ambientales a fin de proponer alternativas de solución para dicha cuenca. En relación a la Relavera Quiulacocha (Deposito más antiguo), cuyas infiltraciones llegan al río San Juan, presenta un aproximado de 78'699,777 TMS de relaves. La concentración de TSS calculado excede en más del doble del valor analizado, así mismo pasa con los NO_3. (PAMA p. 120). El flujo promedio que emite el depósito de relaves Quiulacocha (1994 y 1995) era de 25.62 m^3/min., y siendo la suma de metales 45 709 81 kg/día (PAMA p.121). La salida del depósito de Quiulacocha. (Agosto 1,996), indica un caudal igual a 200 gl/min, un pH igual a 2.7, de Cu igual a 0.26 g/l, Fe igual a 1.50, Zn igual a 0.27, Pb igual a 0.90, Acidez igual a 0.10 g/l (PAMA p. 138). Los relaves almacenados en la laguna Quiulacocha, han cambiado considerablemente su ecosistema natural. El alto contenido de sustancias generado por la acidez de las aguas han modificado de forma sustancial las características físico-químicas y biológicas de la laguna, haciendo imposible su restauración. En esta antigua relavera Quiulacocha confluían los efluentes domésticos de la ciudad, dichas aguas al pasar por la relavera y debido a su contenido de pirita se acidificaban impactando negativamente el Río San Juan.

La *Contraloría General de la Republica, 1999,* a través de una Auditoria de Gestión Ambiental "Proyecto Alfa", practicada para el Sector Agricultura en la Cuenca del rio Mantaro indica que el rio San Juan se encuentra impactada por descargas industriales y domesticas como consecuencia de las actividades mineras en Cerro de Pasco y

Tesis publicada con autorización del autor
No olvide citar esta tesis
UNFV

Colquijirca, presentando aguas abajo de dichas unidades mineras un pH de 2.8, estando por debajo del Límite Máximo Permisible que se encuentra entre 5 y 9, la concentraciones de Cobre, Zinc, Manganeso y Fierro presentan niveles de 7.47, 414.24, 5.53 y 317.29 mg/l respectivamente, y encontrándose también cada uno de ellos fuera de los Límites Máximos Permisibles establecidos por la Ley General de Aguas.

Alfonso Romero, Silvana Flores & Werner Pacheco, 2007, en su estudio, Calidad del agua en la Cuenca del rio Santa relacionan el impacto negativo producido por la relavera polimetálica de Ticapampa, que afecta la calidad de aguas de la cuenca media del río Santa. Es así, que una de las principales actividades planteadas durante el trabajo de campo fue el de identificar y monitorear los ambientes acuáticos, con el fin de determinar sus características físico-químicas. Por ello, se efectuaron cuatro monitoreos de aguas, en las áreas próximas al lugar impactado por la presencia de este pasivo ambiental. De acuerdo a la estación ubicada Aguas abajo de Ticapampa, el mayor impacto por metales pesados se da en esta zona con altos contenidos de As, Cu, Pb, Zn y Cd, así también se puede señalar a los efluentes que infiltran de los relaves fuera de servicio, como el de la Unidad Minera Alianza y a los drenajes con concentraciones elevadas de estos elementos del afluente Badén.

El punto de monitoreo P-203 es el tercer punto de la toma de muestra de aguas superficiales (M3), el cual se toma en las percolaciones de las aguas de la Cancha de Relave Polimetálico de Ticapampa, el cual es el punto de monitoreo que presenta mayor concentración de metales pesados disueltos tales como: Cu (0.027 mg/l), Fe (1 mg/l), Pb (0.024 mg/l), Zn (4.652 mg/l), en comparación con los demás puntos de monitoreo de aguas superficiales. La estación de Monitoreo P-205 es el segundo punto de la toma de muestra de aguas superficiales (M2), el cual se toma en las filtraciones de las aguas de

Tesis publicada con autorización del autor
No olvide citar esta tesis
UNFV

la Cancha de Relave Polimetálico que va directamente a la cuenca del río Santa, y es el punto de monitoreo que presenta mayores concentraciones de As (0.108 mg/l), Cd (0.024 mg/l) y Sb (0.01 mg/l), en comparación con los demás puntos monitoreados.

Flaviano Bianchini, 2009, en su Estudio Evaluación de la Calidad de los Recursos Hídricos en la Provincia de Pasco y de la Salud en el Centro poblado de Paragsha, indica que el Río San Juan se presenta de una manera bastante preocupante cuando el efluente generado y proveniente de la mina es descargado a la quebrada para después aguas abajo formar un solo cauce, este efluente que forma un riachuelo en su recorrido pertenece a la empresa VOLCAN. Dicho efluente es declarado por la empresa como "agua neutra de mina" y presenta concentraciones de metales que sobrepasan muchas veces lo establecido y recomendado por la OMS. Este efluente tiene niveles de aluminio casi 11 veces más alto, de hierro 10 veces, manganeso casi 16 veces, arsénico 15 veces sobre el límite exigido por la OMS. Uno de los elementos más preocupante es el plomo que tiene una concentración de 431 veces sobre el límite de la OMS. Este efluente se junta con el río San Juan aguas abajo a la altura de la mina AUREX para luego incrementar más aun la concentración de metales en el Río San Juan. Así tenemos que el Arsénico aumenta 8 veces su nivel, el aluminio y el cadmio en más de 20 veces, el hierro 165 y el plomo 120. La calidad del agua del Río San Juan, antes de unirse con el efluente de VOLCAN es bastante limpia, pero luego de esta confluencia se encuentra totalmente impactada y se hace imposible el poder beberla, así como también se imposibilita utilizarla en el regadío para las zonas agrícolas. Una buena cantidad de metales se mantiene alta hasta su confluencia con el Lago de Junín el cual se encuentra aproximadamente a 30 Km. aguas abajo. La situación encontrada en la laguna de Quiulacocha es aún más preocupante, lugar donde la empresa minera ha vertido sus

Tesis publicada con autorización del autor
No olvide citar esta tesis
UNFV

desechos por muchos años. Para este recurso natural, la situación es bastante grave, así tenemos que el aluminio esta en 160 veces más alto que los límites permitidos, otro elemento es el plomo con 80 veces, el cadmio con 83, el hierro con 833, el manganeso con 445 y el arsénico con 465 veces por encima de los límites establecidos. Estos valores hacen totalmente imposible la vida en este río, a excepción de algunas bacterias adaptadas en forma especial.

Calla, Hellen, 2010, menciona en su investigación Calidad del Agua en la Cuenca del río Rímac, Sector San Mateo, afectado por Actividades Mineras, que de acuerdo a la evaluación y análisis de los resultados obtenidos en relación a los Estándares Nacionales de Calidad de Agua, y en función a la categoría III para el uso de Riego de Vegetales y Bebida de Animales los elementos metálicos que requieren la aplicación de técnicas de tratamiento correctivas son el Cd, el Pb, el As, el Mn y el Fe, en cuanto a los parámetros microbiológicos son los Coliformes Termotolerantes y Totales; así como también tener en cuenta un control en los niveles de pH ya que en algunas estaciones de monitoreo se han registrado concentraciones más ácidas de lo estipulado por la normativa nacional vigente.

Oyarzun e Higueras, 2011, Indican que en cuanto a efluentes químicos generados por la minería estos se relacionan preferentemente con la oxidación de sulfuros con la posterior lixiviación de metales pesados que pueden provenir de las escombreras o balsas (relaves) de mineral. Sabiendo que el principal mineral en yacimientos sulfurados es la pirita (FeS_2), la oxidación y lixiviación de este compuesto nos trae como consecuencia la formación del denominado drenaje ácido de mina, generalmente de un característico color rojo o anaranjado.

Tesis publicada con autorización del autor
No olvide citar esta tesis
UNFV

Paita de Melo Gurgel y Julio Alejandro Navoni, et al, 2016; en su estudio Evaluación Ecotoxicologica del agua en un rio estuariano del Nor-Este de Brasil potencialmente afectado por descargas industriales, mencionan que, se encontró un grupo de metales en concentración variable, un hecho que podría explicar el efectos ecotoxicológicos en diversas especies de vertebrados e invertebrados. Por ejemplo, Ahsanullah et al. (1981) probaron la toxicidad de Zn, Cd y Cu en escala de laboratorio con C. australiensis y encontraron una concentración letal cincuenta (LC50: expresado en mg / l) de 1.15, 0.49 y 0.19, respectivamente. Además, otros estudios (Sarabia et al., 2008; Shaw et al., 2006) establecieron un LC50 para Zn usando D. magna y A. partenogenetica de 0.812 y 0.080, respectivamente.

Además, Shaw et al. (2006) definió una LC50 con el mismo modelo para Cd de 0.1. Por otro lado, Gopal et al. (2009) utilizando C. mrigala y Hunt et al. (2002) utilizando M. intii, estableció una LC50 para Ni en un rango de concentración de 0.004 a 0.148 mg / l. Experimentalmente los modelos han reflejado el efecto ecotoxicológico de otros elementos encontrado en la investigación.

1.2. Planteamiento del problema

Desde la aparición de los primeros asientos mineros en el Perú, la preocupación por el cuidado del ambiente y sobre todo de los sistemas acuáticos superficiales, han sido muy poco considerados por las industrias dedicadas a la extracción mineral, es así que la industrialización trajo consigo una serie de problemas a corto, mediano y largo plazo, y que a la postre nos dejaría un legado difícil de controlar, motivo por el cual hasta el momento nos encontramos en un franco proceso de remediación ambiental en

Tesis publicada con autorización del autor
No olvide citar esta tesis
UNFV

muchos lugares del Perú, el cual nos permita devolver a la naturaleza lo que nos dejó como legado.

Hablar de sustancias toxicas provenientes de la industria minera resulta ser un tema bastante complejo, ya que tendríamos que mencionar compuestos que se generan por sinergismo en las diversas fases u operaciones de la misma actividad, y las cuales pueden ser de naturaleza sólida, líquida y/o gaseosa, así podemos tener generación de residuos sólidos, emisiones producto de la combustión, material particulado como resultado de las explosiones y/o chancado, efluentes como producto del proceso y/o como drenaje ácido, etc. Sin embargo, las aguas superficiales reciben sus mayores aportes por infiltraciones o escurrimiento de relaveras, desmonteras o descargas de aguas acidas con elevadas concentraciones de metales pesados, consideradas altamente tóxicas y peligrosas para las diversas especies hidrobiológicas que habitan en los ambientes acuáticos.

El rio San Juan ubicado en Cerro de Pasco, al igual que muchos otros ríos del Perú, ha venido siendo impactado desde hace más de cuatro décadas por diversas industrias mineras como Aurex, Cerro SAC (ex Centromin Perú y Volcan SA) y El Brocal, quienes vertían sus relaves y efluentes industriales en ambientes acuáticos superficiales como es el caso de las Lagunas Yanamate y Quiulacocha convertidas hoy en día en depósito de aguas acidas y relavera, donde sus drenajes generados podían alcanzar al mismo río. Posteriormente con las normas ambientales más estrictas que aparecen en la década de los 90, se prohíbe cualquier tipo de vertimiento sin tratamiento previo. Sin embargo, a pesar de todos los esfuerzos que se viene realizando por mitigar los impactos ambientales, aún resulta insuficiente poder demostrar que dichas medidas adoptadas garantizan la inocuidad de dichos vertimientos.

Tesis publicada con autorización del autor
No olvide citar esta tesis
UNFV

El río San Juan es uno de los sistemas hidrológicos que alimenta el rio Mantaro y en determinadas épocas al Lago Junín, quien forma parte de una gran reserva natural y que lamentablemente ha venido siendo impactada desde hace muchos años con diversas descargas contaminantes de origen industrial y doméstico, los aportes recibidos por el Río San Juan corresponden principalmente a componentes de origen industrial minero de empresas instaladas en su cuenca hidrográfica como Aurex, Cerro SAC y El Brocal.

En el año 2008 el Biólogo Cesar García Rondiel, indicó que de las 368 especies vegetales y 90 aves que existían en el lugar hace 20 años, actualmente solo hay 26 especies vegetales y 16 de aves, así mismo manifestó que un monitoreo de DIGESA arrojó recientemente que las altas concentraciones de plomo, zinc y cobre persisten en las aguas y que ello viene originando la extinción de especies como el zambullidor de Junín, cuya población se ha reducido de 1,200 a 248 ejemplares. En tal sentido es necesario demostrar que la calidad del agua del río San Juan actualmente reúne las condiciones necesarias dentro de la categoría correspondiente establecida por norma dentro de los Estándares de Calidad Ambiental Nacional .

1.3. Formulación del problema

1.3.1. Problema general

- ✓ ¿Cómo será la Calidad del agua por el vertimiento de Efluentes Industriales y Domésticos durante los últimos once años en la Subcuenca Alta y Media del rio San Juan, Cerro de Pasco, 2017.

Tesis publicada con autorización del autor
No olvide citar esta tesis
UNFV

1.3.2. Problemas específicos

- ✓ ¿Cuál es la variación o grado de alteración de la concentración de los parámetros Fisicoquímicos por las descargas de efluentes durante los últimos once años en la Subcuenca del rio San Juan, Cerro de Pasco, 2017?
- ✓ ¿Cuál es la variación o grado de alteración de la concentración de los parámetros Orgánicos por las descargas de efluentes durante los últimos once años en la Subcuenca del río San Juan, Cerro de Pasco 2017?
- ✓ ¿Cuál es la variación o grado de alteración de la concentración de Metales Pesados por las descargas de efluentes durante los últimos once años en la Subcuenca del rio San Juan, Cerro de Pasco 2017?

1.4. Objetivos

1.4.1. Objetivo general

- ✓ Evaluar la Calidad del Agua en forma experimental por el vertimiento de Efluentes Industriales y Domésticos durante los últimos once años en la Subcuenca Alta y Media del rio San Juan, a fin de conocer su grado de alteración, Cerro de Pasco, 2017.

1.4.2. Objetivos específicos

- ✓ Determinar la concentración de los parámetros fisicoquímicos por el vertido de Efluentes Industriales y Domésticos durante los últimos once años en la Subcuenca Alta y Media del río San Juan, a fin de conocer su grado de contaminación actual, Cerro de Pasco, 2017.
- ✓ Determinar la concentración de los parámetros orgánicos y microbiológicos por el vertido de Efluentes Industriales y Domésticos durante los últimos once años en la

Tesis publicada con autorización del autor
No olvide citar esta tesis
UNFV

Subcuenca Alta y Media del rio San Juan, a fin de conocer su grado de contaminación actual, Cerro de Pasco, 2017.

- ✓ Determinar la concentración de Metales Pesados por el vertido de Efluentes Industriales durante los últimos once años en la Subcuenca Alta y Media del rio San Juan, a fin de conocer su grado de contaminación actual, Cerro de Pasco, 2017.

1.5. Justificación e importancia

El presente estudio se justifica en la necesidad de dar a conocer el verdadero estado de la Subcuenca Alta y Media del rio San juan, el cual será de beneficio para los diferentes usuarios que se sirven de este recurso teniendo a la actividad ganadera como su principal usuario y en segundo lugar la actividad agrícola. Desde la década de los años 60 el rio San Juan viene siendo receptor de diversas descargas de efluentes industriales y domésticos, el cual en su condición de cuerpo receptor tiene una limitada capacidad de autodepuración, en este sentido en el pasado ha existido un desinterés del hombre por proteger este recurso hídrico y ante un posible proceso de degradación permanente, creemos necesario evaluarlo primero y luego tomar las medidas de prevención y mitigación que sean necesarias, a fin de conservar el equilibrio ecológico. En tal sentido, el presente trabajo muestra una evaluación de la Calidad del Agua del rio San Juan de los diez últimos años, desde el punto de vista ecológico y su correlación con los dispositivos legales vigentes emitidos para su conservación.

Conocido el real estado en que se encuentra el río San Juan, el presente estudio ayudará a las entidades públicas y privadas en la toma de decisiones, las cuales deberán estar enmarcadas dentro de un contexto de continua recuperación del recurso hídrico. En caso

Tesis publicada con autorización del autor
No olvide citar esta tesis
UNFV

los resultados finales demuestren que aún falta alcanzar los objetivos planteados por las industrias mineras de acuerdo a su plan de recuperación, se deberán replantear nuevas acciones con la finalidad de encontrar las deficiencias registradas en torno a sus sistemas de tratamiento de aguas residuales industriales y domesticas que descargan en el rio San Juan.

Si bien es cierto, las Empresas Mineras han realizado una serie de acciones dentro de su plan de recuperación del rio San Juan, aún no se conoce con certeza si dichas acciones han repercutido favorablemente en la recuperación de dicho recurso, es en este sentido, urge la necesidad de conocer el estado actual de la calidad del agua del rio San Juan con la finalidad de revertir la situación en caso se encuentre en un proceso franca degradación.

1.6. Alcances y limitaciones

Pretende ser un aporte en la toma de decisiones en materia de planificación por parte de las autoridades competentes, asimismo servirá de información para todos los interesados o usuarios del agua como la población misma y/o empresas privadas, además de sugerir la ejecución de una serie de medidas destinadas a controlar y mitigar los efectos de los diferentes agentes contaminantes generados por las actividades antrópicas.

Con la presente investigación se pretende alcanzar un nivel de conocimiento acerca del estado real en el que se encuentra el rio San Juan a fin de que todos los usuarios o que dependen directamente de este recurso puedan tomar las mejores decisiones en cuanto a su manejo y conservación, los interesados van desde la población a través de sus comunidades en un primer orden haciendo uso directo para su consumo o a través del

Tesis publicada con autorización del autor
No olvide citar esta tesis
UNFV

riego de vegetales y para bebida de sus animales. En un segundo orden está el Estado a través de sus diferentes Instituciones que tienen el encargo de velar por el cuidado y sostenibilidad de los recursos naturales, el Gobierno Regional de Pasco, los gobiernos locales de Chaupimarca, Yanacancha y Simón Bolívar, así mismo tenemos a los sectores Minero, Agrícola y Ambiental que son entes encargados de tomar decisiones en cuanto a la preservación y cuidado del Ambiente. Así mismo las empresas relacionadas directamente con el vertido de diferentes contaminantes deben tomar conciencia del grave daño que están ocasionando al recurso hídrico. Las Instituciones privadas que se manejan sin fines de lucro y que también pretenden crear conciencia en los diferentes actores relacionados con la problemática ambiental, en general a todos los mencionados pueden hacer uso del presente estudio a fin de conocer el estado actual del rio san Juan y tomen las mejores decisiones en función a su aprovechamiento sostenible.

En cuanto a las limitaciones para el desarrollo del presente trabajo de investigación se dio por el lado de las autorizaciones para efectuar la toma de muestras de los efluentes vertidos directamente a los cuerpos receptores ya que estos se encuentran dentro de la jurisdicción de las unidades mineras y muchas veces se rehúsan a brindar el apoyo necesario para este fin.

Sin embargo, a pesar de la negativa por parte de las empresas mineras en la toma de muestras, los efluentes descargados han sido recolectados aguas abajo antes de confluir o desembocar en el rio San Juan, muchos de estos lugares ya presentan hitos que son constantemente monitoreados por parte de las mismas empresas, así como también por parte de Autoridad nacional del Agua (ANA). Si bien es cierto éstas muestras presentan cierto grado de dilución por las escorrentías superficiales que reciben en su recorrido, es importante también indicar que dichos vertimientos nos sirven de indicativos de las

Tesis publicada con autorización del autor
No olvide citar esta tesis
UNFV

características físicas y químicas con que se llegan antes de mezclarse con el cuerpo receptor que es el rio San Juan.

En cuanto a la geografía de la zona de estudio no es muy agreste, aunque la altitud (4380 msnm) y la presión (596 mbar) siempre jugaran un papel en contra de cualquier persona de la costa (soroche).

1.7. Definición de variables

Las variables han sido definidas en función a la hipótesis principal planteada en la cual se presenta la variable Independiente *"Efluentes"* como el causante del fenómeno estudiado y la variable Dependiente *"Calidad del Agua"* el cual tiende a variar cuando se manipula la variable independiente.

Tesis publicada con autorización del autor
No olvide citar esta tesis
UNFV

CAPITULO II: MARCO TEORICO

2.1. Teorías relacionadas al tema

2.1.1. Calidad del agua

El agua presenta una problemática general en cuanto a su Calidad, la cual ha venido deteriorándose con el tiempo debido a las diferentes actividades propias del hombre, que sin ningún cuidado ha venido impactando negativamente sobre este recurso hídrico. Los mayores problemas a corto plazo derivan, fundamentalmente, del contenido biológico, que causa enfermedades infecciosas, más o menos graves en cada caso. Sin embargo, dependiendo de la concentración (corto, mediano, o largo plazo) los contenidos en sales y en partículas sólidas de composición determinada, también pueden acarrear problemas de consideración (Higueras, 2008).

Tabla 1: Los efectos negativos del arsénico, cadmio, mercurio y nitritos

Contaminante	Efecto
Arsénico	Envenenamiento (vómitos, diarrea, dolores)
Cadmio	Náuseas, contracciones musculares, vómitos, diarrea, afección al riñón, riesgo de cáncer
Mercurio (metil-)	Náuseas, vómitos, puede conducir a condiciones crónicas que simulan desórdenes psíquicos: irritabilidad, miedo, depresión, dolores de cabeza, fatiga, inhabilidad para aceptar críticas o concentrarse, amnesia, insomnio, respuestas emocionales exageradas
Nitritos	Metahemoclobinemia (asfixia en niños)

Fuente: Higueras 2008.

Tesis publicada con autorización del autor
No olvide citar esta tesis
UNFV

En cualquier caso, el exceso de sales (las aguas “más duras”) puede llegar a producir problemas que implican la formación de cálculos renales (“piedras”), mientras que las aguas pobres en sales (“aguas finas”) producen otros, como la desmineralización de huesos y dientes. En el primer caso es notable la incidencia de esta dolencia en toda la región periférica al Mediterráneo en España, donde dominan las rocas carbonatadas y por lo tanto las aguas duras (Higueras, 2008).

Estos problemas por exceso de sales pueden atenuarse o removerse totalmente con la depuración, consistente básicamente en: 1) un cribado, que elimina las partículas mayores; 2) una coagulación y floculación, que elimina las partículas de menor tamaño y los contaminantes químicos y microbiológicos asociados; y 3) procesos específicos de precipitación de compuestos salinos presentes, remoción de compuestos orgánicos (normalmente por oxidación), y eliminación de microorganismos (cloración).

2.1.2. Físico-química de las aguas naturales

El agua es un compuesto vital que participa en casi todos los procesos biológicos, y es soporte de la vida de muchos organismos. Así tenemos por ejemplo el agua de los mares alberga a la flora marina, que a su vez es la principal fuente de oxígeno del planeta. El agua también contiene oxígeno molecular (O_2), que es vital para la respiración de la fauna marina como los vertebrados (p.ej., peces) e invertebrados (p.ej., moluscos). La pérdida de oxígeno disuelto en ríos y lagos como consecuencia de la eutroficación conlleva la muerte de los organismos que sustentan esos ecosistemas.

El hombre utiliza las aguas naturales en multitud de aplicaciones, tanto como bebida, aseo y otros usos domésticos en general, así como también en forma industrial (usos

Tesis publicada con autorización del autor
No olvide citar esta tesis
UNFV

variados) o agrícolas (regadíos, bebida del ganado). De esta forma, su calidad es un factor muy importante a controlar para adecuar sus potenciales usos.

Las aguas naturales de una determinada región pueden ser de dos tipos: superficiales y subterráneas. Asimismo, las aguas superficiales pueden encontrarse formando parte de ríos, lagos, lagunas, embalses, y mares, y se encuentran en contacto permanente con la atmósfera, mientras que las aguas subterráneas tienen un comportamiento y una problemática muy distinta. Son acumulaciones en el subsuelo de aguas de procedencias muy diversas, que pueden tener dinámicas muy variadas, tenemos acuíferos confinados, que pueden contener aguas muy antiguas con acuíferos de decenas o centenares de miles de años, acuíferos kársticos con una dinámica muy rápida, así como también acuíferos asociados a cursos fluviales, ligados a la dinámica del río correspondiente.

Higueras (2008), esboza toda una teoría acerca de la Calidad del Agua y considera dos factores de calidad, que denomina "Calidad Química del Agua" y "Calidad Biológica del Agua". Estos factores están influenciados por las condiciones naturales de una región y por los factores antrópicos, es decir, por el tipo de actividad humana existente en la zona. Los parámetros más significativos a considerar son los siguientes:

✓ Potencial de Hidrógenos (pH)

Es la medida de la acidez del agua, expresada por una escala entre 1 y 14, de forma que el valor 1 indica condiciones de máxima acidez, y 14, de alcalinidad extrema ($pH = -\log [H^+]$). El valor de 7 indica la neutralidad, y es el más deseable, por lo general, para la mayor parte de las aplicaciones. Los valores más distantes indican alta reactividad, y son siempre indeseables pues suelen llevar asociados otros problemas, como un alto

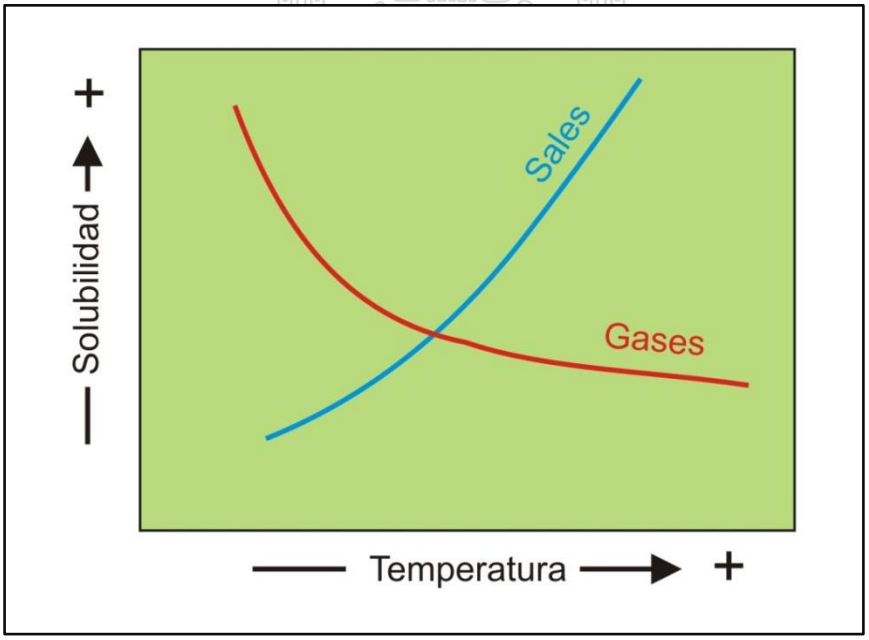
Tesis publicada con autorización del autor
No olvide citar esta tesis
UNFV

contenido en sales (y a menudo en metales pesados), debido precisamente a dicha reactividad.

✓ Temperatura

Constituye otro tipo de contaminación de las aguas, denominada contaminación térmica. Naturalmente, depende del nivel térmico del aire en el entorno (o de las rocas-almacén [*reservoirs*], en las aguas subterráneas), aunque en ocasiones presenta condicionantes propios, ya sean naturales (aguas termales), o antrópicos (industrias que implican el calentamiento de aguas: centrales térmicas). Al igual que en caso anterior, a menudo implica también otros problemas, debido a la relación que se establece entre temperatura y solubilidad de sales y gases: como muestra la figura 1, a mayor temperatura mayor solubilidad de iones, y menor en gases, factores ambos que degradan la calidad de las aguas, ya que aumentan su dureza y disminuyen la capacidad de disolución de oxígeno.

Figura 1: Relación entre temperatura, solubilidad de sales y gases



FUENTE: Higueras, 2008.

Tesis publicada con autorización del autor
No olvide citar esta tesis
UNFV

✓ Contenido en gases

La proporción de gases disueltos en las aguas naturales depende de factores diversos, entre ellos la temperatura, la presión (sobre todo en aguas subterráneas) y la presencia de gases en la atmósfera en contacto. Los contenidos normales se muestran en la tabla adjunta. De entre estos valores conviene destacar el papel de CO_2, puesto que supone la posibilidad de formar ácido carbónico, un ácido débil pero cuya abundancia hace que sea el principal factor de reactividad química de las aguas naturales a través de la reacción $CO_2 + H_2O \leftrightarrow H_2CO_3$. También tiene importancia, sobre todo a partir de ciertos niveles, la presencia de SO_2, que origina condiciones ácidas. El dióxido de azufre es bastante soluble, de tal manera que se disuelve en el agua que se condensa alrededor del particulado aéreo: $SO_2 + H_2O = H^+ + HSO_3^-$

Tabla 2: El contenido de gases y sus factores

Gas	P_{Gas} (Atm)	$KH\left[\frac{moles}{L-Atm}\right]$	$[Gas]_{ac}\left(\frac{moles}{L}\right)$	$Gas\left(\frac{Mg}{L}\right)$
N_2	0.7808	$10^{-3.2}$	$4.9x10^{-4}$	13.8
O_2	0.295	$10^{-2.9}$	$2.6x10^{-4}$	8.4
CO_2(promedio mundial)	$30.25x10^{-4}$	$10^{-1.5}$	$1.0x10^{-5}$	0.45
CO_2 (algunas areas URB)	0.001	$10^{-1.5}$	$3.2x10^{-5}$	1.4
SO_2 (rural)	$7x10^{-9}$	$10^{1.13}$	$9.4x10^{-8}$	0.006
SO_2 (urbano)	10^{-8}	$10^{1.13}$	$1.4x10^{-5}$	0.86

FUENTE: Higueras 2008.

Con respecto al oxígeno, existen dos fuentes para la incorporación de éste a las aguas superficiales: a) la atmósfera; y b) la fotosíntesis. El oxígeno atmosférico se introduce en el agua debido a las perturbaciones físicas, tales como olas o turbulencias, que permiten "atrapar" a este elemento en su forma molecular (O_2). La cantidad de oxígeno

Tesis publicada con autorización del autor
No olvide citar esta tesis
UNFV

disuelta en el agua está limitada por parámetros físicos tales como la temperatura y la presión atmosférica. Para una presión constante, a mayor temperatura menos solubilidad. Otros factores que limitan la disponibilidad de oxígeno en el agua son los biológicos y bioquímicos, e inorgánicos. Los primeros guardan relación con la respiración de los organismos acuáticos (p.ej., peces), y la descomposición de éstos en condiciones oxidantes (paso de compuestos tipo CH_n a CO_2). Entre los inorgánicos debemos destacar los procesos de oxidación de compuestos reducidos (p.ej., paso de pirita [FeS_2] a compuestos tipo goethita [FeOOH]). Como datos concretos, los peces requieren unas 5-6 ppm de oxígeno disuelto para su actividad normal. Niveles del orden de 3 ppm son ya críticos, y entre 1-2 ppm un río no puede sostener un ecosistema que incluya peces.

Los contenidos en CO_2 son fuertemente dependientes de dos parámetros: a) la temperatura (observar la apertura de una bebida gaseosa fría y otra tibia), y 2) la acidez del medio (relaciones de equilibrio H_2O-CO_2-H_2CO_3). En aguas cálidas gran parte del CO_2 escapa a la atmósfera. Por el contrario, en aguas frías el CO_2 se disuelve de la siguiente manera:

$$CO_2 + H_2O \leftrightarrow H_2CO_3$$

A su vez, el ácido carbónico sufre una primera disociación del tipo:

$$H_2CO_3 \leftrightarrow H^+ + HCO_3^-$$

Aquí es donde interviene el segundo parámetro, la acidez. En condiciones normales, los iones bicarbonato permiten tamponar de manera natural las aguas. Sin embargo, si aumenta bruscamente la acidez de las aguas, la concentración de ión bicarbonato disminuirá fuertemente en relación con la reacción anterior. Esto implica que la capacidad natural de tamponar decrece también en similar proporción.

Tesis publicada con autorización del autor
No olvide citar esta tesis
UNFV

✓ Contenido en sales

Las aguas naturales siempre presentan un cierto contenido en sales, necesarias como nutrientes para la mayor parte de los organismos vivos. La conductividad del agua es una medida que nos relaciona la capacidad del agua natural para conducir la electricidad en respuesta al contenido total en sales que presenta ("*dureza*" del agua). La conductividad es un parámetro aproximativo, pero muy útil por lo fácil que resulta su medida. El contenido en sales implica la presencia de aniones y cationes, que tienen dos orígenes: reacciones de equilibrio gases-agua, y disolución de los compuestos solubles de las rocas del entorno. De esta forma, los aniones más comunes son bicarbonato (HCO_3^-), sulfato (SO_4^{2-}) y cloruro (Cl^-), y los cationes, Ca^{2+}, Mg^{2+} y Na^+. Especialmente importante es el contenido en algunos aniones "nutrientes": en concreto, fosfatos (PO_4^{3-}) y nitratos (NO_3^-) que son esenciales para la vida de las plantas. Sin embargo, la excesiva abundancia de estos últimos produce el fenómeno denominado "eutrofización", que implica el crecimiento explosivo de las poblaciones de algas y la subsiguiente eliminación del oxígeno (ya que es consumido prioritariamente por éstas). Otro proceso asociado es el obscurecimiento de la masa de agua, lo que limita la "zona fótica" (zona iluminada), y por lo tanto la fotosíntesis de otras plantas acuáticas.

Tabla 2: Principales iones

Ion	Rango (Mg/L)	Media (Mg/L)
A) Constituyentes principales (≈ 10^{-3} M)		
Ca^{2+}	10 – 100	40
Mg^{2+}	2 – 50	10
Na^+	5 – 200	30
HCO^-_3	50 – 400	230
Cl^-	2 – 200	16
SO^{2-}_4	2 – 200	30
$H_2SiO^{2-}_4$	6 – 70	20
B) Constituyentes menores (≈ 10^{-4} M)		
K^+	1 – 10	2
Sr^{2+}	< 5	0.1
Fe^{2+}	< 5	0.1
Mn^{2+}	S.I.	S.I.
NO^-_3	< 10	1
F^-	< 4	0.2
PO^{3-}_4	S.I.	S.I.
C) Constituyentes trazas (< 10^{-5} M)		
Muchos elementos caen dentro de esta categoría		

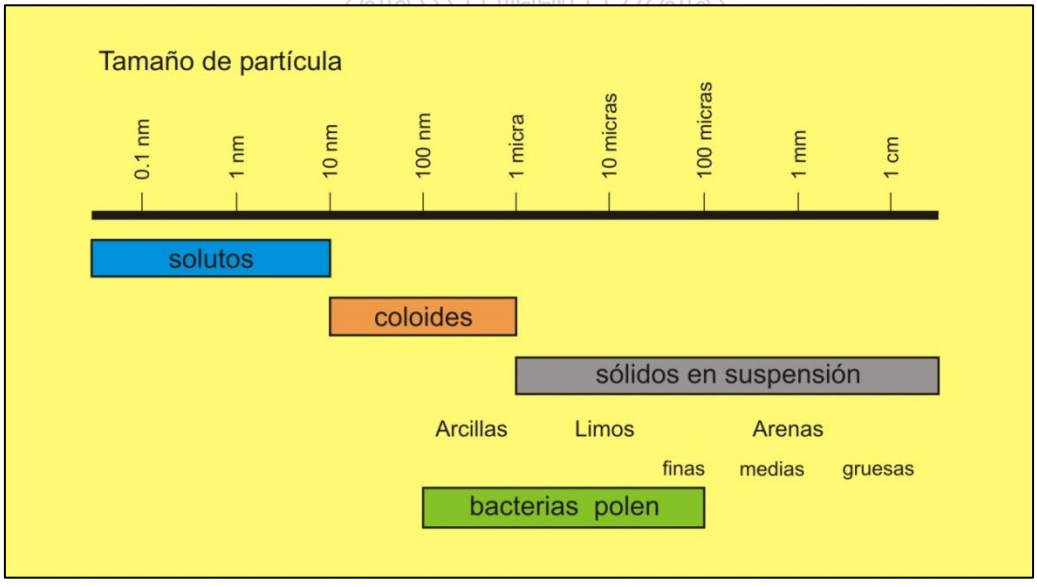
FUENTE: Higueras 2008.

Tesis publicada con autorización del autor
No olvide citar esta tesis
UNFV

✓ Sólidos en suspensión

Las aguas contienen partículas en suspensión, que son arrastradas por la dinámica correspondiente y producen la turbidez más evidente. Son de dos tipos: suspensiones (geles en el estado de sol), y partículas en sentido estricto (partículas sólidas arrastradas). Las partículas en suspensión constituyen un problema en cuanto a la calidad del agua no solo por su presencia, que constituye un factor negativo sobre todo de cara a su aspecto, sino también porque a menudo a estas partículas sólidas se adhieren (adsorción, absorción) una gran cantidad de contaminantes: metales pesados como el plomo o el mercurio, bacterias, etc. En este sentido, las arcillas, por sus particulares propiedades estructurales (armazón en capas, desequilibrio de cargas) juegan un papel muy importante. Otra cuestión importante se refiere a su granulometría, ver figura 2.

Figura 2: Tipo de partículas arrastradas por el agua, en función de su granulometría.



FUENTE: Higueras 2008.

Tesis publicada con autorización del autor
No olvide citar esta tesis
UNFV

✓ Contenido orgánico

El contenido de las aguas naturales en materia orgánica puede tener muy diversas causas, antropogénicas (tabla) o naturales.

Tabla 3: Principales actividades industriales y sus efluentes o residuos que se generan.

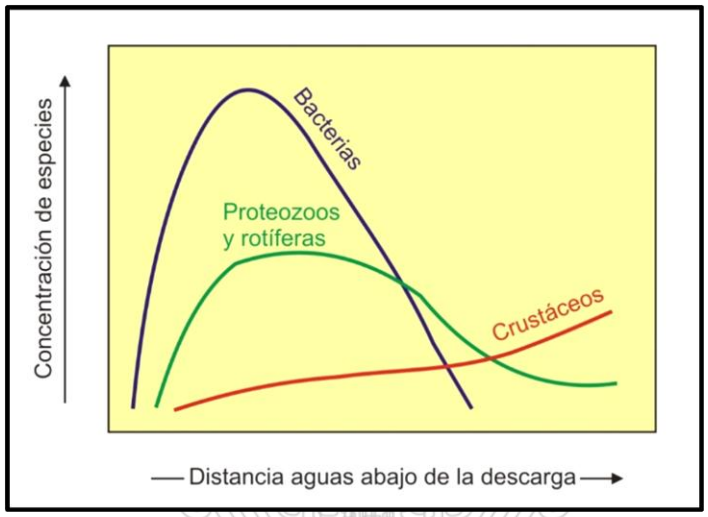
Fuente o actividad	Contaminante orgánico
Desechos humanos	Deposiciones, urea
Desechos alimenticios	Azúcares, almidones, alcoholes, grasas, aceites, etc.
Basura	Papel, telas, cáscaras, hojas de té, café molido, cáscaras, etc.
Higiene	Jabones, detergentes, champú
Agricultura	Pesticidas, fertilizantes
Actividades industriales	Muy importantes y variados
Industria farmacéutica y petrolífera	Gama muy amplia de diferentes contaminantes
Otras industrias	Producen por lo general concentraciones muy elevadas de un único tipo de contaminantes
Procesadoras de papel	Celulosa
Mataderos	Sangre, restos orgánicos
Fabricación de alimentos	Azúcar

FUENTE: Higueras 2008.

Tesis publicada con autorización del autor
No olvide citar esta tesis
UNFV

Estos componentes plantean una problemática doble: por un lado, pueden ser perjudiciales, o producir efectos adversos aunque no tóxicos: olor, color. Por otra parte, constituyen la base de la alimentación de algunos microorganismos, produciendo su proliferación, ver tabla 4.

Figura 3: Variación del tipo de contenido biológico en un río al alejarnos de un foco de aporte de contaminantes orgánicos



FUENTE: Higueras 2008.

Este tipo de actividad biológica supone la degradación de la materia orgánica, dando origen, por lo general, a compuestos simples de menor toxicidad, lo que hace que decrezca progresivamente la concentración inicial de contaminantes orgánicos, y en último término, de los microorganismos al faltar sus nutrientes. Estos procesos también pueden producir un consumo anómalo de oxígeno, debido a que la reacción general implicada es: $CH_4 + 2O_2 \rightarrow CO_2 + 2H_2O$. El oxígeno que se consume en esta reacción es el oxígeno disuelto, necesario para todas las especies que viven en el agua.

Los parámetros que miden la calidad del agua desde el punto de vista biológico son la Demanda Biológica de Oxígeno (DBO), la Demanda Química de Oxígeno (DQO), y el

Tesis publicada con autorización del autor
No olvide citar esta tesis
UNFV

Carbono Orgánico Total (COT). Los dos primeros establecen la cantidad de oxígeno que requeriría la materia orgánica presente en el agua:

- ✓ Demanda biológica de oxígeno

Es el parámetro que representa el requerimiento de oxígeno producido por la biodegradación de la materia orgánica contenida en el agua. Es una medida inexacta, pero de gran importancia, porque indica de forma indirecta la cantidad de materia orgánica biodegradable que contiene el agua. Se determina de diversas formas, expresándose en cada caso como parámetros distintos: por ejemplo, el DBO5 representa el consumo de oxígeno provocado por la biooxidación de una muestra de agua a 20ºC durante 5 días.

- ✓ Demanda química de oxígeno (DQO)

Es la cantidad de oxígeno (mg/l) consumido en medio sulfúrico y con dicromato potásico que es necesaria para la oxidación de la materia mineral y orgánica, biodegradable o no, presente en las aguas residuales. Es una medida más exacta de la cantidad de materia orgánica presente en el agua.

- ✓ Carbono orgánico total (COT)

Es una medida que tiende a sustituir a la del DQO, y representa el carbono orgánico total, medido durante la absorción en el infrarrojo, producido por la oxidación catalítica completa del carbono orgánico de la muestra. Esta medida presenta las mismas características que la DQO, y se puede realizar de forma más rápida y precisa.

Tesis publicada con autorización del autor
No olvide citar esta tesis
UNFV

2.1.3. Minería y Aguas

La actividad minera, como cualquier otro proceso industrial, conlleva problemas en la calidad del agua en varios aspectos:

✓ Contaminación del agua debido a la propia naturaleza de los minerales explotados, por ejemplo los metales (Cu, Zn, Cd, Hg, etc) y aniones asociados (sulfatos, carbonatos, etc).

✓ Contaminación del agua debido al uso de técnicas de lixiviación en pila (*heap leaching*) de metales, donde el agente lixiviante puede ser el ácido sulfúrico (para el cobre) o el cianuro de sodio (para el oro).

✓ Contaminación del agua debido a su empleo en procesos post-mineros (p.ej., lavado por flotación).

✓ Contaminación de las aguas debido a factores indirectos: dispersión de partículas por el viento u otros mecanismos a aguas de áreas más o menos alejadas de la explotación.

De cualquier manera, los efectos de la minería sobre las aguas se traducen en:

Movilización de partículas sólidas, ya sean procedentes del arrastre por las aguas superficiales, de material particulado de escombreras, carguío, o traídas hasta la superficie por el agua de lluvia, a partir del material particulado en suspensión.

Incorporación de sales al agua, ya sean por procesos 'naturales' (disolución de minerales que la minería pone a disposición de las aguas superficiales), o por mecanismos industriales (vertido de aguas de plantas de flotación u otro tipo).

Incorporación de metales pesados a las aguas. Naturalmente, la minería metálica pone a disposición de los agentes externos unos elementos metálicos que pueden movilizarse

Tesis publicada con autorización del autor
No olvide citar esta tesis

hacia las aguas bien por la formación de compuestos solubles, o bien por mecanismos de 'sorción' en la fracción sólida arrastrada por el agua.

Variación del pH de las aguas. Especialmente significativa suele ser la acidificación, consecuencia de la oxidación e hidrólisis de sulfuros con formación de sulfatos y sulfatos ácidos: el drenaje ácido de mina, del que vamos a hablar con mayor detalle.

La minería también produce problemas hidrogeológicos en las aguas subterráneas. La presencia de agua en la mina, sobre todo a ciertas profundidades, constituye un problema que solamente puede resolverse produciendo de forma controlada un descenso del nivel de los acuíferos de la zona, para que queden por debajo del nivel de laboreo. Ello puede implicar la desecación de pozos próximos, a distancias variables en función de la litología de las rocas que constituyan cada acuífero: si se trata de rocas poco permeables y transmisivas, el problema afectará solamente al entorno inmediato de las labores, pero si se trata de rocas muy porosas y permeables, el problema puede alcanzar distancias considerables. También podrá afectar a parámetros físico-químicos, pues a menudo por el fondo de la explotación a cielo abierto se podrán infiltrar aguas afectadas por la problemática específica de cada mina: turbidez (siempre), cambios composicionales, de acidez, de condiciones redox, etc., (Higueras 2008).

✓ Drenaje Acido de Mina (DAM)

Sin duda, el mayor problema que conlleva la actividad minera frente a las aguas naturales debido a su impacto, es la formación del denominado drenaje ácido de mina ("*acid mine drainage*", DAM), consistente en la emisión o formación de aguas de gran acidez, por lo general ricas en sulfatos, y con contenidos variables en metales pesados. Dicho drenaje ácido se desarrolla a partir de la lixiviación de sulfuros metálicos o y de

Tesis publicada con autorización del autor
No olvide citar esta tesis
UNFV

la pirita presente en carbones. Para ello existen dos formaciones principales: En primer lugar, el mineral sulfurado "*in situ*" (causas naturales), y en segundo lugar las escombreras (*mineral dumps*).

Este fenómeno se produce por la oxidación e hidrólisis de los sulfuros, y en especial de la pirita, mediante una serie de reacciones que se describen a continuación:

$$4\ FeS_2 + 14\ O_2 + 4\ H_2O \rightarrow 4\ Fe_2^{+} + 8\ SO_4^{2-} + 8\ H^{+}$$

A su vez, los iones ferrosos (Fe2+) se oxidarán de la siguiente manera:

$$4\ Fe^{2+} + O_2 + 4\ H^{+} \rightarrow 4\ Fe^{3+} + 2\ H_2O$$

Los iones férricos se hidrolizan para formar hidróxido férrico:

$$4\ Fe^{3+} + 12\ H_2O \rightarrow 4\ Fe\ (OH)_3 + 12\ H^{+}$$

Este hidróxido es el iniciador de una serie de minerales típicos del ambiente oxidativo de menas sulfuradas, y otorgan a las escombreras y arroyos un típico color amarillento-rojizo. El mineral más común de este grupo llamado genéricamente "limonitas" es la goethita, FeO (OH).

En climas muy áridos (desierto de Atacama, Chile; *Outback* australiano), esta serie de reacciones puede quedar interrumpida dando origen a sulfatos férricos tales como jarosita, copiapita o coquimbita.

A pesar de que estas reacciones pueden dar a entender que suceden en condiciones puramente inorgánicas, el entorno biológico juega un papel decisivo. La bacteria *Thibacillus ferrooxidans* es la mayor responsable de la contaminación relacionada con el drenaje ácido procedente de explotaciones mineras y mineralizaciones en general. Esta es una bacteria acidófila (propia de ambiente ácido), con una fisiología basada en la fijación de carbono a partir del CO_2 atmosférico, siendo por lo tanto estrictamente

Tesis publicada con autorización del autor
No olvide citar esta tesis
UNFV

autótrofa, y más específicamente quimioautótrofa. *T. ferrooxidans* obtiene su energía oxidando hierro o azufre:

$$Fe^{2+} + 0{,}25\ O_2 + H^+ \rightarrow Fe^{3+} + 0{,}5\ H_2O$$

$$H_2S + 2\ O_2 \rightarrow SO_4^{2-} + 2\ H^+$$

De esta manera, la bacteria cataliza reacciones del tipo:

$$FeS_2 + 3{,}5\ O_2 + H_2O \rightarrow Fe^{2+} + 2\ SO_4^{2-} + H^+$$

$$2\ Fe^{2+} + 0{,}5\ O_2 + 2\ H^+ \rightarrow 2\ Fe^{3+} + H_2O$$

Estas reacciones se pueden dar con el resto de sulfuros metálicos, aunque con variaciones menores que implican otros productos más o menos solubles en cada caso.

Como resultado se obtienen aguas de pH muy bajo (2-3), cargadas en sales, sobre todo en sulfatos, en las que normalmente son más solubles los metales pesados, como Pb, Zn, Cu, As, Cd, etc. Una excepción importante a tener en cuenta es el mercurio, que en medio ácido sulfúrico es insoluble, debido a que el sulfato de mercurio es insoluble en agua, precipitando en formar de schuetteita.

Otro factor importante es la granulometría del material, cuanto menor es el tamaño de grano de las partículas, mayor es la superficie específica, y por tanto, mayor la posibilidad de que se produzcan estas reacciones. Sobre esta base, las balsas de finos (*relaves*) son excelentes candidatos al desarrollo del fenómeno, siempre y cuando además presenten una porosidad y permeabilidad suficientes como para permitir la entrada y salida de aguas.

Las condiciones hidrológicas de la zona, por su parte, son siempre un factor a tener muy en cuenta: disponibilidad del agua, temperatura, composición, etc. Suelen estar relacionadas con factores climáticos: pluviosidad, temperaturas medias y su

Tesis publicada con autorización del autor
No olvide citar esta tesis
UNFV

distribución: los ciclos muy continuos de mojado-secado favorecen mucho el fenómeno, por ejemplo.

La mineralogía de las rocas encajantes, o de la ganga, puede jugar también un papel importante en el desarrollo de estos fenómenos. En este campo los carbonatos juegan un papel especialmente importante, por su potencial natural de neutralización de la acidez generada por este proceso.

Una cuestión importante es establecer las posibilidades de formación del fenómeno en cada caso concreto: la prevención del mismo. Para ello se emplean consideraciones teóricas más o menos complejas, o pruebas, que pueden ser estáticas o cinéticas.

- ✓ Las consideraciones teóricas se basan en el estudio de la problemática concreta que plantea la mineralización en lo que se refiere a:

  - ➢ Presencia de sulfuros: qué tipo de sulfuros, en qué proporciones relativas. Por ejemplo, en ausencia de pirita los procesos de lixiviación son poco importantes.

  - ➢ Presencia de minerales con potencial neutralizador, fundamentalmente los carbonatos, como ya se ha mencionado: tipo de carbonato(s), proporción, distribución.

  - ➢ Granulometría del material susceptible de producir el proceso. Por ejemplo, una balsa de finos presenta en general una baja permeabilidad, lo que dificulta el paso de las reacciones y el oxígeno a los niveles inferiores.

Tesis publicada con autorización del autor
No olvide citar esta tesis
UNFV

- Consideraciones climáticas. Por ejemplo, un clima frío ralentiza las reacciones, uno cálido las acelera. Lluvias muy abundantes diluyen a las soluciones, la ausencia casi total de lluvias impide la existencia de éstas.

- Presencia de bacterias que puedan favorecer aún más el desarrollo del proceso.

✓ Las pruebas pueden ser, como ya se ha comentado, estáticas o cinéticas:

- Las pruebas estáticas tienen por objeto fundamental conocer la capacidad de neutralización real que tienen los carbonatos de las muestras de la propia mineralización. Estas se basan en determinar, mediante distintas alternativas, los potenciales de acidez y de neutralización. Para ello se emplean técnicas analíticas (determinación del contenido en azufre y carbonatos) y reacciones controladas en el laboratorio. En éstas se procede a la adición de ácidos sobre muestras-patrón, lo que permite obtener un conocimiento directo de la capacidad de la muestra de generar la acidez y como neutralizarla.

- Las pruebas cinéticas se diferencian de las estáticas en que intentan aproximarse aún más a las condiciones naturales. Requieren mayores volúmenes de muestra, y mayores tiempos de reacción, así como condiciones termodinámicas y biológicas controladas.

2.1.4. Estándares de Calidad o Control Ambiental

En lo referente al control de la calidad de las aguas relacionadas con el proceso minero, es fundamental tener en cuenta las dos vertientes principales de la contaminación: Primero, la que se deriva de los vertidos directos desde las instalaciones como aguas de mina o de mineralurgia y metalurgia, que es en todo caso controlable; y segundo la que se deriva de la contaminación de las aguas, como consecuencia del

Tesis publicada con autorización del autor
No olvide citar esta tesis
UNFV

contacto directo entre las aguas naturales y los productos de la actividad minera, lo cual es mucho más difícil de controlar.

El control de las emisiones de aguas a los cauces fluviales viene regulado por ley, que fija las características físico-químicas que deben tener las aguas residuales de cualquier actividad industrial. En sentido tenemos por ejemplo en la tabla adjunta los límites establecidos en España referidos a la emisión de metales pesados. El "límite canon" se refiere a un límite que puede superarse, pero a cambio del pago de un canon (Higueras, 2008).

Tabla 4: Límites de vertido máximo para iones metálicos pesados en España (mg/l)

Elemento	Límite máximo	Límite canon
Arsénico	1	0.5
Cadmio	0.5	0.1
Cinc	20	3
Cobre	10	0.2
Cromo (III)	4	2
Cromo (VI)	0.5	0.2
Estaño	10	10
Níquel	10	2
Mercurio	0.1	0.05
Plomo	0.5	0.2
Selenio	0.1	0.03

FUENTE: Higueras 2008.

En cuanto al manejo, éste pasa fundamentalmente por el control de la emisión de lixiviados. Este es un factor al que en general se ha prestado muy poca atención, y al que en muchos países se sigue sin prestársela. En concreto, el principal problema lo plantea la acción de la intemperie sobre las escombreras (*mineral dumps*), lo que lleva a la infiltración en las mismas del agua de lluvia y el desencadenamiento de fenómenos de acidificación y disolución de componentes indeseables. Estos contaminan

Tesis publicada con autorización del autor
No olvide citar esta tesis
UNFV

posteriormente tanto las aguas superficiales como las subterráneas a través de fenómenos de infiltración. En la actualidad este problema se conoce bien y se intenta minimizar mediante técnicas tales como la disposición de escombreras sobre cubiertas impermeables, lo que permitan controlar las aguas que se infiltran en las mismas; o también la rápida restauración de los terrenos afectados, de forma que cuanto antes la escombrera quede recubierta, evitando su contacto directo con el aire y las aguas superficiales.

En el Perú, por ejemplo, tenemos problemas semejantes por la presencia de un sinnúmero de escombreras que producen drenaje ácido de mina, sin que pueda establecerse al causante o a quien reclamar la solución del mismo. En países como España algunas escombreras pueden datar del período Romano. A nivel mundial la asunción por los organismos e instituciones nacionales o regionales de la responsabilidad correspondiente implicaría la necesidad de afrontar un gasto muy considerable para solucionar esta cuestión, aunque creemos necesario que este compromiso es ineludible, una de las formas de ir solucionando estos problemas es la restauración de las escombreras y su aislamiento, entre materiales impermeables y/o aislantes desde el punto de vista físico-químico. Los trabajos no pueden circunscribirse tan solo a la escombrera, sino también deben abarcar el tema de los cursos de agua que se hayan visto afectados durante el proceso de lixiviación. Esto constituye, evidentemente, un serio problema de presupuesto, especialmente en determinadas áreas en las que existe un elevado número de explotaciones en la actualidad abandonadas.

2.2. Caracterización ambiental

2.2.1. Ambiente físico

En este capítulo se realizará una síntesis de las condiciones ambientales, presentes en la zona de estudio describiendo el Ambiente Físico como es la Topografía,

Tesis publicada con autorización del autor
No olvide citar esta tesis
UNFV

Clima y Meteorología, Geología, Geomorfología, Suelos, Hidrografía e Hidrología de acuerdo a la ubicación de la zona de estudio (ver Mapa Nº 01).

✓ Topografía y relieve del área de estudio

La topografía de la zona de estudio y parte donde se encuentra asentado el centro poblado de Cerro de Pasco, corresponden a terrenos semi planos y allanados por actividades antrópicas, se observa la con presencia de desmonte en la parte Oeste y Norte (Botaderos de Miraflores y Rumiallana, respectivamente), en la parte Sur Oeste el Botadero Excelsior (Pasivo Ambiental de CENTROMIN) lo que da una apariencia de pequeñas colinas artificiales y la presencia de una gran depresión hecha por el hombre que corresponde al Tajo abierto Raúl Rojas. Existen formaciones de terrenos planos con pendientes suaves a medianas y ligeramente ondulados ocupados por la zona urbana fuera del área de estudio hacia el lado Sur Este, que ocupan la parte alta de la quebrada Quiulacocha. Hacia la parte media baja se encuentra una llanura con presencia de relaves mineros, la presa de relaves e Quiulacocha Pasivo Ambiental de CENTROMIN, (ver Mapa Nº 07).

Existen sectores muy próximos al radio urbano, alternando llanuras y colinas con pequeños declives. En dirección Este y Norte se ven agudos picos que alcanzan los 4400 m.s.n.m., y pertenecen a las cordilleras que dominan los bordes de la meseta andina, compuestas por la cordillera la cordillera oriental. A nivel local hacia el lado Oeste franjas de colinas casi paralelas dividen y aíslan la Quebrada Ocroyoc (donde se ubica la presa de relaves). Hacia el lado Sur la quebrada Quiulacocha se constituye en el punto de desfogue o descarga de las aguas pluviales y efluentes de origen minero, que derivan por los canales margen izquierda y margen derecha de esta quebrada.

Tesis publicada con autorización del autor
No olvide citar esta tesis
UNFV

El entorno general del proyecto ocupa la cabecera de la Quebrada Quiulacocha, y la cadena montañosa al norte y este constituye la divisoria de aguas entre la Microcuenca Tingopalca (cuenca del Huallaga) y La Microcuenca Quiulacocha como aportante de la Microcuenca del Río San Juan (Cuenca del Mantaro), de manera general conforman territorios con fuerte presencia de actividad antrópica, minería y pastoreo.

✓ Geomorfología

La superficie presenta relieves muy accidentados. En la zona se halla la formación morfológica denominada "Nudo de Pasco", que es un centro de dispersión de aguas (*Divortium aquarium*), en cuyas vertientes nacen los ríos Huallaga y Mantaro. La ciudad de Cerro de Pasco se halla sobre el extremo Norte de la Meseta de Bombón, extensa altiplanicie ligeramente ondulada que se prolonga hasta el departamento de Junín (Ver mapa Nº 05).

En la zona de estudio LAUGHLIN, D.H. (1924) reconoció extensas áreas en las alturas andinas representadas por superficies de erosión a las que denomina Superficie Puna, así mismo reconoció dos períodos de erosión: Estadio Chacra o Valle, con levantamiento de 500 metros de elevación y Estadio Cañón con una elevación aproximada de 1500 m. Las unidades geomorfológicas del área de estudio han sido delimitadas considerando criterios geográficos, morfoestructurales y litológicos. A nivel local considerando la descripción anterior y observaciones en campo se ha diferenciado las siguientes unidades geomorfológicas.

- Unidades geomorfológicas
- Superficie Puna

Tesis publicada con autorización del autor
No olvide citar esta tesis
UNFV

A nivel del cuadrángulo de Cerro de Pasco, esta superficie es madura, descansa y reposa sobre los esquistos del Grupo Excélsior, así como en rocas mesozoicas y pudiendo correlacionarse con una Superficie Eocena, que se encuentra por debajo del Grupo Calipuy. A una escala local es la unidad geomorfológica que ocupa toda la extensión del área del proyecto, presentando colinas y montañas con elevaciones de 20 a 1000 m de altura, con superficies con de pasturas deterioradas alternado con superficies rocosas y pendientes de 20 a 50% de pendientes.

- Etapa Valle o Altiplanicies Ondulada

Constituye altiplanicies onduladas, con llanuras entre 4 y 15 % de pendientes, en el entorno del proyecto y fuera del área de influencia directa del proyecto corresponden a las formaciones del río San Juan y sus tributarios, como en la quebrada Quiulacocha y Ocroyoc, donde se enmarca el ámbito de las operaciones mineras de la UEA-CP. Esta tiene un origen glaciar y fluvioglaciar con deposiciones morrénicas glaciares, alternado con conformaciones estructurales de origen antropogénico.

- Depósitos Morrénicos o Altiplanicies Disecta

Son superficies ligeramente planas con pendientes entre 15 y 25%, plana con tierras altas que alcanzan una altura promedio de 4,300 m.s.n.m. Está moderadamente circundada por una cadena de cerros dentados que forman la divisoria continental, su origen reside en deposiciones morrénicas erosionadas, siendo cubierta en la parte baja con depósitos glaciares que forman las grandes morrenas. En el área de influencia del estudio ocupan los fondos de la quebrada Ocroyoc y la quebrada o microcuenca del río Cucalhuain.

Tesis p
No olvide citar esta tesis

✓ Geología

El marco geológico regional está conformado por rocas sedimentarias cuyas edades van desde el Paleozoico (grupo Excelsior y Mitu), Triásico-Jurásico (grupo Pucará), Cretácico (grupo Machay) y terciario (Capas Rojas).

El fracturamiento del área, en su mayoría, enrumba entre Norte magnético 95º y 135º Este, representando de esta manera fracturas reconocidas en número de nueve, con rumbo general Norte-Sur, que son de importancia regional, con potencia promedio de cada veta o fractura de 3,5 metros.

La superficie presenta relieves muy accidentados. En la zona se halla la formación morfológica denominada "Nudo de Pasco", que es un centro de dispersión de aguas (Divortium Aquarium), en cuyas vertientes nacen los ríos Huallaga, Mantaro, Pachitea.

La secuencia sedimentaria se encuentra fallada y plegada según lineamientos andinos (NO). Sobre el eje de la falla longitudinal Cerro de Pasco se emplazó el cuello volcánico del mismo nombre el cual a su vez ha sido intruido por cuerpos hipobisales y subvolcánicos áridos (pórfido Monzonitico cuarcífero, aglomerado Rumiallana). La descripción gráfica de la geología regional y local, ver Mapa 04.

➢ Geología local

El distrito minero de Cerro de Pasco, donde se ubica las concesiones mineras de la UEA Cerro de Pasco, ha estado sometida a diferentes esfuerzos compresivos, los que han actuado en diferentes épocas y han desarrollado distintos conjuntos de fracturas.

Tesis publicada con autorización del autor
No olvide citar esta tesis
UNFV

El fracturamiento del área, en su mayoría, enrumba entre Norte magnético 95º y 135º Este, representando de esta manera fracturas reconocidas en número de nueve, con rumbo general Norte-Sur, que son de importancia regional, con potencia promedio de cada veta o fractura de 3.5 metros.

La uniformidad de las calizas y la falta de horizontes guías bien definidos, hacen difícil determinar desplazamientos significativos. Por consiguiente, las vetas como las estructuras que se observan, en su mayoría, no tienen la categoría de fallas.

- Mineralización

La estructura principal de la mineralización en el distrito minero, es el cuello volcánico de Cerro de Pasco. Este cuello que es de edad Terciaria, se encuentra en el anticlinal principal, cuyo eje enrumba en dirección Norte-Sur. Aquí en el mismo eje, buza en ambas direcciones. El afloramiento de este cuello, tiene la forma de elipse con diámetro de 2.3 y 2.5 Km., cuyo eje mayor sigue el rumbo del anticlinal principal. Las partes Este y Sur del cuello están ocupadas por un yacimiento coniforme de Pb, Zn, Ag y Cu, que alcanza una profundidad de 700 metros. Consta de un cuerpo de Pb-Zn masiva, y está rodeado de un cuerpo mayor de pirita silicificada. En este yacimiento se encuentran cuellos secundarios de pirrotita.

En la parte Norte del yacimiento de Cerro de Pasco, se ubican una serie de fracturas de Norte-Sur. La formación de estas fracturas aparentemente está relacionada a rotación de fuerzas tectónicas de compresión que han formado ligeros plegamientos transversales de dirección Este-Oeste.

Tesis publicada con autorización del autor
No olvide citar esta tesis
UNFV

Como guías tectónicas de la mineralización se observa este fracturamiento principal y sus intersecciones, pero también el plegamiento transversal. Como guías petrográficas favorables resultan calizas espáticas y bancos delgados de calizas.

- Anomalía Marcapunta-Colquijirca (Au, Cu, Pb, As, Sb, Hg, Ag)

Está ubicada en el distrito minero de Colquijirca, donde afloran los grupos Cabanillas (Excelsior), Mitu, Pucará, y las formaciones Pocobamba, Calera y los domos subvolcánicos de Marcapunta**.** Estructuralmente se tienen las fallas Cerro de Pasco y San Juan. En esta área se encuentran las minas de Marcapunta y Colquijirca, por lo que se considera a estas muestras como contaminadas.

El contraste geoquímico en esta área anómala es fuerte en Au, Cu, Pb, As, Sb, Hg, y moderado en Ag. Posiblemente estos resultados pueden estar ligados a la franja de depósitos polimetálicos asociados a diatremas volcánicos del Mioceno.

- Anomalía Cerro de Pasco (Pb, Zn, Au, Hg, As, Sb, Ag, Cu)

Esta anomalía está ubicada al norte y noreste de Cerro de Pasco.

En ella afloran los grupos Cabanillas (Excelsior), Mitu, Pucará, Goyllarisquizga y la Formación Chayllacatana. Estas unidades estratigráficas están afectadas por las fallas de Cerro de Pasco y el sistema de fallas Atacocha-Milpo-Ninacaca. En esta área se encuentran las minas El Pilar y Milpo, por ello, estas muestras estarían también contaminados.

El contraste geoquímico en esta área anómala es fuerte en Pb, Zn, Au, Hg, As, Sb, y moderado en Ag y Cu; de esta manera, esta anomalía estaría ligada a la franja de depósitos polimetálicos en skarn, cuerpos y vetas del Oligoceno.

Tesis publicada con autorización del autor
No olvide citar esta tesis
UNFV

✓ Suelos

Los suelos del área de estudio, son suelos perturbados por acción antrópica minera de las diferentes empresas que han operado en el área, el crecimiento urbano desordenado a ha contribuido también con la pérdida de calidad de suelos del lugar.

De manera general y de acuerdo al Mapa de Suelos del Perú (INRENA 1996), en el entorno del proyecto existe una asociación predominante y otras dos en las proximidades, constituyendo 3 asociaciones de suelos conformadas por cuatro unidades de suelos.

Según las descripciones del INRENA y las observaciones realizadas en cortes de carretera en la zona. El área del proyecto está inmerso en las asociaciones:

- Regosol dístrico – Cambisol dístrico

Los Regosoles districos pueden ser encontrados en las partes bajas o profundas de los quebradas, como las zonas poco intervenidas de las quebradas de Ocroyoc, Quiulacocha y Tingopalca, está conformada por sedimentos de naturaleza coluvio aluviales o de sedimentos aluviales antiguos o subrecientes, principalmente arcillitas. Presentan un perfil AC sin desarrollo genético, con un epipedón ócrico como único horizonte de diagnóstico. Son suelos profundos, con escasos fragmentos gruesos, los que se incrementan a partir de los 50 a 70 cm de profundidad. Son suelos de reacción acida, con escasa cantidad de materia orgánica (aprox. 2%)

Los cambisoles districo, son suelos profundos de naturaleza aluvial de procesos recientes y antiguos, así como de materiales residuales de arcillitas, arenizcas y lutitas.

Tesis publicada con autorización del autor
No olvide citar esta tesis
UNFV

Con perfil ABC, con un epipedón ocrito y un horizonte subsuperficial B. Son de reacción ácida.

- Leptosol dístrico – Andosol Vitrico

Los leptosoles districos, son suelos superficiales ubicados en relieves abruptos, con pendientes mayores a 60%, desarrollado a partir de materiales de diversa naturaleza. Presenta un perfil AC y ACR, cuyo horizonte A es muy delgado, con una reacción acida. Son suelos esqueléticos en su profundidad, por la presencia de roca dura y continua.

Los andosoles vítricos, son suelos profundos caracterizados por presentar perfiles AC o ABC, con un epipedón móllico como horizonte de diagnóstico (topsoil orgánico que alcanza hasta los 30 cm de profundidad), El horizonte C es estratificado por diferentes grados de descomposición. El color varía desde pardo oscuro a pardo grisáceo-. La textura es gruesa con predominio de la textura franco arenosa. De reacción ácida a neutra, con un pH que oscila entre 6 y 7. Con un perfil AC sin desarrollo genético, de textura media, son suelos profundos con escasos fragmentos gruesos, de reacción ácida.

- Leptosol dístrico - Cambisol dístrico –Regosol dístrito

Esta asociación está conformada por unidades ya descritas, predominando en la parte Norte del are de influencia del proyecto.

- ✓ Clases de Suelo por su Capacidad de Uso Mayor

De acuerdo al mapa de capacidad de uso mayor de las tierras, elaborado por INRENA 2000, (ver Mapa 02), el área del proyecto se enmarca en una asociación P3sec- Xse, y una segunda P2sc – Xse que circunda la parte sur y oeste de la anterior, las mismas que están conformadas por tres sub-unidades:

Clasificacion:

Tesis publicada con autorización del autor
No olvide citar esta tesis

- P3sec – Xse: Tierras de pastoreo, con calidad agrológica baja, asociada con protección y limitadas por el uso de suelo, erosión y clima.
- P2sc – Xse: Tierras de pastoreo, de calidad agrológica media, asociada con protección y con limitaciones por suelo y clima.
- P3sec : Comprende tierras de calidad agrológica baja, está conformada por suelos moderadamente profundos a superficiales, en fase por pendiente fuertemente inclinada a moderadamente empinada (8 – 15 %), textura media a fina; con reacción muy fuerte a moderadamente ácida; fertilidad natural baja; con drenaje natural bueno a moderado, en algunos sectores puede llegar a ser imperfecto. Sus limitaciones están referidas principalmente a los factores edáficos, topográficos y climáticos.
- P2sc: Comprende tierras de calidad agrológica media, conformada por suelos moderadamente profundos a profundos, de textura media a fina, con reacción acida, fertilidad media a baja, con drenaje natural bueno a moderado. Sus limitaciones están referidas principalmente a factores edáficos y climáticos.
- Xse: Incluye aquellas tierras con limitaciones edáficas, climáticas y topográficas extremas que las hacen inapropiadas para la explotación agropecuaria y forestal, quedando relegadas para otros propósitos, como por ejemplo áreas recreacionales, zonas de protección de vida silvestre, plantaciones forestales con fines de protección de cuencas, lugares de belleza escénica. Se ha determinado las Unidades de Tierras de Protección.

La capacidad de uso mayor de los suelos descritos, han sido modificados progresivamente por el crecimiento urbano asociado a la actividad minera, sin embargo estas asociaciones pueden verse en áreas alejadas al área del proyecto.

Tesis publicada con autorización del autor
No olvide citar esta tesis
UNFV

El uso actual del suelo dentro de las áreas de propiedad superficial de la empresa es netamente minero, las áreas circundantes han sido paulatinamente ocupadas con fines urbanísticos, a pesar de la precaria situación respecto a ordenamiento, servicios y saneamiento. Las áreas con fines agropecuarios, están restringidos a la parte sur oeste (parte baja del Río San Juan) del emplazamiento minero, en zonas alejadas del casco urbano de la ciudad de Cerro de Pasco.

- Clima y Meteorología

El clima de Pasco en general es frío, seco en las altas cumbres y punas, con temperaturas bajo cero durante las noches que se alternan con días soleados. La humedad relativa es alta. El clima frígido se localiza al lado oeste de Pasco entre altitudes de 4 000 a 5 000 m.s.n.m.

La ciudad de Cerro de Pasco cuenta también con presencia permanente de lluvias durante las estaciones de otoño, primavera y verano, además de presentar una amplitud térmica moderada.

La evaluación climática a través de análisis de parámetros meteorológicos registrados busca lograr un conocimiento aproximado sobre el comportamiento de las condiciones del tiempo de la cuenca atmosférica en que está inmerso el ámbito del proyecto

El ámbito del estudio comprende en parte el área urbana y periurbana de la ciudad de Cerro de Pasco, morfológicamente es un área con incesante actividad antrópica sobre una zona montañosa con modificaciones en su topografía y su paisaje, constituye además la naciente de las cuencas del Mantaro y Huallaga. El clima de esta región según la clasificación de W. Thorntwaite, corresponde al tipo húmedo-frígido, con períodos casi carentes de lluvias, durante el otoño y el invierno.

Tesis publicada con autorización del autor
No olvide citar esta tesis
UNFV

Para el análisis, se ha utilizado la información recopilada de una estación meteorológica de Cerro de Pasco (SENAMHI), perteneciente a la parte alta de la Cuenca del Río Mantaro.

- Precipitación

La precipitación se origina como consecuencia de la condensación de las masas de aire tropical provenientes de la Región Amazónica, los cuales son transportados y llevados sobre la Cordillera de los Andes por los vientos de Noroeste. Este fenómeno se acentúa durante el verano austral en que la Zona de Convergencia Intertropical se desplaza hacia el sur. La ocurrencia de este fenómeno a lo largo del año es irregular, presentándose los valores más altos en el periodo de octubre a marzo y los más bajos de mayo a agosto.

A altitudes superiores a los 4000 m.s.n.m., se presentan precipitaciones líquidas principalmente, y sólidas (nieve y granizo). La distribución espacial altitudinal de la precipitación en el ámbito del proyecto, a partir del análisis de datos de 10 estaciones meteorológicas, que el comportamiento de la precipitación tiene poca variación hasta altitudes de 4200 a 4400 m.s.n.m., a partir de los cuales se presenta una tendencia creciente, llegando a alcanzar precipitaciones de hasta 1500 mm/año por encima de altitudes de 4600 m.s.n.m. Temporalmente, la precipitación varía a lo largo de cada año, presentándose los períodos húmedos o de mayores precipitaciones entre los meses de octubre a abril y las menores entre junio y julio. (Walsh-Perú, 2002).

Datos históricos (desde 2008 al 2016) registrados en la estación meteorológica Cerro de Pasco:

- Precipitación media mensual : 78.68 mm

Tesis publicada con autorización del autor
No olvide citar esta tesis
UNFV

- Precipitación máxima mensual : 179.59 mm

- Precipitación mínima mensual : 9.07 mm

Tabla 5: Precipitación Total Mensual (mm)

AÑO	ENERO	FEBRERO	MARZO	ABRIL	MAYO	JUNIO	JULIO	AGOSTO	SETIEMBRE	OCTUBRE	NOVIEMBRE
2008	135.8	94.1	50.2	63.7	11.6	26.8	6.2	13.2	58.4	103.3	68.8
2009	119.4	116.4	188.2	54.2	34.7	30.3	23	58.8	21.4	68.8	135.4
2010	178	123.3	126.5	59.9	17	2	9.6	0	23.7	101.2	73.1
2011	165.8	164	149.3	65.7	25.6	0	15.6	12.9	60.3	74	76.5
2012	152.6	166.6	88.4	104.7	44.2	16.6	5.7	7.3	53.6	106.8	116.7
2013	190.4	134.7	177	85.3	46.7	26.6	21.4	35.6	52.5	168.3	77.8
2014	200	165.2	156	71.1	45.2	22	19.7	8.3	73.7	63.4	92.9
2015	139	65	130.5	98	43.1	15.7	19.5	8.9	56.6	76.3	124.4
2016	87.7	164.6	107	76.2	23.7	20	9.7	33.5	32.7	S/D	S/D

Fuente: SENAMHI.
*S/D: Sin dato

Tabla 6: Valores Máximos, Mínimos y Promedios de Precipitación (mm)

Año	Máximo	Mínimo	Promedio
2008	135.8	6.2	59.59
2009	213	21.4	88.63
2010	178	0	69.53
2011	191.7	0	83.45
2012	203.8	5.7	88.92
2013	190.4	21.4	94.63
2014	200	8.3	86.87
2015	139	8.9	74.83
2016	164.6	9.7	61.68
Valor promedio	179.59	9.07	78.68

Fuente: SENAMHI.

➢ Temperatura

Este parámetro tiene relación inversa con la altitud, es decir a mayores altitudes se tienen temperaturas menores. La temperatura del aire es un elemento que presenta variación temporal y espacial. Los factores que modifican estas variaciones en la temperatura son los movimientos de rotación y traslación de la tierra, lo cual da origen al ciclo anual y la amplitud de las ondas térmicas de variación temporal. La amplitud de estas ondas es alterada por otros factores como la naturaleza física del medio o

Tesis publicada con autorización del autor
No olvide citar esta tesis
UNFV

superficie sobre la cual incide la radiación solar, masas de aire, nubosidad y transparencia atmosférica, relieve, etc.

La temperatura media anual en el entorno del proyecto, según los registros de la estación Cerro de Pasco entre los años 2008 y 2016, es de 5.31 °C, presentándose los valores menores en el mes de Julio (4.28 °C, mínima media mensual) y los mayores en el mes de enero (6,3°C, máxima media mensual).

Tabla 7: Temperatura Media Mensual (ºC)

Año	ENERO	FEBRERO	MARZO	ABRIL	MAYO	JUNIO	JULIO	AGOSTO	SETIEMBRE	OCTUBRE	NOVIEMBRE
2008	5.04	4.98	4.91	4.93	4.57	4.28	4.03	4.81	4.87	5.5	6.07
2009	5.26	5.19	4.96	5.29	4.88	4.54	4.08	4.66	5.68	5.67	6.38
2010	5.78	6.53	6.52	6.36	6.32	5.04	5.17	4.76	5.33	5.78	5.73
2011	5.12	4.6	5.11	4.95	5.26	5.03	4.4	5.28	4.87	5.68	6.33
2012	5.49	5.18	5.13	5.04	4.99	4.06	4.04	4.32	4.22	5.56	5.77
2013	5.94	S/D	5.67	5.71	5.58	4.27	3.66	4.26	5.15	5.52	S/D
2014	5.3	5.44	5.34	5.06	5.6	4.95	4.23	4.18	4.85	4.92	6
2015	4.85	6.02	5.59	5.44	5.49	4.9	4.69	5.17	6.04	6.04	6.31
2016	6.91	6.64	6.51	6.6	6.4	4.73	4.69	5.24	5.31	S/D	S/D

Fuente: SENAMHI.
*S/D: Sin dato

Tabla 8: Valores Máximos, Mínimos y Promedios de temperatura (ºC)

Año	Máximo	Mínimo	Promedio
2008	6.07	4.03	4.97
2009	6.38	4.08	5.19
2010	6.53	4.76	5.73
2011	6.33	4.4	5.16
2012	5.77	4.04	4.94
2013	6.12	3.66	5.19
2014	6.27	4.18	5.18
2015	6.31	4.69	5.52
2016	6.91	4.69	5.89
Valor promedio	6.30	4.28	5.31

Fuente: SENAMHI.

Tesis publicada con autorización del autor
No olvide citar esta tesis
UNFV

- Humedad Relativa

La humedad relativa promedio en la zona del proyecto, según la información generada en la estación Cerro de Pasco es de 83.78%, presentándose la máxima humedad relativa promedio en 85.61% y la mínima en 82.09%.

Tabla 9: Humedad Relativa Media Mensual (%)

AÑO	ENERO	FEBRERO	MARZO	ABRIL	MAYO	JUNIO	JULIO	AGOSTO	SETIEMBRE	OCTUBRE	NOVIEMBRE
2008	85.55	84.62	84.06	83.66	82.64	82.31	82.24	80.01	81.16	81.81	80.08
2009	83.04	83.85	84.35	83.15	82.86	82.17	83.4	82.2	80.84	81.2	80.74
2010	82.89	80.59	80.67	79.85	78.49	80.94	78.41	78.89	79.73	78.36	80.05
2011	83.39	83.38	82.65	81.91	80.08	80	82.81	83.17	84.61	82.75	82.5
2012	84.25	85.03	85.2	85.99	83.5	84.04	83.21	82.54	84.66	84.15	S/D
2013	84.29	S/D	85.89	86.55	84.91	87.26	87.25	86.22	85.2	85.49	S/D
2014	85.51	85.43	85.63	85.69	84.48	85.04	84.87	85.43	85.34	86.32	85.67
2015	87.62	86.03	86.47	86.95	85.87	85.82	84.87	84.62	84.62	85.16	85.44
2016	84.06	S/D	85.68	84.63	84.6	85.51	84.22	85.07	85.38	S/D	S/D

Fuente: SENAMHI.
*S/D: Sin dato

Tabla 10: Valores Máximos, Mínimos y Promedios de la humedad (%)

Año	Máximo	Mínimo	Promedio
2008	85.55	80.01	82.45
2009	84.35	80.74	82.59
2010	82.89	78.36	80.10
2011	84.73	80	82.67
2012	86.1	82.54	84.42
2013	87.26	84.03	85.71
2014	86.32	84.48	85.34
2015	87.62	84.62	85.81
2016	85.68	84.06	84.89
Valor promedio	85.61	82.09	83.78

Fuente: SENAMHI.

- Dirección y Velocidad de Viento

El comportamiento de los vientos registrado en la estación Cerro de Pasco, varía en el rango de 1.5 a 3.3 m/s. Los valores más altos se presentan de manera variable durante los meses de Julio a Octubre, descendiendo ligeramente en el periodo de Enero a Mayo. El valor promedio mínimo corresponde a 1.63 m/s y el valor promedio máximo a 2.62 m/s. La dirección predominante corresponde a Nor-Este.

Tesis publicada con autorización del autor
No olvide citar esta tesis
UNFV

Tabla 11: Viento media mensual (m/s)

Año	ENERO	FEBRERO	MARZO	ABRIL	MAYO	JUNIO	JULIO	AGOSTO	SETIEMBRE	OCTUBRE	NOVIEMBRE
2008	1.6	1.8	2	1.9	1.6	1.9	2.1	2.5	1.9	1.5	2
2009	1.7	1.8	1.6	2.1	1.9	2.5	3	2.3	2.4	2.1	1.5
2010	2	2.3	2.2	2.5	2.5	2.4	2.8	3.3	2.7	2.7	2.7
2011	2	1.8	1.9	1.7	1.7	2.4	2.6	3.1	2.4	2	2.1
2012	1.6	1.4	2.1	1.5	2	2.2	2.2	2.2	2.3	2.1	1.8
2013	1.9	1.8	1.7	2	1.8	2.3	2.1	2.1	2.2	1.7	2.3
2014	1.8	1.5	1.9	1.9	1.9	1.9	2.4	2.3	2.3	2.1	2.1
2015	2	1.8	1.8	2.1	1.8	2	2.2	2.3	2.2	2.1	1.9
2016	2	1.9	1.9	1.6	1.9	2.1	2.4	2.3	2.3	S/D	S/D

Fuente: SENAMHI.
*S/D: Sin dato

Tabla 12 Valores Máximos, Mínimos y Promedios anual del viento

Año	Máximo	Mínimo	Promedio
2008	2.5	1.5	1.88
2009	3	1.5	2.03
2010	3.3	2	2.53
2011	3.1	1.7	2.14
2012	2.3	1.4	1.93
2013	2.3	1.7	2.00
2014	2.4	1.5	2.02
2015	2.3	1.8	2.03
2016	2.4	1.6	2.04
Valor promedio	2.62	1.63	2.07

Fuente: SENAMHI.

✓ Hidrografía e hidrología

El área del proyecto se encuentra en una cabecera de cuenca, y regionalmente en el accidente topográfico del Nudo de Pasco, constituyen la divisoria continental de las aguas superficiales en la Región Central del Perú, en nuestro caso contribuye con aguas a dos cuencas, el drenaje característico en la región es el dendrítico y aportan las escorrentías hacia las cuencas del río Huallaga que discurre hacia el Noreste (la subcuenca del río Tingo forma parte de esta cuenca) y la cuenca del Alto Mantaro que comprende las subcuencas del el río San Juan y la del lago Junín (Chinchaycocha), que

Tesis publicada con autorización del autor
No olvide citar esta tesis
UNFV

discurre hacia el Suroeste. El principal río del área es el río San Juan que se encuentra ubicado aproximadamente a 7 km. En línea recta del principal punto de descarga de efluentes, en dirección Sur Oeste; existiendo también las quebradas Ocroyoc y Quiulacocha, tributarias izquierda del mencionado río, que se encuentran en el entorno del área de estudio, (ver Mapa 03).

El caudal promedio registrado para el río San Juan está en aproximadamente 3.20 m^3/seg (equivalente a 3200 l/seg), donde los vertidos de los efluentes industriales de la UEA-CP, la quebrada Quiulacocha que recibe la mayor parte de drenajes de la ciudad de Cerro de Pasco presenta un caudal de 0.95 m^3/seg (o 950 l/s), (EIA, MINEC, 2008).

- Hidrografía del Río San Juan

La Subcuenca hidrográfica del río San Juan tiene una extensión superficial de aproximadamente 2,800 $Km^{2,}$ desde su naciente hasta la represa Upamayo donde confluye con el lago Junín. El río San Juan nace en la laguna Gorgorín a los 4,350 m.s.n.m.

El río San Juan toma este nombre desde el punto de confluencia de los ríos Macairumi y Alcacocha, siguiendo luego su recorrido en dirección Sur. El río Alcacocha tiene sus nacientes en la laguna del mismo nombre, la cual presenta un área de cuenca receptora de aguas de escorrentía superficial, equivalente a 8.5 km^2, de acuerdo a datos consignados en el "Inventario de Lagunas y Represamientos" publicado por la ONERN en 1980.

Tesis publicada con autorización del autor
No olvide citar esta tesis
UNFV

Las descargas del río San Juan se originan en las precipitaciones que ocurren en su cuenca durante el periodo de lluvias. Durante el periodo seco, las descargas muestran cierta regularidad debido principalmente al deshielo de los nevados y a las descargas de las lagunas Alcococha y Punrun en la parte alta de la cuenca.

La micro-cuenca de la quebrada Quiulacocha o también denominada microcuenca del río Ragra, situada al Oeste de la localidad de Cerro de Pasco, forma parte de la cuenca del río San Juan, siendo su extensión superficial igual a 25.9 Km^2, y sus partes más elevadas se sitúan alrededor de los 4400 m.s.n.m. En sus nacientes, se tiene a las lagunas de Shegueyalcan y Quiulacocha, en la actualidad éstas y otras lagunas como Yanamate, constituyen pasivos ambientales de CENTROMIN-Perú y UEA-Cerro de Pasco. Es importante señalar que las aguas residuales de la población de Cerro de Pasco son eliminadas a las canales que discurren por esta quebrada, entre los que fluyen los efluentes de la zona industrial de Paragsha, (EIA, MINEC, 2008).

✓ Ambiente biológico

Uno de los objetivos del presente estudio es elaborar el inventario de los recursos naturales de la zona de estudio, para esto se ha tomado como referencia información bibliográfica existente con el fin de tener un adecuado control de los recursos naturales de la zona de estudio.

Con esto se tendrá una apreciación de los posibles impactos a este recurso natural con el desarrollo de las operaciones minero-metalúrgico del Proyecto, se evaluará también los costos ambientales de los recursos naturales y por ende se podrá sugerir y elaborar estrategias para una adecuada conservación de los recursos naturales y restitución durante la ejecución del Plan de Cierre, (EIA, MINEC, 2008).

Tesis publicada con autorización del autor
No olvide citar esta tesis
UNFV

✓ Ecosistemas

Ubicado en ecosistemas de altas montañas, el área del proyecto ha sufrido una modificación y estructuración por presencia de la actividad minera desde tiempos ancestrales, habiendo jugado además un rol importante en el establecimiento de sucesiones vegetales presentes hoy solo en las zonas periféricas del área del proyecto, las que tienen una contribución especial en la presencia de poblaciones animales.

De acuerdo al Mapa Ecológico del Perú ONERN (1976), la UEA-CP se encuentra en la zona de vida "Páramo Muy Húmedo – Subalpino Tropical", (ver Mapa 06). La Biotemperatura media anual máxima es de 6 °C y la media anual mínima es de 3.8°C. El promedio máximo de precipitaciones total por año es de 1,254.8 milímetros y el promedio mínimo es de 584.2 milímetros.

El convenio RAMSAR, el cual ha sido firmado y ratificado por el Perú, reconoce para la región altoandina ecosistemas de humedales de altas montañas entre ellos: glaciares, lagunas, bofedales (turberas) y pajonales, los cuales son ecosistemas muy sensibles y de gran importancia por los servicios ambientales que proporcionan a la poblaciones de la partes bajas de las Cuencas del Mantaro y Huallaga, sin duda los más importantes son la retención y captación de agua. Las transiciones de césped de puna y pajonales con fuerte grado de deterioro caracterizan la vegetación en las zonas externas del área de la unidad, la que además ha sufrido fuerte presión del pastoreo y el crecimiento urbano-rural no planificado.

Las poblaciones de fauna silvestre, principalmente mamíferos, han sido desplazadas por la introducción de especies domesticadas, aunque algunas de estas, afirman los pobladores, pueden ser vistas esporádicamente, la fauna terrestre característica está

Tesis publicada con autorización del autor
No olvide citar esta tesis

constituida por especies de ganado nativo como camélidos y ganado introducido como vacunos, ovinos y porcinos. La fuerte presión de la actividad minera local y regional sobre el recurso hídrico ha reducido las especies de fauna acuáticas registradas para la zona, las poblaciones de peces y anfibios son casi inexistentes en el área del proyecto y en sus alrededores, (EIA, MINEC, 2008).

- Formas de vida

Durante los muestreos no se evidencio la presencia de vertebrados como peces y anfibios, aunque pobladores de la zona afirman la presencia de peces, probablemente *Orestias gynnotus* "challhuas" aguas arriba de la descarga de la aguas de Cerro de Pasco, a través de la Quebrada Quiulacocha, en el río San Juan.

- Vegetación y Comunidades

Las comunidades vegetales han sido caracterizadas y descritas por Tovar (1990) en su estudio Tipos de vegetación, diversidad florística y estado de conservación de la cuenca del Río Mantaro, distinguiéndose un piso bioclimático y su vegetación característica, Piso Altoandino o Puna Inferior, la que muestra transiciones con los pisos Puna superior y Mesoandino Superior. Las comunidades descritas por Tovar corresponden a zonas con poca intervención humana y en donde se puede distinguir ciertas formas aun silvestres de los elementos que se menciona a continuación, algunos de ellos aun forma parte de la vegetación presente en los alrededores del área del proyecto (Ver mapa Nº 08).

En el pajonal denso con oconales y césped de puna, la vegetación está constituida principalmente por extensos pajonales amacollados y secundariamente por césped de puna y turberas u oconales. Las especies que se mencionan a continuación en cada una de las formaciones o comunidades vegetales que se indican, son especies

Tesis publicada con autorización del autor
No olvide citar esta tesis
UNFV

potencialmente presentes en el área del proyecto.

Entre los pajonales, asociaciones de gramíneas, de hojas rígidas enrolladas y punzantes conocidas con el nombre vernacular de "ichu", ocupan suelos de suave pendiente y laderas de cerros. Se han registrados la siguientes especies: *Calamagrostis rígida* "ichu", *Calamagrostis recta*, *Calamagrostis antoniana* "huaylla-ichu", Festuca *dolicophylla* "chillhua-ichu", *Festuca webwebaueri*, *Festuca rigescens*, *Stipa ichu* "peckoy", *Stipa obtusa* "usa-ichu", además en el estrato existen otras gramíneas y hierbas dicotiledóneas de hojas suaves.

Los Oconales o Turberas, conocidas también como bofedales, son los lugares húmedos o parcialmente anegados, siendo la especies dominante *Distichia muscoides*, que forman grandes almohadillados planos convexos muy compactos, asociados a *Plantago rigida* "champa estrella", y gramíneas como *Calamagrostis jamesoni*, *Calamagrostis rigescens*, *Calamagrostis chrysantha*, *Calamagrostis eminens* "sora-sora", *Hypochoeris taraxacoides*, *Wernería pygmaea*, *Hypsiella reniformes*, entre otras.

El Césped de puna tiene por característica una vegetación baja siendo el elemento dominante *Calamagrostis vicunarum* "crespillo", esta vegetación se encuentra alternando con el tipo pajonal, siendo las principales especies *Scirpus rigidus* "chipuelo", *Agrostis breviculmis*, *Dissalthelium calycinum*, *Stipa brachyphilla*, *Alchemilla pinnata* "sillu pilli", *Geranium sessiliflori* "putki", *Werneria nubigena*, *Trifolium amabile* y las de porte almohadillado, *Achiane pulvinata*, "paco champa", *Tephrocactus flocosus* "huarajo-quichca", *Azorella diapensoides* "yarita" y arbustos como *Chuquiraga spinosa* "huamanpinta", *Baccharis tricuneata* "taya" y *Astragalus garbancillo* "Garbancillo". En las lagunas o charcas son frecuentes *Myriophillum quitense* "yacu hinojo" *Potamogeton pu*nae, *Alopecurus hitchcocki*, *Lilaeopus andina*, *Isoetes lecheri*, *Alchemilla diplophilla*, y *Chara sp*, (EIA, MINEC, 2008).

Tesis publicada con autorización del autor
No olvide citar esta tesis
UNFV

2.2.1. Ambiente socioeconómico

✓ Ambiente social

La Provincia de Pasco ha venido experimentando variaciones temporales desde el inicio de la actividad minera en la zona. Estas variaciones se dice que son constantes debido a la oferta de trabajo por parte de las empresas mineras que se han asentado en el lugar durante los últimos 50 años, lo que hace que poblaciones de diversas zonas del país migren hacia la ciudad en busca de un puesto de trabajo.

Este componente permite caracterizar las diferentes variables sociales de la población, en especial de los centros poblados del entorno del Proyecto, como son los distritos de Simón Bolívar, Yanacancha y Chaupimarca, con la finalidad de conocer las posibilidades de desarrollo y los posibles beneficios directos e indirectos que traerá la ejecución del Proyecto.

✓ Características de la Población

➢ Tamaño de la Población

El Instituto Nacional de Estadística e Informática, en su proyección al año 2015, estimó una población de 304 158 habitantes para el Departamento de Pasco. Para ese mismo año, la provincia de Pasco tiene una población de 157310 habitantes, representando el 51.7% de la población del departamento. Asimismo, se aprecia una tendencia ligera de crecimiento de la población de la provincia, que pasa de 155358 habitantes en el 2010 a 157310 al año 2015 pero a comparación del resto de las provincias, Pasco tiene la mayor tasa de crecimiento que se refleja en el número significativo de la población.

Tesis publicada con autorización del autor
No olvide citar esta tesis
UNFV

Tabla 13: Pasco: Población provincial, 2010-2015

	2010	2011	2012	2013	2014	2015
Departamento de Pasco	292 955	295 315	297 591	299 807	301 988	304 158
Provincia de Pasco	155 358	155 837	156 259	156 636	156 981	157 310

Fuente: Instituto Nacional de Estadística e Informática

A nivel de todo el Departamento, la Provincia de Pasco se encuentra en segundo lugar con una superficie poblacional de 4759 Km^2, pero presenta la mayor cantidad de Distritos (13), lo que hace posible alcanzar una mayor densidad poblacional por Kilómetro cuadrado.

Tabla 14: Pasco: superficie y población, 2015

Provincia	Nº distritos	Superficie (km^2)	Población 1/
Pasco	13	4 759	157 310
Oxapampa	8	18 674	93 201
Daniel Alcides Carrión	8	1 887	53 647
TOTAL	29	25 320	304 158

1/ Proyectada al 30 de junio de 2015.
FUENTE: Instituto Nacional de Estadística e Informática (Pasco: Compendio Estadístico 2010).

La Provincia de Pasco ocupa el primer lugar con el mayor número de población, según la Proyección al 2015 (INEI), el cual se distribuye en sus trece Distritos, de los cuales los que tienen mayor población son Yanacancha (30 595 hab.), Chaupimarca (26 444 hab.), Paucartambo (23 972 hab.), Simón Bolívar (12193 hab.), y Ticlacayan (12 420 hab.), los cuales representan el 67.3% de la población total de la provincia.

Tesis publicada con autorización del autor
No olvide citar esta tesis
UNFV

Tabla 15: Pasco: Población al 2014 según provincia y distritos

Provincial y Distrital		Total
Provincia	Pasco	156 981
Distritos	Chaupimarca	26 444
	Huachón	4 716
	Huariaca	8 259
	Huayllay	11 363
	Ninacaca	3 485
	Pallanchacra	4 791
	Paucartambo	23 972
	San Fco. De Asís	10 115
	Simón Bolívar	12 193
	Ticlacayán	12 420
	Tinyahuarco	6272
	Vicco	2356
	Yanacancha	30 595

Fuente: INEI, Dirección nacional de Encuestas, Dirección Técnica de Demografía e Indicadores Sociales

- ✓ Distribución de la Población
  - ➢ Residencia Urbana – Rural

De acuerdo al censo del 2007 (INEI), la población de la Provincia de Pasco cuenta con 280 449 habitantes. La población urbana cuenta con 173 593 habitantes, y está representado por el 61.9%, mientras la población rural tiene 106 859 habitantes y representa el 38.1%. El mayor porcentaje de la zona urbana, se debería principalmente a la actividad minera, ya que la ciudad (la capital de provincia) se desarrolló a partir del lugar o centro de operaciones de extracción minera, asimismo, por las migraciones producidas por la oferta de trabajo en la zona.

Tesis publicada con autorización del autor
No olvide citar esta tesis
UNFV

- Urbanización

Si bien es cierto, parte de la zona de estudio donde se desarrolla la investigación está comprendido dentro de un ámbito urbano, también sabemos que a nivel de la provincia, lo más relevante en número son las unidades agropecuarias y los caseríos. Sin embargo, por ser Pasco, la provincia y la que cuenta con mayor población y mayor número de migrantes, tiene un significativo número de pueblos jóvenes o asentamientos humanos, mediante la toma o "invasión de terrenos"; de igual manera, son los denominados barrios o cuarteles, los cuales también surgieron por la masiva migración tanto del campo como de otros lugares o zonas del país. En general, la provincia cuenta con el mayor número o es el más representativo del departamento en todas las categorías de centros poblados, según se especifica en la siguiente tabla:

Tabla 16: Pasco: AA.HH por fecha de reconocimiento – 1999

Nombre	Asentamientos Humanos	
	Ubicación Distrital	Fecha de Reconocimiento
José Carlos Mariátegui	Simón Bolívar	1982
César Córdova Sinche	Chaupimarca	1985
Aa. Hh Acobamba	Huariaca	1983
Columna Pasco	Yanacancha	1981
Víctor Arias Vicuña	Chaupimarca	1983
Pp.Jj. Tupac Amaru	Chaupimarca	1978
Aa.Hh Yanacocha	Huariaca	1983
Aa.Hh Uliachín	Chaupimarca	1978
Aa.Hh. Tahuantisuyo	Chaupimarca	1981
Aa.Hh Víctor Raúl Haya De La Torre	Yanacancha	1984
Aa.Hh Daniel Alcides Carrión	Yanacancha	1993
Aa.Hh Luis Negreiros Vega	Huayllay	1986
Aa.Hh Arturo Robles Morales	Yanacancha	1995
Aa.Hh Miguel Bravo Quispe	Chaupimarca	1996
Aa.Hh Próceres	Yanacancha	1994
Aa.Hh Santa Rosa	Chaupimarca	1997
Aa.Hh Techo Propio	Yanacancha	1995
Aa. Hh Cajamarquilla	Yanacancha	1998

Tesis publicada con autorización del autor
No olvide citar esta tesis
UNFV

Asoc. Prov. Gerardo Patiño López	Yanacancha	1989
Asoc. Prov. San Martín De Porras	Yanacancha	1989
Asoc. Pro Viv. Los Trabaj. Undac	Chaupimarca	1983
Asoc. Pro Viv. San Sebastián	Chaupimarca	1993
Asoc. Pro Viv. Gregorio Cornelio	Yanacancha	1991
Asoc. Pro Viv. 27 De Noviembre	Yanacancha	1993
Asoc. Pro Viv. De Trabaj. De Salud	Chaupimarca	1995
Asoc. Prov. Viv. Trabaj. Reg Agraria	Yanacancha	1983
Asoc. Pro Viv. Huaricapcha	Chaupimarca	1996

Fuente: Municipalidad Provincial de Pasco – Oficina de Asentamientos Humanos.

- ✓ Infraestructura y servicios
  - ➢ Abastecimiento de Agua y Disposición Sanitaria.

Dentro de la Provincia de Pasco, los Distritos que están relacionados directamente con el Trabajo de Investigación son Chaupimarca, Yanacancha, Simon Bolivar y Tinyahuarco, quienes presentan las siguientes características en cuanto a los sistemas de abastecimiento de agua potable, Chaupimarca cuenta con red pública dentro y fuera de la vivienda en un 88.6%, Yanacancha con 75.3 %, Simón Bolívar con 77.0% y Tinyahuarco solo con el 48.3%. Las demás viviendas se abastecen por otro tipo de fuente como cisterna, pozo, río y otros.

Tabla 17: Servicio de agua potable y otros

Servicios	Distritos							
	Tinyahuarco		Chaupimarca		Yanacancha		Simon Bolívar	
	V	O	V	O	V	O	V	O
Red pública dentro de la vivienda (A.P)	858	3768	3230	13985	3886	16866	1012	4213
Red pública fuera de la vivienda pero dentro de la edificación.	293	1311	1625	7026	1329	5675	536	2053
Pilón de uso público (A.P)	25	113	259	1046	198	813	193	739
Camión Cisterna.	3	12	203	836	32	111	3	5

Tesis publicada con autorización del autor
No olvide citar esta tesis
UNFV

Pozo	11	42	56	197	64	263	91	333
Rio, acequia, manantial o similar.	54	238	60	271	897	3730	1218	5038
Vecino	30	93	699	2778	247	957	82	286
Otro	25	80	310	1272	114	443	70	306
Total	1299	5657	6442	27411	6767	28858	3205	12973

V: Vivienda, O: Ocupantes

Fuente: INEI

En cuanto a los Servicios de Saneamiento básico para cada uno de los Distritos antes mencionados, tenemos para quienes hacen uso de la red pública de desagüe dentro y fuera de la vivienda como Chaupimarca con el 63.8%, Yanacancha con el 56.9%, Simon Bolivar con el 72.6% y finalmente Tinyahuarco con el 52.2%. Las demás viviendas hacen otro tipo de uso como pozo séptico, pozo ciego, letrina, acequia y otros.

Tabla 18: Servicio de disposición sanitaria

Servicios	Distritos							
	Tinyahuarco		Chaupimarca		Yanacancha		Simon Bolívar	
	V	O	V	O	V	O	V	O
Red pública de desagüe (Dentro de la vivienda)	628	2756	3124	13132	3764	16248	931	3796
Red pública de desagüe (fuera de la vivienda pero dentro de la edificación)	201	909	1391	5914	1153	4842	741	3040
Pozo Séptico	86	396	87	430	65	313	79	300

Tesis publicada con autorización del autor
No olvide citar esta tesis
UNFV

Pozo ciego o negro/letrina.	54	241	112	518	93	409	241	1102
Rio, acequia o canal.	11	53	65	279	406	1739	146	612
No tiene	319	1302	1663	7138	1286	5307	1067	4123
Total	1299	5657	6442	27411	6767	28858	3205	12973

V: Vivienda, O: Ocupantes

Fuente: INEI

- Abastecimiento de Energía Eléctrica y Alumbrado Público

En lo referente al servicio de alumbrado eléctrico, se tienen las siguientes modalidades: público, residencial, comercial e industrial. Este servicio es brindado por la Empresa Electrocentro con su unidad operativa Cerro de Pasco. En cuanto a la población que cuenta con el servicio de alumbrado público sólo es el 66% y el 34% no cuenta con este servicio.

En cuanto a los Distritos relacionados directamente con el trabajo de investigación y que cuentan con alumbrado eléctrico son Tinyahuarco con el 78.2%, Chaupimarca con 95.6%, Yanacancha con 90.3% y Simon Bolivar con 83.8% (INEI- 2007).

Tabla 19: Servicio de alumbrado eléctrico

Servicios		Distritos							
		Tinyahuarco		Chaupimarca		Yanacancha		Simon Bolívar	
		V	O	V	O	V	O	V	O
Alumbrado Eléctrico	Sí	1016	4490	6157	26209	6113	26223	2688	10973
	No	283	1167	285	1202	654	2635	517	2000
Total		1299	5657	6442	27411	6767	28858	3205	12973

V: Vivienda, O: Ocupantes

Fuente: INEI.

Tesis publicada con autorización del autor
No olvide citar esta tesis
UNFV

- Servicios de Telefonía y Redes

La Ciudad de Cerro de Pasco se encuentra fuertemente articulado por ende ha logrado importancia en función a su ubicación geográfica que por su carácter estratégico constituye un punto central a toda la provincia a través de la Carretera Central. En cuanto a medios de comunicación, la Ciudad de Cerro de Pasco cuenta con servicio de telefonía fija, teléfono celular, telefonía comunitaria, centrales telefónicas, telefonía pública, servicio de fax, telegrafía e Internet por medio de Telefónica del Perú. También existe señal de televisión de aproximadamente 4 canales, asimismo tiene la señal de diez emisoras radiales de la zona; en AM y FM respectivamente; así como también recibe señal de emisoras de la capital peruana vía satélite como Radio Programas del Perú y Radio Nacional, entre las más importantes.

En cuanto a los Distritos relacionados directamente con el Trabajo de Investigación tenemos que el servicio de telefonía fija para Tinyahuarco es del 34.1%, para Chaupimarca del 11.1%, para Yanacancha del 20.8% y Simón Bolívar del 4.6%.

Tabla 20: Servicio de telefonía y redes

Servicios	Distritos							
	Tinyahuarco		Chaupimarca		Yanacancha		Simon Bolívar	
	H	O	H	O	H	O	H	O
Teléfono Fijo	465	763	748	3346	1412	6089	153	678
Teléfono Celular	832	3596	4249	17620	4561	18259	2089	8540
Conexión Internet	11	44	147	664	307	1329	29	120
Conexión Cable	426	1951	1193	5165	2094	8668	495	2089
Ninguno	401	1494	2187	8550	2197	8367	1122	4067
Total	1360	5657	6715	27411	6767	28858	3307	12973

H: Hogares, O: Ocupantes

Fuente: INEI.

Tesis publicada con autorización del autor
No olvide citar esta tesis
UNFV

✓ Patrimonio Cultural y Turístico

La ciudad de Cerro de Pasco se encuentra a escasas ocho horas de la capital de la República viajando en las 35 diferentes empresas de transporte interdepartamental cuyo recorrido diario en diferentes horarios que se encuentran a disposición y al escoger del viajero y/o turista. La potencialidad de la ciudad se encuentra en sus recursos naturales, diversas festividades durante el años y recursos turísticos. En el recorrido uno puede visitar las diversas lagunas con criaderos de trucha, los cuales pueden ser disfrutado en diversos platos típicos, asimismo, visitar las diversas instalaciones de centros mineros, restos arqueológicos, el centro histórico de la Ciudad de Cerro de Pasco, nevados, paisajes pintorescos, aguas termales, museos, arte rupestre, etc. Entre las principales festividades tenemos los siguientes:

- Semana Turística de Pasco (25 – 26 de Noviembre) – Cerro de Pasco.
- Festival Ecoturístico "Ruraltour Huayllay" (1 y 2 de Setiembre) – Huayllay.
- Semana Turística de Huariaca (25 y 25 de junio) – Huariaca.

El turismo está limitado. Las razones de esta situación son diversas, pero se ha de resaltar la escasa inversión por parte del Estado y por ende la escasa propaganda de las diversas festividades y/o restos arqueológicos, el cual provoca la escasa existencia de servicios para tal fin.

✓ Marco Institucional

En la ciudad de Cerro de Pasco son varias las organizaciones gubernamentales y no gubernamentales que están íntimamente relacionadas con la administración, investigación, educación, manejo y aplicación de políticas sectoriales. La

Tesis publicada con autorización del autor
No olvide citar esta tesis
UNFV

administración pública en lo referente a gobiernos locales está representada por los municipios distritales que en su interior tiene a las DEMUNAS y la gobernación del distrito. El Sector Salud ejerce su administración sectorial a través de El Hospital Regional y los centros de salud y a través de Essalud con sus hospitales regionales. El Sector de Transportes y Comunicaciones tiene su sede administrativa en la Ciudad de Cerro de Pasco y de otro lado la jefatura de línea de la Policía Nacional del Perú a través de la Prefectura con delegaciones policiales y comisarías, que cuenta con unidades de patrullaje y control de carreteras con sede en la misma ciudad (SEPOCAR). La administración de justicia es realizada en la ciudad a través de la Fiscalía y juzgados sub sedes del Ministerio Público y de Justicia.

En el Sector de la Minería la ciudad de Cerro de Pasco cuenta con la Dirección Regional de Energía y Minas de Pasco. También se pueden encontrar algunos comedores populares y organizaciones de Vasos de Leche que dependen en gran medida del Municipio de la ciudad y del PRONAA. También a su vez cuenta con Organizaciones No Gubernamentales que vienen trabajando conjuntamente con la población y el Municipio en cuanto requerimientos que el Estado Peruano no puede resolver, entre las principales tenemos a la ONGs Labor y el servicio de alumbrado público y domiciliario es brindado por EMAPA. Asimismo, se encuentran las Direcciones Regionales de Agricultura, Industria y Turismo, Pesquería, Trabajo y Promoción Social. Entre otros organismos estatales tenemos a SENASA, PRONAMACHS, la Sociedad Nacional de Beneficencia Pública, El Instituto Peruano del Deporte, RENIEC, SUNAT. El Ejército Peruano también tiene sus instalaciones en la ciudad de Cerro de Pasco. Finalmente las instituciones que también cuentan con sucursales en la ciudad de Cerro de Pasco son la ONPE, ONP, INEI, ODEI, FONCODES, PROMUDEH, la Compañía de Bomberos Salvadora Cosmopolita y colegios profesionales.

Tesis publicada con autorización del autor
No olvide citar esta tesis
UNFV

Tabla 21: Pasco: índice de competitividad regional (en detalle, 2015)

Instituciones/Indicadores	Valor	Puesto de 24
Ejecución de la inversión pública	71,4 %	19
Contrataciones públicas	63,8 %	7
Percepción de la gestión pública	55,1 %	3
Conflictos sociales	5,0	12
Criminalidad (número de denuncias de delitos por cada mil habitantes)	2,6	3
Homicidios (número de homicidios por cada mil habitantes)	5,0	10
Presencia policial (número de policías por cada 100 mil habitantes)	13,0	11
Resolución de expedientes judiciales	77,2 %	24

Fuente: Instituto Peruano de Economía (IPE)

- ✓ Servicios sociales
  - ➢ Salud

La provincia de Pasco cuenta con el servicio de dos Hospitales que corresponde a ESSALUD, uno en la ciudad de Pasco, considerado como nivel II y el otro en el distrito de Huariaca de nivel I. Cada uno se encuentra implementado con instrumento de observación hospitalaria que a su vez cuentan con laboratorios, equipos de rayos X, equipos de cómputo, entre otros servicios. No se cuenta con información acerca de la existencia de postas médicas o centros de salud por cada distrito de la provincia de Pasco. A continuación se muestran los indicadores para la Provincia de Pasco relacionados a la Esperanza de vida, Mortalidad Infantil, Desnutrición Crónica, Morbilidad, etc., así como el puesto que ocupa de 24 considerados, en relación a cada uno de los indicadores.

Tabla 22: Pasco: índice de competitividad regional (en detalle, 2015)

Salud/Indicadores	Valor	Puesto de 24
Esperanza de vida al nacer	71,8	16
Mortalidad infantil	32,0	18
Desnutrición crónica	19,8 %	17
Morbilidad	70,4 %	18
Cobertura del personal médico (núm. med. por c/10 mil hab.)	6,8	18
Cobertura hospitalaria (núm. hosp. Por c/100 mil hab.)	2,3	7
Partos institucionales	79,7 %	19
Acceso a seguro de salud	64,6 %	12

Fuente: Instituto Peruano de Economía (IPE)

Tesis publicada con autorización del autor
No olvide citar esta tesis
UNFV

- Educación

Pasco cuenta con una de las principales universidades nacionales del Perú, la Universidad Nacional Daniel A. Carrión, alberga aproximadamente 7900 alumnos distribuidos en 6 Facultades y 18 carreras Profesionales, así mismo presenta una plana Docente de aproximadamente 464 Profesores distribuidos en las 6 facultades respectivamente (Educación y Comunicación Social, Ciencias Económicas Contables y Administrativas, Ingeniería, Ciencias Agropecuarias, Ciencias de la Salud y Escuela de Post – Grado). El número de Docentes en todos los niveles en la provincia de Pasco es de aproximadamente 3647 (Primaria, Secundaria y Superior).

En relación a la población que cuenta con Educación Secundaria representan el 42.1%, y su índice de Analfabetismo es del 6.2%, el porcentaje de asistencia a los colegios primarios y secundarios es de aproximadamente el 90%.

Tabla 23: Pasco: Índice de competitividad regional (en detalle, 2015)

Educación/Indicadores	Valor	Puesto de 24
Analfabetismo	6,2 %	11
Asistencia escolar en inicial	73,4 %	18
Asistencia escolar en primaria	93,4 %	15
Asistencia escolar en secundaria	84,9 %	10
Población con educación secundaria	42,1 %	13
Rendimiento en lectura	43,2 %	8
Rendimiento en matemática	32,0 %	6
Colegios con acceso a internet	16,1 %	16

Fuente: Instituto Peruano de Economía (IPE)

- Entorno económico

El presente estudio tiene como finalidad describir específicamente el uso actual del suelo del entorno del Proyecto, así como también las principales actividades económicas dentro de las cuales destaca nítidamente la actividad minera.

Tesis publicada con autorización del autor
No olvide citar esta tesis
UNFV

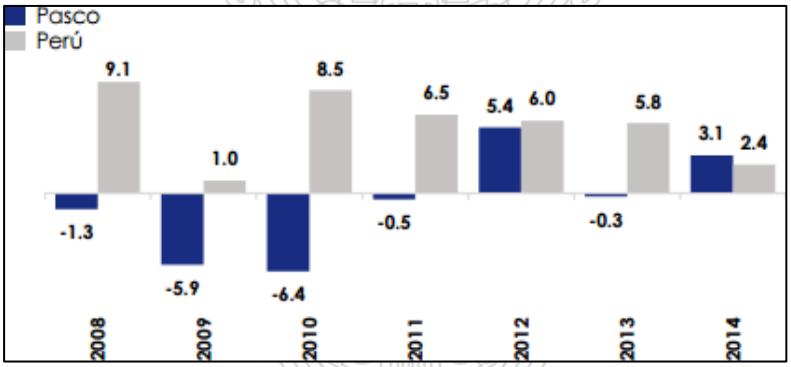
Tabla 24: Pasco: índice de competitividad regional (en detalle, 2015)

Entorno Económico/Indicadores	Valor	Puesto de 24
Producto bruto interno real (millones de soles del 2007)	S/. 4 993	16
Producto bruto interno real per cápita Stock de capital por trabajador	S/. 16 653	7
Presupuesto público per cápita	S/. 31 675	6
Gastos por hogar mensual	S/. 4 382	11
Incremento del gasto real por hogar	S/. 1 132	21
Disponibilidad de servicios financieros (psto. atenc. x/c 100 mil adul)	-5,4 %	24
Acceso al crédito	137	16
	16,4%	20

Fuente: Instituto de Economía (IPE)

El incremento del PBI real 2008-2014 muestra una tendencia de lo negativo a positivo. Se llegó a pasar del -1.3 % en 2008, al 2.4 % en el 2014.

Grafica 1: Pasco: Crecimiento del PBI real, 2008-2014 (en %)

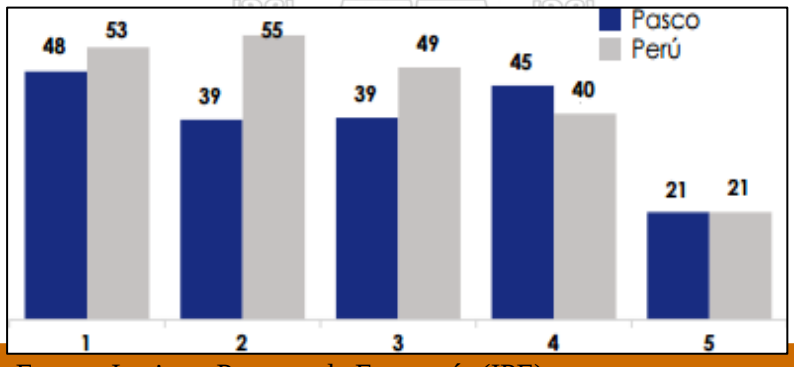


Fuente: Instituto Peruano de Economía (IPE)

A continuación se tiene la variación del ingreso real anual del hogar Pasqueño según quintiles.

Grafica 2: Variación del ingreso real anual del hogar según quintiles,

2004-2014 (en % por quintiles de ingreso, donde 1= más pobre)

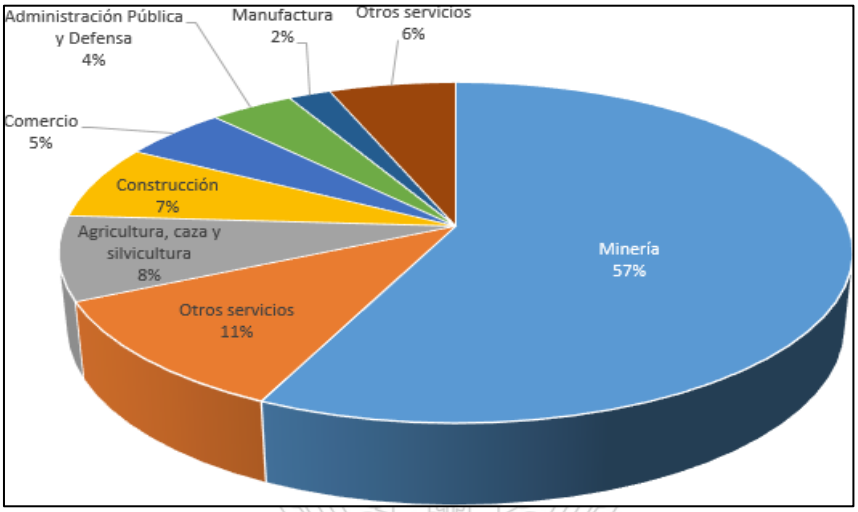


Fuente: Instituto Peruano de Economía (IPE)

Tesis publicada con autorización del autor
No olvide citar esta tesis
UNFV

Al interior de Pasco, la dinámica de la economía departamental se encuentra influenciada por el comportamiento de la minería, al contribuir con el 57 % al Valor Agregado Bruto (VAB) de 2014, seguido de los sectores de Comercio y Servicios (11 %), Agricultura, Ganadería, Caza y Silvicultura (8 %) y Construcción (7 %).

Gráfica 1: VAB por sectores 2014, (como % del total)



Fuente: Instituto de Economía (IPE)

✓ Principales Actividades Económicas

➢ Agropecuaria

La actividad agrícola es usufructuada por conductores directos que se hallan organizados en Juntas de Usuarios, Comités de Regantes y Comunidades Campesinas. En la provincia de Pasco, la mayor parte de productores agrícolas son varones y en cuanto a su condición de alfabetismo, se tiene una gran proporción de productores que saben leer y escribir, teniendo un bajo índice de productores analfabetos. Asimismo, los productores han alcanzado en su mayoría el nivel de educación primaria pero también se tiene población productora que ha alcanzado el nivel superior de estudios. En el uso de las tierras de cultivo se encuentran las siguientes modalidades: tierras de labranza, cultivos permanentes, cultivos asociados, pastos naturales cuyas superficies se

Tesis publicada con autorización del autor
No olvide citar esta tesis
UNFV

encuentran actualmente tanto en riego como en secano. Con respecto a la tenencia de estas tierras, tenemos dos formas: Formas simples (en propiedad, en arrendamiento, comunal, otra) y las Formas Mixtas. Aunque en la misma ciudad de Cerro de Pasco no se encuentran terrenos de cultivo los podemos encontrar en los distritos más alejados del centro de la ciudad como Pallanchacra, Huariaca y entre otros. Entre los principales cultivos tenemos los permanentes, entre ellos: papa, trigo, camote, cebada choclo, haba, maca, olluco, quinua, zapallo y ajo. Este último cultivo sólo es para autoconsumo.

En cuanto a la ganadería, la población está conformada por las siguientes especies: Ganado vacuno, ganado ovino, ganado porcino y ganado caprino. Esta actividad tiene poca asistencia técnica, la cual es otorgada principalmente por el Ministerio de Agricultura (FONAFOG), el cual brinda asesoría en dosificaciones, baños contra parásitos, vacunaciones, utilización de alimentos balanceados e inseminación artificial. Asimismo, para el desarrollo de esta actividad, se utiliza los pastos naturales en una proporción considerable, (EIA, MINEC, 2008).

- Pesca

Esta actividad está revistiendo una gran importancia en los últimos años en la economía tanto en la provincia de Pasco y sus distritos como en el resto del departamento. Se caracterizan especialmente por la crianza de truchas en centros piscícolas y piscigranjas ubicadas en las diversas lagunas ubicadas en los distritos de la provincia, estas a su vez pueden ser comunales, estatales y/o privadas, cuya producción es tanto para la comercialización como para el autoconsumo. Asimismo, esta actividad cuenta con Comités de Vigilancia de Recursos Hídricos e Hidrobiológicos para velar por la eficiente administración de estos centros. Los criaderos están conformados básicamente por estanques (que pueden ser de concreto, manpost. y atajo abierto) y jaulas no convencionales. La producción pesquera está obteniendo resultados impresionantes, al

Tesis publicada con autorización del autor
No olvide citar esta tesis
UNFV

III Trimestre del año 2000, se alcanzó una producción de 116 TN de carne y 5 TN de ovas aproximadamente. Aunque no se tiene la información de la población que se dedica a esta actividad, se presume que los agricultores de la zona y personas de otras índoles se están dedicando a esta tarea que está resultando rentable económicamente y socialmente, (EIA, MINEC, 2008).

- Minería

La ciudad de Cerro de Pasco cuenta con uno de los asentamientos mineros más importantes del país, el cual es también nuestra zona de estudio en el presente informe. Esta actividad fue desde los tiempos incaicos uno de los más trascendentales. Entre los principales minerales extraídos son el cobre, plomo, zinc, plata y en menor proporción, el oro. Actualmente, las empresas que hace unos años pertenecían al Estado pasaron a formar o ser parte de empresas privadas mediante el proceso de privatización de empresas estatales. En el departamento de Pasco podemos encontrar dos categorías de empresas mineras como: La Gran Minería a la cual pertenece la Minera Paragsha S.A., y la Minería Mediana con las empresas, Minera Atacocha, Milpo, El Brocal, Huarón y Chungar. La extracción de los metales antes mencionados son los que más beneficios han brindado a la ciudad.

El aprovechamiento de los recursos minerales ha tenido y tiene en Cerro de Pasco la viabilización y optimización del acceso al lugar, la comunicación y las facilidades operativas. Son por causa de estas que se ha establecido un amplio corredor económico entre la capital del país y las provincias del departamento, porque además de ser una de las ciudades que concentra mayor población de la provincia ha logrado importancia en función a su ubicación geográfica o al desarrollo de esta actividad productiva por ser la que genera el mayor número de empleos para la población, asimismo, el comercio y en

Tesis publicada con autorización del autor
No olvide citar esta tesis
UNFV

una menor proporción, el turismo. Esta misma actividad, contribuye, actualmente con el 62.2 % del PBI departamental hasta el año 1996, según datos del Instituto de Estadística e Informática (INEI). En la actualidad, las empresas mineras del departamento y en especial la empresa minera de Cerro de Pasco, han tomado conciencia de la importancia que tiene el cuidado y preservación del medio ambiente, motivo por el cual vienen invirtiendo en proyectos ambientales como es el Programa de Adecuación y Manejo Ambiental, establecido por el Ministerio de Energía y Minas, el cual viene dando óptimos resultados tanto para las empresas como para la población en su conjunto, (EIA, MINEC, 2008).

Tabla 25: Producción de s Minerales según Estratos a nivel de Empresas 1998 – 1999

Producto	Volumen De Producción									
	Cobre (T)		Plomo (T)		Zinc (T)		Plata (Kg)		Oro (Kg.)	
	1998	1999	1998	1999	1998	1999	1998	1999	1998	1999
Total Dpto.	3962	3061	125328	129417	338280	355295	410090	308167	306	324
Gran Minería										
Emp. Min. Paragsha	--	--	61711	60447	187295	186428	145519	152870	14	9
Mediana Minería										
Cía. Minera Atacocha	2643	2086	23354	29482	45341	48444	84406	98422	292	314
Cía. Minera Milpo	--	--	19031	22749	57418	68235	79925	87047	--	--
Cía. Minera El Brocal	505	569	15490	14753	37536	44813	63022	46746	--	--
Cía. Minera Huarón	561	280	3855	879	4081	--	33923	2362	--	--
Emp. Adm. Chungar	253	126	1887	1107	6609	7375	3295	10720	--	--

*/: Hasta setiembre de 1999, se denominó CENTROMIN PERU S.A. – Unidad Económica Administrativa Cerro de Pasco.

Fuente: dirección regional de energía y minas - Pasco.

- Actividades Comerciales

La actividad comercial se encuentra concentrada en la Ciudad de Cerro de Pasco siendo la intermediaria entre los distritos de la provincia y con el resto del departamento (s) de

Tesis publicada con autorización del autor
No olvide citar esta tesis
UNFV

la región y con la capital de la república. Esta actividad es más acentuada y de mayor flujo comercial en los distritos de Yanacancha y Chaupimarca por ser más próximos a la zona de operaciones mineras y que por su carácter estratégico constituyen un punto geográfico central a toda la provincia. En Cerro de Pasco se ha desarrollado en los últimos años la actividad comercial se ha incrementado considerablemente produciendo el crecimiento urbanístico, el cual ha concentrado una población de diferentes departamentos de la república, cuyos pobladores albergan han constituido pequeños negocios comerciales asociados a la actividad minera como ferreterías, tiendas de abarrotes, restaurantes, mercados y hoteles que aproximadamente alcanzan a 48 y generalmente a visitantes, proveedores y trabajadores eventuales de las diferentes minas de esta provincia y al flujo de turistas que recibe la zona durante las diversas festividades.

- Manufactura

En la ciudad de Pasco, la población en los últimos años, se están dedicando a la industria, mediante pequeñas y medianas empresas, los cuales contribuyen en mínima proporción a la economía de la región mediante la creación de puestos de trabajo, salarios y otros aspectos. Las principales actividades son la producción de helados, panadería, licores, tejidos de punto, prendas de vestir, calzados de cuero, muebles y accesorios de madera, impresiones, yeso, bloques de concreto, productos metálicos estructurados, baterías, etc. Todos estos productos se encuentran agrupados en los siguientes rubros: industria, comercio y artesanía.

- Finanzas

La ciudad de Cerro de Pasco cuenta también con diversas entidades financieras tales como bancos y financieras, que se mencionan a continuación: Banco de la Nación,

Tesis publicada con autorización del autor
No olvide citar esta tesis
UNFV

Continental y Crédito. Aunque la provincia de Pasco cuenta con afiliados a AFPS, no se encuentra en la ciudad agencia alguna en la jurisdicción.

- Empleo

De acuerdo al Instituto Peruano de Economía (IPE), en Pasco el nivel de ingresos por trabajo está en un promedio de S/. 858.00, mientras que solo el 35.8% gozan de un empleo adecuado, así mismo la creación de empleo se ha reducido en -5.4%, y existe un empleo informal del 79.8%.

Tabla 26: Pasco: índice de competitividad regional (en detalle, 2015)

Labora/Indicadores	Valor	Puesto de 24
Nivel de ingresos por trabajo	S/. 858	17
Brecha de género en ingresos laborales	41,6 %	20
Empleo adecuado	35,8 %	17
Educación de la fuerza laboral	28,1 %	9
Creación de empleo	-5,4 %	22
Empleo informal Desempleo juvenil	79,8 %	11
	11,9 %	20

Fuente: Instituto Peruano de Economía (IPE)

2.3. Marco conceptual

Para realizar una evaluación de las condiciones ambientales de las aguas superficiales en general se utilizan diversos parámetros fisicoquímicos y biológicos que a continuación se detallan:

2.3.1. Metal Pesado

Un metal pesado es un miembro de un grupo de elementos no muy bien definido que exhibe propiedades metálicas. Se incluyen principalmente metales de transición, algunos semimetales, lantánidos, y actínidos. Muchas definiciones diferentes han

Tesis publicada con autorización del autor
No olvide citar esta tesis
UNFV

propuesto basarse en la densidad, otras en el número atómico o peso atómico, y algunas en sus propiedades químicas o de toxicidad.

2.3.2. Drenajes Ácidos de Mina

Drenaje contaminado que resulta de la oxidación de minerales sulfurados y lixiviación de metales asociados, provenientes de las rocas sulfurosas cuando son expuestas al aire y al agua. El desarrollo del DAR es un proceso dependiente del tiempo y que involucra procesos de oxidación tanto química como biológica y fenómenos físico-químicos asociados, incluyendo la precipitación y el encapsulamiento.

2.3.3. Potencial de Hidrógenos (pH)

El término pH es una forma de expresar la concentración del ion Hidrógeno o, más exactamente, la actividad del ion hidrógeno.

En general se usa para expresar la intensidad de la condición ácida o alcalina de una solución, sin que esto quiera decir que mida la acidez total o alcalinidad total.

2.3.4. Conductividad Eléctrica (CE)

La conductividad del agua es una expresión numérica de su habilidad para transportar una corriente eléctrica, que depende de la concentración total de sustancias disueltas ionizadas en el agua y de la temperatura a la cual se haga la determinación. Por tanto, cualquier cambio en la cantidad de sustancias disueltas, en la movilidad de los iones disueltos y en su valencia, implica un cambio en la conductividad.

Tesis publicada con autorización del autor
No olvide citar esta tesis
UNFV

2.3.5. Oxígeno Disuelto (O.D)

El oxígeno disuelto es vital para mantener condiciones aeróbicas en aguas naturales que reciben materia polucionada. Los niveles de oxígeno disuelto en aguas naturales y residuales dependen de las actividades fisicoquímicas y bioquímicas que ocurren en el agua y su presencia en una condición fundamental para el desarrollo de la vida acuática, vegetal y animal y para evitar la descomposición anaeróbica de la materia orgánica.

Las fuentes de oxígeno en el agua son la aireación y la fotosíntesis de las algas. Su remoción se debe a la respiración de los vegetales, DBO de los materiales orgánicos y sedimentos de aireación, sobresaturación y reducción de inorgánicos. La concentración de saturación del oxígeno disuelto en el agua depende de varios factores especialmente la temperatura, presión y salinidad.

El análisis de oxígeno disuelto es una prueba clave en el control de la polución del agua y en el control de los procesos de tratamiento de aguas residuales.

2.3.6. Demanda Bioquímica de Oxígeno (D.B.O)

La demanda bioquímica de oxígeno informa sobre el consumo de oxígeno de un agua necesario para la degradación bioquímica de los componentes orgánicos por la acción de microorganismos, en general en un período de cinco días (a veces también para un número mayor o menor de días) y a oscuras.

2.3.7. Sólidos totales disueltos

Los sólidos totales disueltos (TDS) son el conjunto de minerales, sales, iones metálicos, u otra forma de compuestos catiónicos o aniónicos disueltos en agua. En este grupo se

Tesis publicada con autorización del autor
No olvide citar esta tesis
UNFV

incluyen elementos presentes en el agua que no sea molécula de agua pura y sólidos suspendidos. En términos generales, la concentración de sólidos disueltos totales viene a ser la suma de los cationes (cargados positivamente) y aniones (cargados negativamente) o iones totales en el agua.

2.3.8. Aceites y grasas

La fracción aceite y grasa de un agua residual o efluente industrial incorpora a compuestos grasos de origen vegetal o animal, hidrocarburos minerales compuestos. Hidrocarburos de Cl, N y P y otras especies orgánicas extractables en el solvente empleado como pigmentos. Su eliminación en el tratamiento de un agua residual o efluente debe ser completa por que alteran los procesos aerobios y anaerobios, forman películas que impiden el desarrollo de la fotosíntesis y cubren los fondos de lechos de ríos, lagos y mares degradando el ambiente.

2.3.9. Demanda química de oxigeno

Es un parámetro químico que mide la cantidad de compuestos capaces de ser oxidadas por medios químicos que pueden estar disueltas o suspendidas en una muestra líquida. Se usa con la finalidad de medir el grado de contaminación de una muestra y su expresión es en miligramos de oxígeno por litro (mg O_2/l). Si bien es cierto el método pretende medir principalmente concentraciones de materia orgánica, puede sufrir interferencias por la presencia de compuestos inorgánicos susceptibles a sufrir oxidación como por ejemplo la presencia de sulfuros, sulfitos, yoduros, etc, que también al final se cuantifica su valor.

Tesis publicada con autorización del autor
No olvide citar esta tesis
UNFV

2.3.10. Cianuro wad

Son formas de cianuro liberadas con un pH moderado (pH 4,5) como Ácido Cianhídrico (HCN) y Cianuro (CN) acuosos, la mayoría de los complejos de Plata, Cobre, Cadmio, Zinc y Níquel, y otros con constantes de disociación baja similares.

2.3.11. Nitratos

El Nitrato es un nutriente esencial para el desarrollo de especies vegetales terrestres y acuáticas, es un compuesto inorgánico formado por un átomo de nitrógeno (N) y tres átomos de oxígeno (O); el símbolo químico del nitrato es NO_3. El nitrato no es normalmente peligroso para la salud a menos que sea reducido a nitrito (NO_2). Es una sustancia que la tenemos presente en los cuerpos o ambientes naturales como el agua o el suelo, sus concentraciones son indicativos o resultado de su productividad natural, sin embargo estas pueden incrementarse cuando hay descargas de compuestos orgánicos u inorgánicos sobre los ambientes naturales antes mencionados. .

2.3.12. Fosfatos

Los fosfatos son sustancias esenciales de los seres vivos y además son nutrientes esenciales para las plantas tanto acuáticas como terrestres, también tienen aplicaciones a nivel industrial y como fertilizantes. Los vertimientos de fosfatos a las aguas naturales pueden causar eutrofización, pertenecen a un grupo muy complejo de minerales y tienen como característica común la presencia del anión $(PO4)^{3-}$, el más importante y abundante en rocas comunes, como fuente principal es el apatito.

2.3.13. Coliformes termotolerantes

Se conocen como coliformes termotolerantes a las bacterias del grupo de los coliformes totales que son capaces de fermentar lactosa a 44-45 °C. En la mayoría de las aguas

Tesis publicada con autorización del autor
No olvide citar esta tesis
UNFV

residuales domésticas y contaminadas, el género que predomina es *Escherichia*, pero hay otros tipos de bacterias de los géneros *Citrobacter*, *Klebsiella* y *Enterobacter* que también son termotolerantes. El *Escherichia coli* se puede diferenciar de los demás coliformes termotolerantes por su capacidad para generar indol a partir de triptófano o por la generación de la enzima β-glucuronidasa. El *Escherichia coli* está presente en concentraciones muy altas en las heces humanas y animales, y raramente se encuentra cuando no existe contaminación fecal.

2.4. Marco legal ambiental

La Constitución Política del Perú del año 1993. En el Capítulo I habla sobre los Derechos Fundamentales de toda Persona, en el artículo 2, inciso 22, indica que toda persona tiene derecho de gozar de un ambiente equilibrado y adecuado al desarrollo de la vida.

Decreto Legislativo Nº635, Código Penal del año 1991; menciona las penas privativas de libertad a las personas que descarguen, comercialicen o viertan desechos industriales o domésticos en zonas no autorizados, con mayor sanción si el causante es funcionario o servidor público.

Ley General de Salud Nº 26842, del año 1997. Se reconoce la responsabilidad del Estado frente al cuidado de la salud del ambiente. Así tenemos en el Artículo 96 del capítulo IV, se menciona que para la disposición de sustancias y productos peligrosos debe tener en cuente todas las medidas y precauciones para evitar daños a la salud y el ambiente. Así también, los Arts. 99, 104 y 107 del Capítulo VIII, mencionan sobre los

Tesis publicada con autorización del autor
No olvide citar esta tesis
UNFV

desechos y responsabilidad de las personas naturales o jurídicas a no realizar descargas de compuestos o sustancias contaminantes al aire, agua o suelo.

La Ley General del Ambiente, Ley Nº 28611, Menciona en su artículo Nº 9, cuando se refiere a la Política Nacional del Ambiente que su objetivo es mejorar la calidad de vida de las personas y garantizar la permanencia de ecosistemas saludables, viables y funcionales a largo plazo; y el desarrollo sustentable del país, mediante la preservación, cuidado y recuperación del ambiente y sus componentes, la conservación y el aprovechamiento racional y sostenible de los recursos naturales, de una forma responsable y congruente con el respeto a los derechos esenciales de la persona.

La Ley General del Ambiente, Ley N° 28611, en su Artículo Nº 31° que trata sobre el Estándar de Calidad Ambiental, y lo define como: La medida que establece el nivel de concentración o del grado de elementos, sustancias o parámetros físicos, químicos y biológicos, presentes en el aire, agua o suelo, en su condición de cuerpo receptor, que no representa riesgo significativo para la salud de las personas ni al ambiente.

Ley de Recursos Hídricos, Ley Nº 29338, en su Artículo 75 trata sobre de la Protección del agua, indica que la Autoridad Nacional, a través del consejo de cuenca que corresponde, ejerce funciones de control y fiscalización con la finalidad de prevenir y combatir los efectos de la contaminación en los ríos, lagos y mar en lo que corresponda. Podrá coordinar, para tal fin, con los sectores de la administración pública, los gobiernos regionales y locales.

Ley de Recursos Hídricos, Ley Nº 29338, en su Artículo 79 trata sobre los vertimientos de aguas residuales, indica que, la Autoridad Nacional del Agua autoriza el vertimiento

Tesis publicada con autorización del autor
No olvide citar esta tesis

del agua residual tratada a un cuerpo de agua natural, sea continental o marina, previa opinión técnica favorable de las Autoridades Ambientales y de Salud sobre el cumplimiento de los Estándares de calidad Ambiental del Agua y Límites máximos permisibles. De esta forma queda prohibido el vertimiento directo o indirecto de aguas residuales sin dicha autorización.

Reglamento de la Ley de Recursos Hídricos, D.S. N° 001-2010 - AG, en su Artículo 103 trata sobre la protección del agua, indica que, la protección del agua tiene como finalidad la prevención y deterioro de su calidad; proteger y mejorar el estado de los cuerpos naturales y los ecosistemas acuáticos; implantar medidas; específicas para eliminar o minimizar progresivamente las causas que generan su contaminación y degradación.

Política Nacional del Ambiente, D.S. Nº 012-2009- MINAM, tiene como finalidad mejorar la calidad de vida de las personas, asegurando la permanencia de ecosistemas saludables, viables y funcionales a largo plazo; y alcanzar el desarrollo sostenible del país, mediante la prevención, cuidado y recuperación del ambiente y sus componentes, la preservación y el aprovechamiento racional de los recursos naturales, de una manera responsable y teniendo en cuenta el respeto de los derechos fundamentales de la persona.

D.L Nº 1083-2008-ANA El presente decreto legislativo establece el marco normativo para promover el aprovechamiento racional y la conservación de los recursos hídricos motivando el desarrollo de una cultura de uso responsable entre todos los usuarios y operadores de infraestructura hidráulica, pública o

Tesis publicada con autorización del autor
No olvide citar esta tesis
UNFV

privada. La Autoridad Nacional del Agua, fija los parámetros de eficiencia para el aprovechamiento de los recursos hídricos, los cuales son requisitos máximos y mínimos aplicables a cada tipo y forma de uso del recurso. La ANA brinda Certificados de Eficiencia en la cual consta el uso eficiente, así como Certificados de Creatividad, Innovación e Implementación para la Eficiencia del Uso del Agua. Los incentivos institucionales que promueve la Autoridad Nacional del Agua son concursos de buenas prácticas, pasantías, premios, divulgación de experiencias exitosas e impulso del uso de equipos y tecnologías innovadoras. Para los usuarios y operadores que incumplan con los parámetros de eficiencia tendrán que presentar un Plan de Adecuación para el uso eficiente de los recursos hídricos hasta cumplir en un tiempo no mayor de 5 años con los parámetros solicitados. La ANA fomenta la reversión de los excedentes de los recursos hídricos, así como el reúso de los mismos.

Ley N° 29338. Ley de Recursos Hídricos, del 31 de marzo de 2009, esta ley tiene por finalidad normar el uso y gestión integrada del agua, la participación del Estado y los privados en dicha gestión, basándose en los principios de valoración del agua, priorizar el acceso al agua, participación de los ciudadanos y cultura del agua, seguridad jurídica, el respeto de los usos de agua por las comunidades campesinas y nativas, sustentabilidad, descentralización, prevención, eficiencia., gestión integrada y tutela jurídica; en este sentido se ha creado el Sistema Nacional de Gestión de los Recursos Hídricos, siendo la Autoridad Nacional del Agua el ente rector y la máxima autoridad técnico normativa la cual está integrada por el Consejo Directivo, Jefatura, Tribunal de Resolución de Controversias Hídricas, Órganos Desconcentrados denominados Autoridades Administrativas del Agua y

Tesis publicada con autorización del autor
No olvide citar esta tesis
UNFV

Administradores Locales del Agua; y Órganos de Apoyo.

Para el uso del agua y su vertimiento se ha fijado una retribución económica cuyas tarifas están de acuerdo al uso de infraestructuras hidráulicas mayores y menores, por el servicio de monitoreos y por la gestión de las aguas subterráneas.

La presente ley derogo el Decreto Ley N° 17752, Ley General de Aguas y su reglamento el Decreto Supremo N° 261-69-AP.

Resolución Jefatural Nº 0201-2009-ANA. En la presente resolución se establecen disposiciones para implementar una retribución económica o cobranza por el uso del agua superficial para el año 2009, las cuales dependerán del uso del agua pudiendo ser industrial, minero, poblacional y agrario, y de la clasificación de la administración local del agua en relación a sus tasas de disponibilidad del recurso hídrico; las cuales están tasadas en nuevos soles por metro cúbico. Además, se menciona que la retribución económica que pagaran las organizaciones comunales responsables de la prestación de los servicios será de S/ 50.00 nuevos soles y para la cobranza del agua con fines mineros, la Administración Local del Agua, emitirá recibos por el uso; debiéndose realizar un pago previo por el respectivo volumen solicitado y un pago posterior a dicho uso del agua. La falta de pagos estará sujeto a un interés por mora simple mensual del 1% del monto total de la retribución económica o en su defecto será sujeto a cortes de agua o se llevará a cabo la cobranza coactiva.

Resolución Ministerial Nº 011-96-EM/VMM. En esta resolución se reglamenta los niveles máximos permisibles para las emisiones de las unidades minero metalúrgicas nuevas, las que se encuentren en operación y/o que reinicien

Tesis publicada con autorización del autor
No olvide citar esta tesis
UNFV

operaciones (Adjuntos en el anexo I y II). Los parámetros a considerar son el pH, sólidos suspendidos, arsénico, fierro, plomo, cobre, zinc, y cianuro total con concentraciones diferentes para cada anexo.

Resolución Directoral Nº 281-2007-MEM/AAM. La presente guía ha sido elaborada para los responsables de las empresas mineras, funcionarios del Estado, consultores, y para todas las instituciones y personas interesadas en la identificación, prevención, evaluación y mitigación del impacto de las actividades minero metalúrgicas sobre el recurso hídrico, la misma ha sido elaborada por el equipo del Proyecto de Reforma del Sector Público Minero, bajo el auspicio de la Agencia Canadiense de Desarrollo Internacional y presentado para el Ministerio de Energía y Minas.

Esta guía desarrolla los principales aspectos relacionados con la elaboración de la línea de base hidrológica y de la calidad del agua, el modelamiento hidrológico y de la calidad del agua, la evaluación de los impactos en las aguas de superficie, con especial énfasis en el modelamiento numérico de los aspectos hidrológicos y de calidad del agua.

Decreto Supremo N° 010-2010-MINAM. El presente Decreto Supremo aprueba los Límites Máximos Permisibles (LMP) para la descarga de emisiones líquidas de Actividades Minero-Metalúrgicos de acuerdo a los valores establecidos en su Anexo 01, que forma parte del presente Decreto Supremo.

Decreto Supremo N° 002-2008-MINAM. El presente decreto supremo aprueba los

Tesis publicada con autorización del autor
No olvide citar esta tesis

Estándares de Calidad Ambiental para Agua con el fin de establecer el nivel de concentración o grado de elementos, sustancias o parámetros físicos, químicos y biológicos presentes en el agua, en cuyos niveles no deberán representar riesgo significativo para la salud de las personas ni para el ambiente. Las categorías para el estándar de calidad se clasifican en Poblacional y Recreacional, la cual a su vez se divide en aguas que pueden ser destinadas a la producción de agua potable y aguas destinadas a la recreación; Actividades Marino Costeras, la cual se divide en aguas para la extracción y cultivo de moluscos bivalvos, aguas para la extracción y cultivos de otras especies hidrobiológicas y para otras actividades; Riego de Vegetales y Bebida de Animales, esta a su vez se divide en riego de vegetales de tallo alto, riego de vegetales de tallo bajo y bebida de animales; y finalmente Conservación del ambiente acuático, la cual a su vez se divide en lagos y lagunas, ríos y ecosistemas marino costeros; así mismo para cada categoría existe sus propios parámetros y concentraciones establecidas.

Decreto Supremo N° 023-2009-MINAM. En la presente norma se aprueban las disposiciones para la implementación de los Estándares Nacionales de Calidad Ambiental del Agua, en él se establecen precisiones con respecto a las Categorías y Subcategorías de los Estándares de Calidad en función a los usos del agua.

En este Decreto Supremo se especifican los criterios y consideraciones a tener en cuenta para asignar categorías a los cuerpos de agua, implementar los Estándares de Calidad en zonas intangibles, delimitación de la zona de mezcla y los criterios y exigencias a tener en cuenta para verter efluentes en los cuerpos receptores, también se indican los casos en que la aplicación de los Estándares de Calidad requiera hacer una excepción en el cual se debe presentar estudios

Tesis publicada con autorización del autor
No olvide citar esta tesis
UNFV

geoquímicos u otro tipo de estudios técnicos que indiquen que la presencia de sustancias o compuestos en el agua en concentraciones que superen los Estándares de Calidad Ambiental se debe a causas naturales y no por actividades antrópicas; y por último se establecen las técnicas y/o métodos de análisis que deben ser utilizadas para la determinación de los diferentes parámetros organolépticos, físicos, químicos, orgánicos, inorgánicos y microbiológicos detallados en cada categoría de uso del agua.

Decreto Supremo N° 004-2017-MINAM. La presente norma tiene por objeto compilar las disposiciones aprobadas mediante Decreto Supremo Nº 002-2008-MINAM, el Decreto Supremo Nº 023.2009-MINAM y el Decreto Supremo 015-2015-MINAM, que aprueban los Estándares de Calidad Ambiental para agua quedando sujetos a lo establecido en el presente Decreto Supremo y el Anexo que forma parte integrante del mismo. Esta norma modifica algunos valores de algunos parámetros correspondientes a algunas categorías de los Estándares de Calidad y mantiene a su vez algunos otros establecidos por los anteriores Decretos Supremos.

Resolución Jefatural Nº 010-2016-ANA. La presente Resolución aprueba el Protocolo Nacional para el Monitoreo de la Calidad del Agua de los Recursos Hídricos Superficiales.

Tesis publicada con autorización del autor
No olvide citar esta tesis
UNFV

2.5. Hipótesis

2.5.1. Hipótesis general

➢ La *Calidad del Agua* presenta una variación o grado de alteración en los últimos once años por el *Vertimiento de Efluentes* Industriales y Domésticos en la Subcuenca del rio San Juan, Cerro de Pasco, 2017.

2.5.2. Hipótesis específicas

✓ Las concentraciones de los parámetros físico químicos presentan una variación o grado de alteración en los últimos once años por el vertimiento de efluentes industriales y domésticos en la Subcuenca del rio San Juan, Cerro de Pasco, 2017.

✓ La concentración de los parámetros orgánicos y microbiológicos presentan una variación o grado de alteración en los últimos once años por el vertimiento de efluentes industriales y domésticos en la Subcuenca del rio San Juan, Cerro de Pasco, 2017.

✓ Las concentraciones de Metales Pesados presentan una variación o grado de alteración en los últimos once años por el vertimiento de efluentes industriales en la Subcuenca del rio San Juan, Cerro de Pasco, 2017.

Tesis publicada con autorización del autor
No olvide citar esta tesis
UNFV

CAPITULO III: METODO

3.1. Tipo de Investigación

El presente trabajo es una investigación Cuasi Experimental-Descriptiva ya que se trabajará en base a un muestreo donde los elementos de la muestra ya están predeterminados en consecuencia su escogencia no ha sido totalmente al azar, encontrándose con grupos u objetos ya constituidos.

3.2. Diseño de la Investigación

La presente investigación tiene diseño experimental, puesto que a través de la experimentación se pretende medir de manera previa la variable del objeto de estudio, es decir que se va a tomar muestras en el cuerpo acuático para luego ser analizado en el laboratorio y obtener resultados cuantificables, los mismos que serán comparados posteriormente con valores guías. Es un estudio ex post facto, que investiga las posibles relaciones de causa–efecto observando hechos o manifestaciones que tuvieron lugar. A partir de una situación actual, se indaga hacia atrás, para identificar datos disponibles. Hechos y posibles factores causales. Se trata de analizar la evolución y tendencia de ciertos hechos en el pasado y en el presente, lo que ayudaría para predecir su comportamiento en un futuro.

3.3. Estrategia de Prueba de Hipótesis

Para realizar la prueba de hipótesis, partiremos de un valor hipotético en parámetro poblacional. Luego de tomar una muestra aleatoria, se compara la estadística muestral, así como la media (x), con el parámetro hipotético, lo comparamos con una supuesta media poblacional (μ). Luego de ello se acepta o se rechaza el valor hipotético, según proceda. Así también, se rechaza el valor hipotético sólo si el resultado muestral

Tesis publicada con autorización del autor
No olvide citar esta tesis
UNFV

resulta siendo muy poco probable cuando la hipótesis es verdadera. Se consideran las siguientes fases:

✓ Fase 1: Se plantea una hipótesis nula y la hipótesis alternativa. La hipótesis nula (H0) viene a ser el valor hipotético del parámetro que se confronta con el resultado muestral, en otras palabras es el enunciado que se probará. Por lo general, la hipótesis nula es un enunciado de que "no hay efecto" o "no hay diferencia". La hipótesis alternativa es el enunciado con el cual podemos concluir que es verdadero de acuerdo con el hallazgo proporcionado por los datos de la muestra.

✓ Fase 2: Seleccionamos el nivel de significancia. Con base en los datos de la muestra, la prueba determina si se puede rechazar la hipótesis nula. Utilizaremos el valor "p" para tomar la decisión. Si el valor "p" es menor que el nivel de significancia (denotado como α), entonces podemos rechazar la hipótesis nula. Si el nivel de significancia es 5%, se rechaza la hipótesis nula solamente si el resultado muestral es tan diferente del valor hipotético que una diferencia de esa magnitud o mayor, pudiera ocurrir aleatoriamente con una probabilidad igual a 1.05 o menos.

✓ Fase 3: Calculamos el valor estadístico de Prueba: Dicho valor será determinado a partir de la información muestral, que se utiliza para determinar si se rechaza la hipótesis nula.

✓ Fase 4: Se formula la regla de decisión: Establecemos las condiciones específicas en la que se rechaza la hipótesis nula y las condiciones en que no se rechaza la hipótesis nula.

Tesis publicada con autorización del autor
No olvide citar esta tesis

✓ Fase 5: Se toma la decisión final: En este último paso de la prueba de hipótesis, calculamos el estadístico de prueba, comparamos con el valor crítico y tomamos la decisión de rechazar o no la hipótesis nula.

Tesis publicada con autorización del autor
No olvide citar esta tesis

3.4. Variables

Tabla 27: Definición de la variable independiente y dependiente de la investigación

Variables	Definición conceptual	Definición operacional	Dimensiones	Indicadores	Escala de medición
Calidad del Agua.	Johnson, D.L (1997) Es una medida de la condición del agua en relación con los requisitos de una o más especies bióticas o a cualquier necesidad humana o propósito.	Son las características físicas, químicas y biológicas que presenta el cuerpo acuático en estudio, el mismo que deberá estar sujeto a un determinado uso de acuerdo al objetivo del estudio y condiciones del recurso hídrico, en tal sentido dichas características serán aplicadas al cuerpo receptor en estudio, para nuestro caso será el rio San Juan.	Parámetros Físicos, químicos y Microbiológicos	Metales Pesados	mg/L
				pH	0-14
				Conductividad Eléctrica	uS/cm
				CN^-	mg/l
				Nutrientes	mg/l
				DBO	mg/L
				DQO	mg/L
				OD	mg/L
				TDS	mg/l
				Temperatura	° C

Tesis publicada con autorización del autor
No olvide citar esta tesis
UNFV

				Coliformes Termotelerantes	NMP
Vertimiento de Efluentes.	Líquido proveniente de un proceso de tratamiento, proceso productivo o de una actividad (Compendio Ambiental MINAM, 2010).	Agua residual de naturaleza orgánica e inorgánica procedente de la actividad industrial y doméstica, o que se incorporan a estas por el escurrimiento de terrenos causado por las lluvias los cuales son vertidos al rio San Juan, el cual presenta sustancias toxicas que deben ser determinados mediante parámetros físico químicos y no deben exceder los Límites Máximos permisibles establecidos por norma.	Parámetros Físicos, químicos y Microbiológicos	Metales Pesados	mg/L
				pH	0-14
				Conductividad Eléctrica	uS/cm
				CN^-	mg/L
				Nutrientes	mg/L
				DBO	mg/L
				DQO	mg/L
				OD	mg/l
				TDS	mg/L
				Temperatura	°C
				Coliformes Termotolerantes	NMP

Fuente: Elaboración Propia.

Tesis publicada con autorización del autor
No olvide citar esta tesis
UNFV

3.5. Población y Muestra de Estudio.

3.5.1. Población

Nuestra población en estudio es la Subcuenca Alta y Media del Rio San Juan en el cual se ubicaran 07 estaciones de monitoreo, ubicadas a una distancia de acuerdo al origen de los posibles focos contaminantes.

3.5.2. Muestra

La muestra consta de un volumen de 06 litros de agua de rio tomados en 06 frascos independientes para su determinación por parámetro y por cada estación de monitoreo (06), haciendo un total de 36 muestras. Para la ubicación de los puntos de muestreo se realizó sobre la base del juicio de expertos.

3.6. Descripción de Instrumentos

Para realizar las determinaciones de los diversos parámetros fisicoquímicos de cada una de las muestras tomadas en las estaciones de monitoreo, se consideraron instrumentos de campo y de laboratorio, entre los que figuran los siguientes:

- ✓ Multiparámetro de campo:

  Marca: Hach

  Modelo: Sension 156.

  Medidas o lecturas: Temperatura, Oxígeno Disuelto, Conductividad Eléctrica y Potencial de Hidrógenos.

- ✓ Colorímetro de campo:

  Marca: Hach

  Modelo: DR-890.

  Medidas o lecturas: 50 Parámetros (Incluye la DQO).

Tesis publicada con autorización del autor
No olvide citar esta tesis
UNFV

- ✓ Espectrómetro de Absorción Atómica:

  Marca: Thermo Scientific

  Modelo: S Series.

  Medidas o lecturas: 65 Elementos (Incluye todos los metales pesados).

- ✓ Generador de Hidruros:

  Marca: Thermo Scientific

  Modelo: VP 100.

  Medidas o lecturas: Arsénico y Mercurio.

- ✓ Espectrómetro Visible:

  Marca: Thermo Scientific

  Modelo: Genesis 6.

  Medidas o lecturas: Parámetros medibles entre λ = 400-750 nm. (Incluye Nitratos y Fosfatos)

- ✓ Reactor Digital:

  Marca: Hach

  Modelo: DRB 200.

  Temperatura: 0-150 ºC

  Tiempo: 30-120 Minutos.

  Parámetro: Demanda Química de Oxigeno.

- ✓ Incubadora:

  Marca: Shel Lab.

  Modelo: LI-5-2.

  Temperatura: -10 a 45 ºC

  Parámetro: Demanda Bioquímica de Oxigeno.

- ✓ Estufa de secado:

  Marca: Steel Products.

  Modelo: S/M.

  Temperatura: 0 a 300 ºC

  Parámetro: Aceites y Grasa.

- ✓ Plancha de calentamiento:

  Marca: Thermo Scientific

  Modelo: Type 2200.

  Temperatura: 0 a 300 ºC

  Función: Digestión de muestras ácidas.

- ✓ Balanza Analítica:

  Marca: Bamersac

  Modelo: AS 220/C/2.

  Rango: Máximo hasta 220 g.

  Función: Pesaje de muestras.

- ✓ Campana Extractora:

  Marca: Quimis.

  Modelo: S/M.

  Función: Extracción de gases de digestión.

- ✓ Congeladora Horizontal:

  Marca: Electrolux

  Modelo: AS 220/C/2.

  Rango: – 18 a 10 ºC

  Función: Mantenimiento de muestras.

3.7. Técnicas e instrumentos

3.7.1. Técnicas

- ✓ Muestreo.
- ✓ Protocolo de monitoreo.
- ✓ Análisis de muestras.
- ✓ Observación de campo.

3.7.2. Instrumentos

- ✓ Equipos de campo y de mesa.
- ✓ Métodos Estandarizados.
- ✓ Fichas textuales, resúmenes de informes, trabajos anteriores si hubieran, estadísticas, etc.

3.7.3. Fuentes

- ✓ Reportes de monitoreos anuales.
- ✓ Mapas temáticos zonales.
- ✓ Informes, trabajos anteriores, estadísticas, etc
- ✓ El propio investigador se encargará de realizar el trabajo de campo.

3.7.4. Técnicas de Procesamiento y Análisis de Datos Recolectados

El análisis de datos cuantitativos se realizará tomando en cuenta los niveles de medición de las variables y mediante la estadística que permitirá describir y poner de manifiesto las principales características de las variables, tomadas individualmente. Para describir y analizar cada una de las variables se utilizara el programa Ms. Excel 2010; además el programa Ms. Excel 2010, se usará para la estadística descriptiva; presentación de datos

en tablas y gráficas para presentar la distribución de los datos mediante graficas lineales a fin de conocer los niveles que lograran sobrepasar los Estándares de Calidad Ambiental para cada uno de los parámetros físico-químicos luego de su determinación, así mismo servirá para mostrar los datos porcentuales; y para estimar parámetros y probar hipótesis, se determinará mediante el programa IBM SPSS (Statistical Package for the Socual Sciences) versión 21.0.

3.8. Etapas del estudio

Para la elaboración de estudios básicos se recurrirá al método de evaluación integrada del medio biofísico, con el diseño de mapas y reconocimiento de campo.

Asimismo se aplicará también el método experimental para el análisis de las aguas naturales.

El procedimiento seguido en la presente investigación, consiste en cuatro etapas secuenciales: etapa preliminar de gabinete, etapa de campo, etapa de laboratorio y etapa final de gabinete.

3.8.1. Etapa preliminar

Contando con un mapa de ubicación y referencias bibliográficas y estadísticas de la hidrografía del Perú se procedió a elaborar el proyecto de investigación:

- ✓ Elección del Área de Estudio

Para la elección del área de estudio, se localizó en todo el sistema hidrográfico del Perú, un sistema acuático aparentemente alterado durante muchos años en sus características físicas y químicas. Estudios realizados por el Banco Mundial, en la cuenca del río Mantaro, muestran áreas geográficas contaminadas, al igual que estadísticas regionales a nivel nacional e internacional, las cuales generalmente se encuentran rodeadas por diversas industrias mineras, en tal sentido se consideró tomar la cuenca del río San Juan

como una posible zona polucionada por industrias mineras; de la misma manera considerar los efluentes domésticos generados por la población de Cerro de Pasco y su desembocadura en el río San Juan; y posteriormente el lago Junín como destino final.

- ✓ Identificación de Industrias y Efluentes Mineros:

Dentro de la Subcuenca del Rio San Juan se encuentran ubicadas tres industrias mineras que vienen operando hace más de 50 años como es el caso de Cerro SAC y El Brocal, situadas en Cerro de Pasco y Colquijirca respectivamente. La tercera unidad minera es Aurex, que se encarga del beneficio de Oro y Plata a través de su Planta de Cianuración.

El efluente generado por la Industria Minera Cerro SAC, vierte sus efluentes en la Quebrada Quiulacocha, asimismo existen algunos drenajes y lixiviados generados por la relavera Quiulacocha y las desmonteras los cuales posteriormente descargan en el Rio san Juan, ubicadas en el Distrito de Simón Bolívar. La laguna Yanamate ubicada en la misma cuenca de estudio cuenta con descargas de drenajes ácidos de mina que infiltran hacia el rio San Juan.

La Industria Minera El Brocal vierte sus efluentes en la quebrada Huachuacaja, el cual descarga posteriormente en el Rio san juan, en el Distrito de Huaraucaca (Colquijirca).

La Industria Minera Aurex, vierte sus efluentes directamente al rio San Juan, ubicada en la localidad de Yurajhuanca del Distrito de Simón Bolívar.

- ✓ Ubicación de los puntos de muestreo

Localizadas las industrias y los puntos de evacuación de efluentes industriales, se consideraron algunos de los puntos de muestreo establecidos por la DIGESA y otros complementarios por el autor, los criterios principales para tal ubicación fue considerando los puntos de descarga de las fuentes contaminantes.

Tabla 28: Puntos de monitoreo en la subcuenca del río San Juan

ESTACION	DESCRIPCION	UBICACIÓN	COORDENADAS UTM 18S		ALTITUD (msnm)
			LATITUD	LONGITUD	
E1	Río San Juan, aprox. a 40 m aguas arribas de la estación Hidroeléctrica (margen derecha)	Yurajhuanca/Distrito Simón Bolívar	354735	8820529	4211
E2	Río Ragra, canal izquierdo, canal izquierdo, aprox. a 40 m antes de su confluencia con el río San Juan.	Quiulacocha/Distrito Simón Bolívar	359175	8816894	4254
E3	Río San juan, aprox. a 22 m aguas abajo del puente de Los Angeles, carretera CC Sacra Familia.	CC. Sacra Familia/Distrito Simón Bolívar	356767	8813331	4145
E4	Río San Juan, aprox. a 400 m antes de la concentradora de Sociedad Minera el Brocal.	CC. Sacra Familia/Distrito Simón Bolívar	357336	8806603	4158
E5	Río Andacancha, aprox. A 100 m antes de su confluencia con el río San Juan (margen derecha)	Huaraucaca/ Municipalidad Distrital Fundición de Tinyahuarco	360020	8805443	3724
E6	Río San Juan, aprox. A 150 m agua abajo del puente antiguo hacia Huallay (margen derecha)	Huaraucaca/ Municipalidad Distrital Fundición de Tinyahuarco	359922	8809055	4254

Fuente: Elaboración propia.

3.8.2. Etapa de campo

Habiéndose localizado e identificado previamente el área de estudio y sus puntos de monitoreo, se procedió a levantar información en la etapa de campo, la cual fue realizada en diez visitas a la Cuenca del rio San Juan en un tiempo aproximado de cinco años. El protocolo empleado para las diez salidas de campo (monitoreos), fue el propuesto por DIGESA; el cual se detalla a continuación:

- ✓ Preparación y Transporte de Materiales y Equipos

Se emplearon frascos nuevos de plástico y vidrio para la toma de muestras, cada uno con sus respectivas etiquetas, en cantidades de acuerdo a las estaciones a monitorear y Los parámetros a determinar.

- Los envases fueron colocados dentro de un Cooler utilizado para el mantenimiento de las muestras, así como también se acondicionó hielo (ice pack) para el retorno de las muestras hasta su determinación.
- Los equipos utilizados para medir los parámetros en campo fueron previamente calibrados y empacados con protectores especiales para evitar daños.
- Se empleó un tablero para el llenado de las fichas de registro de datos y otra información adicional.
- Una cámara fotográfica para el registro de imágenes que se consideren relevantes para el levantamiento de la información en campo.
- Se acondiciono todo el Material complementario y Equipos de Protección Personal (EPP) para el trabajo en campo.
- El viaje a la Ciudad de Cerro de Pasco desde Lima, se realizó en una camioneta particular para trasladar cómodamente los materiales y equipos a utilizar en el campo.

- Después de seis horas de viaje aproximadamente y previo refrigerio, nos trasladamos a la primera estación de monitoreo.
- Para la utilización de los instrumentos analíticos en el campo, previamente se procedió a verificar su calibración y accionar antes de las mediciones in situ.
- El recorrido trazado para el muestreo en la Cuenca del rio San Juan, se realizó desde la parte más alta de la cuenca bajando hasta la media alta en Upamayo.
- Los puntos de muestreo ubicados en el rio San Juan fueron 06, en el cual cada punto fue medido con el equipo multiparámetro tomando las muestras de agua del cuerpo receptor correspondiente.
- Culminado el muestreo correspondiente para todas las estaciones en general, con sus respectivas fotografías, se procedió a llenar el cooler con las muestras y retornar a Lima.

3.8.3. Etapa de laboratorio

Los análisis físico-químicos de las muestras de agua se realizaron en el Laboratorio de Medio Ambiente de la Facultad de Ingeniería Geográfica, Ambiental y Ecoturismo de la Universidad Nacional Federico Villarreal.

Para la determinación de los diversos parámetros físico-químicos de las muestras de agua, se utilizan métodos fundamentados en principios y leyes; que brevemente se mencionan a continuación:

- ✓ *Método Espectrometría de Absorción Atómica de Llama (Métodos Normalizados APHA-AWWA-WPCF.3111 A. 1989)/ Determinación de Metales Pesados*

En la Espectrometría de Absorción Atómica se dirige un rayo luminoso a través de una llama a un monocromador y sobre un detector que mide la cantidad de luz absorbida por el elemento atomizado en la llama. Como cada metal tiene su propia longitud de onda de absorción característica, se utiliza como fuente luminosa una lámpara compuesta de dicho elemento; esto proporciona un método relativamente libre de interferencias espectrales o de radiación. La cantidad de energía absorbida en la llama a una longitud de onda característica es proporcional a la concentración del elemento en la muestra, en un intervalo de concentraciones limitado.

✓ *Método Colorimétrico de la Sulfanilamida (Bendschneider y Robinson—1 952) / Determinación de Nitritos.*

Por este método, el agua a determinar se hace reaccionar con una amina aromática, sulfanilamida en solución ácida. El compuesto diazo resultante se hace reaccionar con N-1-Naftil Etilendiamina y forma un tinte azo altamente coloreado, cuya intensidad es proporcional a la concentración de nitritos presente.

✓ *Método Calorimétrico por Reducción de Cadmio (Merck —Organic Reagents For Trace Análisis) / Determinación de Nitratos.*

La determinación de nitratos en agua está basado en la reducción de los nitratos a nitritos, por acción de la columna de Cadmio. Luego de esta reducción se procede a la determinación de los nitritos. La respuesta será de la diferencia entre los nitratos convertidos a nitritos y, los nitritos hallados anteriormente.

✓ *Método Colorimétrico de Flujo Continuo (Strickland y Parsons — 1968) / Determinación de Fosfatos*

Este método consiste en hacer reaccionar la muestra de agua con un reactivo que contiene ácido molibdico, ácido ascórbico y un antimonio trivalente. En medio ácido con la presencia de molibdato amónico, los ortofosfatos forman un complejo fosfomolibdico que reducido por el ácido ascórbico, desarrolla una coloración azul susceptible de una determinación colorimétrica.

- ✓ *Método de Winkler o lodométrico (Winkler, L.W 1888)1 Determinación de Oxígeno Disuelto*

Se basa en la adición de una solución de manganeso divalente, seguido de un álcali fuerte, a la muestra contenida en un frasco con tapón de vidrio. El oxígeno disuelto oxida rápidamente una cantidad equivalente del precipitado disperso de hidróxido manganoso divalente a hidróxidos con mayor estado de valencia. En presencia de iones yoduro, en solución ácida, el manganeso oxidado revierte al estado divalente, con liberación de yodo equivalente al contenido original de oxígeno disuelto. Entonces se valora el yodo con una solución patrón de tiosulfato.

- ✓ *Método de la Dilución (Mc Gowan, Frye y Kersman 1913)1 Determinación de la Demanda Bioquímica de Oxigeno (DBO5)*

Es un ensayo de simulación en el cual se usa un procedimiento estandarizado para determinar los requerimientos de oxígeno para una población microbiana heterogénea y en donde se establece la materia orgánica biodegradable presente en un agua residual, efluentes y aguas poluidas.

Los métodos de dilución tienen por principio establecer una dilución de aguas ricas en materia orgánica con un agua que aporte el oxígeno disuelto en que se mida la cantidad residual, en condiciones operatorias bien determinadas.

✓ *Método Gravimétrico de Evaporación (J. Bouquiaux, a. Mertens, Tribune Du C.B.E.D.E 1960) / Determinaión de Aceites y Grasas*

Para la extracción de aceites y grasas se emplean varias fracciones de tricloroetileno las que se agitan sucesivamente con la muestra de agua a pH 5. En embudos de separación, las fracciones del solvente se unen en una cápsula previamente tarada, se secan en baño maría a 80ºC y se enfrían en un desecador, luego se llevan a peso constante para obtener la concentración por diferencia.

✓ *Método Gravimétrico de Filtración (Métodos Normalizados APHA-AWWA-WPCF.2540 D. 1989) Determinación de Sólidos Totales en Suspensión (S.S.T)*

Se filtra una muestra bien mezclada por un filtro estándar de fibra de vidrio, y el residuo retenido en el mismo se seca a un peso constante a 103-105 ºC. El aumento de peso del filtro representa los sólidos totales en suspensión. Si este material obtura el filtro y prolonga la operación de filtrado, la diferencia entre el total de sólidos y el total de solidos disueltos puede proporcionar un cálculos aproximado de los sólidos totales en suspensión.

3.8.4. Etapa final

✓ Después de trabajar la parte analítica con los parámetros fisicoquímicos previstos se realizó los cálculos correspondientes.

✓ Los valores obtenidos de los diez muestreos correspondientes en cinco años junto con los seis años anteriores monitoreados por DIGESA fueron finalmente comparados analíticamente en el tiempo, con la idea de graficar una mejor tendencia adaptada por la contaminación.

CAPITULO IV: RESULTADOS Y DISCUSION

A continuación se presentan los resultados obtenidos de los parámetros Fisicoquímicos, Orgánicos y Metales Pesados monitoreados en 11 años (2006-2016), los mismos fueron comparados con los Estándares de Calidad Ambiental para Aguas según la clase 3 (Ver Anexo).

Las estaciones de monitoreo correspondientes al rio San Juan son la Nº 1, 3, 4, y 6 y las correspondientes a sus tributarios son la Nº 2 y 5 (Qda Quiulacocha y rio Andacancha). Las estaciones Nº 1, 2 y 3 pertenecen a la cuenca alta del rio san Juan, mientras que las estaciones Nº 4, 5 y 6 pertenecen a la Cuenca media.

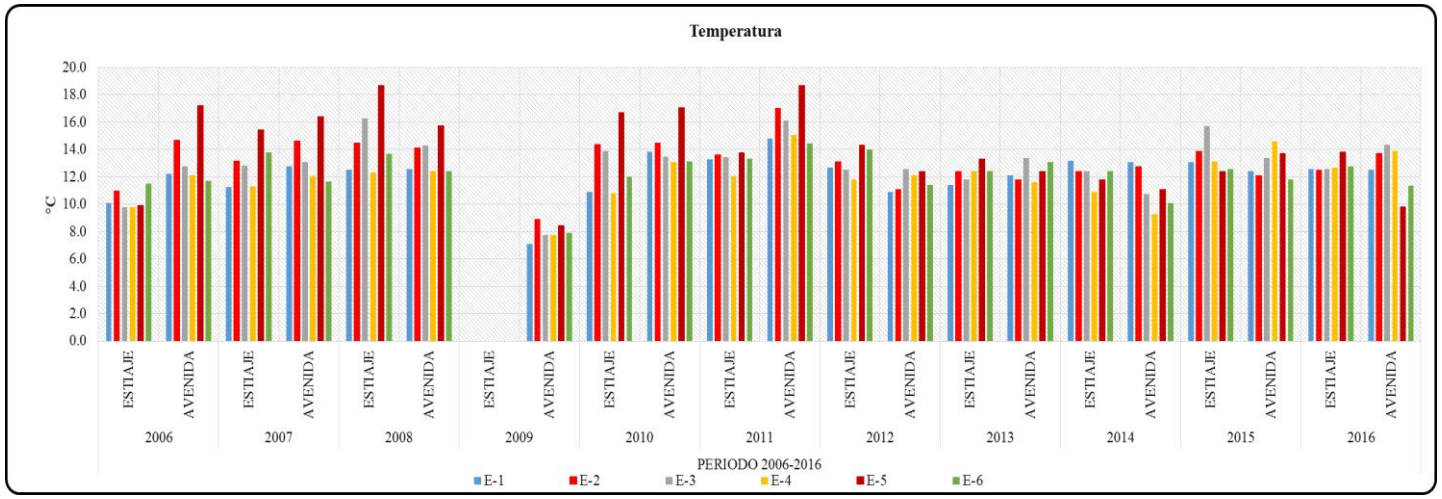
RESULTADOS Y DISCUSION

4.1. Parámetros físicos

4.1.1.

Gráfica 2: Temperatura en época de estiaje y avenida (2006-2016)

Temperatura

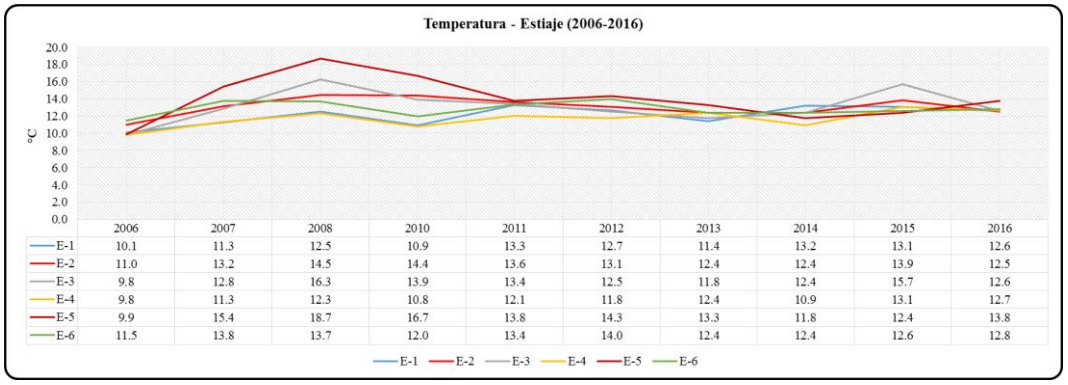


Fuente: Elaboración propia.
*Sin datos el año 2009, época de estiaje.

De la gráfica Nº 4, se aprecia que el promedio de la temperatura en el rio San Juan es de 12.5 º C, asimismo, de acuerdo a los Estándares de Calidad Ambiental no debe haber una variación mayor o menor a 3º C, sin embargo entre los años del 2006 al 2011 se aprecia que en algunas

estaciones hay un incremento mayor a lo que indica el ECA, esto posiblemente asociado a vertimientos de algún tipo de proceso industrial y/o doméstico. Sin embargo, la temperatura de la mayoría de las estaciones para los 11 años de monitoreo se mantiene dentro del rango establecido.

Gráfica 3: Temperatura en época de estiaje (2006-2016)



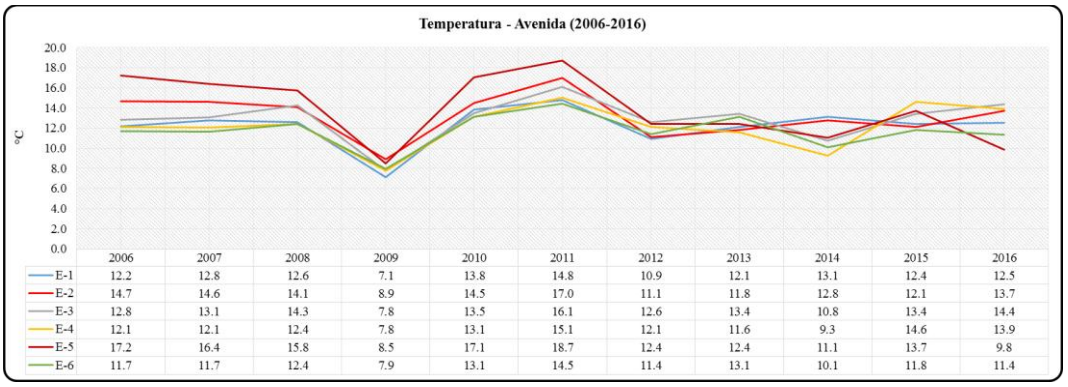
	2006	2007	2008	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016
E-1	10.1	11.3	12.5	10.9	13.3	12.7	11.4	13.2	13.1	12.6
E-2	11.0	13.2	14.5	14.4	13.6	13.1	12.4	12.4	13.9	12.5
E-3	9.8	12.8	16.3	13.9	13.4	12.5	11.8	12.4	15.7	12.6
E-4	9.8	11.3	12.3	10.8	12.1	11.8	12.4	10.9	13.1	12.7
E-5	9.9	15.4	18.7	16.7	13.8	14.3	13.3	11.8	12.4	13.8
E-6	11.5	13.8	13.7	12.0	13.4	14.0	12.4	12.4	12.6	12.8

Fuente: Elaboración propia.

*Sin datos el año 2009, época de estiaje.

Estiaje: El comportamiento de la Temperatura para cada una de las estaciones durante los 11 años de estudio muestra un incremento para el 2007 y 2008 correspondiente a la estación Nº 5. Es importante indicar que esta estación recibe efluentes de tipo industrial y doméstico, estando asociado posiblemente dicho incremento a estas condiciones.

Gráfica 4: Temperatura en época de avenida (2006-2016)

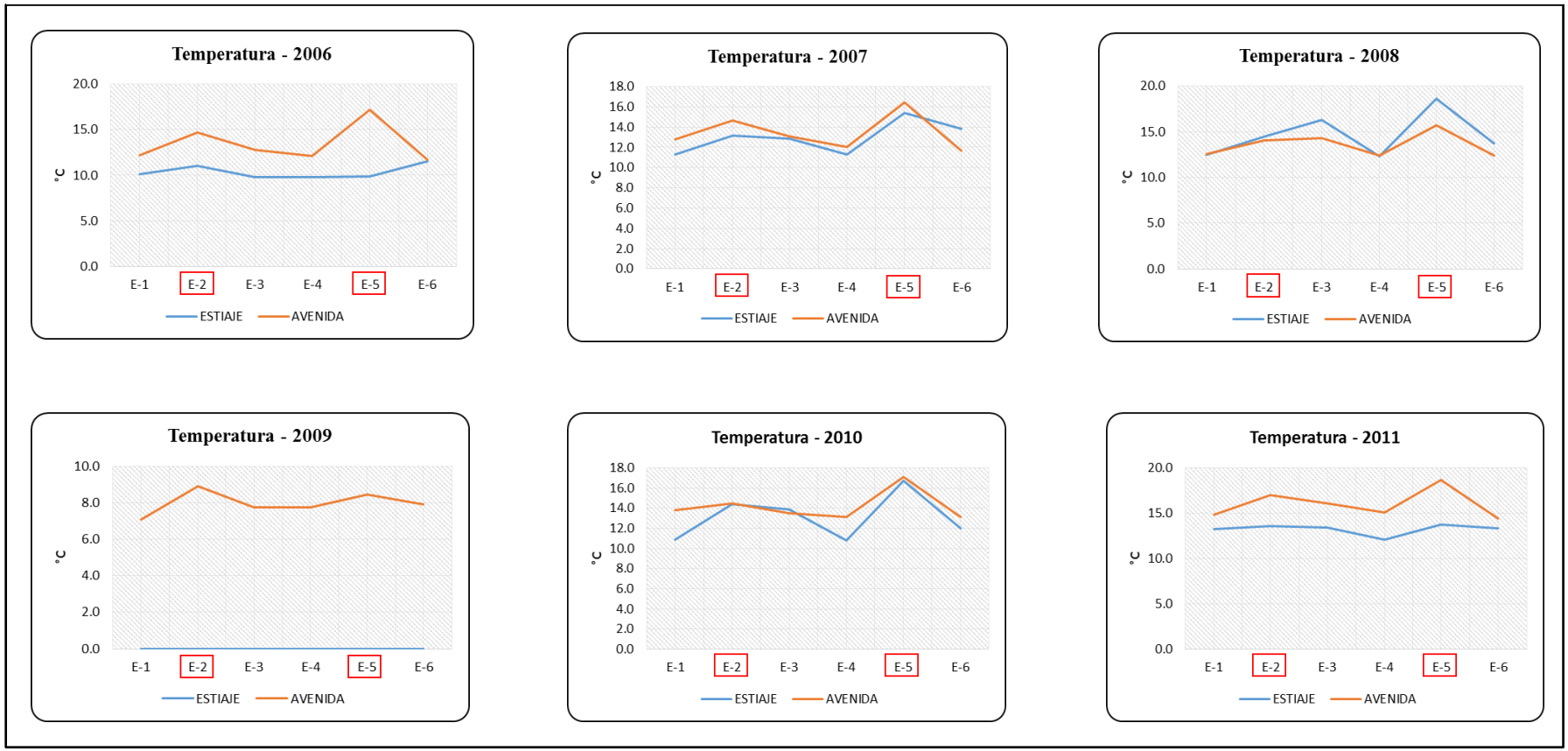


	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016
E-1	12.2	12.8	12.6	7.1	13.8	14.8	10.9	12.1	13.1	12.4	12.5
E-2	14.7	14.6	14.1	8.9	14.5	17.0	11.1	11.8	12.8	12.1	13.7
E-3	12.8	13.1	14.3	7.8	13.5	16.1	12.6	13.4	10.8	13.4	14.4
E-4	12.1	12.1	12.4	7.8	13.1	15.1	12.1	11.6	9.3	14.6	13.9
E-5	17.2	16.4	15.8	8.5	17.1	18.7	12.4	12.4	11.1	13.7	9.8
E-6	11.7	11.7	12.4	7.9	13.1	14.5	11.4	13.1	10.1	11.8	11.4

Fuente: Elaboración propia.

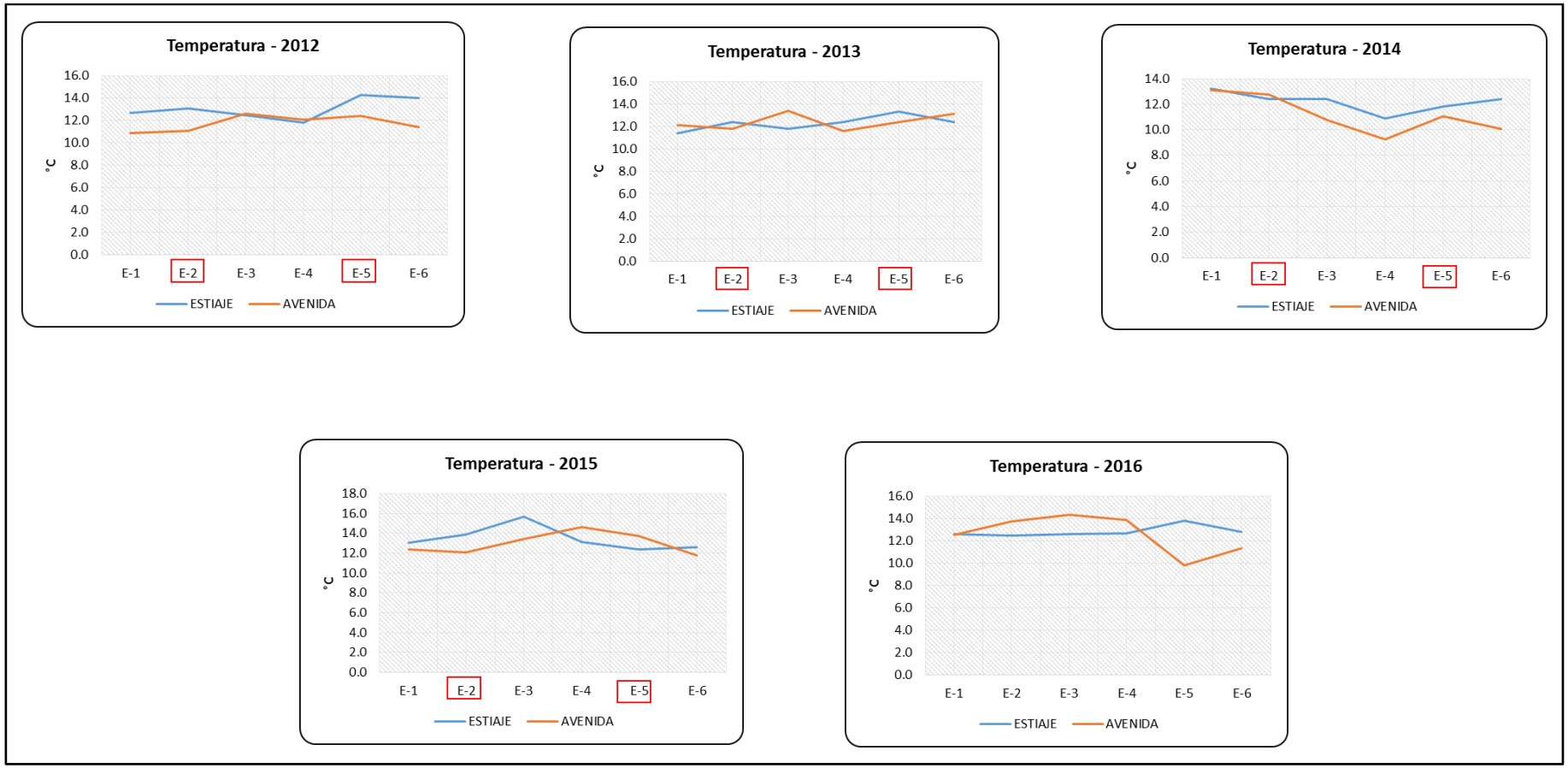
La Temperatura para esta época muestra incrementos para los años 2006, 2010 y 2011 correspondiente a las estaciones Nº 2 y Nº 5. Estas estaciones reciben efluentes de tipo industrial y doméstico, estando asociado posiblemente dicho incremento a estas condiciones. Las demás estaciones para todos los demás años se mantienen dentro del nivel establecido.

Gráfica 5: Temperatura en época de Avenidas y Estiaje (2006-2011)



Fuente: Elaboración propia.
*Sin datos el año 2009, época de estiaje.

Gráfica 6: Temperatura en época de Avenidas y Estiaje (2012-2016)



Fuente: Elaboración propia.

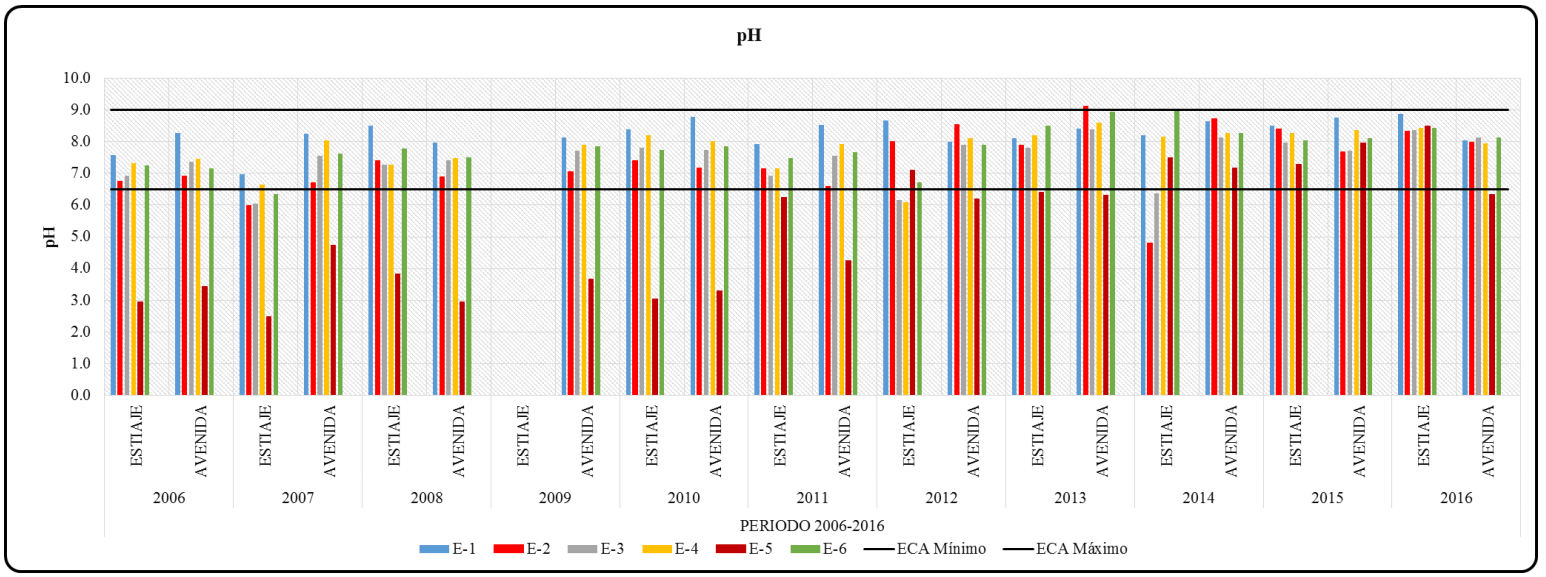
Evaluando la Temperatura de manera puntual para los años 2006 al 2016, se aprecia que los valores a nivel de todo el tramo monitoreado en el rio San Juan para el año 2006 muestra un comportamiento uniforme para la época de estiaje, sin embargo, para la época de avenidas existe un incremento fuera del rango establecido que coincide con la estación Nº 5.

Para los años 2007, 2008, 2010, 2011 se observa un incremento de la temperatura en la estación Nº 5 tanto para la época de avenidas como para la época de estiaje, esto coincide con la descarga de efluentes de tipo Industrial y Doméstico en la Quebrada Huachacaja.

Para los demás años y estaciones (a excepción de la Nº 5), el comportamiento de la Temperatura a través del todo el tramo monitoreado se mantiene dentro del rango establecido por los Estándares de calidad Ambiental para la categoría Nº 3.

4.1.2. Potencial de hidrógeno

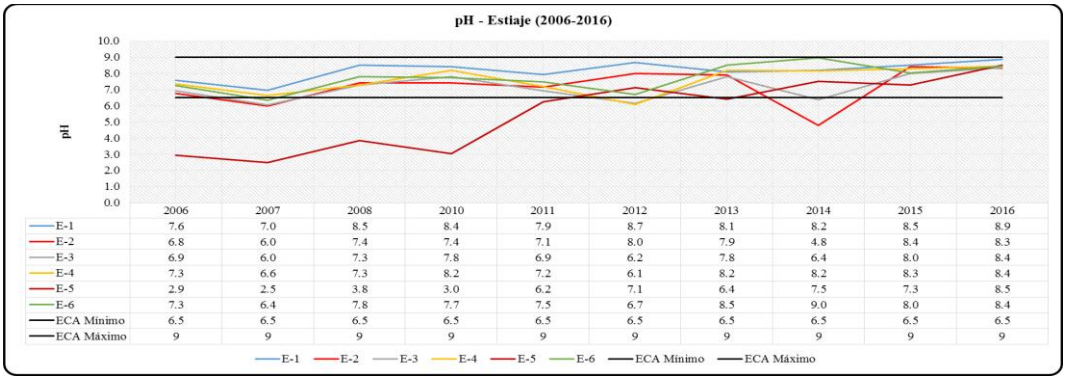
Gráfica 7: Potencial de Hidrógenos en época de estiaje y avenida (2006-2016)



Fuente: Elaboración propia.
*Sin datos el año 2009, época de estiaje.

Del gráfico N° 9, se puede observar que los niveles de pH en los once años de monitoreo no sobrepasan el Estándar de Calidad Ambiental (6.5-8.5), esto es apreciable para la mayoría de estaciones. Sin embargo se puede apreciar también que existen tres estaciones que están por debajo del rango permitido en algún periodo del año.

Gráfica 8: Potencial de hidrógenos en época de estiaje (2006-2016)



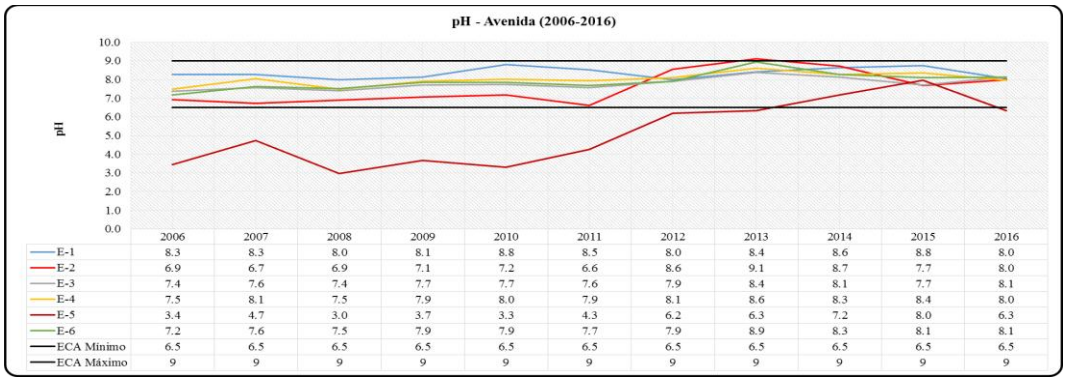
	2006	2007	2008	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016
E-1	7.6	7.0	8.5	8.4	7.9	8.7	8.1	8.2	8.5	8.9
E-2	6.8	6.0	7.4	7.4	7.1	8.0	7.9	4.8	8.4	8.3
E-3	6.9	6.0	7.3	7.8	6.9	6.2	7.8	6.4	8.0	8.4
E-4	7.3	6.6	7.3	8.2	7.2	6.1	8.2	8.2	8.3	8.4
E-5	2.9	2.5	3.8	3.0	6.2	7.1	6.4	7.5	7.3	8.5
E-6	7.3	6.4	7.8	7.7	7.5	6.7	8.5	9.0	8.0	8.4
ECA Mínimo	6.5	6.5	6.5	6.5	6.5	6.5	6.5	6.5	6.5	6.5
ECA Máximo	9	9	9	9	9	9	9	9	9	9

Fuente: Elaboración propia.

*Sin datos el año 2009, época de estiaje.

Estiaje: Los niveles de pH para todos los años monitoreados presenta una tendencia estable que no excede el Estándar de Calidad para la mayoría de las estaciones, sin embargo se aprecia que para los años 2006, 2007, 2008, 2010 y 2014 existen dos estaciones que se encuentran por debajo del rango permitido. Para los demás años y estaciones los valores de pH se encuentran dentro de los rangos establecidos por norma.

Gráfica 9: Potencial de hidrógenos en época de avenida (2006-2016)

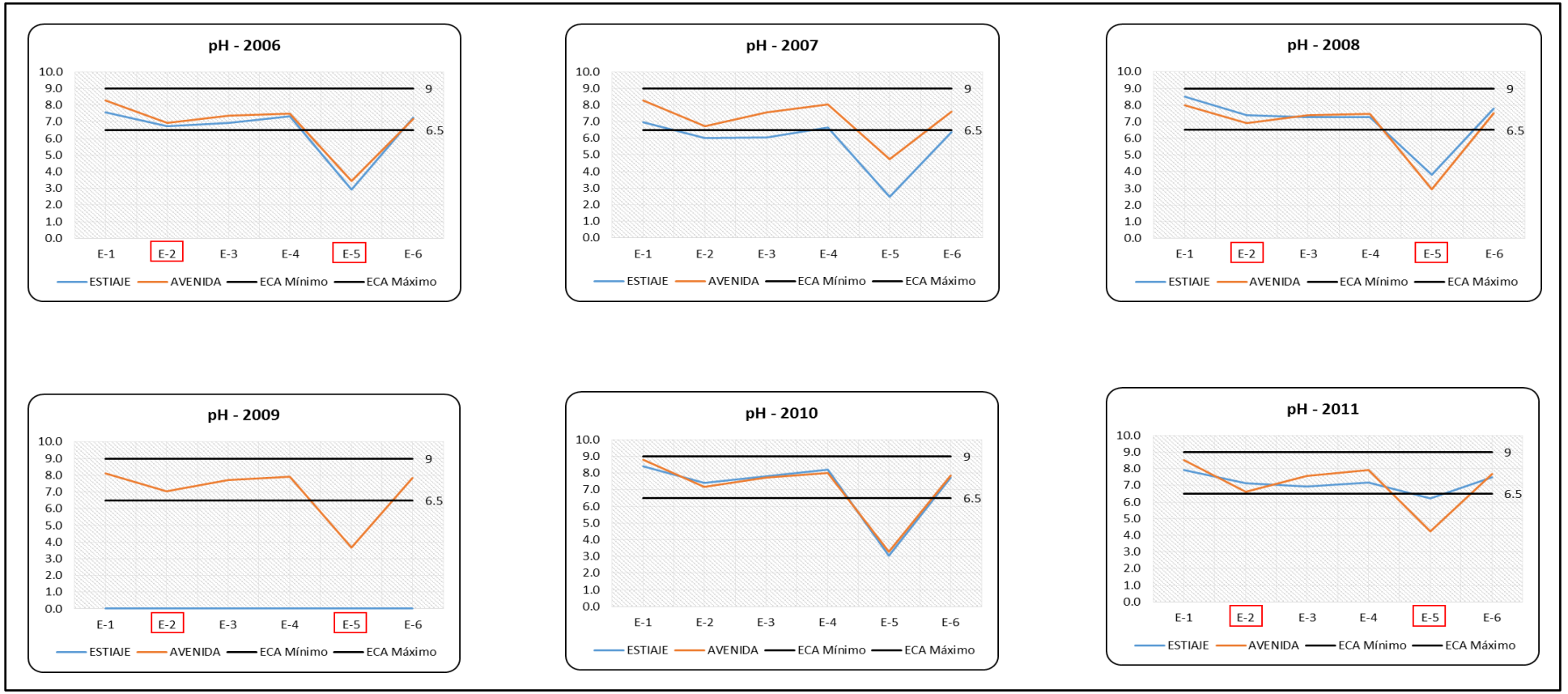


	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016
E-1	8.3	8.3	8.0	8.1	8.8	8.5	8.0	8.4	8.6	8.8	8.0
E-2	6.9	6.7	6.9	7.1	7.2	6.6	8.6	9.1	8.7	7.7	8.0
E-3	7.4	7.6	7.4	7.7	7.7	7.6	7.9	8.4	8.1	7.7	8.1
E-4	7.5	8.1	7.5	7.9	8.0	7.9	8.1	8.6	8.3	8.4	8.0
E-5	3.4	4.7	3.0	3.7	3.3	4.3	6.2	6.3	7.2	8.0	6.3
E-6	7.2	7.6	7.5	7.9	7.9	7.7	7.9	8.9	8.3	8.1	8.1
ECA Mínimo	6.5	6.5	6.5	6.5	6.5	6.5	6.5	6.5	6.5	6.5	6.5
ECA Máximo	9	9	9	9	9	9	9	9	9	9	9

Fuente: Elaboración propia.

Avenida: Los niveles de pH para esta época, considerando los once años de monitoreo, se evidencia que para los años 2006, 2007, 2008, 2009, 2010, 2011 y 2012 únicamente la estación Nº 5 se encuentra por debajo del Estándar de calidad. Para los demás años y estaciones los valores de pH muestran un patrón estable, encentrándose dentro de los rangos establecidos por norma.

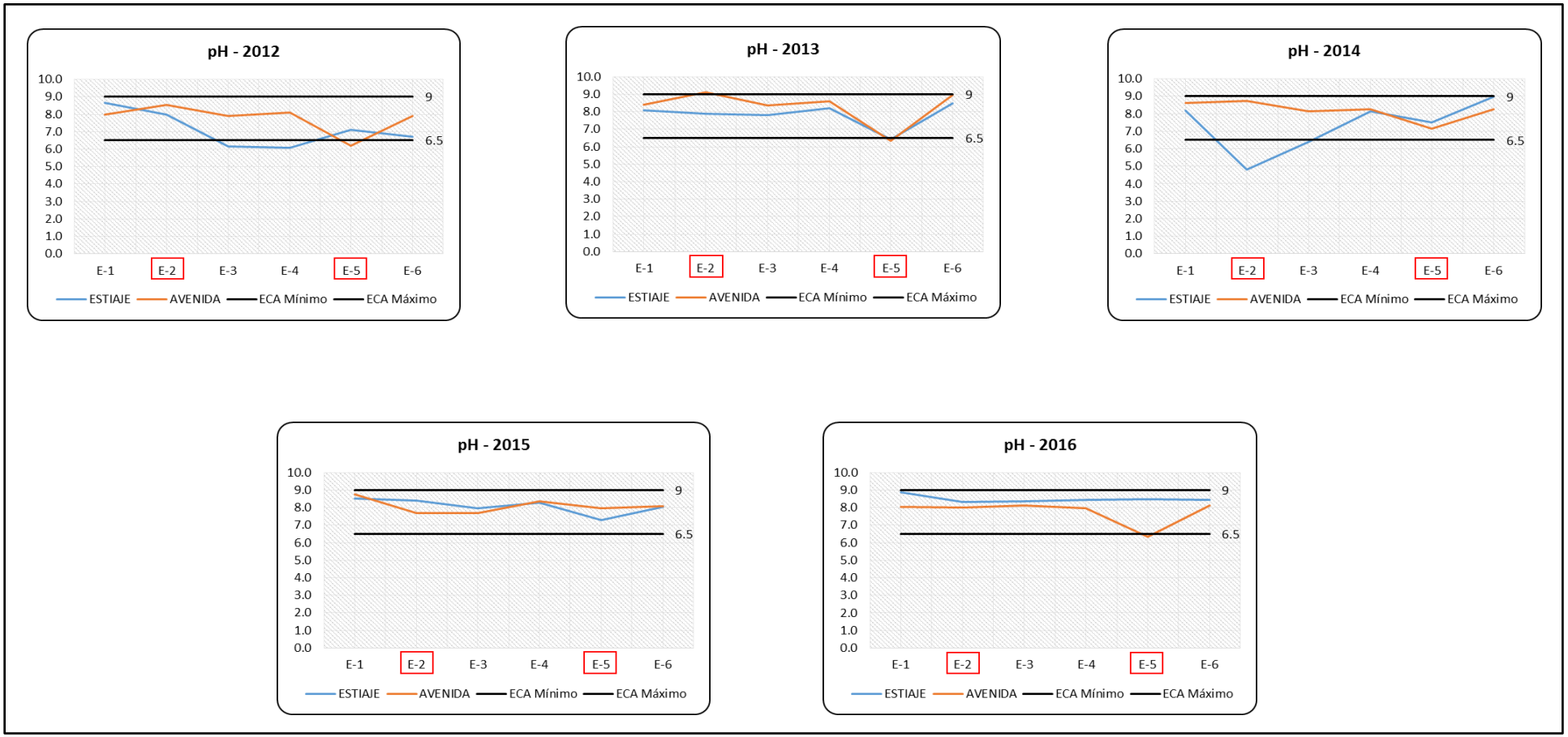
Gráfica 10: Potencial de hidrógenos en época de Avenidas y Estiaje (2006-2011)



Fuente: Elaboración propia.

*Sin datos el año 2009, época de estiaje.

Gráfica 11: Potencial de hidrógenos en época de Avenidas y Estiaje (2012-2016)



Fuente: Elaboración propia.

Evaluando el Potencial de Hidrógenos de manera puntual para los años 2006 al 2016, se aprecia que el nivel de pH en la estación Nº 5 para los años 2006, 2007, 2008, 2009, 2010 y 2011 muestra valores fuera del Estándar de Calidad Ambiental, tanto en la época de avenidas como la época de estiaje.

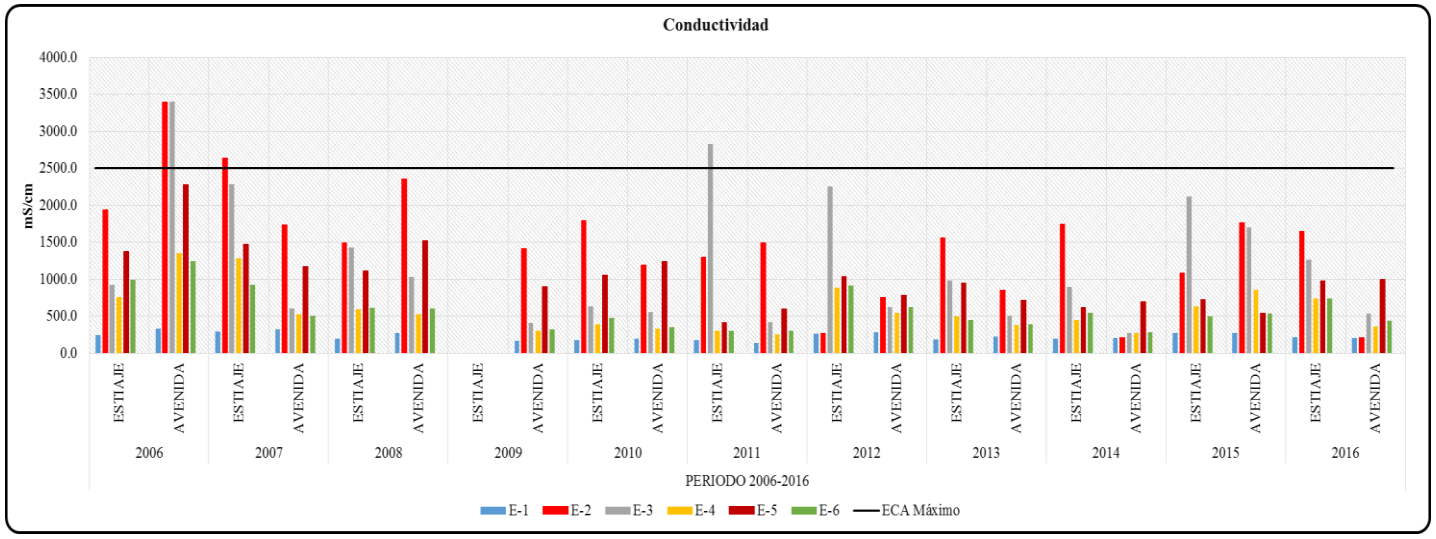
Para el año 2012, se observa que las estaciones Nº 3 y 4 en época de estiaje y la estación Nº 5 para la época de avenidas, presentan niveles de pH por debajo del Estándar de Calidad Ambiental.

Para el año 2014 la estación Nº 2 en la época de estiaje, presenta un nivel de pH por debajo del Estándar de Calidad, esto coincide con la descarga de efluentes de tipo Industrial y Doméstico.

Para los demás años y estaciones, a excepción de las antes mencionadas, el comportamiento del pH a través del todo el tramo de monitoreo se mantiene dentro del rango establecido en los Estándares de calidad Ambiental para la categoría Nº 3.

4.1.3. Conductividad

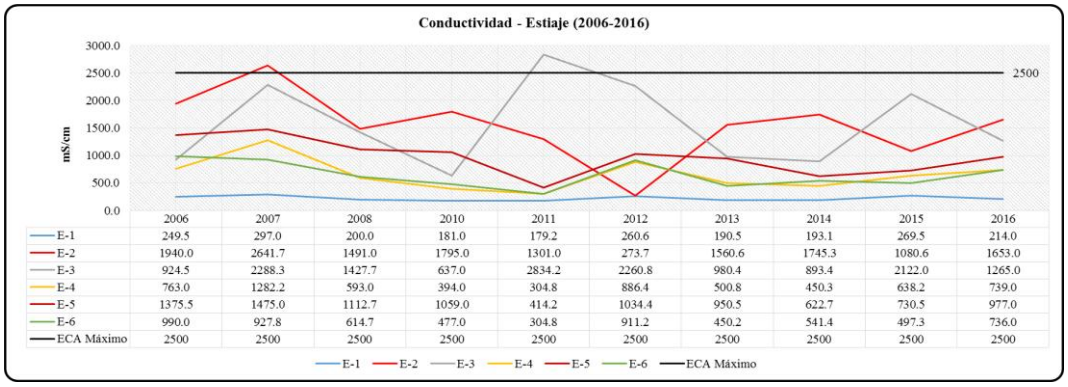
Gráfica 12: Conductividad en época de estiaje y avenida (2006-2016)



Fuente: Elaboración propia.
*Sin datos el año 2009, época de estiaje.

De acuerdo a la gráfica Nº 14, se aprecia que el nivel de Conductividad Eléctrica para los once años evaluados, existen dos estaciones que se encuentran fuera del Estándar de Calidad Ambiental (2500 uS/cm) en tres de los años monitoreados. En las demás estaciones los niveles de Conductividad Eléctrica se encuentran dentro de los valores normales para todo el tiempo monitoreado.

Gráfica 13: Conductividad en época de estiaje (2006-2016)



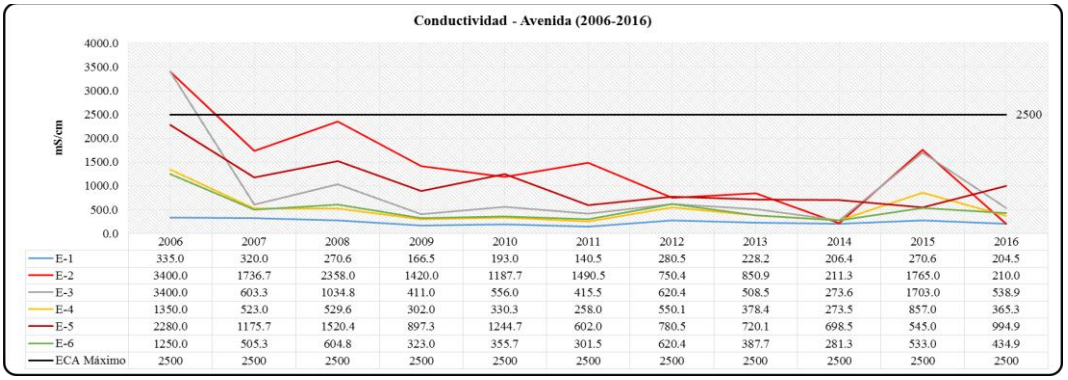
	2006	2007	2008	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016
E-1	249.5	297.0	200.0	181.0	179.2	260.6	190.5	193.1	269.5	214.0
E-2	1940.0	2641.7	1491.0	1795.0	1301.0	273.7	1560.6	1745.3	1080.6	1653.0
E-3	924.5	2288.3	1427.7	637.0	2834.2	2260.8	980.4	893.4	2122.0	1265.0
E-4	763.0	1282.2	593.0	394.0	304.8	886.4	500.8	450.3	638.2	739.0
E-5	1375.5	1475.0	1112.7	1059.0	414.2	1034.4	950.5	622.7	730.5	977.0
E-6	990.0	927.8	614.7	477.0	304.8	911.2	450.2	541.4	497.3	736.0
ECA Máximo	2500	2500	2500	2500	2500	2500	2500	2500	2500	2500

Fuente: Elaboración propia.

*Sin datos el año 2009, época de estiaje.

Estiaje: El comportamiento de la Conductividad Eléctrica a través de los años de monitoreo muestra una tendencia bastante estable que no excede en la mayoría de las Estaciones el Estándar de Calidad Ambiental. Únicamente en los años 2007 y 2011 las Estaciones Nº 2 y 3 exceden ligeramente el ECA. Los demás años se encuentran dentro de los valores normales para las otras estaciones.

Gráfica 14: Conductividad en época de avenida (2006-2016)

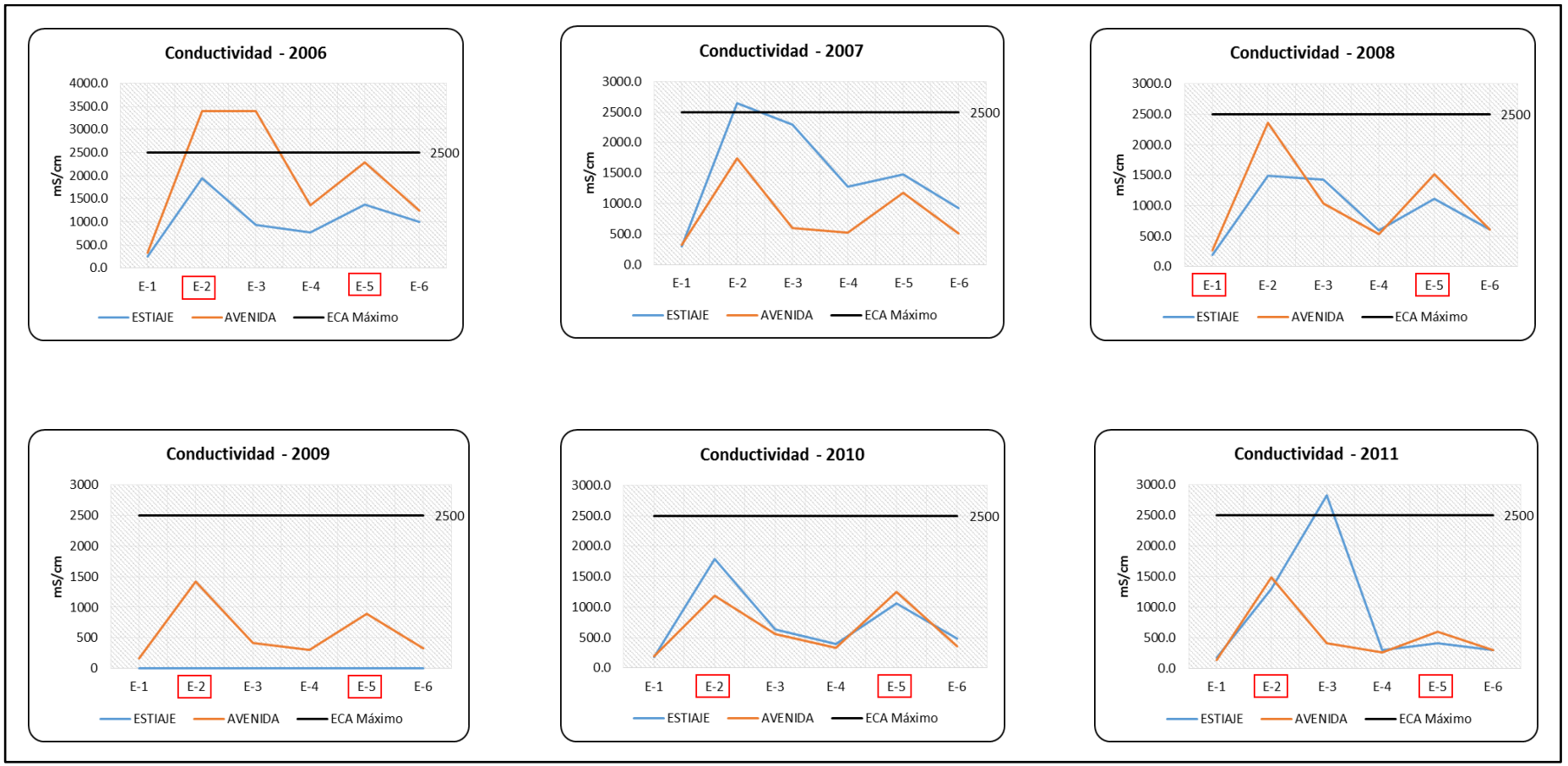


	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016
E-1	335.0	320.0	270.6	166.5	193.0	140.5	280.5	228.2	206.4	270.6	204.5
E-2	3400.0	1736.7	2358.0	1420.0	1187.7	1490.5	750.4	850.9	211.3	1765.0	210.0
E-3	3400.0	603.3	1034.8	411.0	556.0	415.5	620.4	508.5	273.6	1703.0	538.9
E-4	1350.0	523.0	529.6	302.0	330.3	258.0	550.1	378.4	273.5	857.0	365.3
E-5	2280.0	1175.7	1520.4	897.3	1244.7	602.0	780.5	720.1	698.5	545.0	994.9
E-6	1250.0	505.3	604.8	323.0	355.7	301.5	620.4	387.7	281.3	533.0	434.9
ECA Máximo	2500	2500	2500	2500	2500	2500	2500	2500	2500	2500	2500

Fuente: Elaboración propia.

Avenida: Los niveles de Conductividad Eléctrica para esta época, considerando los once años de monitoreo, las estaciones Nº 2 y 3 se encuentran excediendo los ECA para el 2006. Para los demás años y estaciones los valores de Conductividad se encuentran dentro de los rangos establecidos por norma.

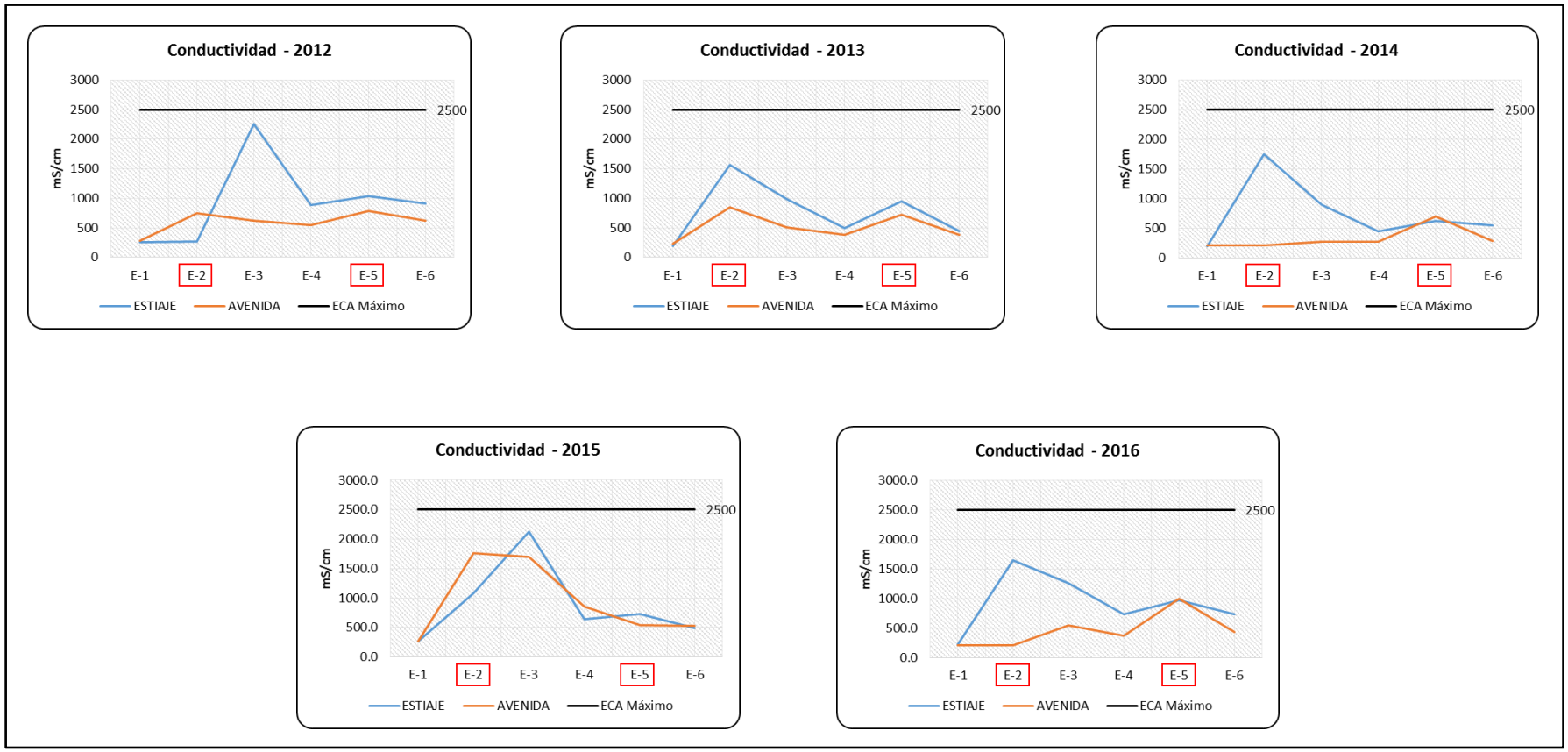
Gráfica 15: Conductividad Eléctrica en época de Avenidas y Estiaje (2006-2011)



Fuente: Elaboración propia.

*Sin datos el año 2009, época de estiaje.

Gráfica 16: Conductividad Eléctrica en época de Avenidas y Estiaje (2006-2011)



Fuente: Elaboración propia.

Evaluando la Conductividad Eléctrica en forma puntual para los años 2006 al 2016, se aprecia que el nivel de Conductividad en las Estaciones Nº 2 y 3 para el año 2006 y en época de avenidas, muestra valores fuera del Estándar de Calidad Ambiental.

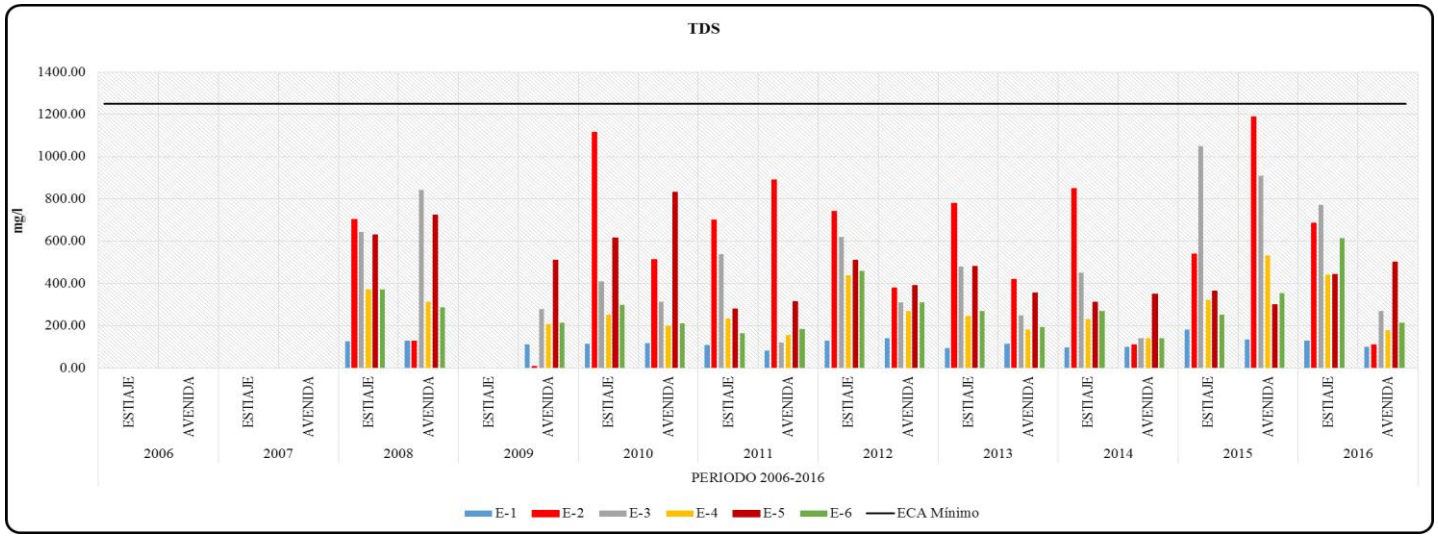
Para el año 2007, se observa que la estación Nª 2 presenta un nivel de Conductividad Eléctrica para la época de estiaje por encima del Estándar de Calidad Ambiental.

Para el año 2011 la estación Nº 3 en la época de estiaje, se observa un nivel de Conductividad Eléctrica por encima del Estándar de Calidad Ambiental.

Para los demás años y estaciones, a excepción de las antes mencionadas, el comportamiento de la Conductividad Eléctrica a través del todo el tramo de monitoreo se mantiene dentro del rango establecido en los Estándares de calidad Ambiental para la categoría Nº 3.

4.1.4. Sólidos disueltos totales

Gráfica 17: Sólidos Disueltos Totales en época de estiaje y avenida (2006-2016)

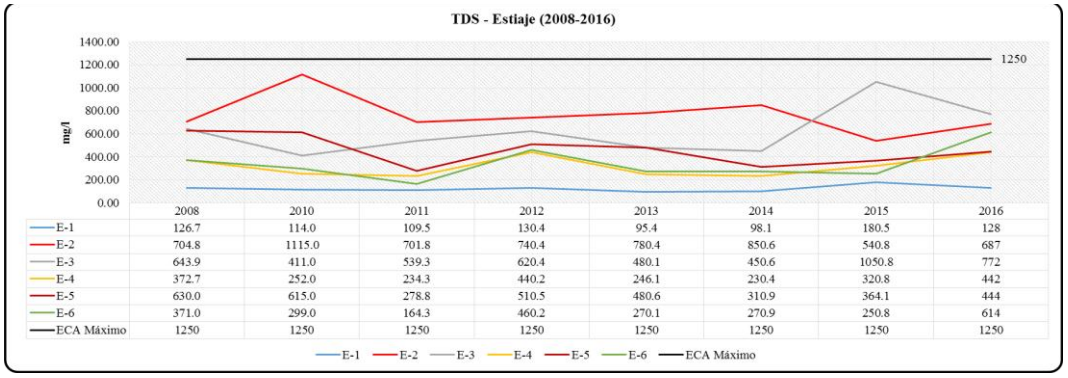


Fuente: Elaboración propia.

*Sin datos el año 2006 (época de estiaje y avenida), 2007 (época de estiaje y avenida) y 2009 (época de estiaje).

De acuerdo a la gráfica Nº 19, se puede apreciar que los valores de Solidos Totales Disueltos TDS) para los nueve años evaluados y para cada una de las Estaciones se encuentran dentro de los Estándares de Calidad Ambiental (1250 mg/l). Cabe indicar también que para los primeros dos años no se cuenta con información acerca de estas concentraciones.

Gráfica 18: Sólidos Disueltos Totales en época de estiaje (2006-2016)

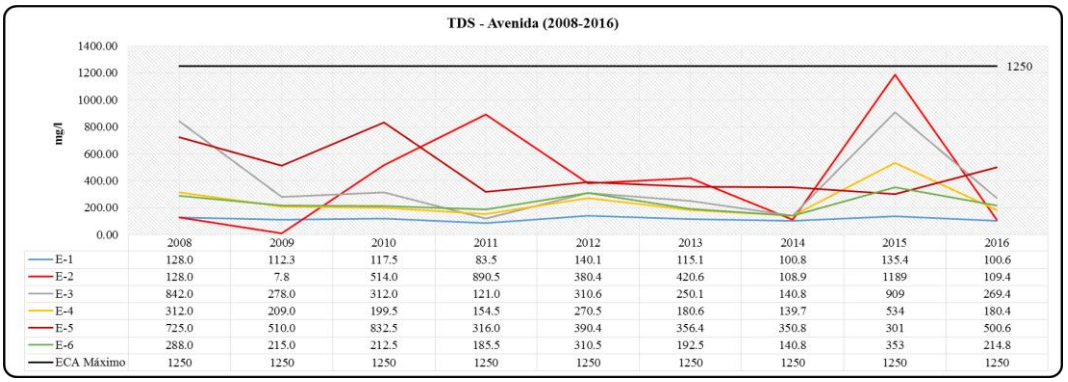


	2008	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016
E-1	126.7	114.0	109.5	130.4	95.4	98.1	180.5	128
E-2	704.8	1115.0	701.8	740.4	780.4	850.6	540.8	687
E-3	643.9	411.0	539.3	620.4	480.1	450.6	1050.8	772
E-4	372.7	252.0	234.3	440.2	246.1	230.4	320.8	442
E-5	630.0	615.0	278.8	510.5	480.6	310.9	364.1	444
E-6	371.0	299.0	164.3	460.2	270.1	270.9	250.8	614
ECA Máximo	1250	1250	1250	1250	1250	1250	1250	1250

Fuente: Elaboración propia.
*Sin datos el año 2006. 2007 y 2009.

Estiaje: El comportamiento de los Solidos Totales Disueltos a través de los años de monitoreo muestra una tendencia bastante estable que no excede en ninguna de las

Gráfica 19: Sólidos Disueltos Totales en época de avenida (2006-2016)



	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016
E-1	128.0	112.3	117.5	83.5	140.1	115.1	100.8	135.4	100.6
E-2	128.0	7.8	514.0	890.5	380.4	420.6	108.9	1189	109.4
E-3	842.0	278.0	312.0	121.0	310.6	250.1	140.8	909	269.4
E-4	312.0	209.0	199.5	154.5	270.5	180.6	139.7	534	180.4
E-5	725.0	510.0	832.5	316.0	390.4	356.4	350.8	301	500.6
E-6	288.0	215.0	212.5	185.5	310.5	192.5	140.8	353	214.8
ECA Máximo	1250	1250	1250	1250	1250	1250	1250	1250	1250

Estaciones el Estándar de Calidad Ambiental.

Fuente: Elaboración propia.
*Sin datos el año 2006 y 2007.

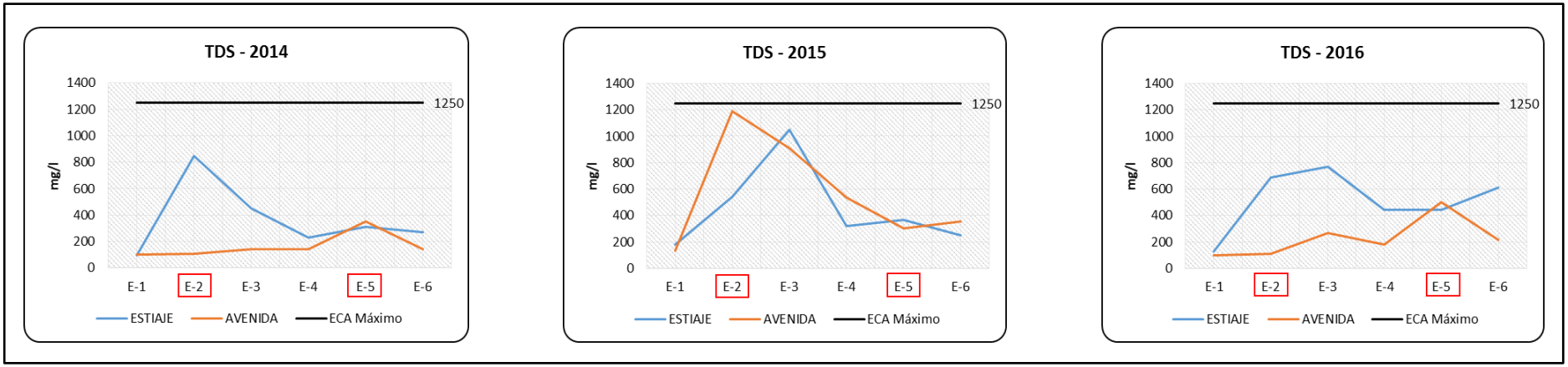
Avenida: Al igual que en la época de Avenidas los Solidos Totales Disueltos para esta época, considerando los nueve años de monitoreo, muestra una tendencia estable a través de todo este tiempo, no superando los rangos establecidos por norma.

Gráfica 20: Sólidos Disueltos Totales en época de estiaje y avenida (2006-2013)

Fuente: Elaboración propia.

*Sin datos el año 2006 (época de estiaje y avenida), 2007 (época de estiaje y avenida) y 2009 (época de estiaje).

Gráfica 21: Sólidos Disueltos Totales en época de estiaje y avenida (2012-2016)



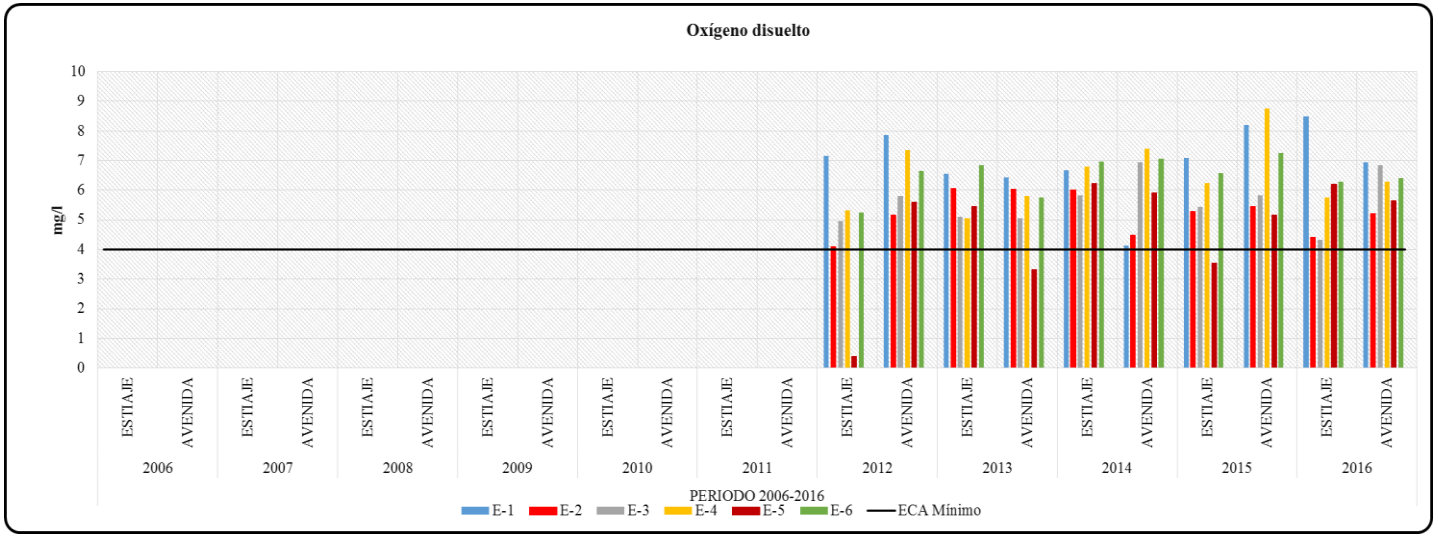
Fuente: Elaboración propia.

Evaluando los Solidos Totales Disueltos en forma más específica año por año (2008- 2016), se aprecia que el nivel de los Solidos Totales Disueltos a través del todo el tramo de monitoreo se mantiene dentro del rango establecido en los Estándares de Calidad Ambiental para la categoría Nº 3.

4.2. Parámetros orgánicos

4.2.1. Oxígeno Disuelto

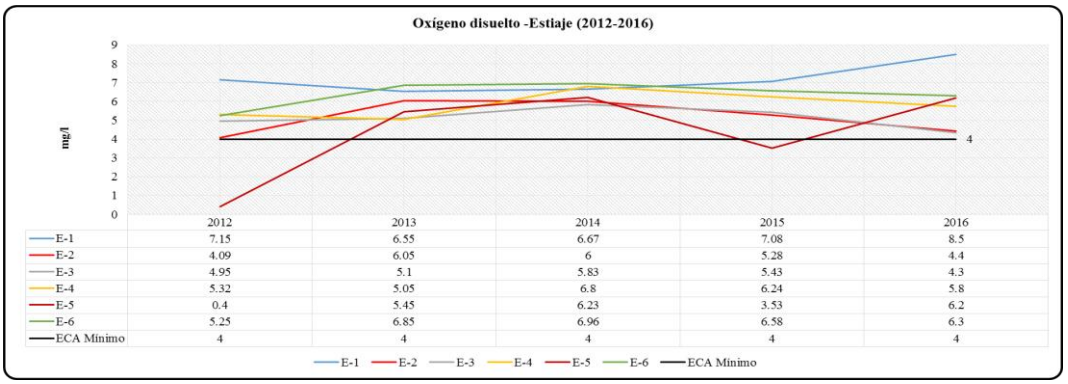
Gráfica 22: Oxígeno Disuelto en época de estiaje y avenida (2006-2016)



Fuente: Elaboración propia.
*Sin datos desde el año 2006-2011 (época de estiaje y avenida)

De acuerdo a la gráfica Nº 24, se observa que los niveles de Oxígeno Disuelto de los cinco años evaluados, en tres de ellos existe una estación que muestra valores por debajo de lo establecido en el Estándar de Calidad Ambiental (4.0 mg/l). En las demás estaciones los niveles de Oxígeno Disuelto se encuentran dentro de los valores normales. Cabe indicar también que para los primeros cinco años no se cuenta con información acerca de estas concentraciones.

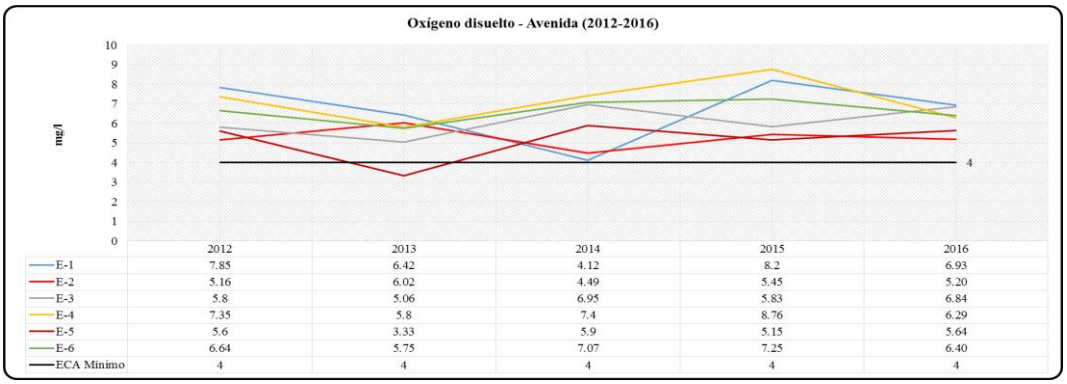
Gráfica 23: Oxígeno Disuelto en época de estiaje (2012-2016)



Fuente: Elaboración propia.

Estiaje: El comportamiento del Oxígeno Disuelto a través de los años de monitoreo muestra una tendencia bastante estable que no excede en la mayoría de las Estaciones el Estándar de Calidad Ambiental. Únicamente en los años 2012 y 2015 la Estación Nº 5 se encuentra por debajo del ECA. Los demás años se encuentran dentro de los valores

Gráfica 24: Oxígeno Disuelto en época de avenida (2012-2016)



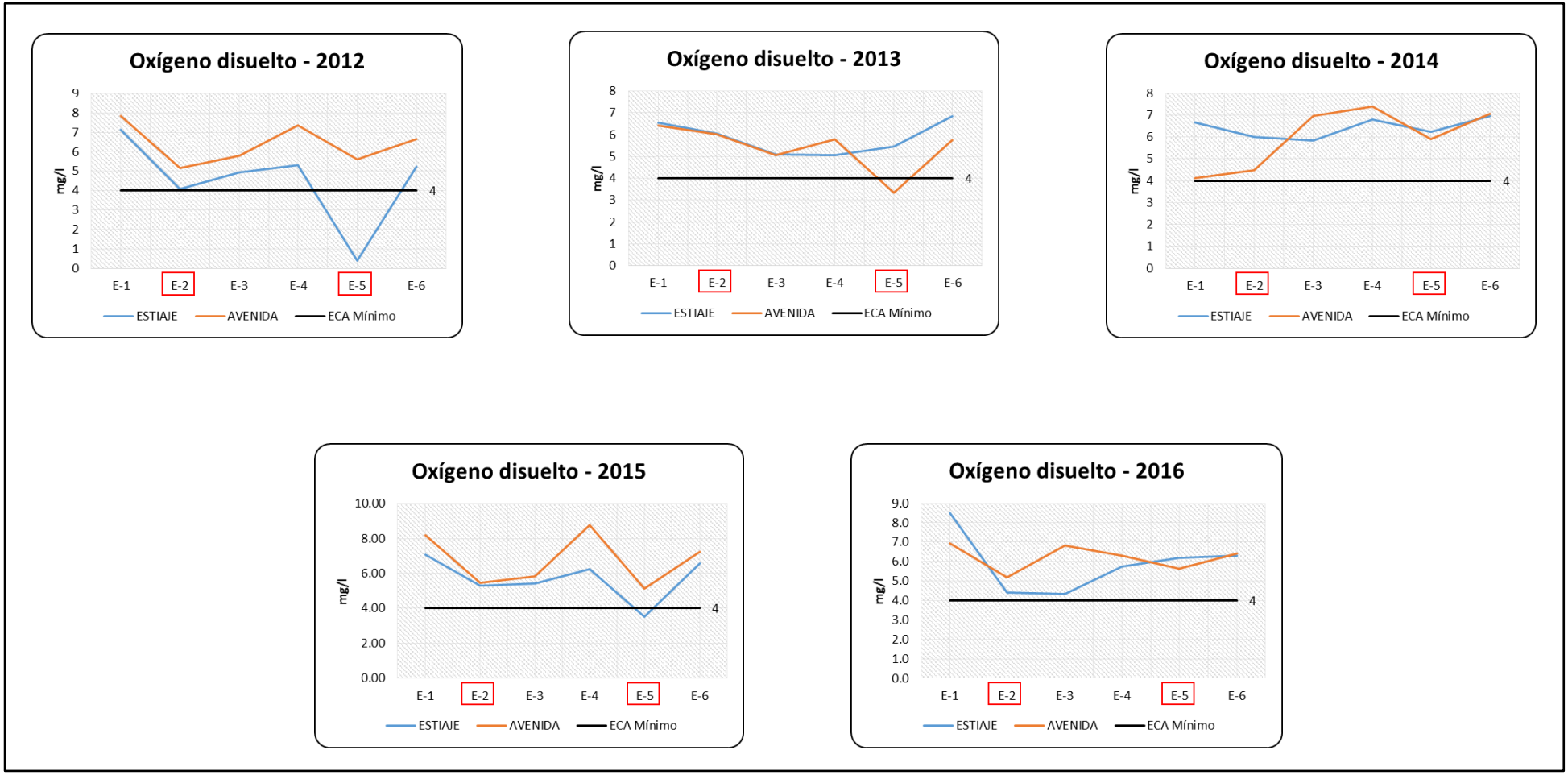
normales para las otras estaciones.

Fuente: Elaboración propia.

Avenida: El nivel de Oxígeno Disuelto para esta época, considerando los cinco años de monitoreo, la estación Nº 5 se encuentra excediendo el ECA para el año 2013. Para los

demás años y estaciones los valores de Oxígeno Disuelto se encuentran dentro de los rangos establecidos por norma.

Gráfica 25: Oxígeno Disuelto en época de estiaje y avenida (2012-2016)



Fuente: Elaboración propia.

Evaluando las concentraciones de Oxígeno Disuelto en forma puntual para los años 2012 al 2016, se aprecia que estos niveles para la Estación Nº 5 en el año 2012, el valor está por debajo del Estándar de Calidad Ambiental, para la época de estiaje.

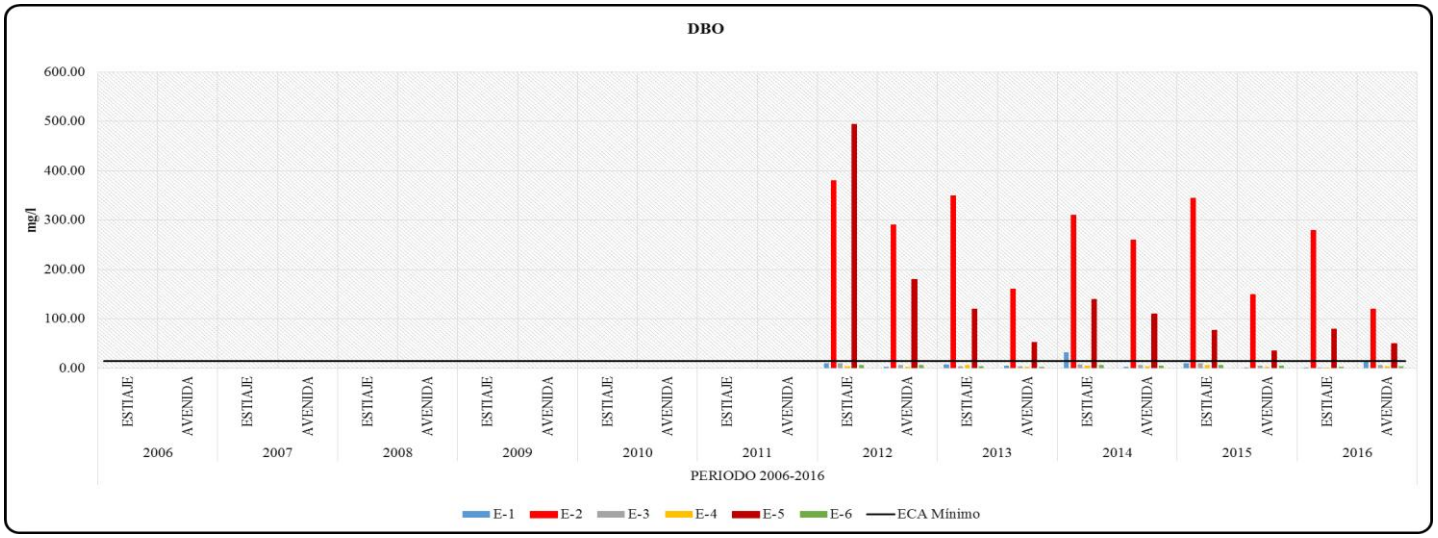
Para el año 2013, se observa que la estación Nº 5 presenta un nivel de O.D para la época de avenida por debajo del Estándar de Calidad Ambiental.

Para el año 2015 la estación Nº 5 en la época de estiaje, se observa un nivel de O.D se encuentra por debajo del Estándar de Calidad Ambiental.

Para los demás años y estaciones, a excepción de las antes mencionados, el comportamiento del Oxígeno Disuelto a través del todo el tramo de monitoreo se mantiene dentro del rango establecido en los Estándares de calidad Ambiental para la categoría Nº 3.

4.2.2. Demanda Bioquímica de oxígeno

Gráfica 26: Demanda Bioquímica en época de estiaje y avenida (2006-2016)

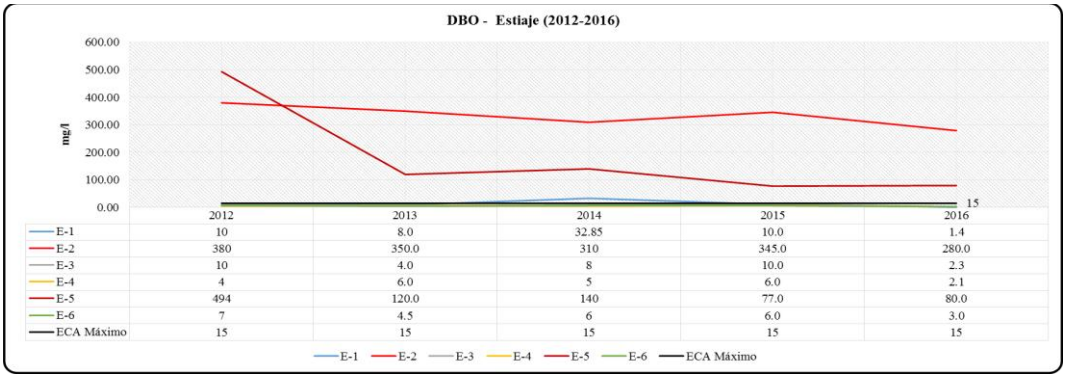


Fuente: Elaboración propia.

*Sin datos desde el año 2006-2011 (época de estiaje y avenida)

En la gráfica Nº 28, se observa que las concentraciones de la Demanda Bioquímica de Oxigeno en los cinco años evaluados, dos de las estaciones monitoreadas se encuentran fuera del Estándar de Calidad Ambiental (15.0 mg/l). De igual forma, para los mismos años considerados de monitoreo, las otras estaciones se encuentran con valores que no exceden los rangos permitidos por norma. Cabe indicar también que para los primeros cinco años no se cuenta con información acerca de estas concentraciones.

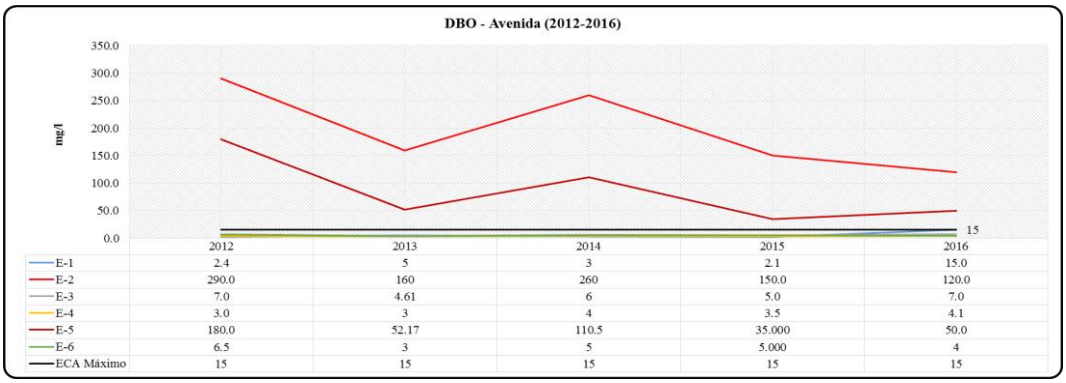
Gráfica 27: Demanda Bioquímica de Oxígeno en época de estiaje (2012-2016)



Fuente: Elaboración propia.

Estiaje: El comportamiento de la DBO a través de los cinco años de monitoreo muestra una tendencia diferente para las estaciones Nº 2 y 5 en relación a las estaciones Nº 1, 3, 4 y 6. Las dos primeras estaciones exceden los ECA y las cuatro últimas permanecen

Gráfica 28: Demanda Bioquímica de Oxígeno en época de avenida (2012-2016)

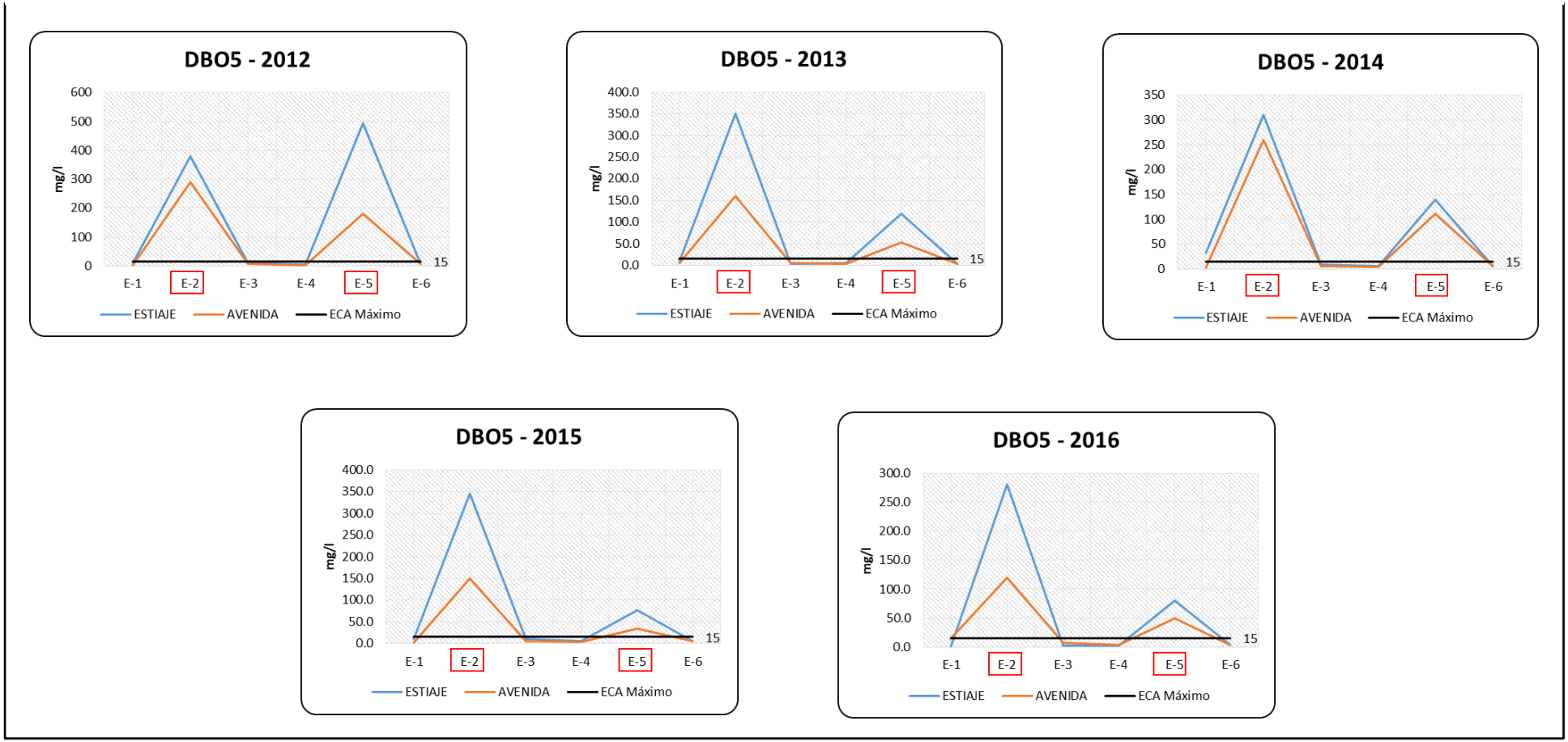


todo el tiempo dentro de los Estándares de Calidad Ambiental.

Fuente: Elaboración propia.

Avenida: En esta época del año los niveles de la DBO, considerando los cinco años de monitoreo, muestran un comportamiento semejante al de estiaje, donde las Estaciones Nº 2 y 5, son las que exceden los Estándares de Calidad y las estaciones Nº 1, 3, 4 y 6 se mantienen constantes durante todo el tiempo de monitoreo sin exceder los rangos establecidos por norma.

Gráfica 29: Demanda Bioquímica de Oxigeno en época de estiaje y avenida (2012-2016)



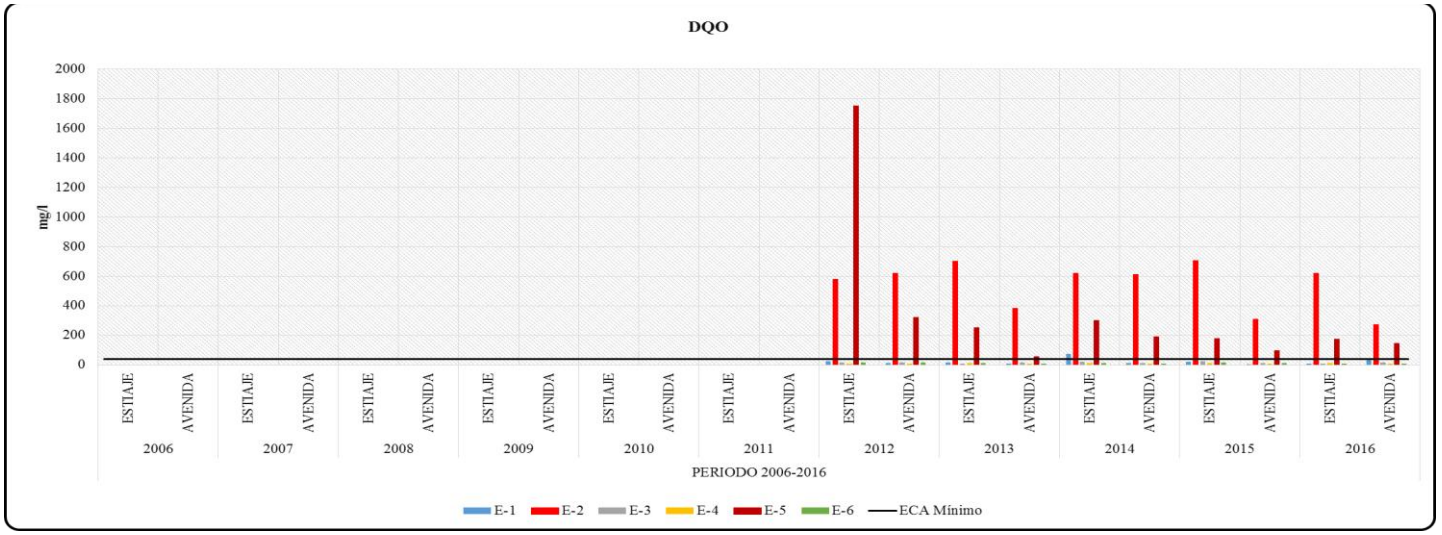
Fuente: Elaboración propia.

Evaluando las concentraciones de DBO en forma más puntual año por año (2012 al 2016), en todo el tramo de monitoreo, los niveles de DBO en las Estaciones Nº 2 y 5 se mantienen siempre excediendo los Estándares de Calidad Ambiental para los cinco años de investigación, tanto para la época de avenidas como para época de estiaje.

De igual manera podemos observar para los mismos años (2012-2016) que las estaciones Nº 1, 3, 4 y 6 mantienen siempre dentro de los Estándares de Calidad Ambiental, tanto para la época de avenidas como para la época de estiaje.

4.2.3. Demanda química de oxígeno

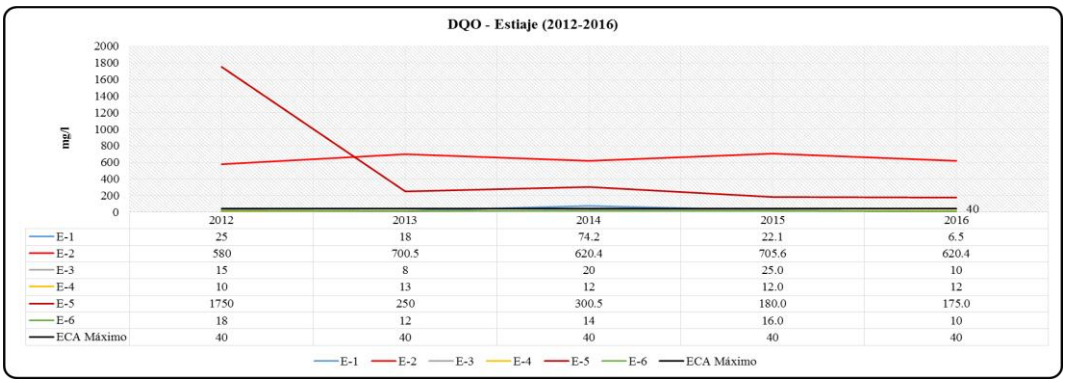
Gráfica 30: Demanda Química de Oxígeno en época de estiaje y avenida (2006-2016)



Fuente: Elaboración propia.
*Sin datos desde el año 2006-2011 (época de estiaje y avenida)

En la gráfica Nº 32, se observa que las concentraciones de la Demanda Química de Oxigeno en los cinco años evaluados, dos de las estaciones monitoreadas se encuentran fuera del Estándar de Calidad Ambiental (40.0 mg/l). De igual forma, para los mismos años considerados de monitoreo, las otras estaciones se encuentran con valores que no exceden los rangos permitidos por norma. Cabe indicar también que para los primeros cinco años no se cuenta con información acerca de estas concentraciones.

Gráfica 31: Demanda Química de Oxígeno en época de estiaje (2012-2016)

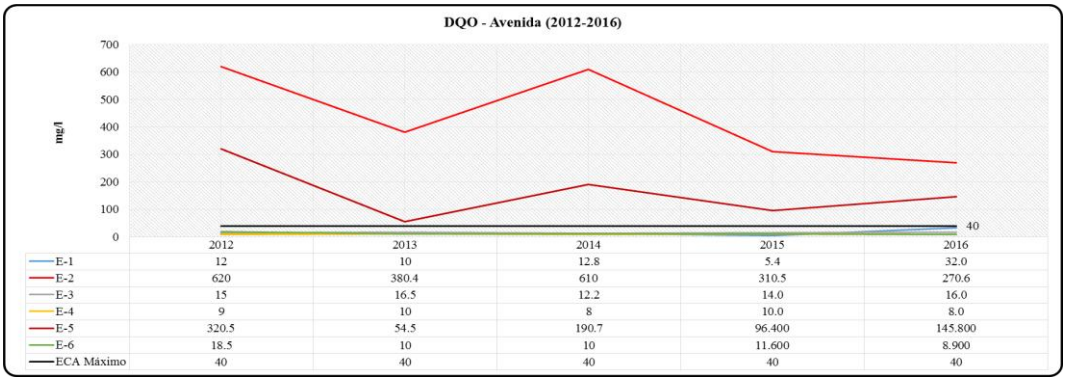


	2012	2013	2014	2015	2016
E-1	25	18	74.2	22.1	6.5
E-2	580	700.5	620.4	705.6	620.4
E-3	15	8	20	25.0	10
E-4	10	13	12	12.0	12
E-5	1750	250	300.5	180.0	175.0
E-6	18	12	14	16.0	10
ECA Máximo	40	40	40	40	40

Fuente: Elaboración propia.

Estiaje: El comportamiento de la DQO a través de los cinco años de monitoreo muestra una tendencia diferente para las estaciones Nº 2 y 5 en relación a las estaciones Nº 1, 3, 4 y 6. Las dos primeras estaciones exceden los ECA y las cuatro últimas permanecen

Gráfica 32: Demanda Química de Oxígeno en época de avenida (2012-2016)



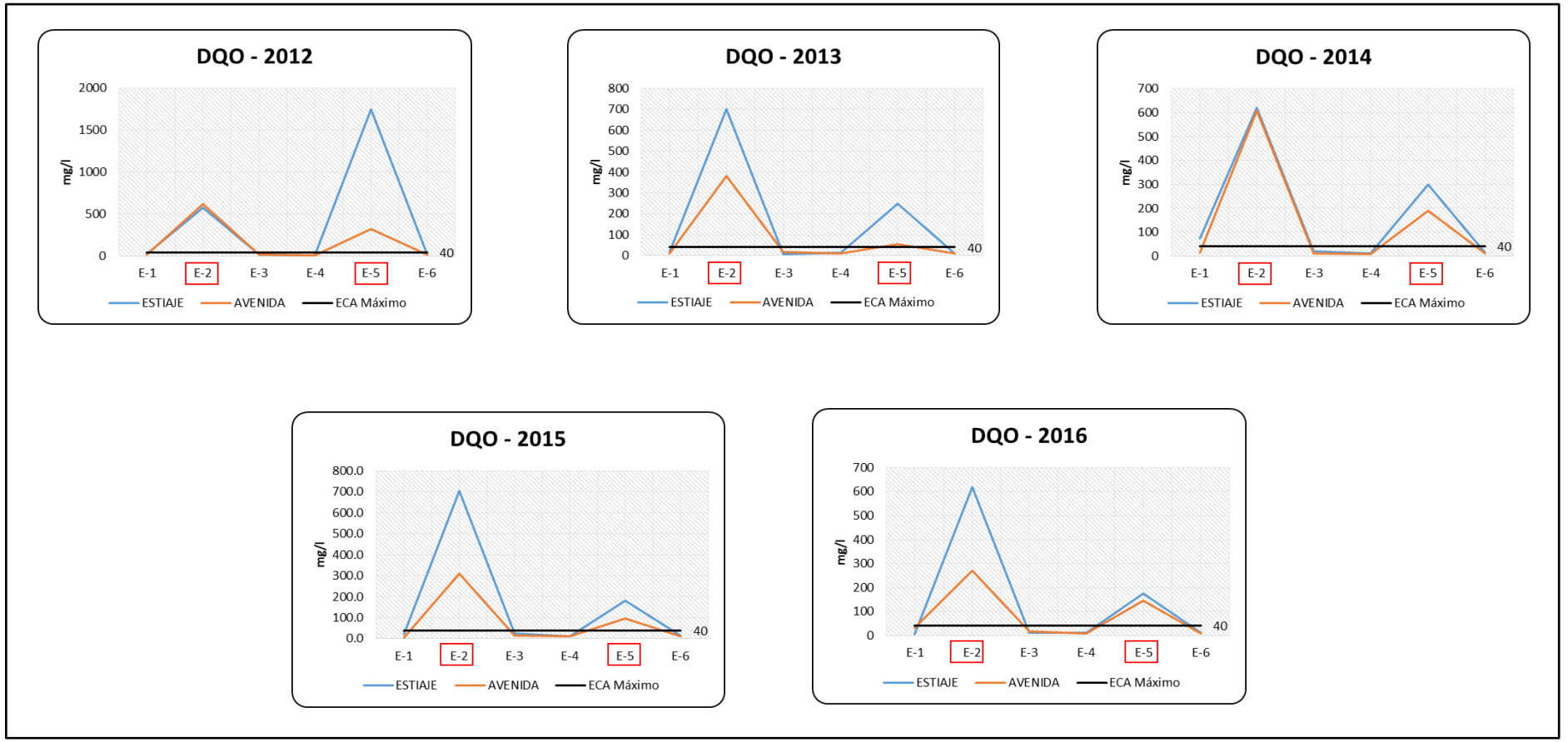
	2012	2013	2014	2015	2016
E-1	12	10	12.8	5.4	32.0
E-2	620	380.4	610	310.5	270.6
E-3	15	16.5	12.2	14.0	16.0
E-4	9	10	8	10.0	8.0
E-5	320.5	54.5	190.7	96.400	145.800
E-6	18.5	10	10	11.600	8.900
ECA Máximo	40	40	40	40	40

todo el tiempo dentro de los Estándares de Calidad Ambiental.

Fuente: Elaboración propia.

Avenida: En esta época del año los niveles de la DQO, considerando los cinco años de monitoreo, muestran un comportamiento semejante al de estiaje, donde las Estaciones Nº 2 y 5, son las que exceden los Estándares de Calidad y las estaciones Nº 1, 3, 4 y 6 se mantienen constantes durante todo el tiempo de monitoreo sin exceder los rangos establecidos por norma.

Gráfica 33: Demanda Química de Oxígeno en época de estiaje y avenida (2012-2016)



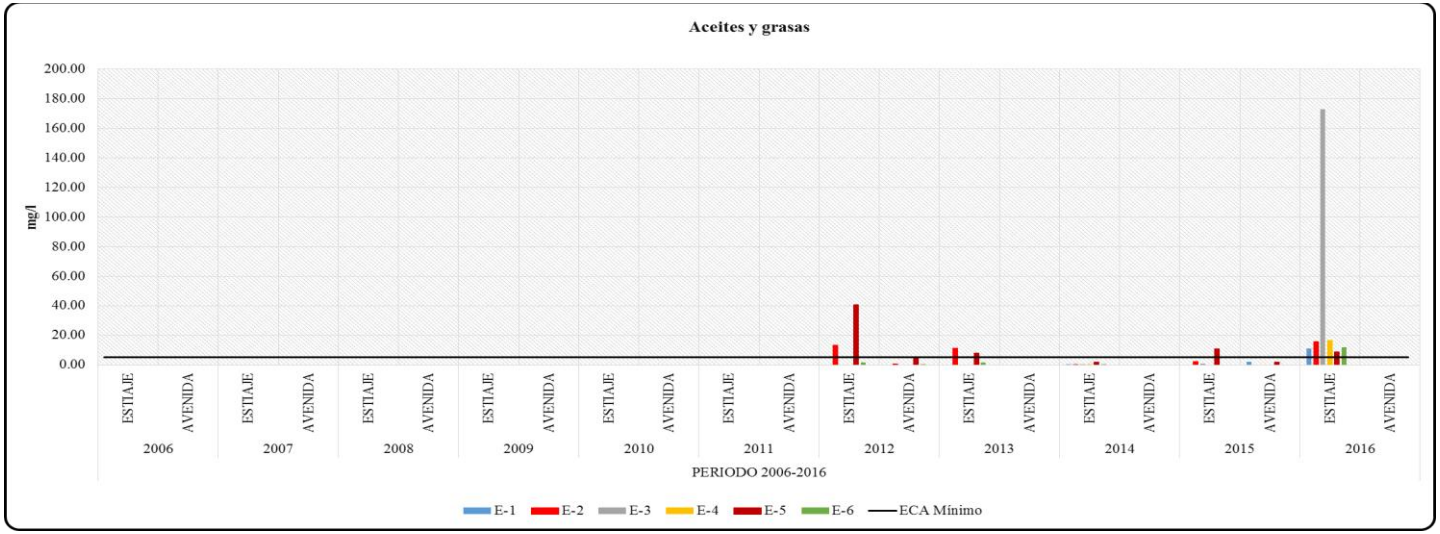
Fuente: Elaboración propia.

Evaluando las concentraciones de DQO en forma puntual año por año (2012 al 2016), en todo el tramo de monitoreo, los niveles de DQO en las Estaciones Nº 2 y 5 se mantienen siempre excediendo los Estándares de Calidad Ambiental para los cinco años de investigación, tanto para la época de avenidas como para época de estiaje.

De igual manera podemos observar el comportamiento de la DQO a través de todo el tramo de monitoreo, para los mismos años (2012-2016) que las estaciones Nº 1, 3, 4 y 6 se mantienen siempre dentro de los Estándares de Calidad Ambiental, tanto para la época de avenidas como para la época de estiaje.

4.2.4. Aceites y grasa

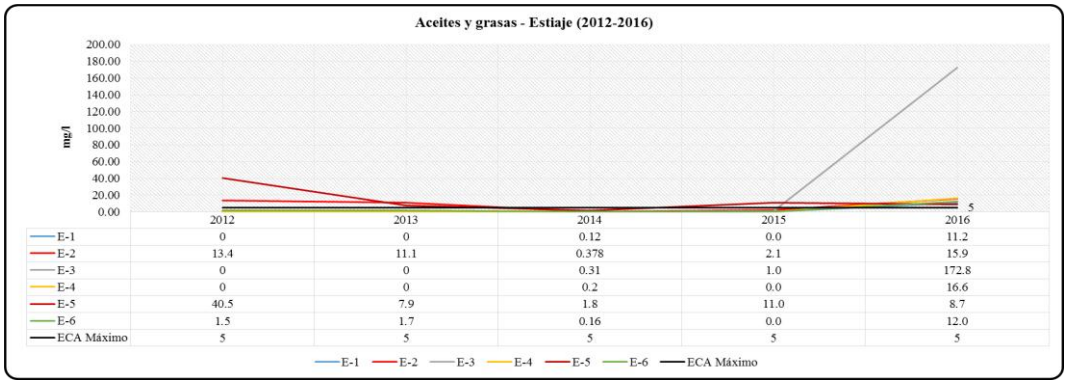
Gráfica 34: Aceites y Grasa en época de estiaje y avenida (2006-2016)



Fuente: Elaboración propia.
*Sin datos desde el año 2006-2011 (época de estiaje y avenida)

De acuerdo a la gráfica Nº 36, se puede apreciar que las concentraciones de Aceites y Grasa para los cinco años evaluados, muestran niveles que exceden el Estándares de Calidad Ambiental (5.0 mg/l), esto es para cuatro de los años de investigación y para cuatro estaciones de monitoreo. Cabe indicar también que para los primeros cinco años no se cuenta con información acerca de estas concentraciones.

Gráfica 35: Aceites y Grasa en época de estiaje (2012-2016)

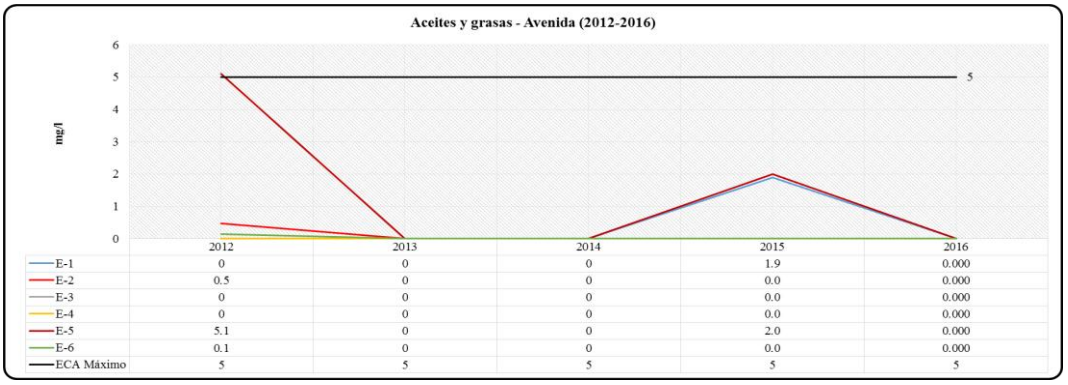


	2012	2013	2014	2015	2016
E-1	0	0	0.12	0.0	11.2
E-2	13.4	11.1	0.378	2.1	15.9
E-3	0	0	0.31	1.0	172.8
E-4	0	0	0.2	0.0	16.6
E-5	40.5	7.9	1.8	11.0	8.7
E-6	1.5	1.7	0.16	0.0	12.0
ECA Máximo	5	5	5	5	5

Fuente: Elaboración propia.

Estiaje: El comportamiento de los Aceites y Grasa a través de los cinco años de monitoreo muestra un incremento al final del año 2016 correspondiente a las estaciones Nº 1, 3, 4 y 6, excediendo los Estándares de Calidad Ambiental. En relación a las estaciones Nº 2 y 5 sus concentraciones se encuentran fuera de los ECA para los años 2012 y 2013, pero luego bajan sus niveles para el año 2014 y se incrementan

Gráfica 36: Aceites y grasas en época de avenida (2012-2016)



	2012	2013	2014	2015	2016
E-1	0	0	0	1.9	0.000
E-2	0.5	0	0	0.0	0.000
E-3	0	0	0	0.0	0.000
E-4	0	0	0	0.0	0.000
E-5	5.1	0	0	2.0	0.000
E-6	0.1	0	0	0.0	0.000
ECA Máximo	5	5	5	5	5

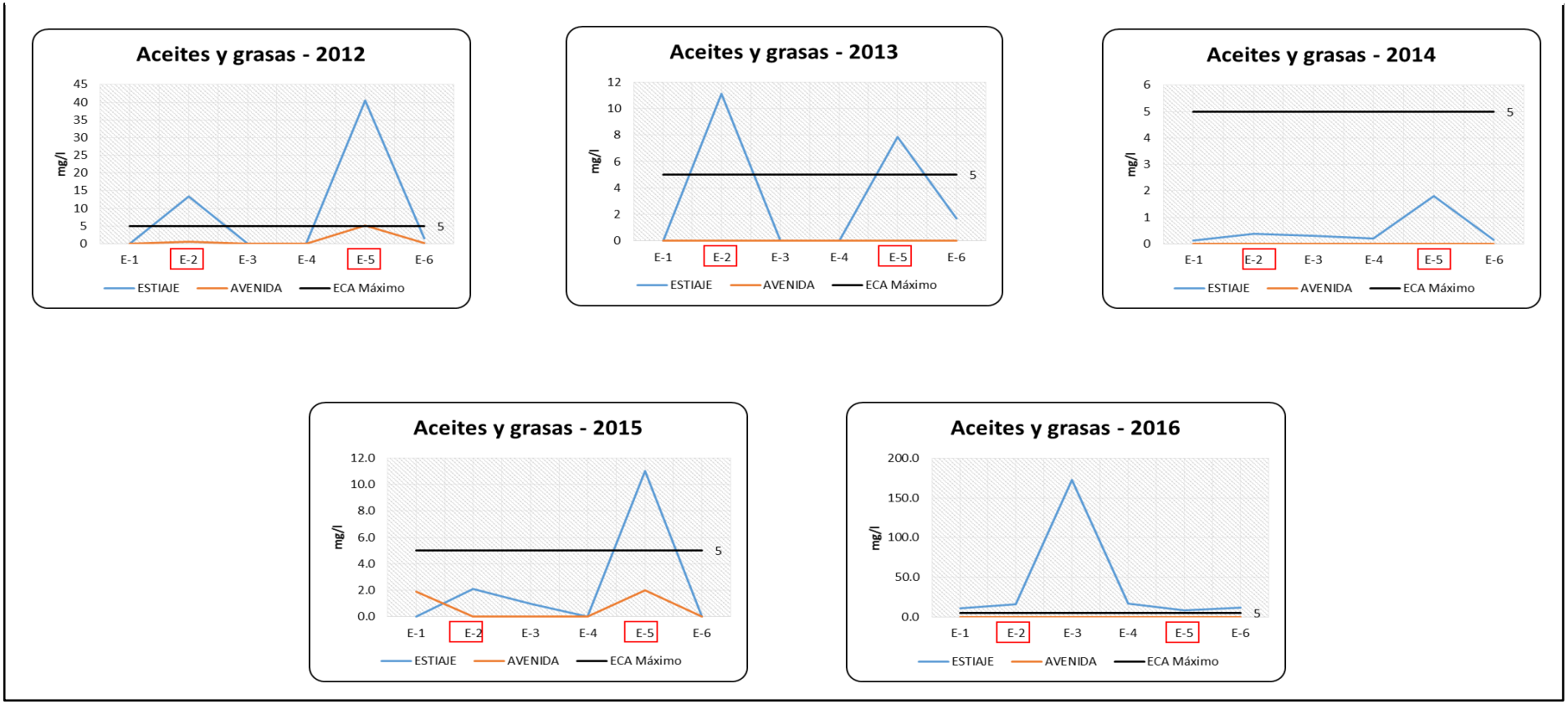
nuevamente en el año 2016

Fuente: Elaboración propia.

Avenida: En esta época del año los niveles de Aceites y Grasa, considerando los cinco años de monitoreo (2012-2016), muestran un comportamiento casi estable para todas las

estaciones sin exceder los Estándares de Calidad Ambiental, solo habría que indicar puntualmente que en el año 2012 la Estación Nº 5 excedió lo establecido en la norma.

Gráfica 37: Aceites y Grasas en época de estiaje y avenida (2012-2016)



Fuente: Elaboración propia.

En todo el tramo de monitoreo y evaluando las concentraciones de Aceites y Grasa en forma puntual año por año (2012 al 2016), se aprecia que dichos niveles para los años 2012 y 2013 en las Estaciones Nº 2 y 5 exceden los Estándares de Calidad Ambiental en la época de estiaje.

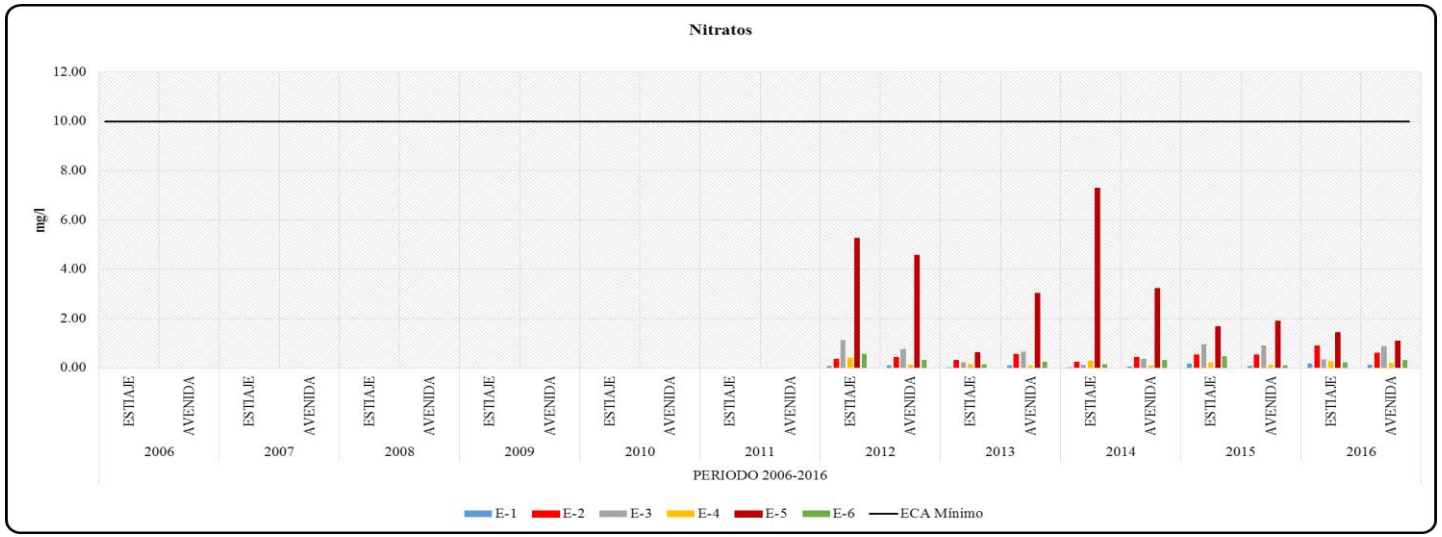
Para los años 2014 y 2015, todas las concentraciones de Aceites y Grasa se encuentran dentro de los Estándares de Calidad Ambiental, tanto para la época de avenida como para la época de estiaje.

Para el año 2016, en la época de estiaje el comportamiento de los Aceites y Grasa a través de todo el tramo de monitoreo, las estaciones Nº 1, 2, 3, 4, 5 y 6 se encuentran fuera de los Estándares de Calidad Ambiental.

4.2.5.

Gráfica 38: Nitratos en época de estiaje y avenida (2006-2016)

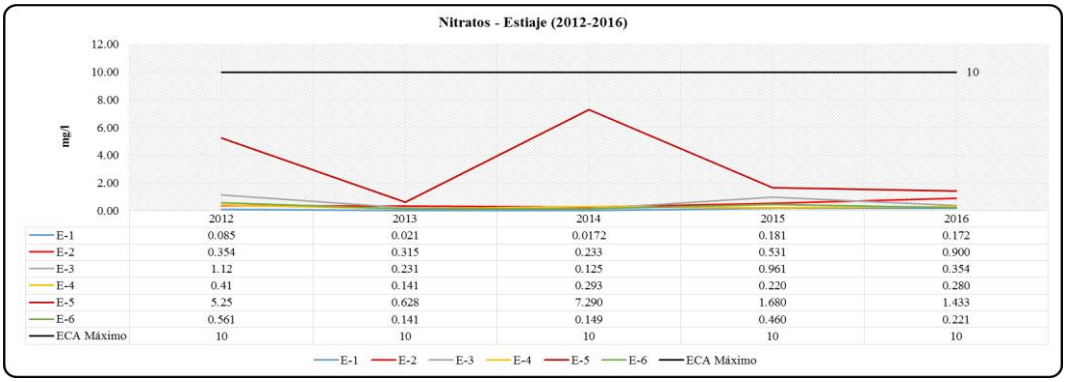
Nitratos



Fuente: Elaboración propia.
*Sin datos desde el año 2006-2011 (época de estiaje y avenida)

De acuerdo a la gráfica N° 40, se observa que los valores de Nitratos (NO_3) para los cinco años evaluados y para cada una de las Estaciones de monitoreo se encuentran dentro de los Estándares de Calidad Ambiental (10.0 mg/l). Cabe indicar también que para los primeros cinco años no se cuenta con información acerca de estas concentraciones.

Gráfica 39: Nitratos en época de estiaje (2012-2016)

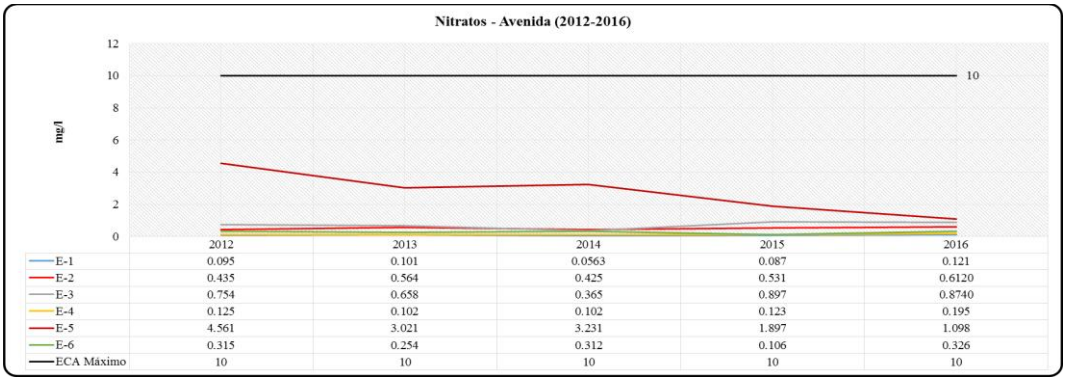


	2012	2013	2014	2015	2016
E-1	0.085	0.021	0.0172	0.181	0.172
E-2	0.354	0.315	0.233	0.531	0.900
E-3	1.12	0.231	0.125	0.961	0.354
E-4	0.41	0.141	0.293	0.220	0.280
E-5	5.25	0.628	7.290	1.680	1.433
E-6	0.561	0.141	0.149	0.460	0.221
ECA Máximo	10	10	10	10	10

Fuente: Elaboración propia.

Estiaje: En esta época, el comportamiento de los Nitratos durante los años de monitoreo muestra una tendencia bastante estable que no excede en ningún periodo el Estándar de Calidad Ambiental.

Gráfica 40: Nitratos en época de avenida (2012-2016)

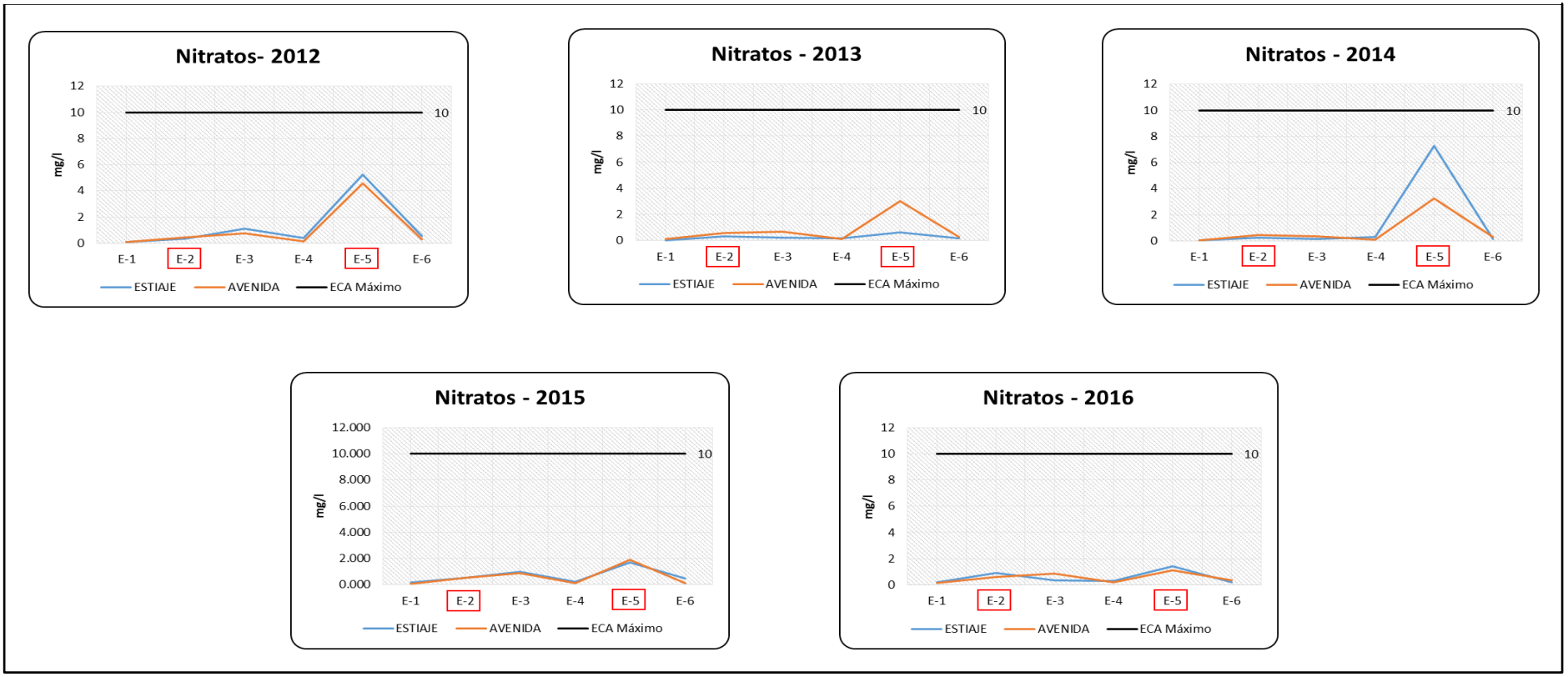


	2012	2013	2014	2015	2016
E-1	0.095	0.101	0.0563	0.087	0.121
E-2	0.435	0.564	0.425	0.531	0.6120
E-3	0.754	0.658	0.365	0.897	0.8740
E-4	0.125	0.102	0.102	0.123	0.195
E-5	4.561	3.021	3.231	1.897	1.098
E-6	0.315	0.254	0.312	0.106	0.326
ECA Máximo	10	10	10	10	10

Fuente: Elaboración propia.

Avenida: Para estos cinco años de monitoreo, al igual que en la época de Avenidas los Nitratos muestran una tendencia estable a través de todo este tiempo, no superando los rangos establecidos por norma.

Gráfica 41: Nitratos en época de estiaje y avenida (2012-2016)

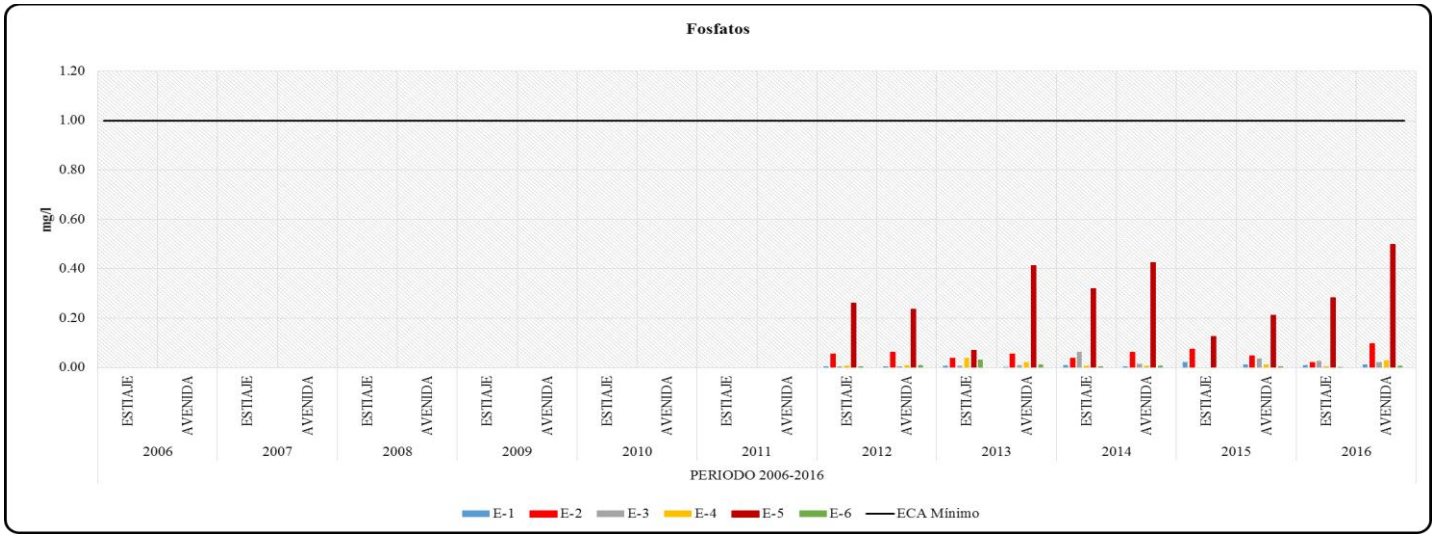


Fuente: Elaboración propia.

Evaluando los Nitratos en forma más específica año por año (2012- 2016), se aprecia que el nivel de Nitratos a través del todo el tramo de monitoreo se mantiene dentro del rango establecido en los Estándares de Calidad Ambiental para la categoría Nº 3.

4.2.6. Fosfatos

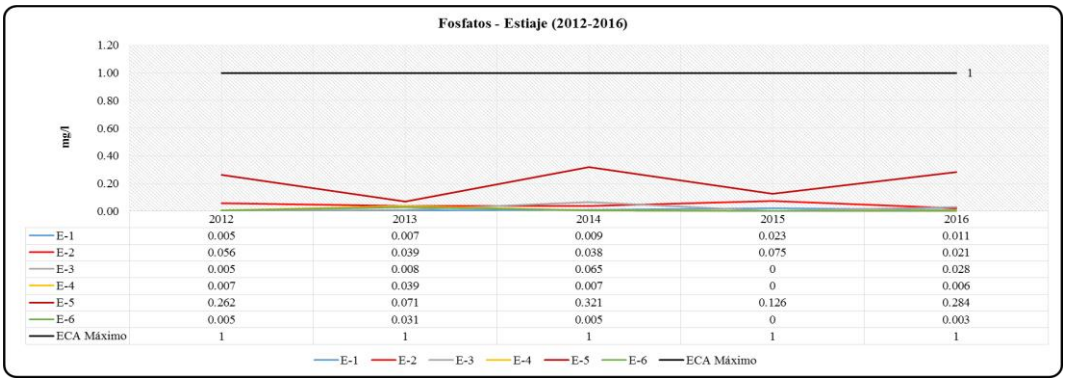
Gráfica 42: Fosfatos en época de estiaje y avenida (2006-2016)



Fuente: Elaboración propia.
*Sin datos desde el año 2006-2011 (época de estiaje y avenida)

En la gráfica Nº44, se observa que los valores de Fosfatos (PO_4) para los cinco años evaluados y para cada una de las Estaciones monitoreadas se encuentran dentro de los Estándares de Calidad Ambiental (1.0 mg/l). Cabe indicar también que para los primeros cinco años no se cuenta con información acerca de estas concentraciones.

Gráfica 43: Fosfatos en época de estiaje (2012-2016)

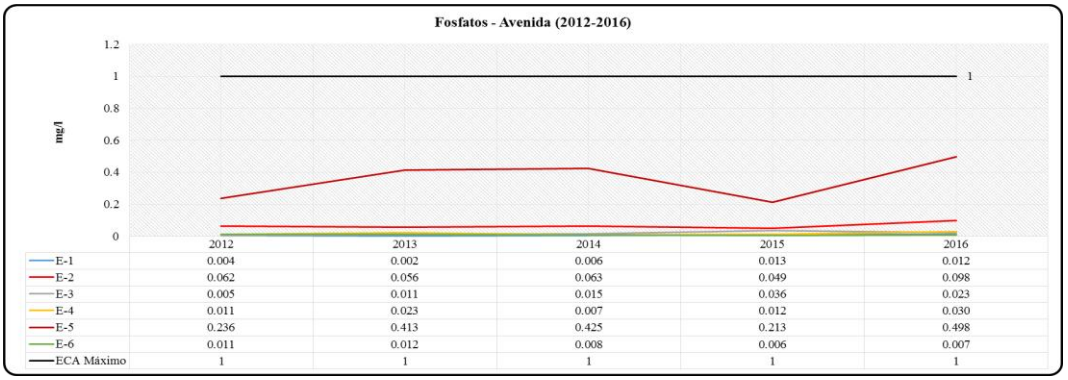


	2012	2013	2014	2015	2016
E-1	0.005	0.007	0.009	0.023	0.011
E-2	0.056	0.039	0.038	0.075	0.021
E-3	0.005	0.008	0.065	0	0.028
E-4	0.007	0.039	0.007	0	0.006
E-5	0.262	0.071	0.321	0.126	0.284
E-6	0.005	0.031	0.005	0	0.003
ECA Máximo	1	1	1	1	1

Fuente: Elaboración propia.

Estiaje: En esta época, el comportamiento de los Fosfatos durante los años de monitoreo muestra una tendencia bastante estable que no excede en ningún periodo el Estándar de Calidad Ambiental.

Gráfica 44: Fosfatos en época de avenida (2006-2016)



	2012	2013	2014	2015	2016
E-1	0.004	0.002	0.006	0.013	0.012
E-2	0.062	0.056	0.063	0.049	0.098
E-3	0.005	0.011	0.015	0.036	0.023
E-4	0.011	0.023	0.007	0.012	0.030
E-5	0.236	0.413	0.425	0.213	0.498
E-6	0.011	0.012	0.008	0.006	0.007
ECA Máximo	1	1	1	1	1

Fuente: Elaboración propia.

Avenida: Para estos cinco años de monitoreo, al igual que en la época de estiaje los Fosfatos muestran una tendencia estable a través de todo este tiempo, no superando los rangos establecidos por norma.

Gráfica 45: Fosfatos en época de estiaje y avenida (2012-2016)

Fuente: Elaboración propia.

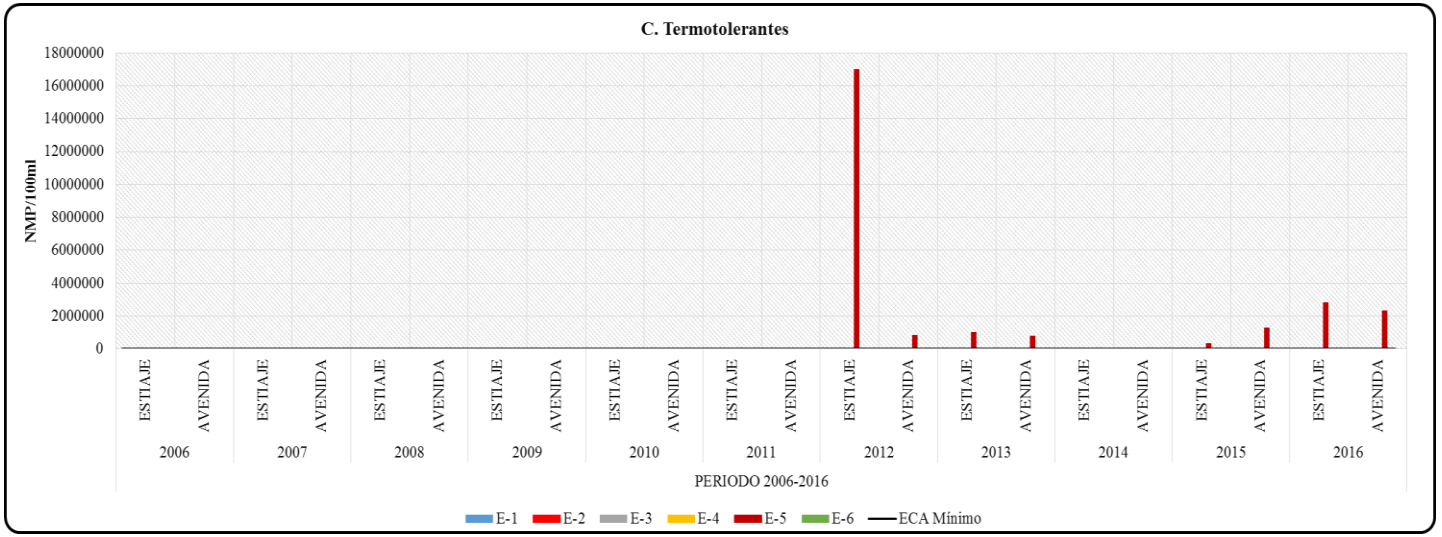
Evaluando los Fosfatos en forma más específica año por año (2012- 2016), se aprecia que sus concentraciones a través del todo el tramo de monitoreo se mantiene dentro del rango establecido en los Estándares de Calidad Ambiental para la categoría Nº 3.

4.3. Parámetros Microbiológicos

4.3.1.

Gráfica 46: Coliformes Termotolerantes en época de estiaje y avenida (2006-2016)

Coliformes Termotolerantes

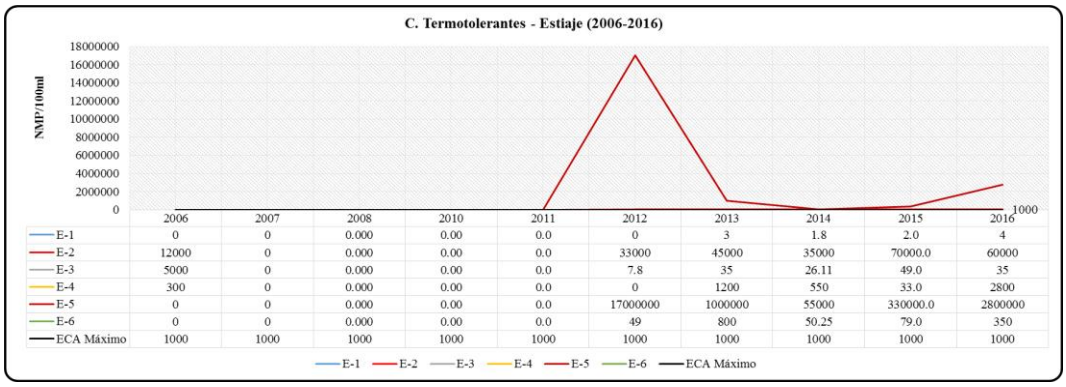


Fuente: Elaboración propia.

*Sin datos desde el año 2008-2011 (época de estiaje y avenida)

De acuerdo a la gráfica Nº48, se puede observar que el nivel de Coliformes Termotolerantes para los siete años de evaluación, hay dos estaciones que se encuentran con valores fuera de los Estándares de Calidad Ambiental (1000 NMP/100 ml). Cabe indicar también que para los años 2008 al 2011 no se cuenta con información acerca de las concentraciones de este parámetro.

Gráfica 47: Coliformes termotolerantes en época de estiaje (2006-2016)

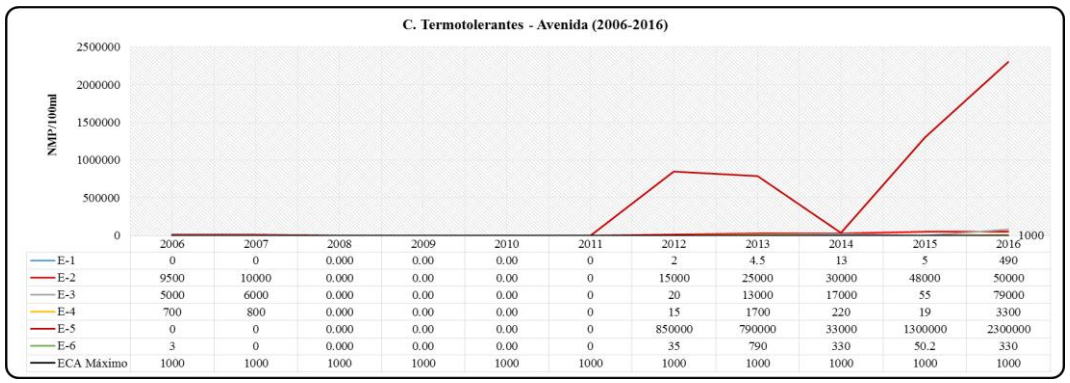


	2006	2007	2008	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016
E-1	0	0	0.000	0.00	0.0	0	3	1.8	2.0	4
E-2	12000	0	0.000	0.00	0.0	33000	45000	35000	70000.0	60000
E-3	5000	0	0.000	0.00	0.0	7.8	35	26.11	49.0	35
E-4	300	0	0.000	0.00	0.0	0	1200	550	33.0	2800
E-5	0	0	0.000	0.00	0.0	17000000	1000000	55000	330000.0	2800000
E-6	0	0	0.000	0.00	0.0	49	800	50.25	79.0	350
ECA Máximo	1000	1000	1000	1000	1000	1000	1000	1000	1000	1000

Fuente: Elaboración propia.

Estiaje: El comportamiento de los Coliformes Termotolerantes a través de los años de monitoreo muestra un incremento significativo a partir del año al 2012, excediendo los Estándar de Calidad Ambiental. Esta tendencia observable es para las estaciones Nº 2 y

Gráfica 48: Coliformes termotolerantes en época de avenida (2006-2016)



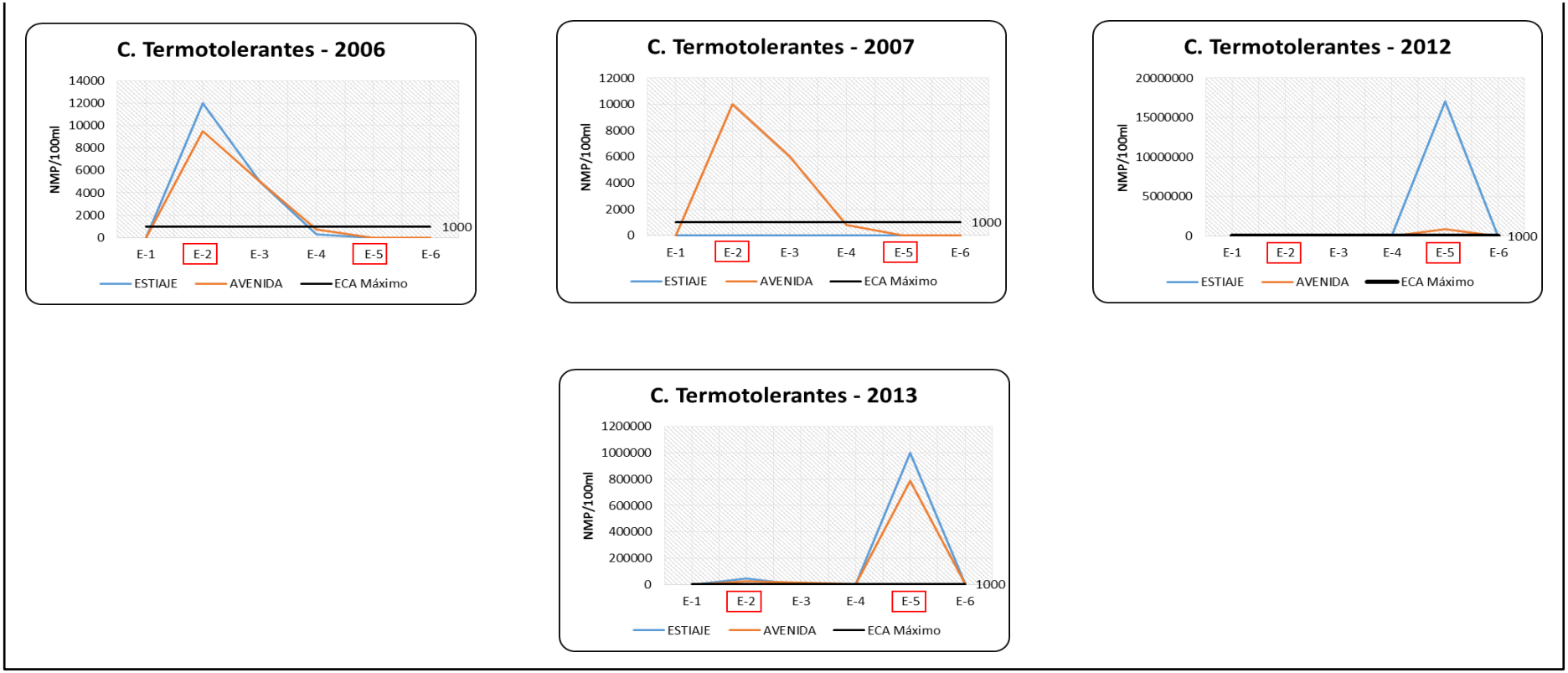
	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016
E-1	0	0	0.000	0.00	0.00	0	2	4.5	13	5	490
E-2	9500	10000	0.000	0.00	0.00	0	15000	25000	30000	48000	50000
E-3	5000	6000	0.000	0.00	0.00	0	20	13000	17000	55	79000
E-4	700	800	0.000	0.00	0.00	0	15	1700	220	19	3300
E-5	0	0	0.000	0.00	0.00	0	850000	790000	33000	1300000	2300000
E-6	3	0	0.000	0.00	0.00	0	35	790	330	50.2	330
ECA Máximo	1000	1000	1000	1000	1000	1000	1000	1000	1000	1000	1000

5.

Fuente: Elaboración propia.

Avenida: De igual forma que la anterior época, a partir del año 2012, los niveles de Coliformes Termotolerantes, considerando los siete años de monitoreo, se aprecia un incremento significativo para las estaciones Nº 2 y 5 sobrepasando los Estándares de Calidad Ambiental.

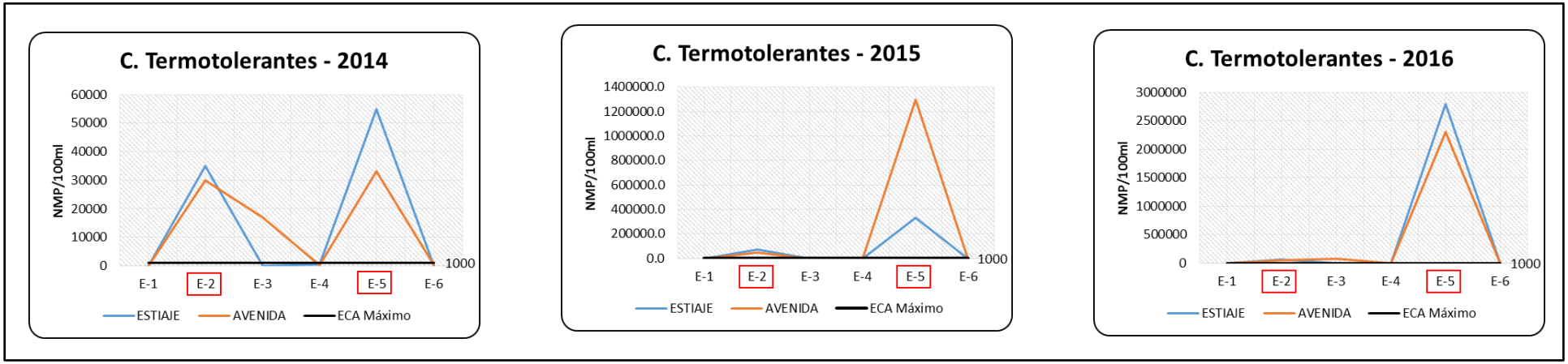
Gráfica 49: Coliformes termotolerantes vs estaciones (2006-2013)



Fuente: Elaboración propia.
*Sin datos desde el año 2008-2011.

Evaluando los Coliformes Termotolerantes en forma más específica en cada año monitoreado, se aprecia que en el año 2006 se incrementa las concentraciones significativamente en la Estación Nº 2, tanto para la época de Avenidas como para la época de estiaje, sin embargo los niveles de las demás estaciones se mantienen por debajo de los ECA, adoptando una tendencia estable.

Gráfica 50: Coliformes termotolerantes vs estaciones (2014-2016)



Fuente: Elaboración propia.

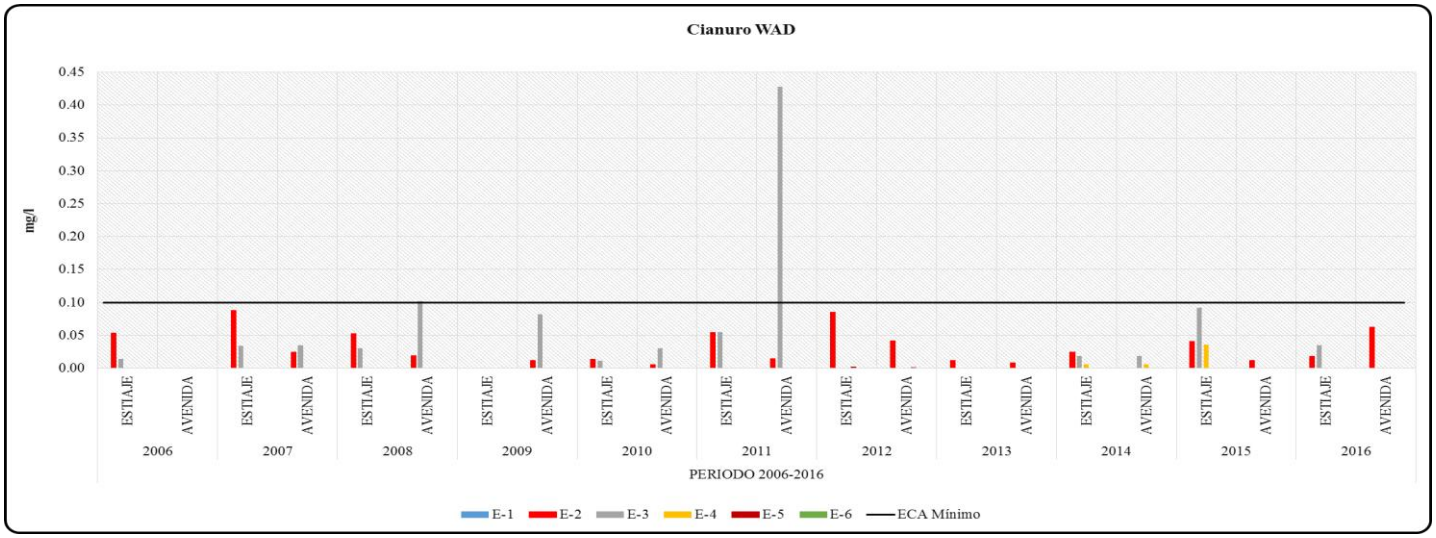
En el año 2007, se aprecia que el nivel de Coliformes Termotolerantes, en la época de avenidas se incrementa para la estación Nº 2, excediendo los ECA, sin embargo para las estaciones siguientes se reduce considerablemente, no excediendo dichos Estándares. Para el año 2012, se observa que la estación Nº 5 presenta un nivel de Coliformes Termotolerantes fuera de los ECA, tanto para le época de avenidas como de estiaje. Para los años 2013, 2014, 2015 y 2016 en las estaciones Nº 2 y 5, se observa un nivel de Coliformes bastante elevado, estando por encima del Estándar de Calidad Ambiental tanto en la época de avenidas como de estiaje.

4.4. Parámetros metálicos y no metálicos

4.4.1.

Gráfica 51: Cianuro WAD en época de estiaje y avenida (2006-2016)

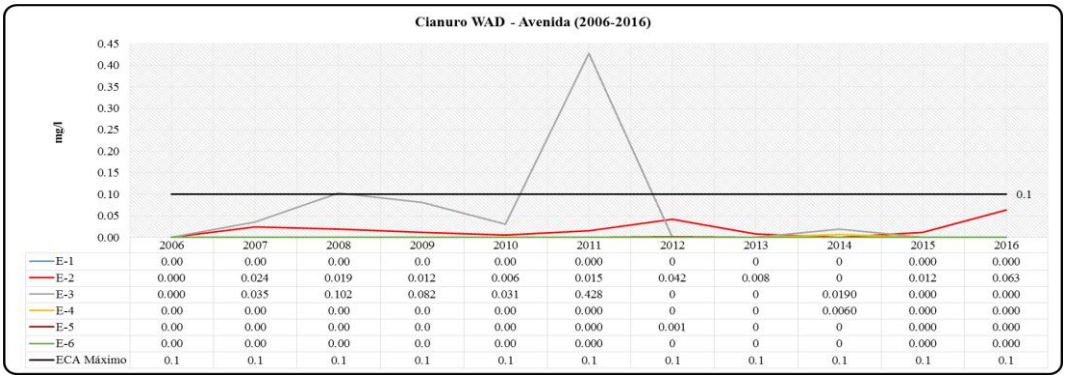
Cianuro WAD



Fuente: Elaboración propia.
*Sin datos el año 2006 (avenida) y 2009 (estiaje).

De acuerdo a la gráfica Nº53, se puede observar que los niveles de Cianuro WAD para los once años evaluados y para cada una de las Estaciones se encuentran en su mayoría dentro de los Estándares de Calidad Ambiental (0.1 mg/l), a excepción del año 2011, donde se aprecia que una estación excede largamente el rango permitido por norma.

Gráfica 52: Cianuro WAD en época de estiaje (2006-2016)

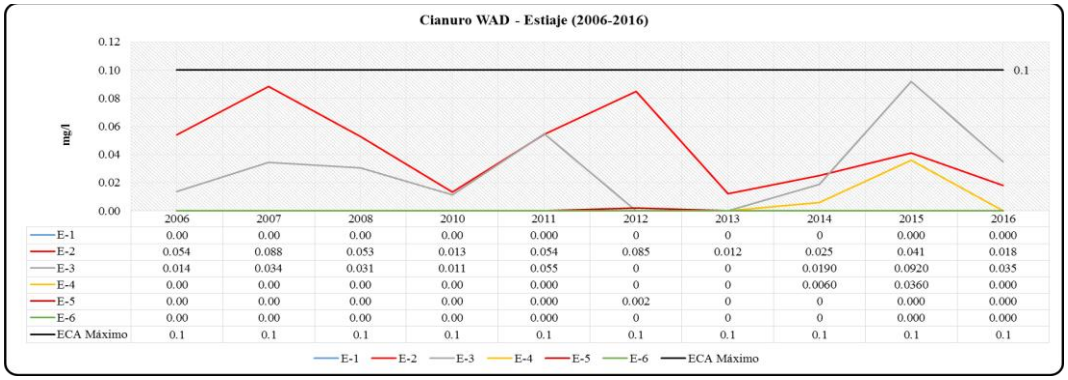


	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016
E-1	0.00	0.00	0.00	0.0	0.00	0.000	0	0	0	0.000	0.000
E-2	0.000	0.024	0.019	0.012	0.006	0.015	0.042	0.008	0	0.012	0.063
E-3	0.000	0.035	0.102	0.082	0.031	0.428	0	0	0.0190	0.000	0.000
E-4	0.00	0.00	0.00	0.0	0.00	0.000	0	0	0.0060	0.000	0.000
E-5	0.00	0.00	0.00	0.0	0.00	0.000	0.001	0	0	0.000	0.000
E-6	0.00	0.00	0.00	0.0	0.00	0.000	0	0	0	0.000	0.000
ECA Máximo	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1

Fuente: Elaboración propia.
*Sin datos el año 2009.

Estiaje: En esta época, el comportamiento de Cianuro WAD durante los años de monitoreo muestra una tendencia bastante estable que no excede en ningún periodo el Estándar de Calidad Ambiental.

Gráfica 53: Cianuro WAD en época de avenida (2006-2016)

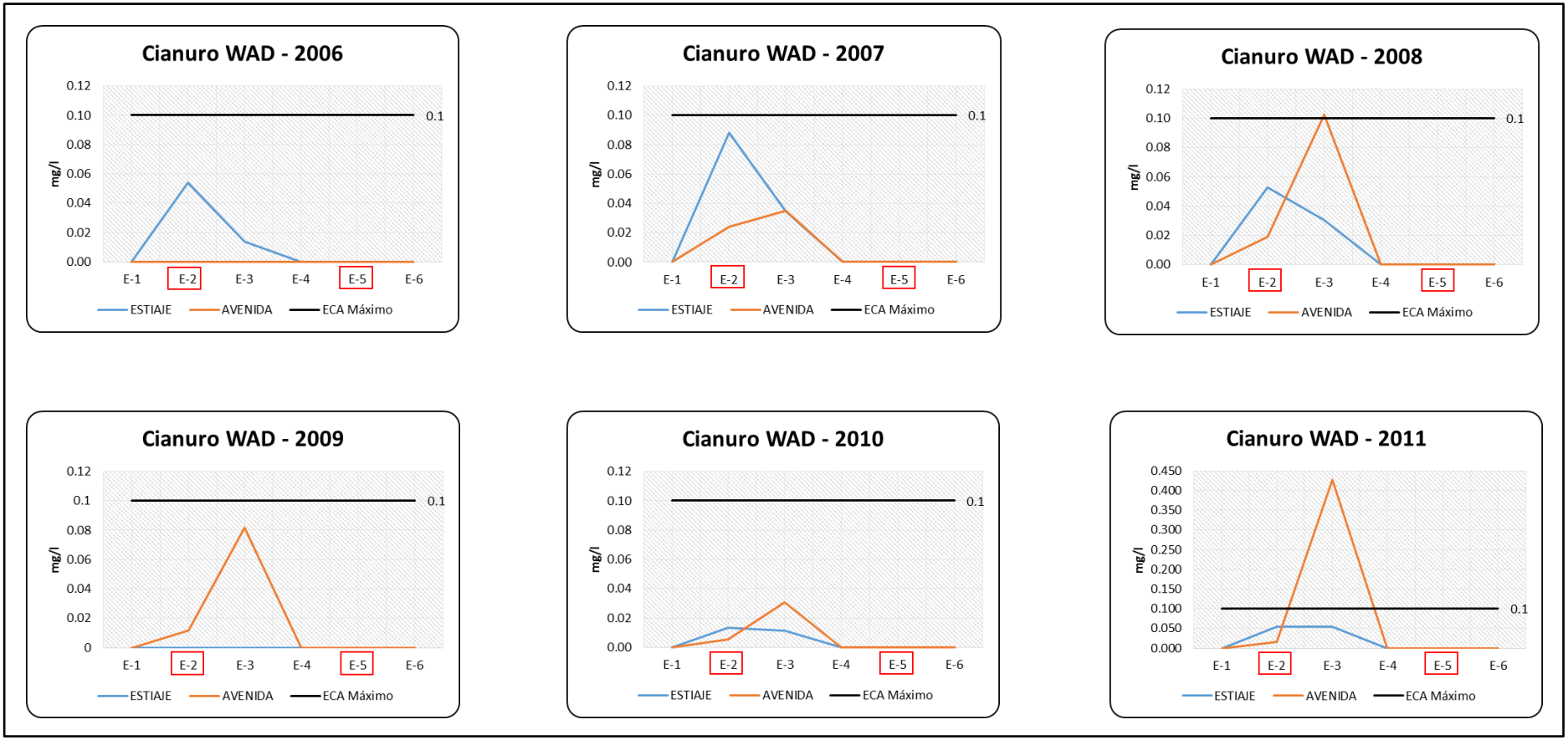


	2006	2007	2008	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016
E-1	0.00	0.00	0.00	0.00	0.000	0	0	0	0.000	0.000
E-2	0.054	0.088	0.053	0.013	0.054	0.085	0.012	0.025	0.041	0.018
E-3	0.014	0.034	0.031	0.011	0.055	0	0	0.0190	0.0920	0.035
E-4	0.00	0.00	0.00	0.00	0.000	0	0	0.0060	0.0360	0.000
E-5	0.00	0.00	0.00	0.00	0.000	0.002	0	0	0.000	0.000
E-6	0.00	0.00	0.00	0.00	0.000	0	0	0	0.000	0.000
ECA Máximo	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1

Fuente: Elaboración propia.
*Sin datos el año 2006.

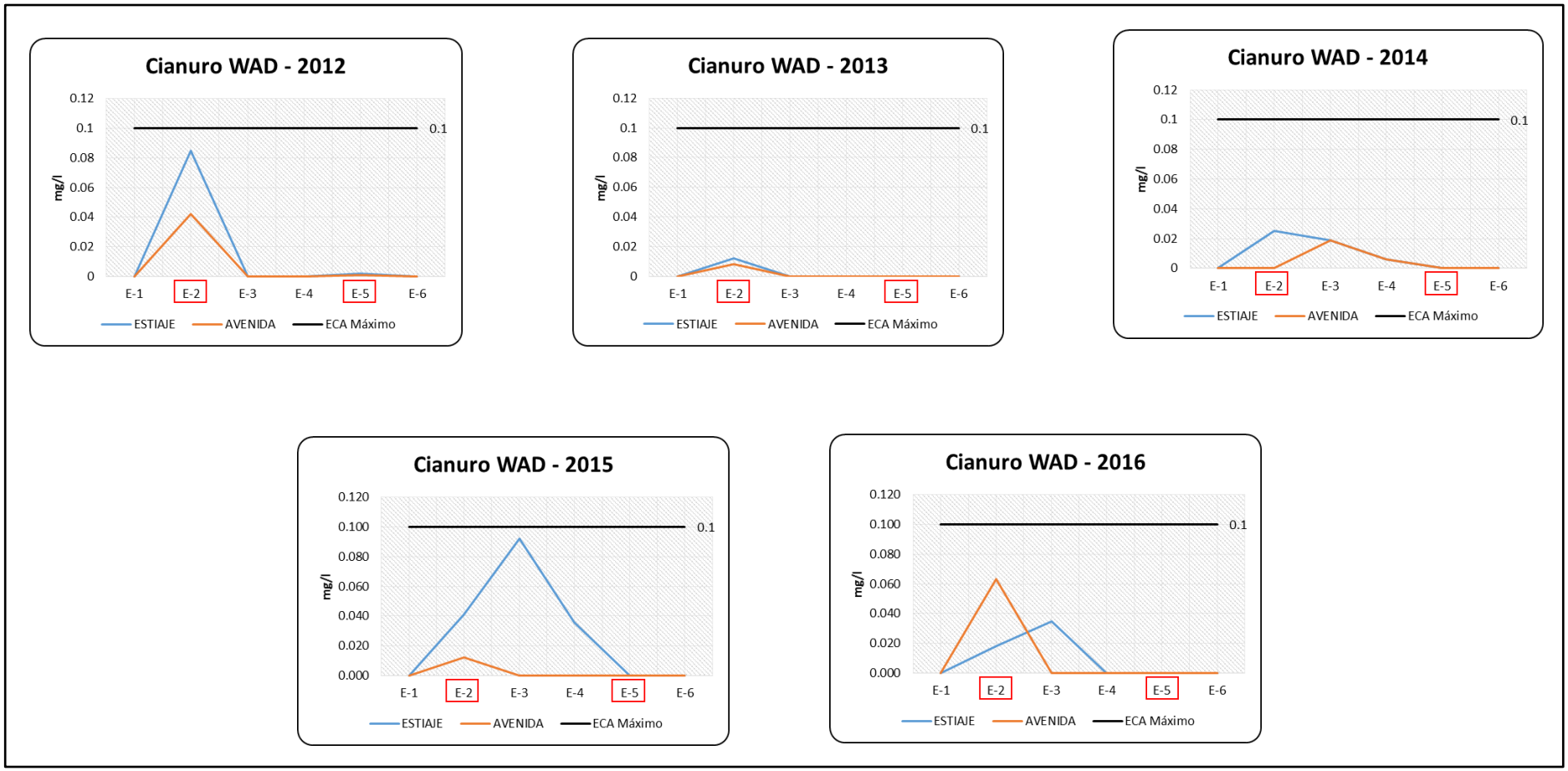
Avenida: Para estos once años de monitoreo, el comportamiento del Cianuro WAD se muestra inestable para los años 2008 y 2011, excediendo el Estándar de Calidad Ambiental, para la Estación Nº 3. Para los demás años, la tendencia es estable a través del tiempo, y no se aprecia para ninguna estación que sobrepase el Estándar de Calidad.

Gráfica 54: Cianuro WAD en época de estiaje y avenida (2006-2011)



Fuente: Elaboración propia.

Gráfica 55: Cianuro WAD vs estaciones (2012-2016)



Fuente: Elaboración propia.

Para los años 2006 y 2007, se aprecia que el comportamiento del Cianuro WAD en todo el tramo monitoreado se mantiene por debajo del Estándar de Calidad, tanto para la época de avenidas como de estiaje.

En el año 2008, para la época de avenidas, se aprecia que el nivel de Cianuro WAD, excede ligeramente el Estándar de Calidad para la estación Nº 3, sin embargo para las estaciones siguientes se reduce considerablemente, no sobrepasando dichos Estándares.

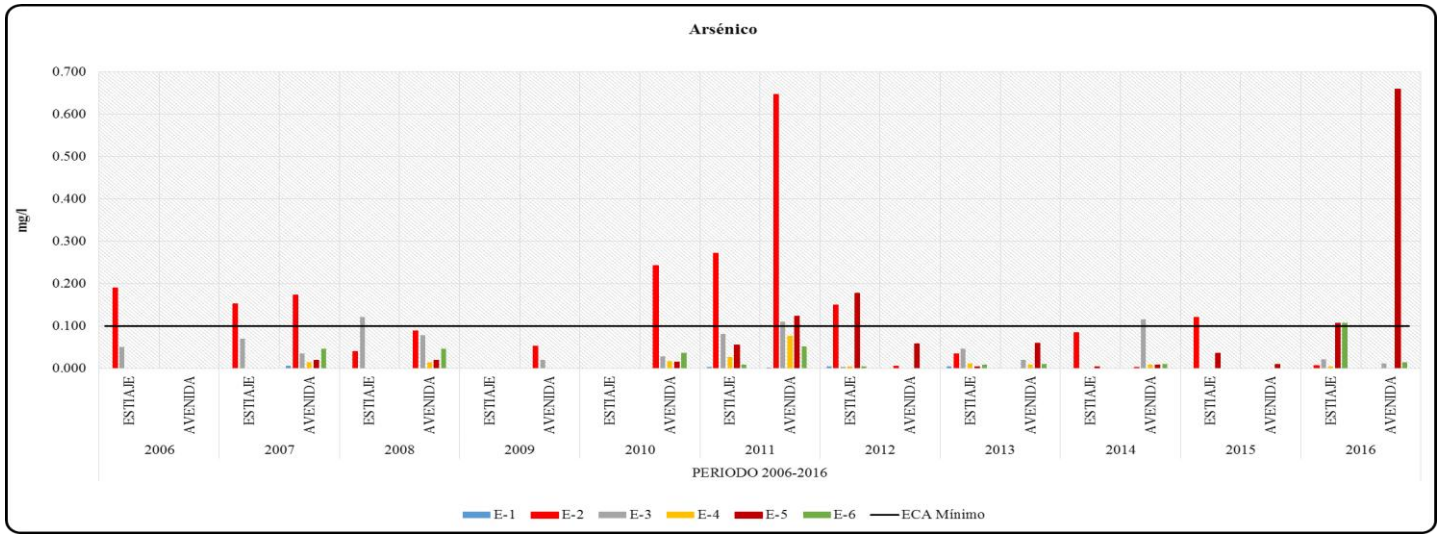
Para los años 2009 y 2010, se aprecia que el comportamiento del Cianuro WAD en todo el tramo monitoreado se mantiene por debajo del Estándar de Calidad, tanto para la época de avenidas como de estiaje.

Para el año 2011, para la época de avenidas, se observa que el nivel de Cianuro WAD, excede largamente el Estándar de Calidad para la estación Nº 3, sin embargo para las estaciones siguientes se reduce considerablemente, no sobrepasando dichos Estándares.

Para los años 2012, 2013, 2014, 2015 y 2016, se aprecia se aprecia que el comportamiento del Cianuro WAD en todo el tramo monitoreado se mantiene por debajo del Estándar de Calidad, tanto para la época de avenidas como de estiaje.

4.4.2. Arsénico

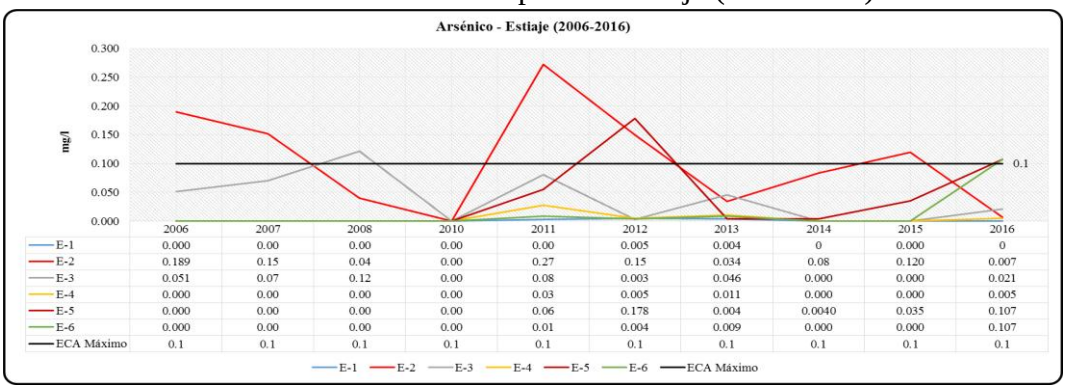
Gráfica 56: Arsénico en época de estiaje y avenida (2006-2016)



Fuente: Elaboración propia.
*Sin datos el año 2006 (Avenida) y 2009-2010 (estiaje).

De la gráfica Nº58, se puede observar que los niveles de Arsénico para seis de los once años monitoreados muestran que en tres de las seis estaciones las concentraciones exceden el Estándares de Calidad Ambiental (0.1 mg/l).

Gráfica 57: Arsénico en época de estiaje (2006-2016)

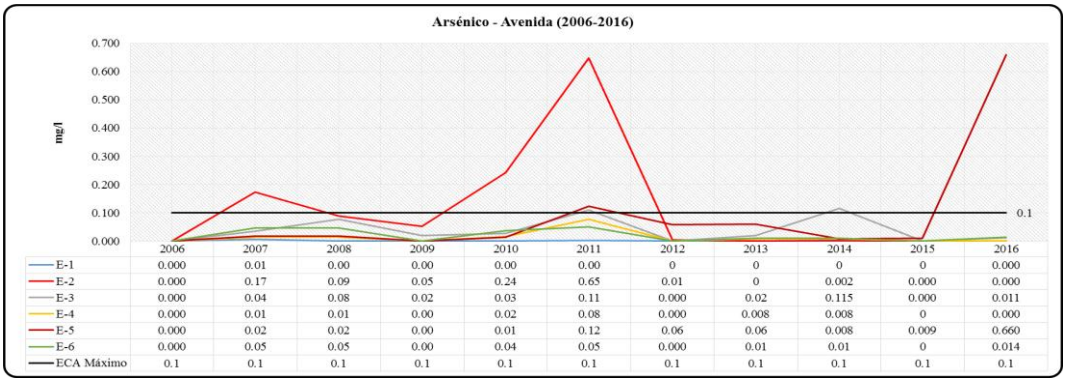


	2006	2007	2008	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016
E-1	0.000	0.00	0.00	0.00	0.00	0.005	0.004	0	0.000	0
E-2	0.189	0.15	0.04	0.00	0.27	0.15	0.034	0.08	0.120	0.007
E-3	0.051	0.07	0.12	0.00	0.08	0.003	0.046	0.000	0.000	0.021
E-4	0.000	0.00	0.00	0.00	0.03	0.005	0.011	0.000	0.000	0.005
E-5	0.000	0.00	0.00	0.00	0.06	0.178	0.004	0.0040	0.035	0.107
E-6	0.000	0.00	0.00	0.00	0.01	0.004	0.009	0.000	0.000	0.107
ECA Máximo	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1

Fuente: Elaboración propia.

Estiaje: En esta época, el comportamiento del Arsénico durante los once años de monitoreo muestra una tendencia irregular que sobrepasa el Estándar de calidad Ambiental para 3 estaciones de monitoreo.

Gráfica 58: Arsénico en época de avenida (2006-2016)



	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016
E-1	0.000	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00	0	0	0	0	0.000
E-2	0.000	0.17	0.09	0.05	0.24	0.65	0.01	0	0.002	0.000	0.000
E-3	0.000	0.04	0.08	0.02	0.03	0.11	0.000	0.02	0.115	0.000	0.011
E-4	0.000	0.01	0.01	0.00	0.02	0.08	0.000	0.008	0.008	0	0.000
E-5	0.000	0.02	0.02	0.00	0.01	0.12	0.06	0.06	0.008	0.009	0.660
E-6	0.000	0.05	0.05	0.00	0.04	0.05	0.000	0.01	0.01	0	0.014
ECA Máximo	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1

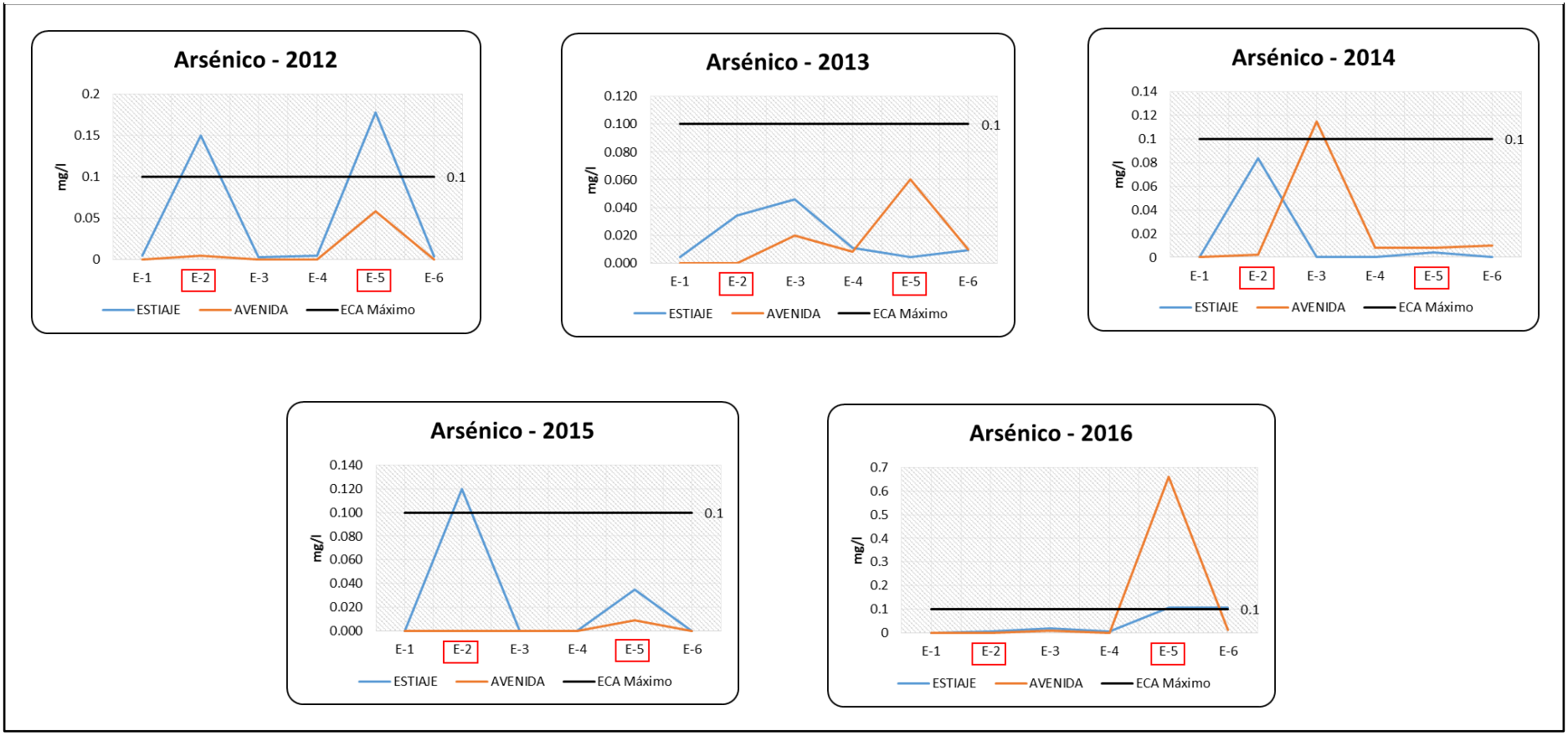
Fuente: Elaboración propia.

Avenida: Para estos once años de monitoreo, el comportamiento del Arsénico se muestra inestable para los años 2007, 2010, 2011, 2015 y 2016, excediendo el Estándar de Calidad Ambiental.

Gráfica 59: Arsénico en época de estiaje y avenida (2006-2011)

Fuente: Elaboración propia.

Gráfica 60: Arsénico en época de estiaje y avenida (2012-2016)



Fuente: Elaboración propia.

Para los años 2006 y 2007, se aprecia que las concentraciones de Arsénico en todo el tramo monitoreado excede el Estándar de Calidad, tanto para la época de avenidas como de estiaje, mientras que para las otras estaciones dichos niveles se encuentran dentro de los rangos permitidos.

En el año 2008, para la época de estiaje, se aprecia que el nivel de Arsénico, excede ligeramente el Estándar de Calidad para la estación Nº 3, sin embargo para las estaciones siguientes se reduce considerablemente, no sobrepasando dichos Estándares.

Para los años 2009 y 2013, se aprecia se aprecia que el comportamiento del Arsénico en todo el tramo monitoreado se mantiene por debajo del Estándar de Calidad, tanto para la época de avenidas como de estiaje.

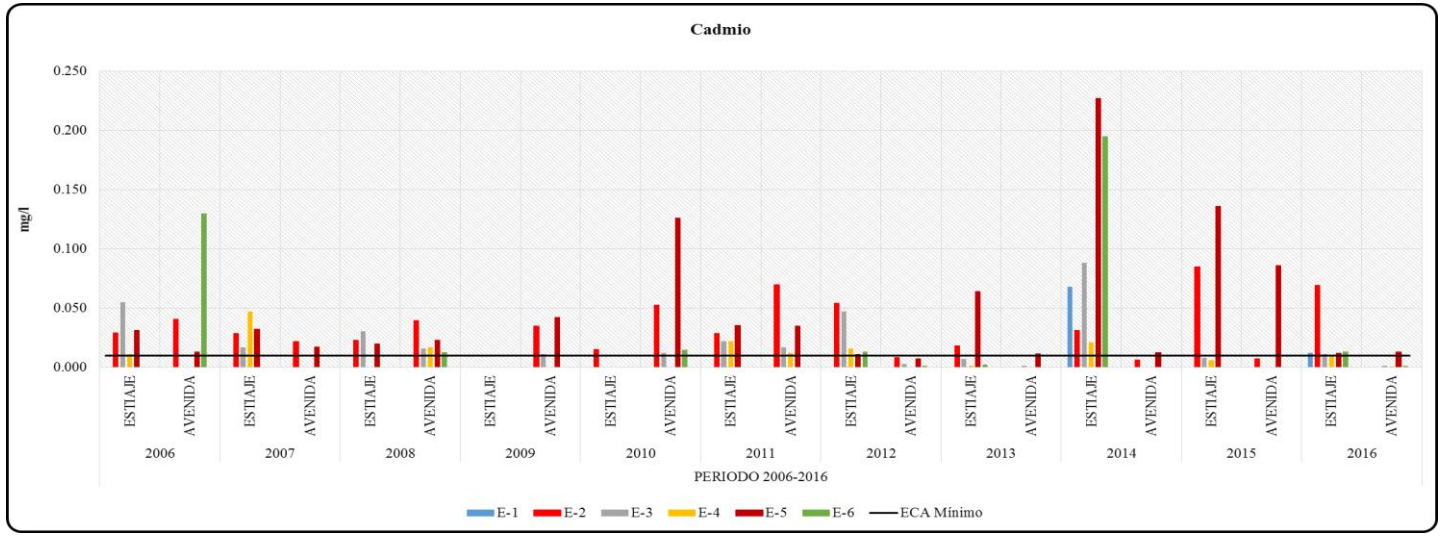
Para los años 2010 (avenidas) y 2011 (avenidas y estiaje), se aprecia que el nivel de Arsénico, excede largamente el Estándar de Calidad para la estación Nº 2, sin embargo para las estaciones siguientes se reduce considerablemente, no sobrepasando dichos Estándares.

Para el año 2012, en la época de estiaje, se aprecia que las concentraciones de Arsénico se incrementan en las estaciones Nº 2 y 5 manteniéndose por encima del Estándar de Calidad.

Para los años 2014 (avenidas) y 2015 (estiaje) y 2016 (avenidas) se aprecia que el nivel de Arsénico, excede el Estándar de Calidad Ambiental para las estaciones Nº 2, 3 y 5 sin embargo para las demás estaciones las concentraciones se reducen, no sobrepasando los rangos permitidos.

4.4.3. Cadmio

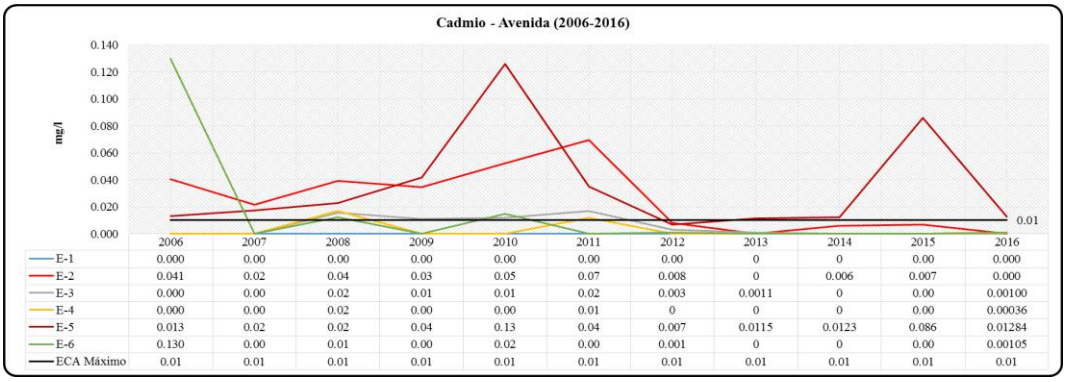
Gráfica 61: Cadmio en época de estiaje y avenida (2006-2016)



Fuente: Elaboración propia.
*Sin datos el año 2009 (estiaje).

De acuerdo a la gráfica N° 63, se puede observar que los niveles de Cadmio para los once años evaluados indican que en cinco de las seis estaciones las concentraciones exceden el Estándares de Calidad Ambiental (0.01 mg/l).

Gráfica 62: Cadmio en época de estiaje (2006-2016)

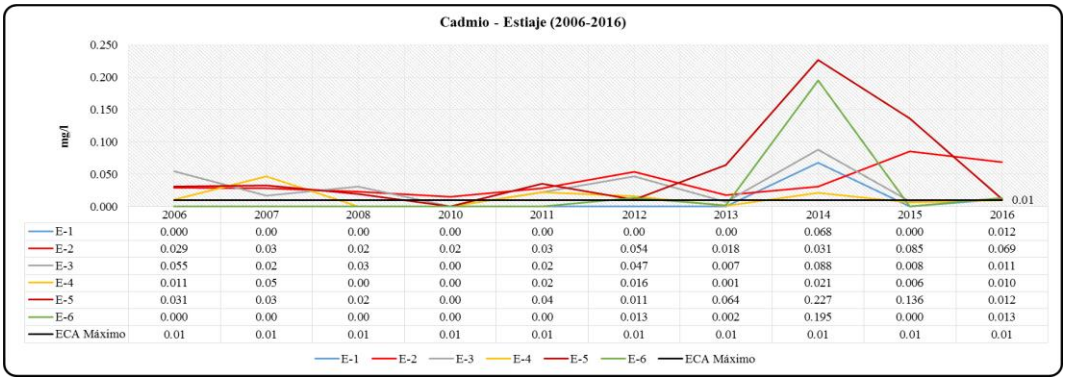


	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016
E-1	0.000	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0	0	0.00	0.000
E-2	0.041	0.02	0.04	0.03	0.05	0.07	0.008	0	0.006	0.007	0.000
E-3	0.000	0.00	0.02	0.01	0.01	0.02	0.003	0.0011	0	0.00	0.00100
E-4	0.000	0.00	0.02	0.00	0.00	0.01	0	0	0	0.00	0.00036
E-5	0.013	0.02	0.02	0.04	0.13	0.04	0.007	0.0115	0.0123	0.086	0.01284
E-6	0.130	0.00	0.01	0.00	0.02	0.00	0.001	0	0	0.00	0.00105
ECA Máximo	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01

Fuente: Elaboración propia.
*Sin datos el año 2009 (estiaje).

Estiaje: En esta época, el comportamiento del Arsénico durante los once años de monitoreo muestra una tendencia regular para la mayoría de las estaciones, quienes sobrepasan el Estándar de calidad Ambienta.

Gráfica 63: Cadmio en época de avenida (2006-2016)

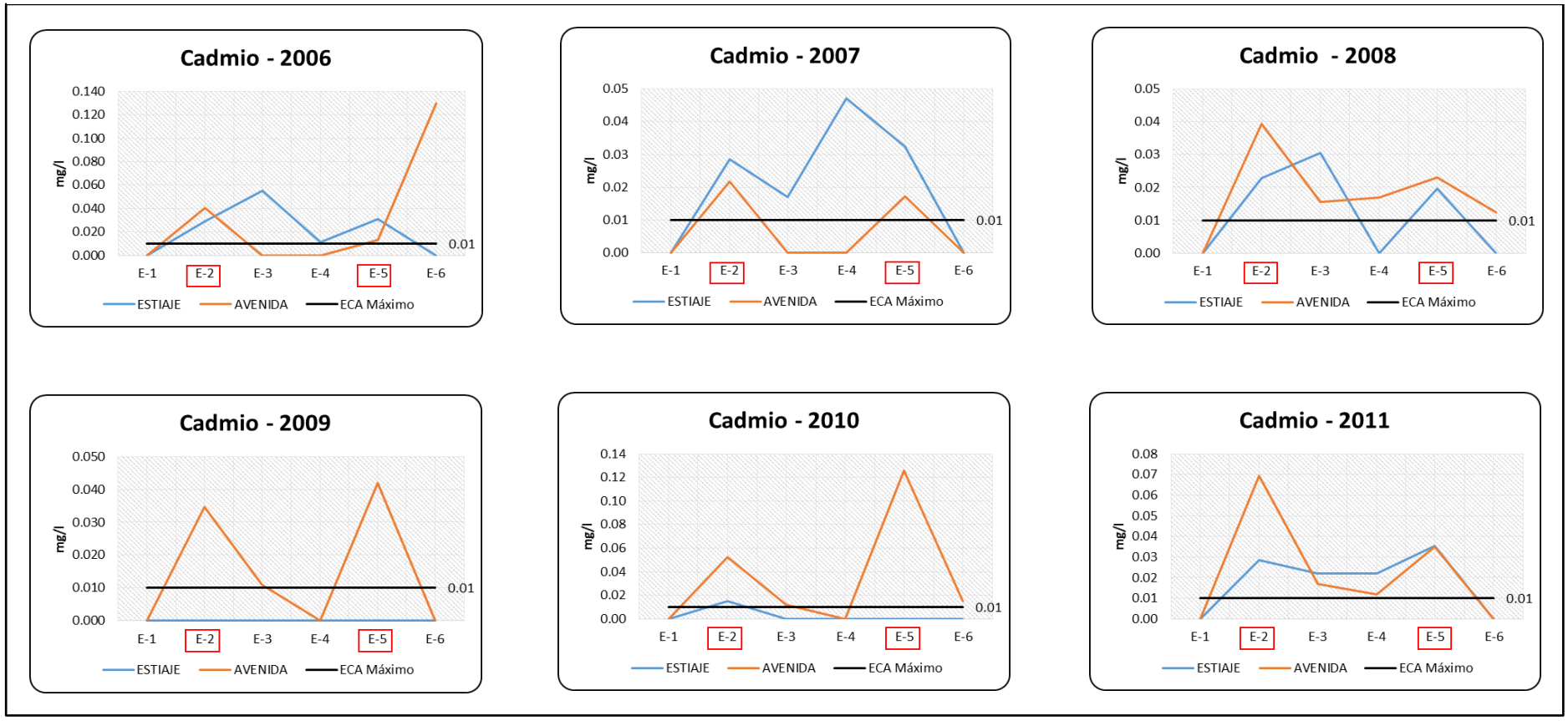


	2006	2007	2008	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016
E-1	0.000	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.068	0.000	0.012
E-2	0.029	0.03	0.02	0.02	0.03	0.054	0.018	0.031	0.085	0.069
E-3	0.055	0.02	0.03	0.00	0.02	0.047	0.007	0.088	0.008	0.011
E-4	0.011	0.05	0.00	0.00	0.02	0.016	0.001	0.021	0.006	0.010
E-5	0.031	0.03	0.02	0.00	0.04	0.011	0.064	0.227	0.136	0.012
E-6	0.000	0.00	0.00	0.00	0.00	0.013	0.002	0.195	0.000	0.013
ECA Máximo	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01

Fuente: Elaboración propia.

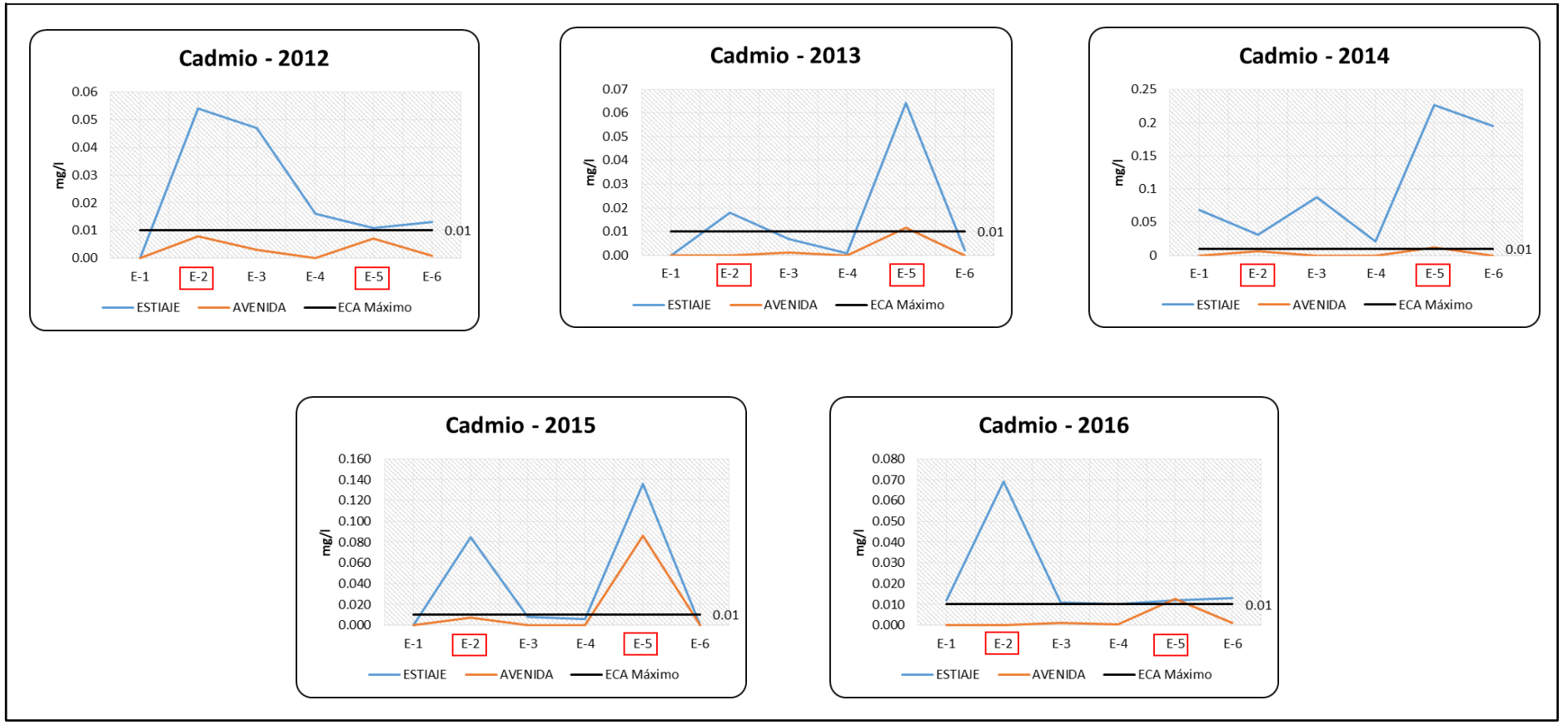
Avenida: En esta época se aprecia que en tres estaciones principalmente, el Cadmio supera el Estándar de Calidad Ambiental para varios años.

Gráfica 64: Cadmio en época de estiaje y avenida (2006-2011)



Fuente: Elaboración propia.
*Sin datos el año 2009 (estiaje).

Gráfica 65: Cadmio en época de estiaje y avenida (2012-2016)



Fuente: Elaboración propia.

Para el año 2006, se aprecia que las concentraciones de Cadmio en todo el tramo monitoreado excede el Estándar de Calidad, tanto para la época de avenidas como de estiaje, en las estaciones Nº 2, 3, 5 y 6, mientras que para las otras estaciones dichos niveles se encuentran dentro de los rangos permitidos

En el año 2007, se aprecia que las estaciones Nº 2, 3, 4 y 5 en todo el tramo monitoreado exceden el Estándar de Calidad, tanto para la época de avenidas como de estiaje, mientras que para las otras estaciones dichos niveles se encuentran dentro de los rangos permitidos.

En el año 2008, para la época de estiaje y avenidas, se aprecia que el nivel de Cadmio, excede el Estándar de Calidad para las estaciones Nº 2, 3, 4 y 5.

Para los años 2009, para la época de avenidas se aprecia que la concentración de Cadmio en todo el tramo monitoreado, las estaciones Nº 2 y 5 se mantiene por encima del Estándar de Calidad.

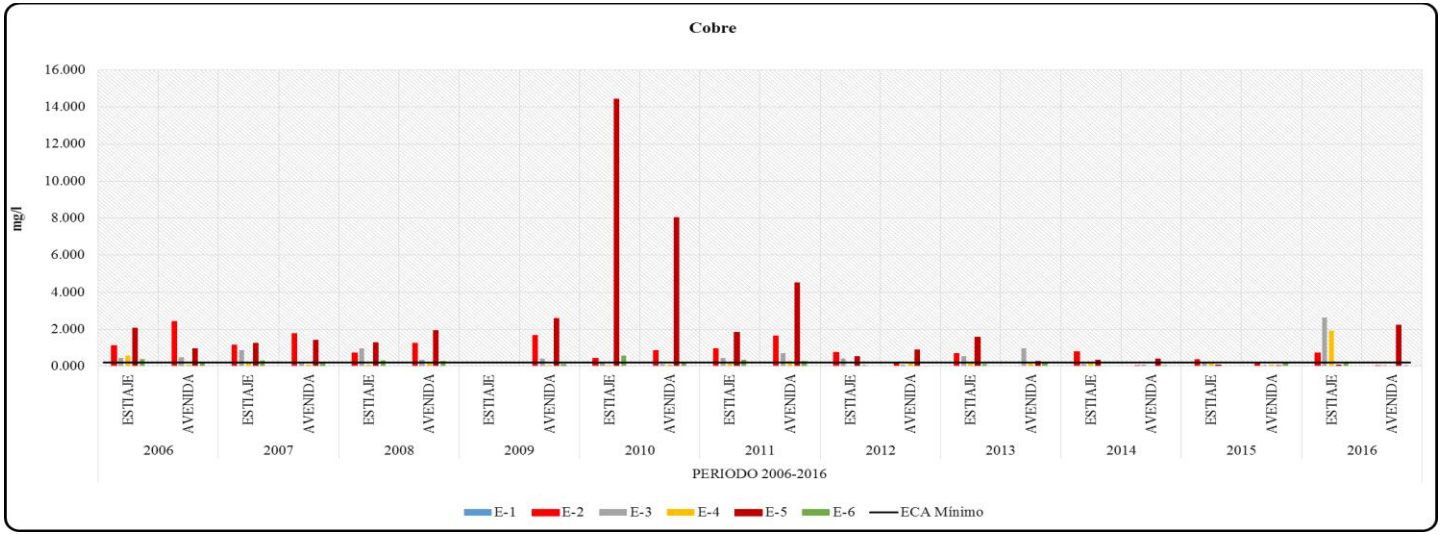
Para los años 2010 (avenidas) y 2011 (avenidas y estiaje), se aprecia que el nivel de Cadmio, excede el Estándar de Calidad para las estaciones Nº 2, 3 y 5.

Para los años 2012, 2013 y 2014 en la época de estiaje, se aprecia que las concentraciones de Cadmio se incrementan en las estaciones Nº 2, 3 y 4 manteniéndose por encima del Estándar de Calidad.

Para los años 2015 (estiaje y avenidas) y 2016 (estiaje) se aprecia que el nivel de Cadmio, excede el Estándar de Calidad Ambiental para las estaciones Nº 2, y 5 sin embargo para las demás estaciones las concentraciones se reducen, no sobrepasando los rangos permitidos.

4.4.4. Cobre

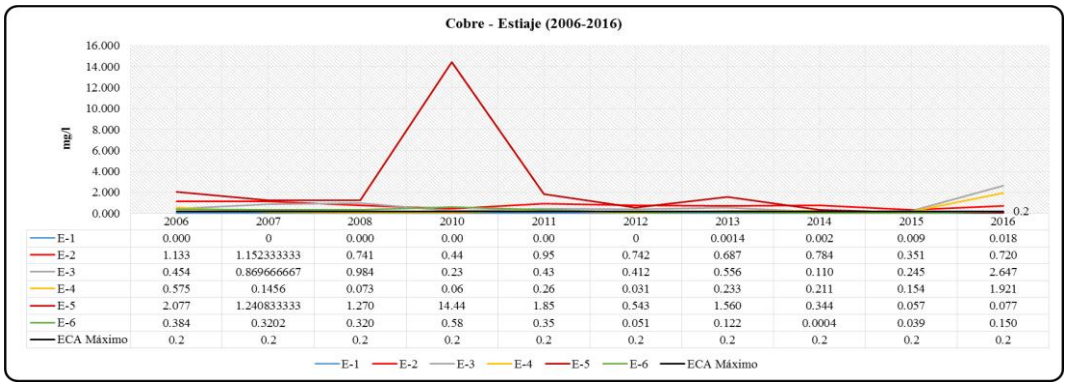
Gráfica 66: Cobre en época de estiaje y avenida (2006-2016)



Fuente: Elaboración propia.
*Sin datos el año 2009 (estiaje).

De acuerdo a la gráfica Nº68, se puede observar que los niveles de Cobre para los once años de investigación indican que en cinco de las seis estaciones las concentraciones exceden el Estándares de Calidad Ambiental (0.2 mg/l).

Gráfica 67: Cobre en época de estiaje (2006-2016)

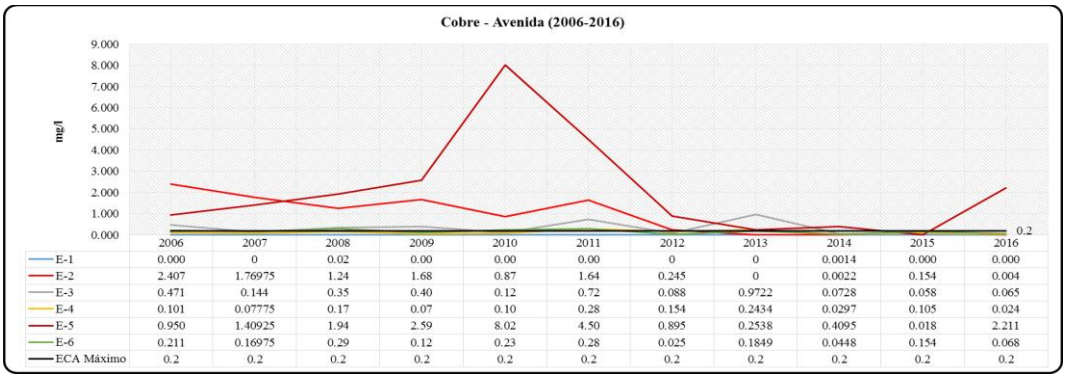


	2006	2007	2008	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016
E-1	0.000	0	0.000	0.00	0.00	0	0.0014	0.002	0.009	0.018
E-2	1.133	1.152333333	0.741	0.44	0.95	0.742	0.687	0.784	0.351	0.720
E-3	0.454	0.869666667	0.984	0.23	0.43	0.412	0.556	0.110	0.245	2.647
E-4	0.575	0.1456	0.073	0.06	0.26	0.031	0.233	0.211	0.154	1.921
E-5	2.077	1.240833333	1.270	14.44	1.85	0.543	1.560	0.344	0.057	0.077
E-6	0.384	0.3202	0.320	0.58	0.35	0.051	0.122	0.0004	0.039	0.150
ECA Máximo	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2

Fuente: Elaboración propia.
*Sin datos el año 2009 (estiaje).

Estiaje: En esta época, el comportamiento del Cobre durante los once años de monitoreo muestra una tendencia semejante para cuatro estaciones, quienes en casi todos los años de seguimiento se aprecia que sobrepasan el Estándar de calidad Ambiental.

Gráfica 68: Cobre en época de avenida (2006-2016)

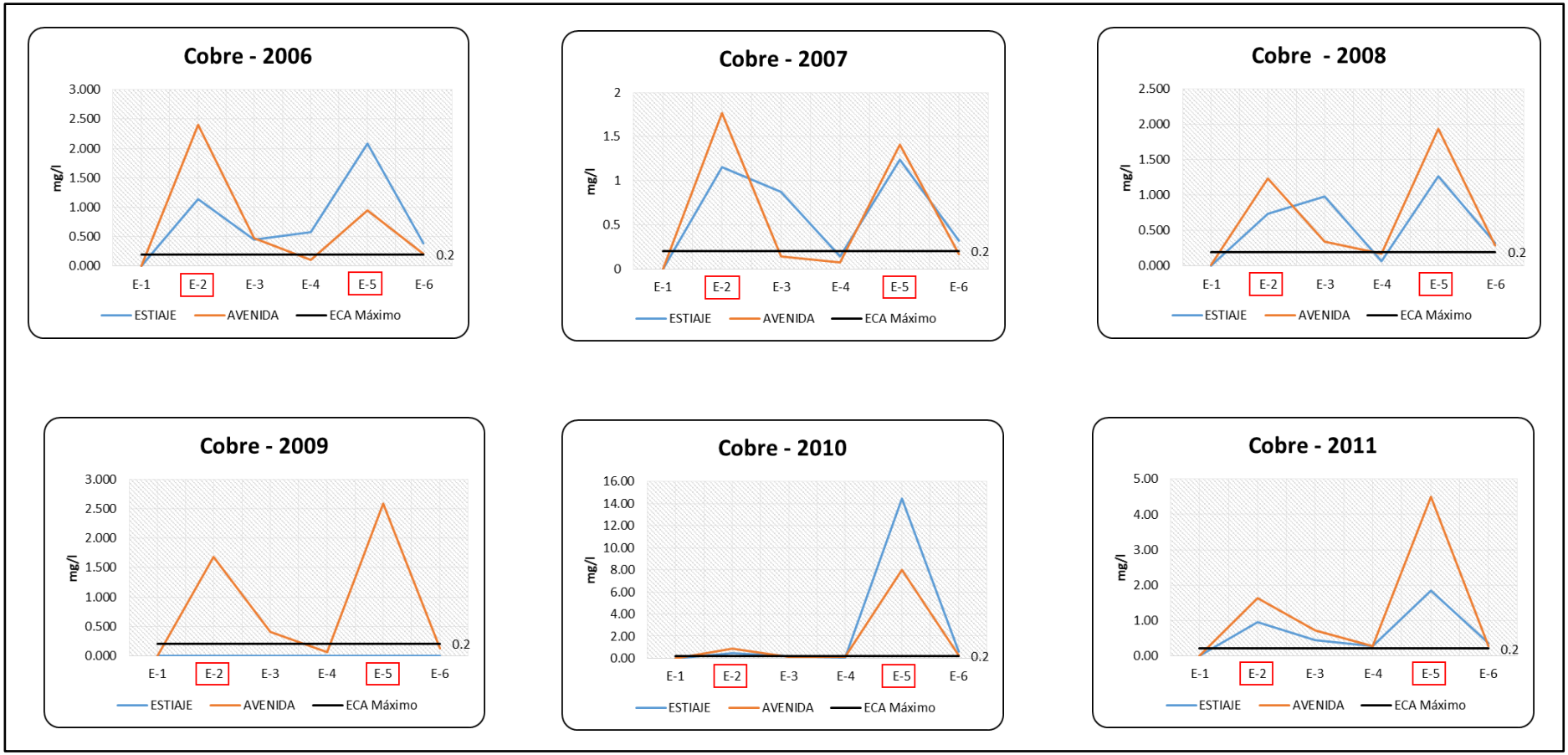


	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016
E-1	0.000	0	0.02	0.00	0.00	0.00	0	0	0.0014	0.000	0.000
E-2	2.407	1.76975	1.24	1.68	0.87	1.64	0.245	0	0.0022	0.154	0.004
E-3	0.471	0.144	0.35	0.40	0.12	0.72	0.088	0.9722	0.0728	0.058	0.065
E-4	0.101	0.07775	0.17	0.07	0.10	0.28	0.154	0.2434	0.0297	0.105	0.024
E-5	0.950	1.40925	1.94	2.59	8.02	4.50	0.895	0.2538	0.4095	0.018	2.211
E-6	0.211	0.16975	0.29	0.12	0.23	0.28	0.025	0.1849	0.0448	0.154	0.068
ECA Máximo	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2

Fuente: Elaboración propia.

Avenida: En esta época y en el periodo de monitoreo, se aprecia que en tres estaciones principalmente, el Cobre supera el Estándar de Calidad Ambiental para la mayoría de años.

Gráfica 69: Cobre en época de estiaje y avenida (2006-2011)



Fuente: Elaboración propia.
*Sin datos el año 2009 (estiaje).

Gráfica 70: Cobre en época de estiaje y avenida (2012-2016)

Fuente: Elaboración propia.

Para los años 2006, 2007 y 2008, se aprecia que las estaciones Nº 2, 3, 4 y 5 las concentraciones de Cobre en el tramo monitoreado excede el Estándar de Calidad, tanto para la época de avenidas como de estiaje, mientras que para las otras estaciones dichos niveles se encuentran dentro de los rangos permitidos.

En el año 2009, se aprecia que las estaciones Nº 2 y 5 exceden el Estándar de Calidad, para la época de avenidas, mientras que para la época de estiaje los niveles de Cobre se encuentran dentro de los rangos permitidos.

Para los años 2010, 2011 y 2012, en época de estiaje y avenidas, se aprecia que el nivel de Cobre, excede el Estándar de Calidad para las estaciones Nº 2 y 5.

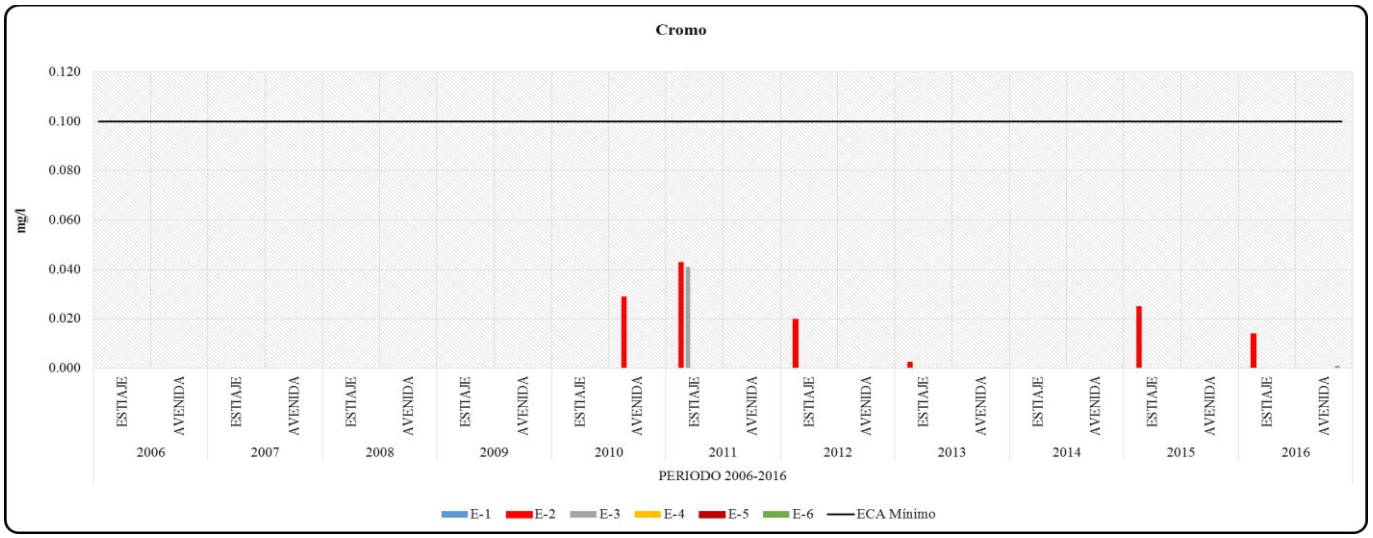
Para el año 2013, se aprecia que en la época de estiaje las estaciones Nº 2, 3 y 5 exceden el Estándar de Calidad Ambiental, mientras que en época de avenidas la estación Nº 3 es quien excede los rangos permitidos.

Para el año 2014 (avenidas y estiaje) y 2015 (estiaje), se aprecia que el nivel de Cobre, excede el Estándar de Calidad para la estaciones Nº 2 y 5.

Para el año 2016 en la época de estiaje, se aprecia que las concentraciones de Cobre se incrementan en las estaciones Nº 2, 3 y 4 manteniéndose por encima del Estándar de Calidad. En forma similar, en la época de avenidas la estación Nº 5 es quien excede los rangos permitidos, mientras que las demás estaciones se mantienen dentro del rango normal.

4.4.5. Cromo

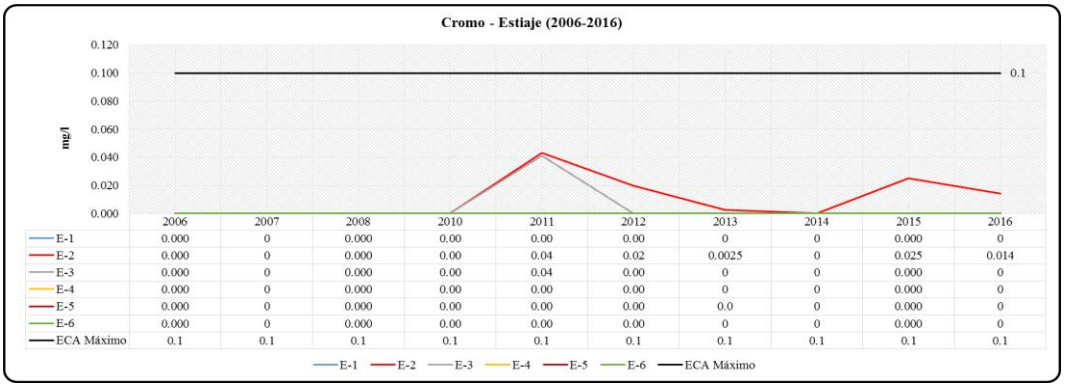
Gráfica 71: Cromo en época de estiaje y avenida (2006-2016)



Fuente: Elaboración propia.
*Sin datos el año 2009 (estiaje).

En la gráfica Nº73, se observa que los niveles de Cromo para los siete años evaluados y para cada una de las Estaciones monitoreadas se encuentran dentro de los Estándares de Calidad Ambiental (0.1 mg/l). Cabe indicar también que para los primeros cuatro años no se cuenta con información acerca de estas concentraciones.

Gráfica 72: Cromo en época de estiaje (2006-2016)

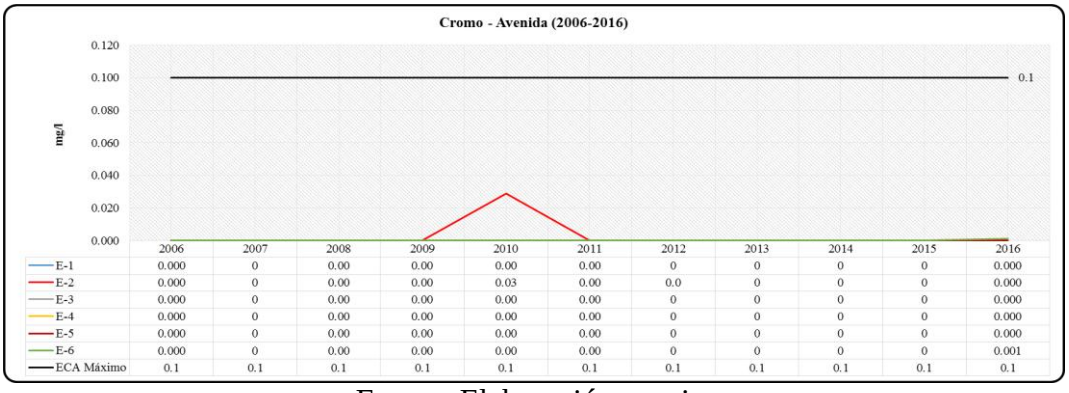


	2006	2007	2008	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016
E-1	0.000	0	0.000	0.00	0.00	0.00	0	0	0.000	0
E-2	0.000	0	0.000	0.00	0.04	0.02	0.0025	0	0.025	0.014
E-3	0.000	0	0.000	0.00	0.04	0.00	0	0	0.000	0
E-4	0.000	0	0.000	0.00	0.00	0.00	0	0	0.000	0
E-5	0.000	0	0.000	0.00	0.00	0.00	0.0	0	0.000	0
E-6	0.000	0	0.000	0.00	0.00	0.00	0	0	0.000	0
ECA Máximo	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1

Fuente: Elaboración propia.
*Sin datos el año 2009 (estiaje).

Estiaje: En esta época, el comportamiento del Cromo durante los años de monitoreo muestra una tendencia bastante estable que no excede en ningún periodo el Estándar de Calidad Ambiental.

Gráfica 73: Cromo en época de avenida (2006-2016)

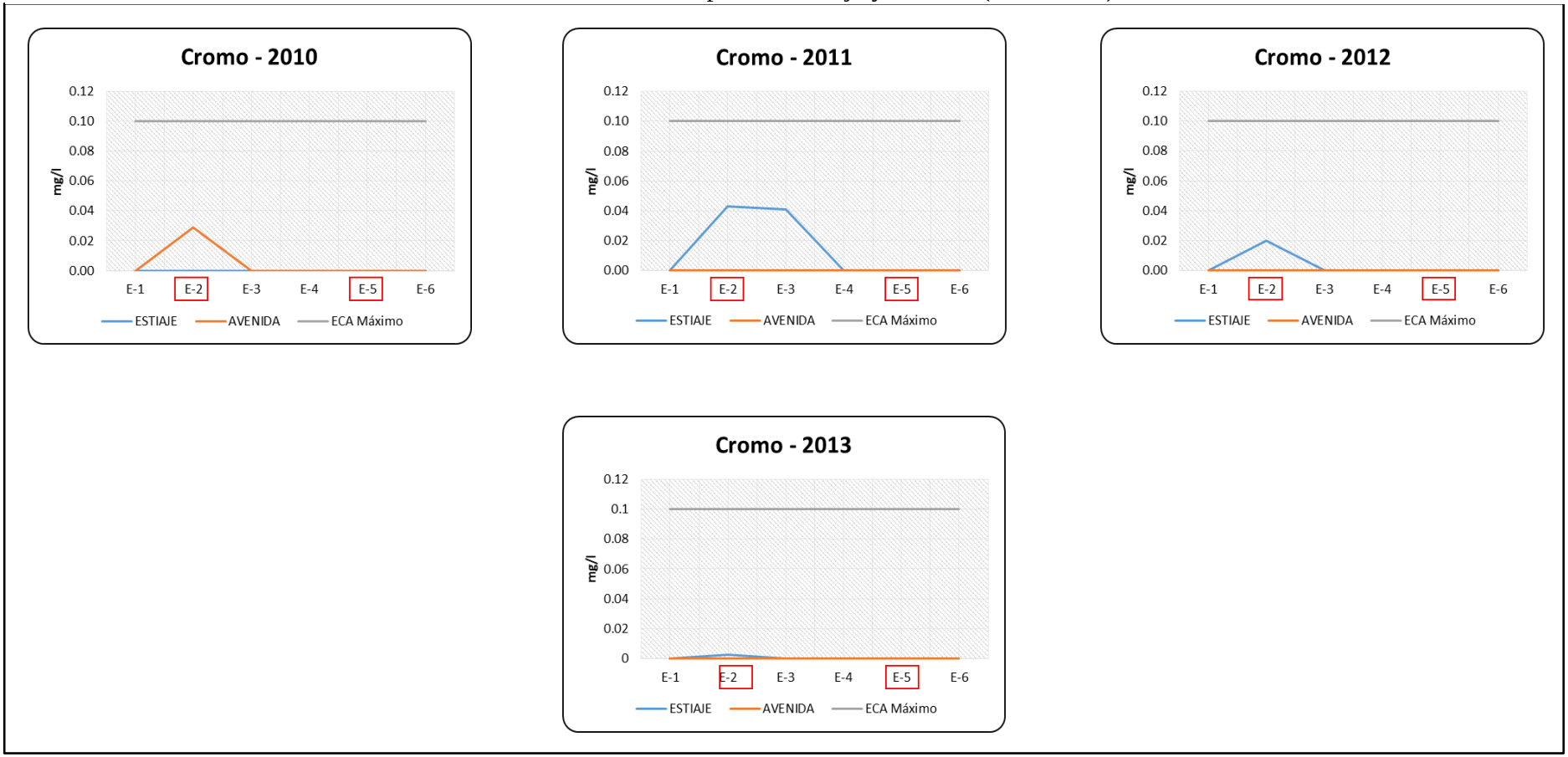


	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016
E-1	0.000	0	0.00	0.00	0.00	0.00	0	0	0	0	0.000
E-2	0.000	0	0.00	0.00	0.03	0.00	0.0	0	0	0	0.000
E-3	0.000	0	0.00	0.00	0.00	0.00	0	0	0	0	0.000
E-4	0.000	0	0.00	0.00	0.00	0.00	0	0	0	0	0.000
E-5	0.000	0	0.00	0.00	0.00	0.00	0	0	0	0	0.000
E-6	0.000	0	0.00	0.00	0.00	0.00	0	0	0	0	0.001
ECA Máximo	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1

Fuente: Elaboración propia.

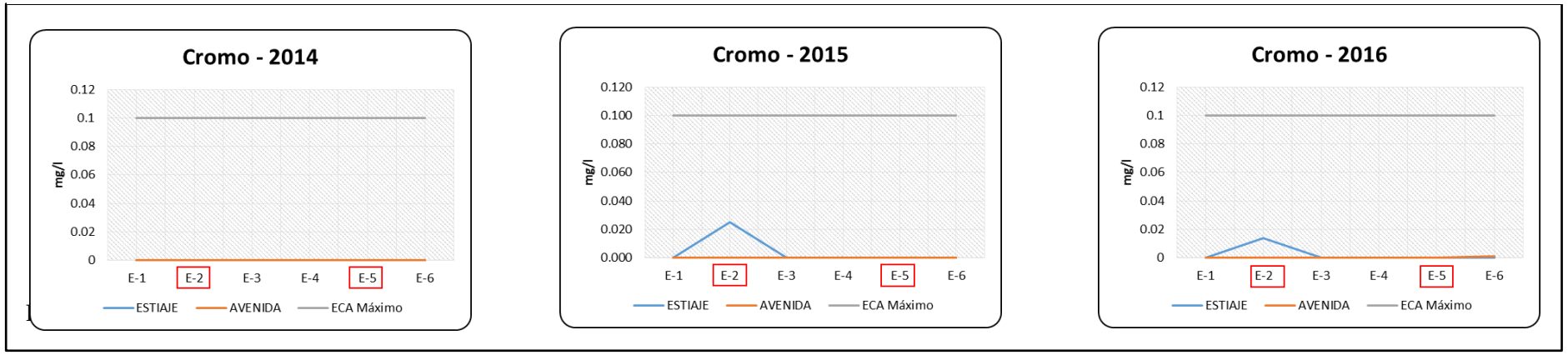
Avenida: Para estos siete años de monitoreo, al igual que en la época de Avenidas el Cromo muestra una tendencia estable a través de todo este tiempo, no superando los rangos establecidos por la norma.

Gráfica 74: Cromo en época de estiaje y avenida (2006-2013)



Fuente: Elaboración propia

Gráfica 75: Cromo en época de estiaje y avenida (2012-2016)



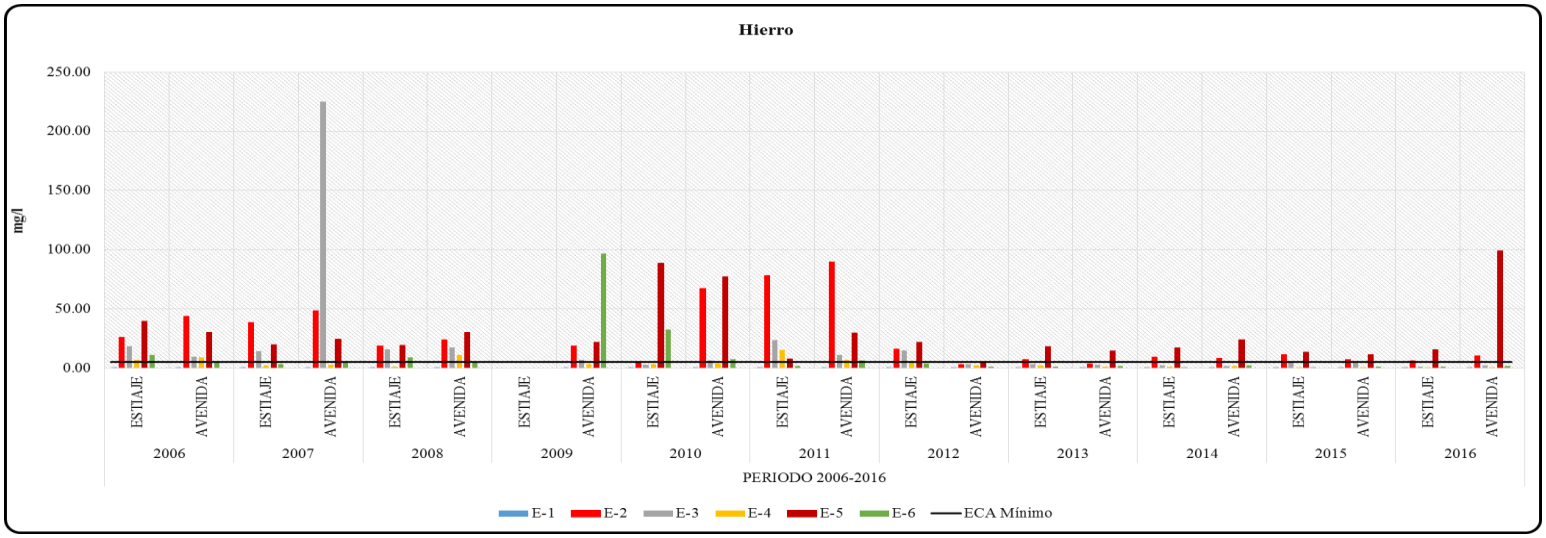
Fuente: Elaboración propia.

Evaluando al Cromo en forma puntual año por año (2010- 2016), se aprecia que sus concentraciones a través de todo el tramo de monitoreo se mantiene dentro del rango establecido en los Estándares de Calidad Ambiental para la categoría Nº 3.

4.4.6.

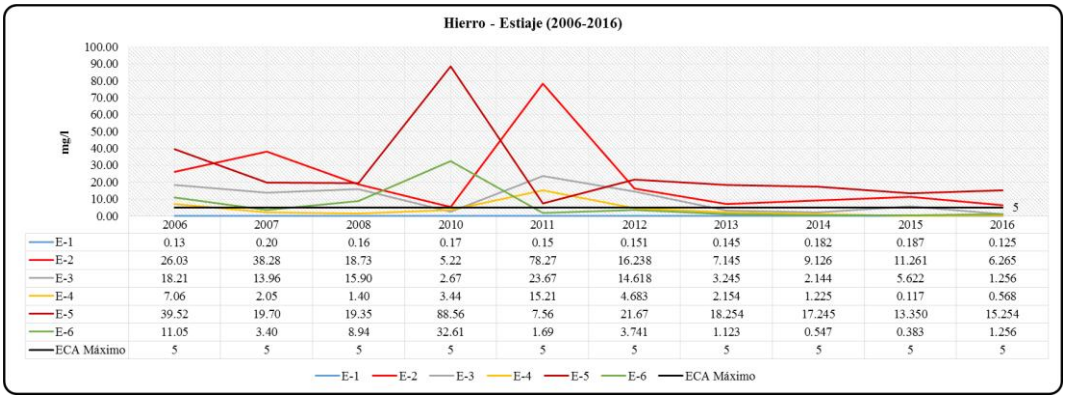
Gráfica 76: Hierro en época de estiaje y avenida (2006-2016)

Hierro



De acuerdo a la gráfica Nº 78, se puede observar que los niveles de Hierro para los once años de investigación indican que en cinco de las seis estaciones las concentraciones exceden el Estándares de Calidad Ambiental (5 mg/l).

Gráfica 77: Hierro en época de estiaje (2006-2016)

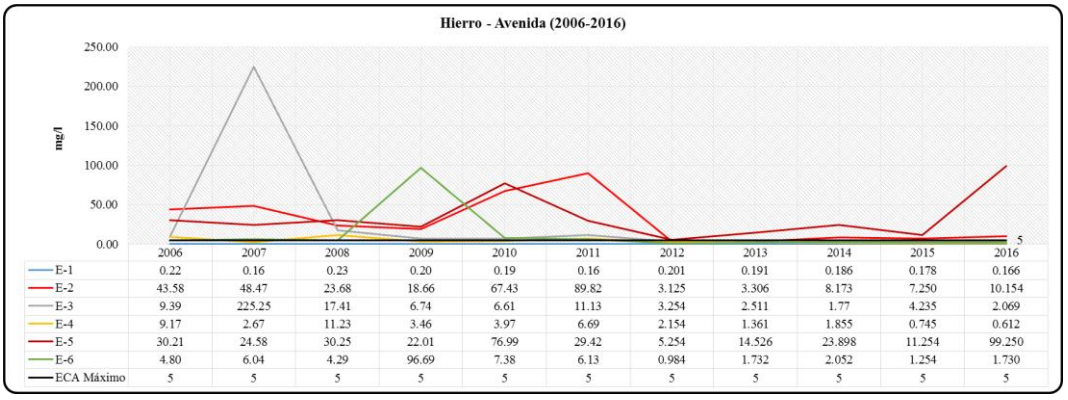


	2006	2007	2008	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016
E-1	0.13	0.20	0.16	0.17	0.15	0.151	0.145	0.182	0.187	0.125
E-2	26.03	38.28	18.73	5.22	78.27	16.238	7.145	9.126	11.261	6.265
E-3	18.21	13.96	15.90	2.67	23.67	14.618	3.245	2.144	5.622	1.256
E-4	7.06	2.05	1.40	3.44	15.21	4.683	2.154	1.225	0.117	0.568
E-5	39.52	19.70	19.35	88.56	7.56	21.67	18.254	17.245	13.350	15.254
E-6	11.05	3.40	8.94	32.61	1.69	3.741	1.123	0.547	0.383	1.256
ECA Máximo	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5

Fuente: Elaboración propia.
*Sin datos el año 2009 (estiaje).

Estiaje: En esta época, el comportamiento del Hierro para los once años de monitoreo muestra una tendencia semejante en cinco estaciones, quienes en casi todos los años de seguimiento se aprecia que sobrepasan el Estándar de calidad Ambiental.

Gráfica 78: Hierro en época de avenida (2006-2016)

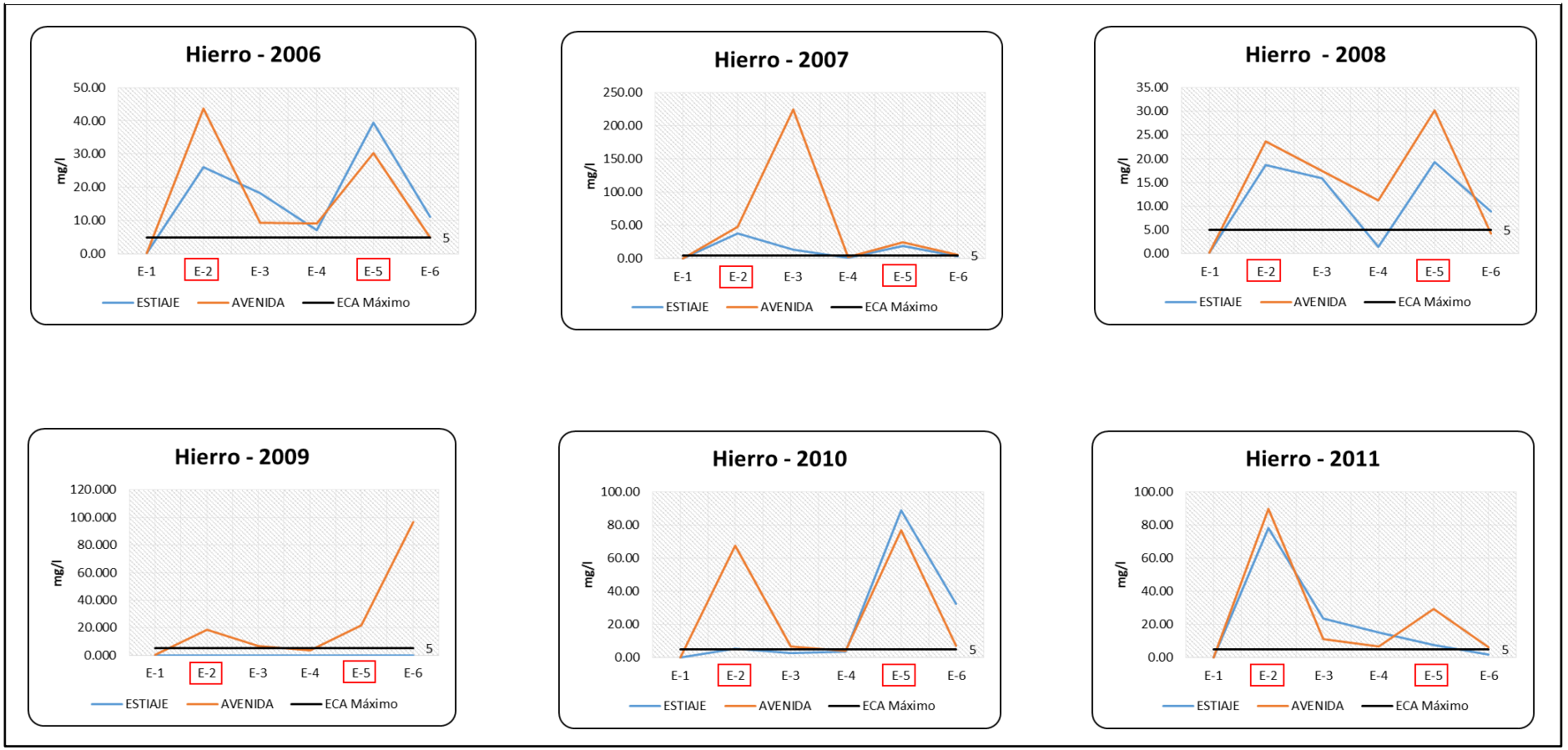


	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016
E-1	0.22	0.16	0.23	0.20	0.19	0.16	0.201	0.191	0.186	0.178	0.166
E-2	43.58	48.47	23.68	18.66	67.43	89.82	3.125	3.306	8.173	7.250	10.154
E-3	9.39	225.25	17.41	6.74	6.61	11.13	3.254	2.511	1.77	4.235	2.069
E-4	9.17	2.67	11.23	3.46	3.97	6.69	2.154	1.361	1.855	0.745	0.612
E-5	30.21	24.58	30.25	22.01	76.99	29.42	5.254	14.526	23.898	11.254	99.250
E-6	4.80	6.04	4.29	96.69	7.38	6.13	0.984	1.732	2.052	1.254	1.730
ECA Máximo	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5

Fuente: Elaboración propia.

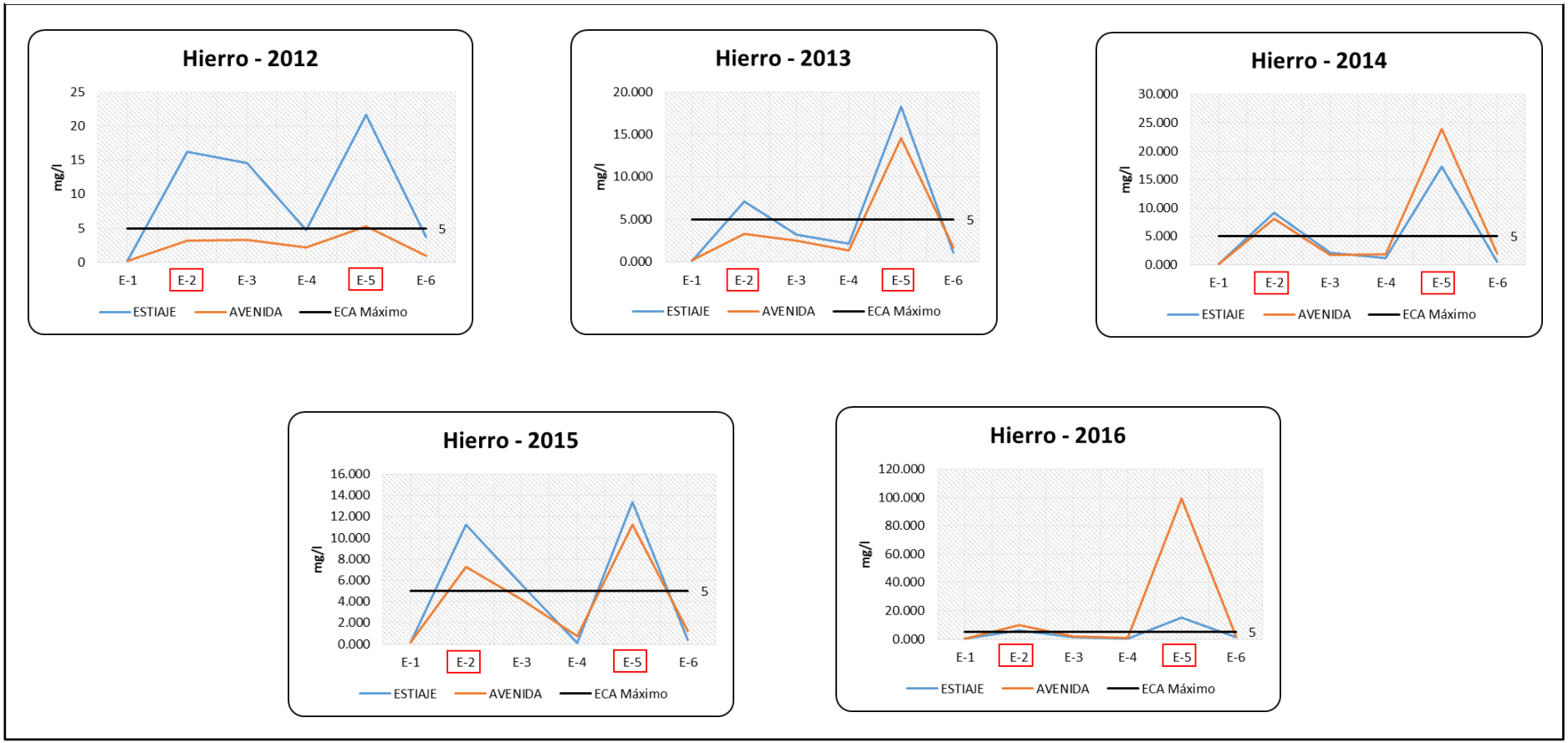
Avenida: De igual manera que la época anterior, en este periodo de monitoreo, se aprecia que en cinco estaciones principalmente, el Hierro supera el Estándar de Calidad Ambiental para la mayoría de años.

Gráfica 79: Hierro en época de estiaje y avenida (2006-2011)



Fuente: Elaboración propia.
*Sin datos el año 2009 (estiaje).

Gráfica 80: Hierro en época de estiaje y avenida (2012-2016)



Fuente: Elaboración propia.

En el año 2006, se aprecia que las concentraciones de Hierro exceden el Estándar de Calidad Ambiental para las estaciones Nº 2, 3, 4, 5 y 6, tanto para la época de estiajes como avenidas.

Para el año 2007, se aprecia que para la época de avenidas el nivel de Hierro, excede el Estándar de Calidad para las estaciones Nº 2, 3 y 5. De igual forma tenemos que para la época de estiaje los niveles de Hierro sobrepasan los rangos permitidos en las estaciones Nº 2 y 5.

En el año 2008, se aprecia que para la época de avenidas las estaciones Nº 2, 3, 4 y 5 exceden el Estándar de Calidad, mientras que para la época de estiaje las estaciones que exceden los rangos permitidos son la Nº 2, 3, 5 y 6.

En el año 2009, se aprecia que las estaciones Nº 2, 5 y 6 exceden el Estándar de Calidad, para la época de avenidas, mientras que para la época de estiaje los niveles de Hierro se encuentran dentro de los rangos permitidos.

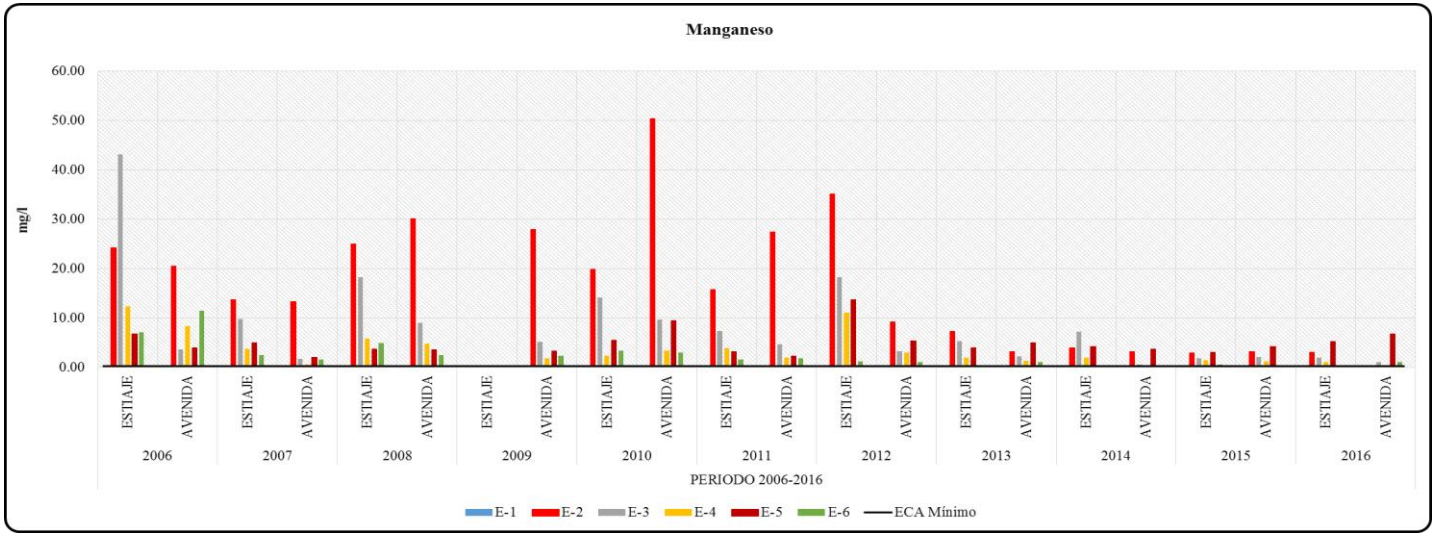
Para los años 2010 y 2011, en época de estiaje y avenidas, se aprecia que el nivel de Hierro, excede el Estándar de Calidad para las estaciones Nº 2, 3 y 5.

Para el año 2012, se aprecia que en la época de estiaje las estaciones Nº 2, 3 y 5 exceden el Estándar de Calidad Ambiental, mientras que en época de avenidas las concentraciones de Hierro se mantienen dentro de los rangos permitidos.

En los años 2013, 2014, 2015 y 2016, se aprecia que las concentraciones de Hierro para las estaciones Nº 2 y 5 exceden el Estándar de Calidad, tanto para la época de avenidas como de estiaje, mientras que para las otras estaciones dichos niveles se encuentran dentro de los rangos permitidos.

4.4.7. Manganeso

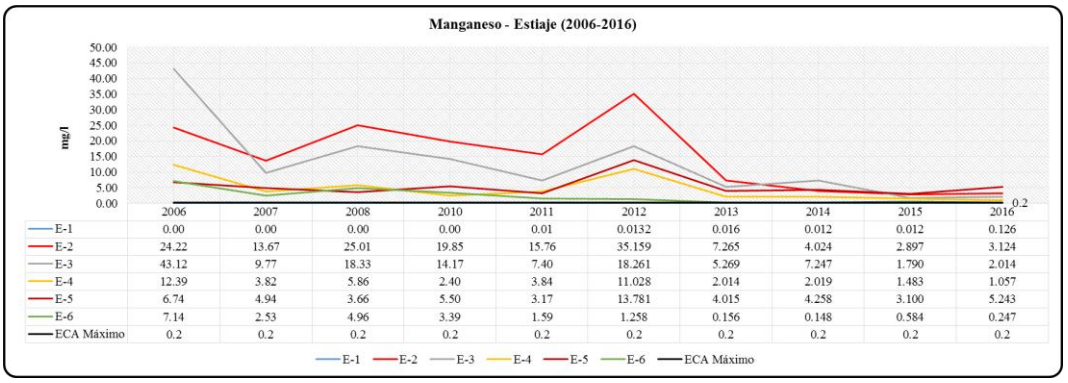
Gráfica 81: Manganeso en época de estiaje y avenida (2006-2016)



Fuente: Elaboración propia.
*Sin datos el año 2009 (estiaje).

De acuerdo a la gráfica Nº83, se puede observar que los niveles de Manganeso para los once años de monitoreo indican que en cinco de las seis estaciones las concentraciones exceden el Estándares de Calidad Ambiental 0.2 mg/l).

Gráfica 82: Manganeso en época de estiaje (2006-2016)



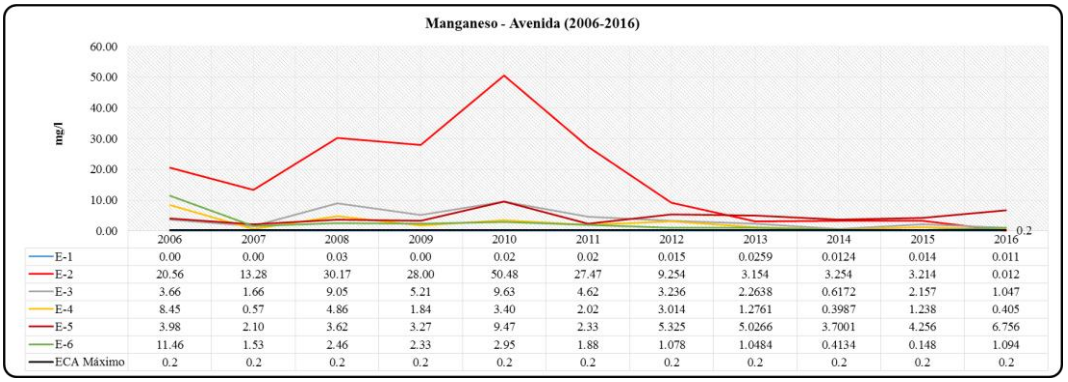
	2006	2007	2008	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016
E-1	0.00	0.00	0.00	0.00	0.01	0.0132	0.016	0.012	0.012	0.126
E-2	24.22	13.67	25.01	19.85	15.76	35.159	7.265	4.024	2.897	3.124
E-3	43.12	9.77	18.33	14.17	7.40	18.261	5.269	7.247	1.790	2.014
E-4	12.39	3.82	5.86	2.40	3.84	11.028	2.014	2.019	1.483	1.057
E-5	6.74	4.94	3.66	5.50	3.17	13.781	4.015	4.258	3.100	5.243
E-6	7.14	2.53	4.96	3.39	1.59	1.258	0.156	0.148	0.584	0.247
ECA Máximo	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2

Fuente: Elaboración propia.
*Sin datos el año 2009 (estiaje).

Estiaje: En esta época, el comportamiento del Manganeso para los once años de monitoreo muestra una tendencia semejante en cinco estaciones, de tal manera que se puede observar que en todos los años de seguimiento sobrepasan el Estándar de Calidad Ambiental.

Gráfica 83: Manganeso en época de avenida (2006-2016)

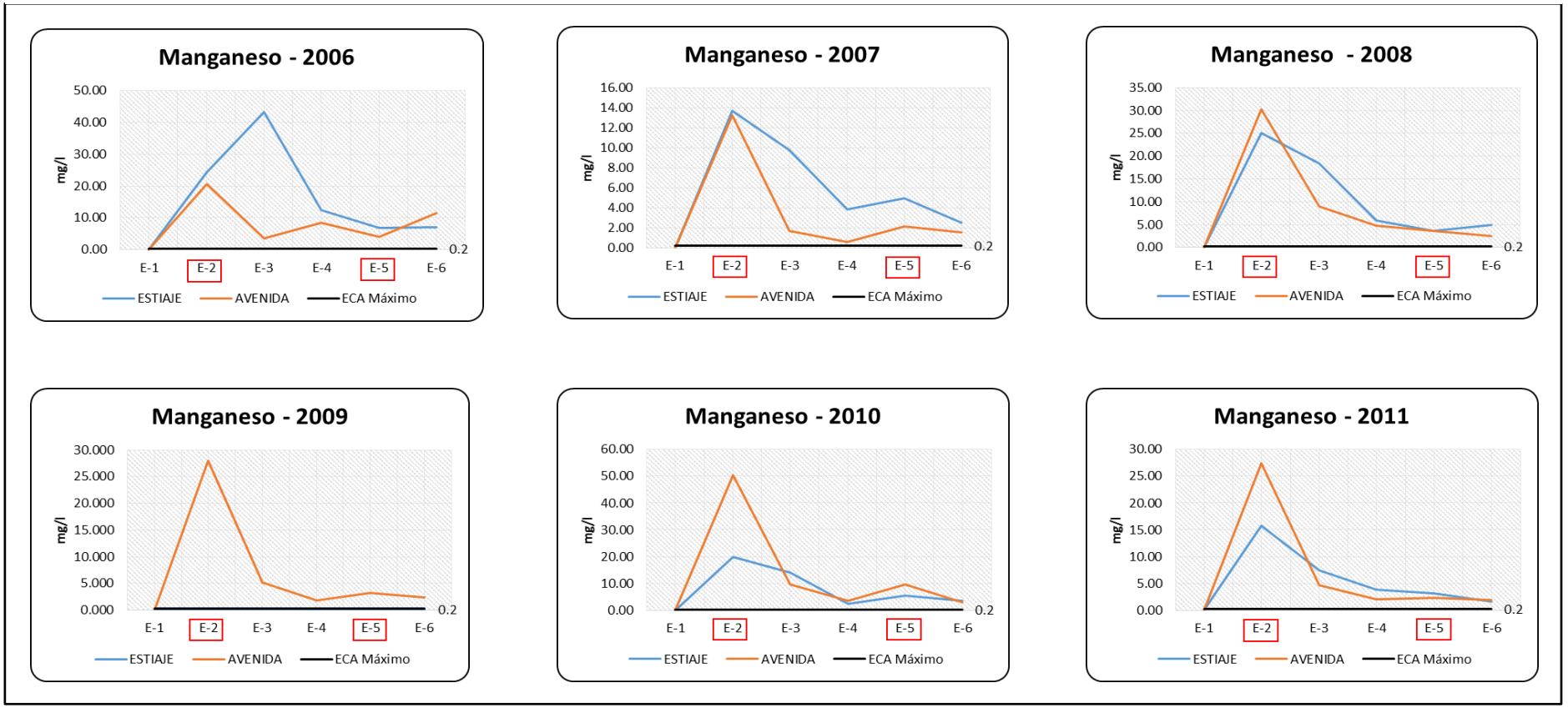
Fuente: Elaboración propia.



	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016
E-1	0.00	0.00	0.03	0.00	0.02	0.02	0.015	0.0259	0.0124	0.014	0.011
E-2	20.56	13.28	30.17	28.00	50.48	27.47	9.254	3.154	3.254	3.214	0.012
E-3	3.66	1.66	9.05	5.21	9.63	4.62	3.236	2.2638	0.6172	2.157	1.047
E-4	8.45	0.57	4.86	1.84	3.40	2.02	3.014	1.2761	0.3987	1.238	0.405
E-5	3.98	2.10	3.62	3.27	9.47	2.33	5.325	5.0266	3.7001	4.256	6.756
E-6	11.46	1.53	2.46	2.33	2.95	1.88	1.078	1.0484	0.4134	0.148	1.094
ECA Máximo	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2

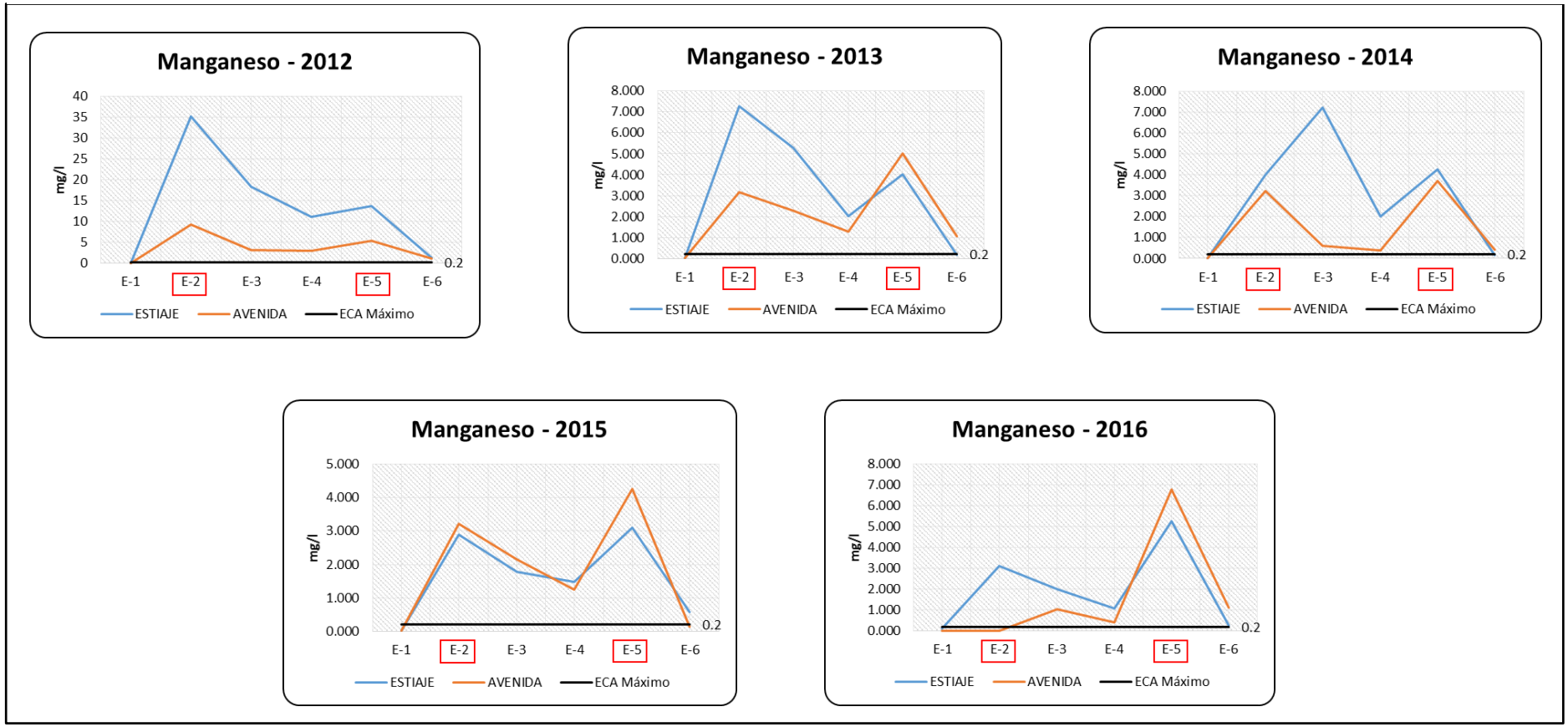
Avenida: De igual manera que la época anterior, en este periodo de monitoreo, se aprecia que en las mismas cinco estaciones, el Manganeso supera el Estándar de Calidad Ambiental para la mayoría de años.

Gráfica 84: Manganeso en época de estiaje y avenida (2006-2011)



Fuente: Elaboración propia.
*Sin datos el año 2009 (estiaje).

Gráfica 85: Manganeso en época de estiaje y avenida (2012-2016)



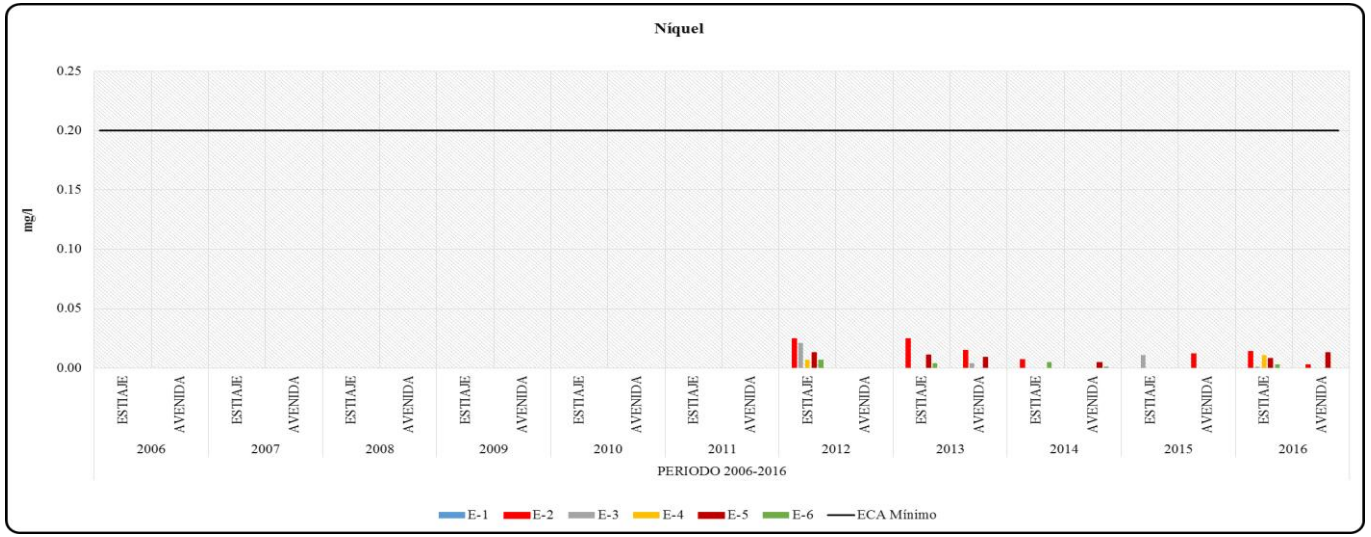
Fuente: Elaboración propia.

Para todos los años de monitoreo en general (2006-20016), se aprecia que para la época de avenidas y estiaje las concentraciones de Manganeso exceden el Estándar de Calidad Ambiental para las estaciones Nº 2, 3, 4, 5 y 6,

Para los mismos años de monitoreo, 2006 al 2016, la estación de monitoreo Nº 1 presenta concentraciones de Manganeso que se encuentran dentro de los Estándares de Calidad Ambiental, tanto para la época de avenidas como para la época de estiaje.

4.4.8. Níquel

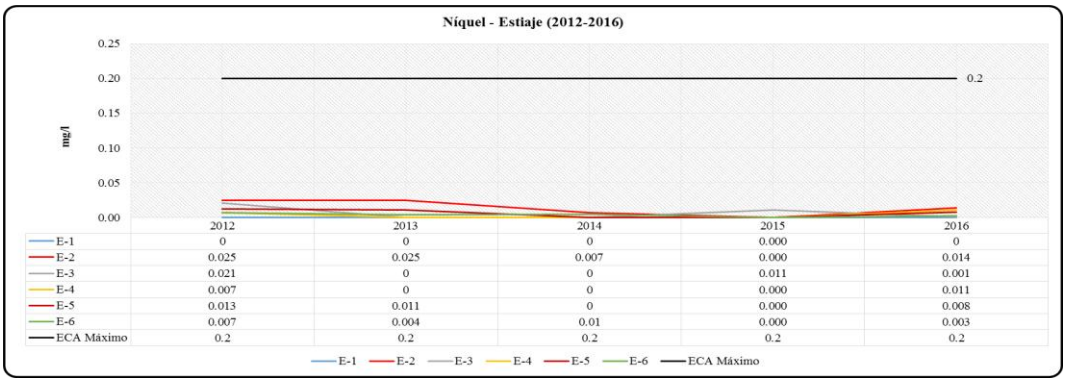
Gráfica 86: Níquel en época de estiaje y avenida (2006-2016)



Fuente: Elaboración propia.
*Sin datos desde el año 2006-2012

En la gráfica Nº88, se observa que los niveles de Níquel para los cinco años evaluados y para cada una de las estaciones monitoreadas se encuentran dentro de los Estándares de Calidad Ambiental (0.2 mg/l). Cabe indicar también que para los primeros seis años no se cuenta con información acerca de estas concentraciones.

Gráfica 87: Níquel en época de estiaje (2012-2016)

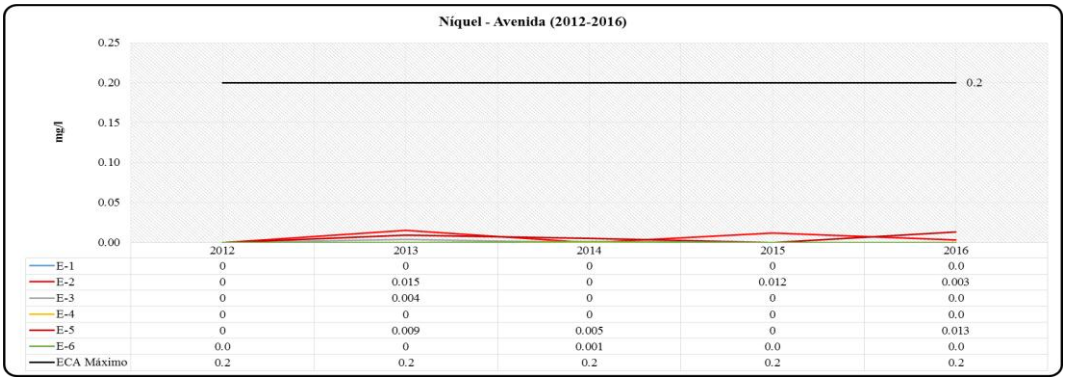


	2012	2013	2014	2015	2016
E-1	0	0	0	0.000	0
E-2	0.025	0.025	0.007	0.000	0.014
E-3	0.021	0	0	0.011	0.001
E-4	0.007	0	0	0.000	0.011
E-5	0.013	0.011	0	0.000	0.008
E-6	0.007	0.004	0.01	0.000	0.003
ECA Máximo	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2

Fuente: Elaboración propia.

Estiaje: En esta época, el comportamiento del Níquel durante los años de monitoreo muestra una tendencia bastante estable que no excede en ningún periodo el Estándar de Calidad Ambiental.

Gráfica 88: Níquel en época de avenida (2012-2016)

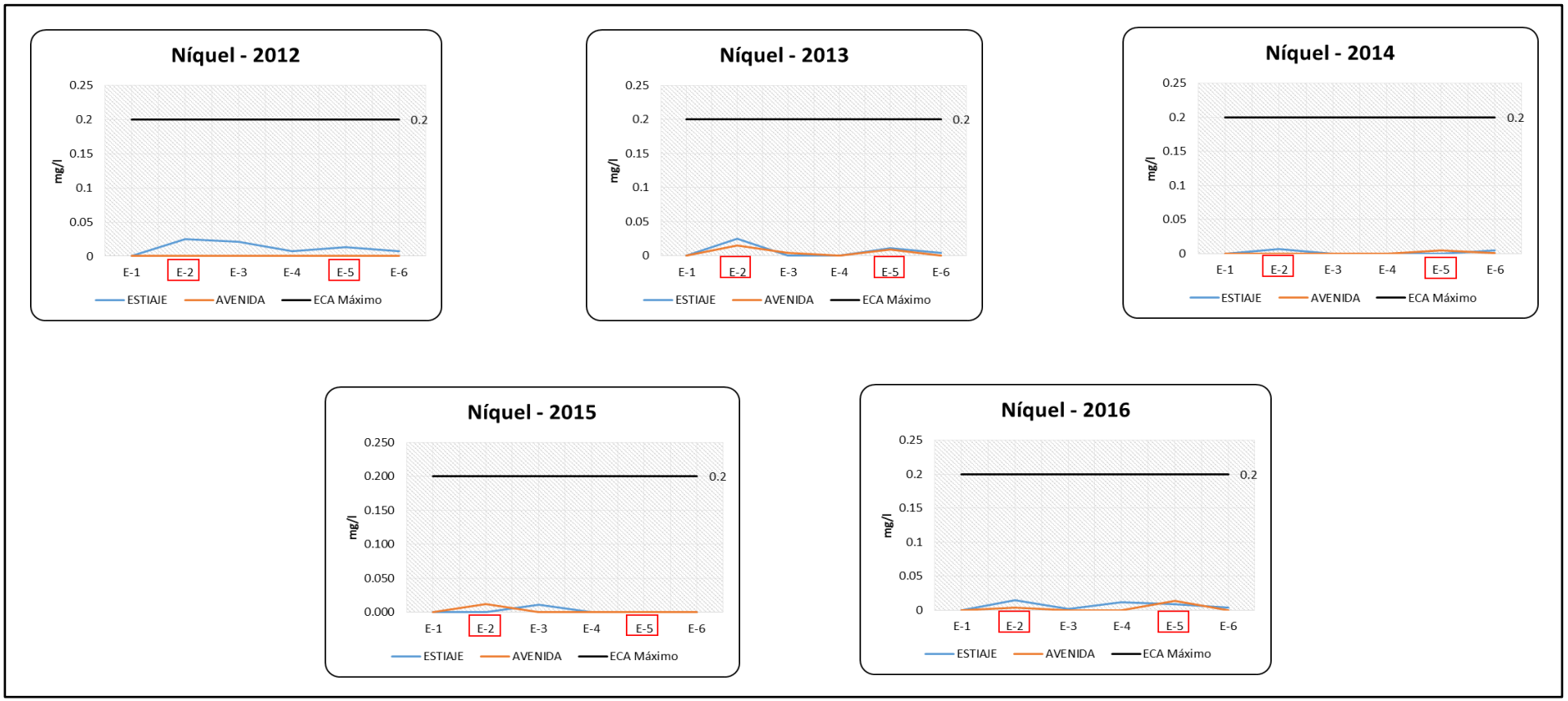


	2012	2013	2014	2015	2016
E-1	0	0	0	0	0.0
E-2	0	0.015	0	0.012	0.003
E-3	0	0.004	0	0	0.0
E-4	0	0	0	0	0.0
E-5	0	0.009	0.005	0	0.013
E-6	0.0	0	0.001	0.0	0.0
ECA Máximo	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2

Fuente: Elaboración propia.

Avenida: Para estos cinco años de monitoreo, al igual que en la época de Avenidas el Níquel muestra una tendencia estable a través de todo este tiempo, no superando los rangos establecidos por la norma.

Gráfica 89: Níquel en época de estiaje y avenida (2012-2016)

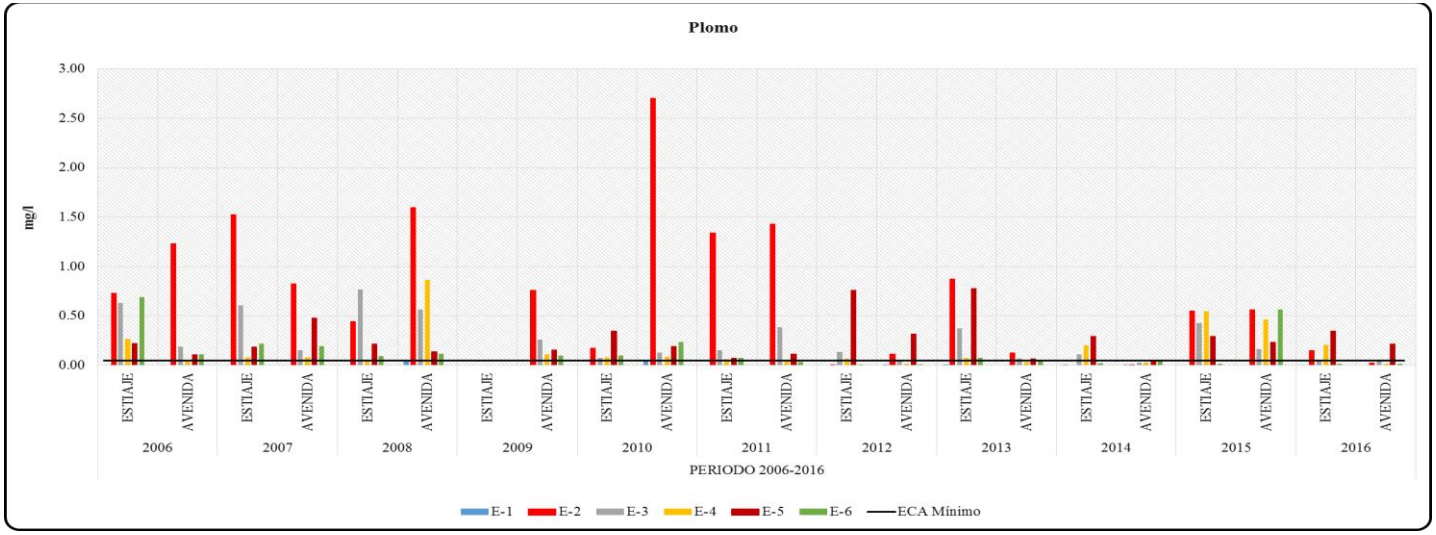


Fuente: Elaboración propia.

Evaluando el Níquel en forma más específica año por año (2012- 2016), se aprecia que sus concentraciones a través del todo el tramo de monitoreo se mantiene dentro del rango establecido en los Estándares de Calidad Ambiental para la categoría Nº 3.

4.4.9. Plomo

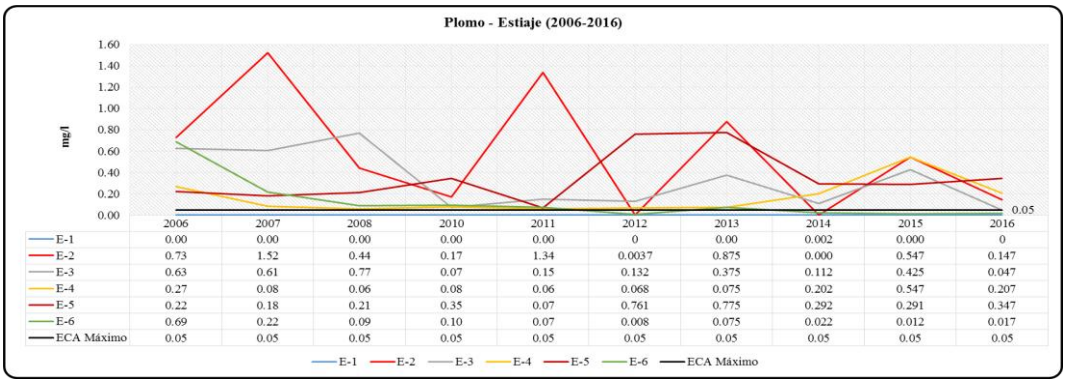
Gráfica 90: Plomo en época de estiaje y avenida (2006-2016)



Fuente: Elaboración propia.
*Sin datos el año 2009 (estiaje).

De acuerdo a la gráfica Nº 92, se puede observar que los niveles de Plomo para los once años de investigación indican que en cinco de las seis estaciones las concentraciones exceden el Estándares de Calidad Ambiental (0.05 mg/l).

Gráfica 91: Plomo en época de estiaje (2006-2016)

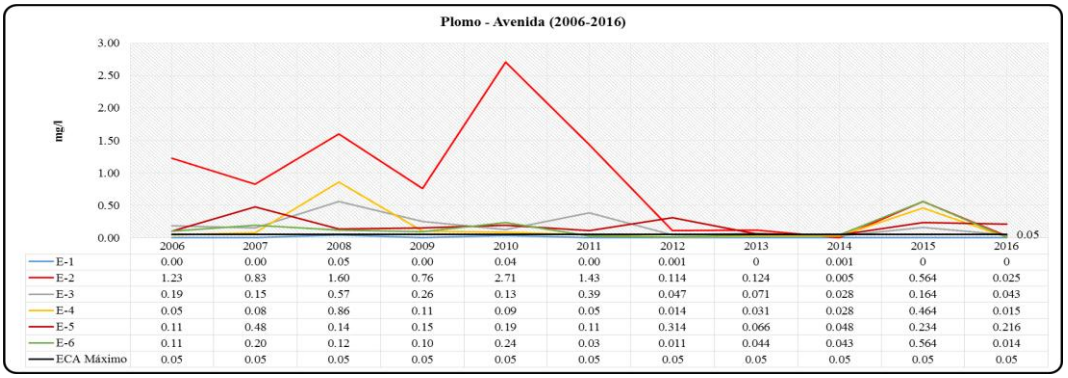


	2006	2007	2008	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016
E-1	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0	0.00	0.002	0.000	0
E-2	0.73	1.52	0.44	0.17	1.34	0.0037	0.875	0.000	0.547	0.147
E-3	0.63	0.61	0.77	0.07	0.15	0.132	0.375	0.112	0.425	0.047
E-4	0.27	0.08	0.06	0.08	0.06	0.068	0.075	0.202	0.547	0.207
E-5	0.22	0.18	0.21	0.35	0.07	0.761	0.775	0.292	0.291	0.347
E-6	0.69	0.22	0.09	0.10	0.07	0.008	0.075	0.022	0.012	0.017
ECA Máximo	0.05	0.05	0.05	0.05	0.05	0.05	0.05	0.05	0.05	0.05

Fuente: Elaboración propia.
*Sin datos el año 2009.

Estiaje: En esta época, la concentración de Plomo para los once años de monitoreo muestra un nivel y tendencia semejante en cinco de las seis estaciones, quienes en casi todos los años de seguimiento se aprecia que sobrepasan el Estándar de calidad Ambiental.

Gráfica 92 Plomo en época de avenida (2006-2016)

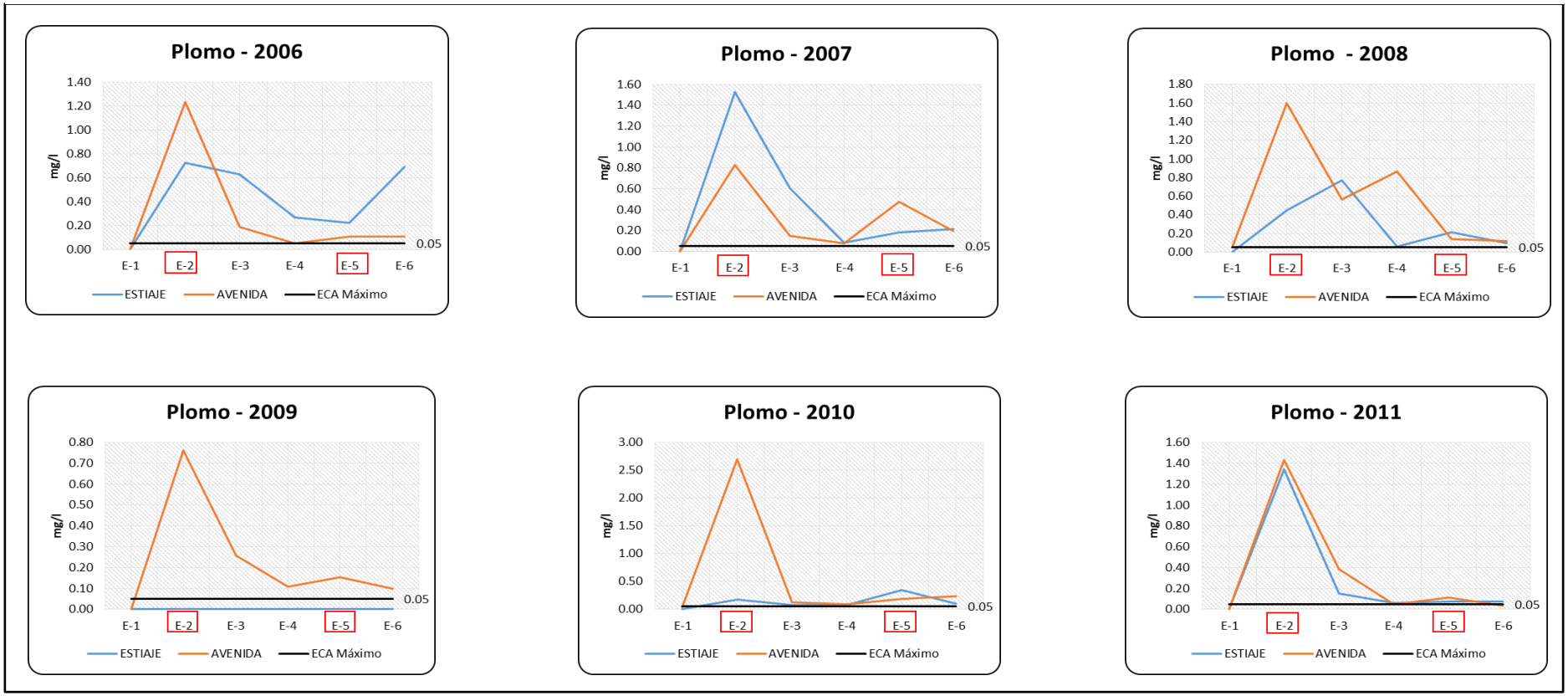


	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016
E-1	0.00	0.00	0.05	0.00	0.04	0.00	0.001	0	0.001	0	0
E-2	1.23	0.83	1.60	0.76	2.71	1.43	0.114	0.124	0.005	0.564	0.025
E-3	0.19	0.15	0.57	0.26	0.13	0.39	0.047	0.071	0.028	0.164	0.043
E-4	0.05	0.08	0.86	0.11	0.09	0.05	0.014	0.031	0.028	0.464	0.015
E-5	0.11	0.48	0.14	0.15	0.19	0.11	0.314	0.066	0.048	0.234	0.216
E-6	0.11	0.20	0.12	0.10	0.24	0.03	0.011	0.044	0.043	0.564	0.014
ECA Máximo	0.05	0.05	0.05	0.05	0.05	0.05	0.05	0.05	0.05	0.05	0.05

Fuente: Elaboración propia.

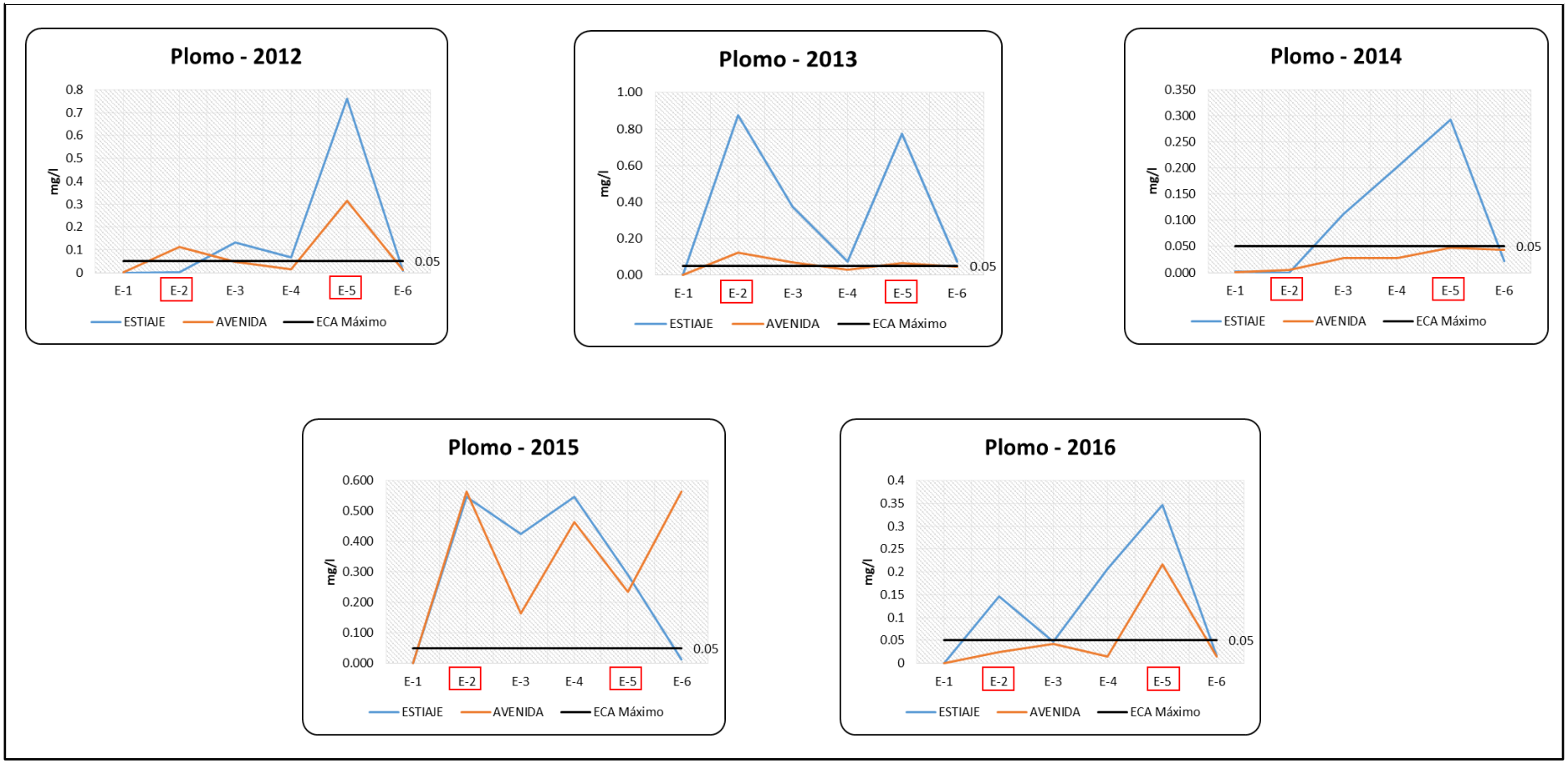
Avenida: De igual manera que la época de avenidas, en este periodo de monitoreo, se aprecia que en cinco estaciones principalmente, el Plomo supera el Estándar de Calidad Ambiental para la mayoría de años.

Gráfica 93: Plomo en época de estiaje y avenida (2006-2011)



Fuente: Elaboración propia.
*Sin datos el año 2009 (estiaje).

Gráfica 94: Plomo en época de estiaje y avenida (2012-2016)



Fuente: Elaboración propia.

En el año 2006, se aprecia que en la época de estiaje las concentraciones de Plomo exceden el Estándar de Calidad Ambiental para las estaciones Nº 2, 3, 4, 5 y 6, mientras que en la época de avenidas excede en las estaciones N 2, 3, 5 y 6.

Para el año 2007, se aprecia que para la época de avenidas el nivel de Plomo, excede el Estándar de Calidad para las estaciones Nº 2, 3, 5 y 6. De igual forma tenemos que para la época de estiaje los niveles de Plomo sobrepasan los rangos permitidos en las estaciones Nº 2, 3, 5 y 6.

En el año 2008, se aprecia que para la época de avenidas y estiaje las estaciones Nº 2, 3, 4, 5 y 6 exceden el Estándar de Calidad.

En el año 2009, se aprecia que para la época de avenidas las estaciones Nº 2, 3, 4, 5 y 6 exceden el Estándar de Calidad, mientras que para la época de estiaje no se cuenta con información.

Para el año 2010, en época de estiaje y avenidas, se aprecia que el nivel de Plomo, excede el Estándar de Calidad para las estaciones Nº 2, 3, 4, 5 y 6.

Para el año 2011, se aprecia que en la época de estiaje las estaciones Nº 2, 3, 4, 5 y 6 exceden el Estándar de Calidad Ambiental, mientras que en época de avenidas las concentraciones de Plomo exceden en las estaciones Nº 2, 3 y 5.

Para el año 2012, se aprecia que en la época de estiaje las estaciones Nº 3, 4 y 5 exceden el Estándar de Calidad Ambiental, mientras que en época de avenidas las concentraciones de Plomo exceden en las estaciones Nº 2 y 5.

Para el año 2013, en la época de estiaje se aprecia que las estaciones Nº 2, 3, 4, 5 y 6 exceden el Estándar de Calidad Ambiental, mientras que en época de avenidas las concentraciones de Plomo exceden en las estaciones Nº 2, 3 y 5.

Para el año 2014, se aprecia que en la época de estiaje las estaciones Nº 3, 4 y 5 exceden el Estándar de Calidad Ambiental, mientras que en época de avenidas las

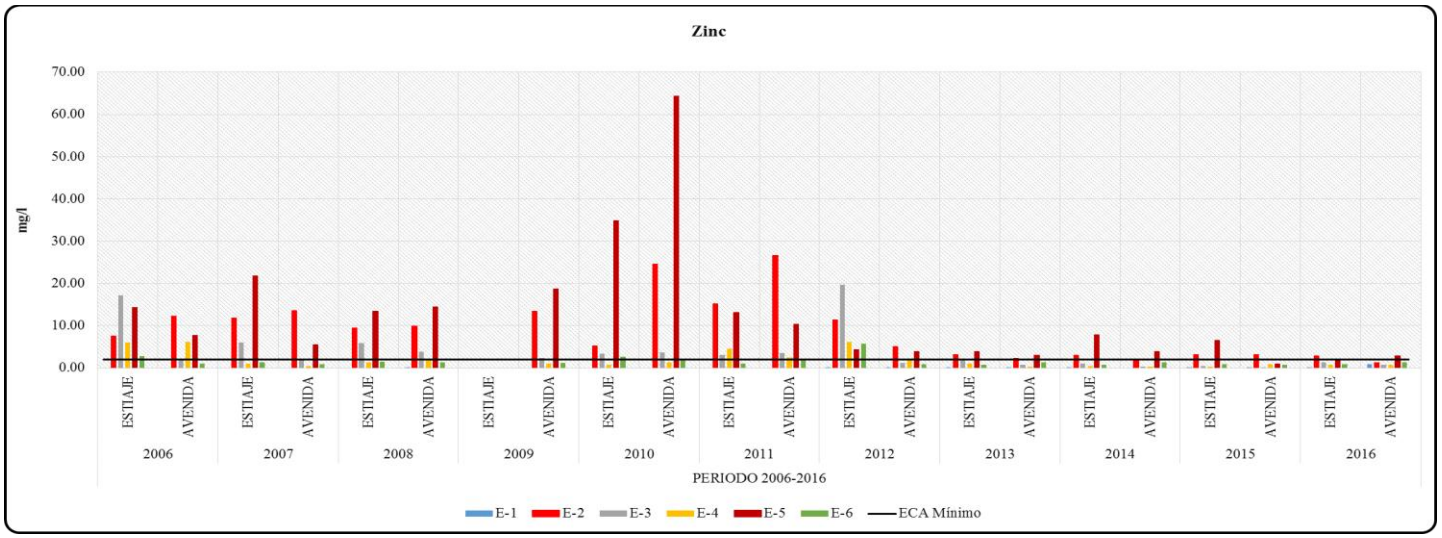
concentraciones de Plomo no exceden los rangos permitidos en ninguna de las estaciones.

Para el año 2015, en la época de estiaje se aprecia que las estaciones Nº 2, 3, 4 y 5 exceden el Estándar de Calidad Ambiental, mientras que en época de avenidas las concentraciones de Plomo exceden los rangos permitidos en las estaciones Nº 2, 3, 4, 5 y 6.

Para el año 2016, se aprecia que en la época de estiaje las estaciones Nº 2, 4 y 5 exceden el Estándar de Calidad Ambiental, mientras que en época de avenidas las concentraciones de Plomo exceden el rango permitido en la estación Nº 5.

4.4.10. Zinc

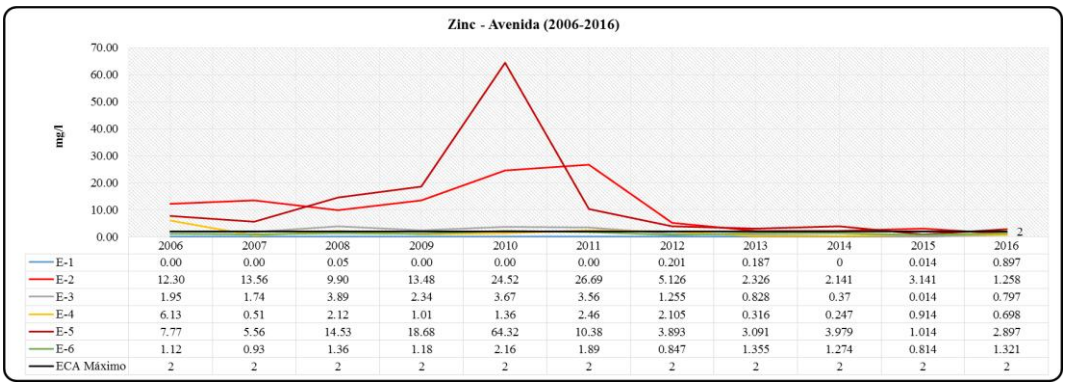
Gráfica 95: Zinc en época de estiaje y avenida (2006-2016)



Fuente: Elaboración propia.
*Sin datos el año 2009 (estiaje).

De acuerdo a la gráfica Nº 97, se puede observar que los niveles de Zinc para los once años de monitoreo indican que en cinco de las seis estaciones las concentraciones exceden el Estándares de Calidad Ambiental (2.0 mg/l).

Gráfica 96: Zinc en época de estiaje (2006-2016)

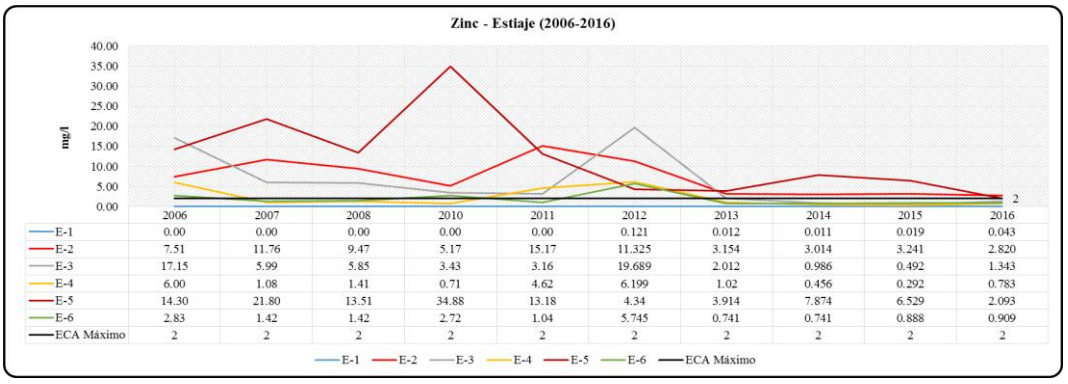


	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016
E-1	0.00	0.00	0.05	0.00	0.00	0.00	0.201	0.187	0	0.014	0.897
E-2	12.30	13.56	9.90	13.48	24.52	26.69	5.126	2.326	2.141	3.141	1.258
E-3	1.95	1.74	3.89	2.34	3.67	3.56	1.255	0.828	0.37	0.014	0.797
E-4	6.13	0.51	2.12	1.01	1.36	2.46	2.105	0.316	0.247	0.914	0.698
E-5	7.77	5.56	14.53	18.68	64.32	10.38	3.893	3.091	3.979	1.014	2.897
E-6	1.12	0.93	1.36	1.18	2.16	1.89	0.847	1.355	1.274	0.814	1.321
ECA Máximo	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2

Fuente: Elaboración propia.
*Sin datos el año 2009.

Estiaje: En esta época, el comportamiento del Zinc para los once años de monitoreo muestra una tendencia semejante en cinco estaciones, quienes en casi todos los años de seguimiento se aprecia que sobrepasan el Estándar de calidad Ambiental.

Gráfica 97: Zinc en época de avenida (2006-2016)

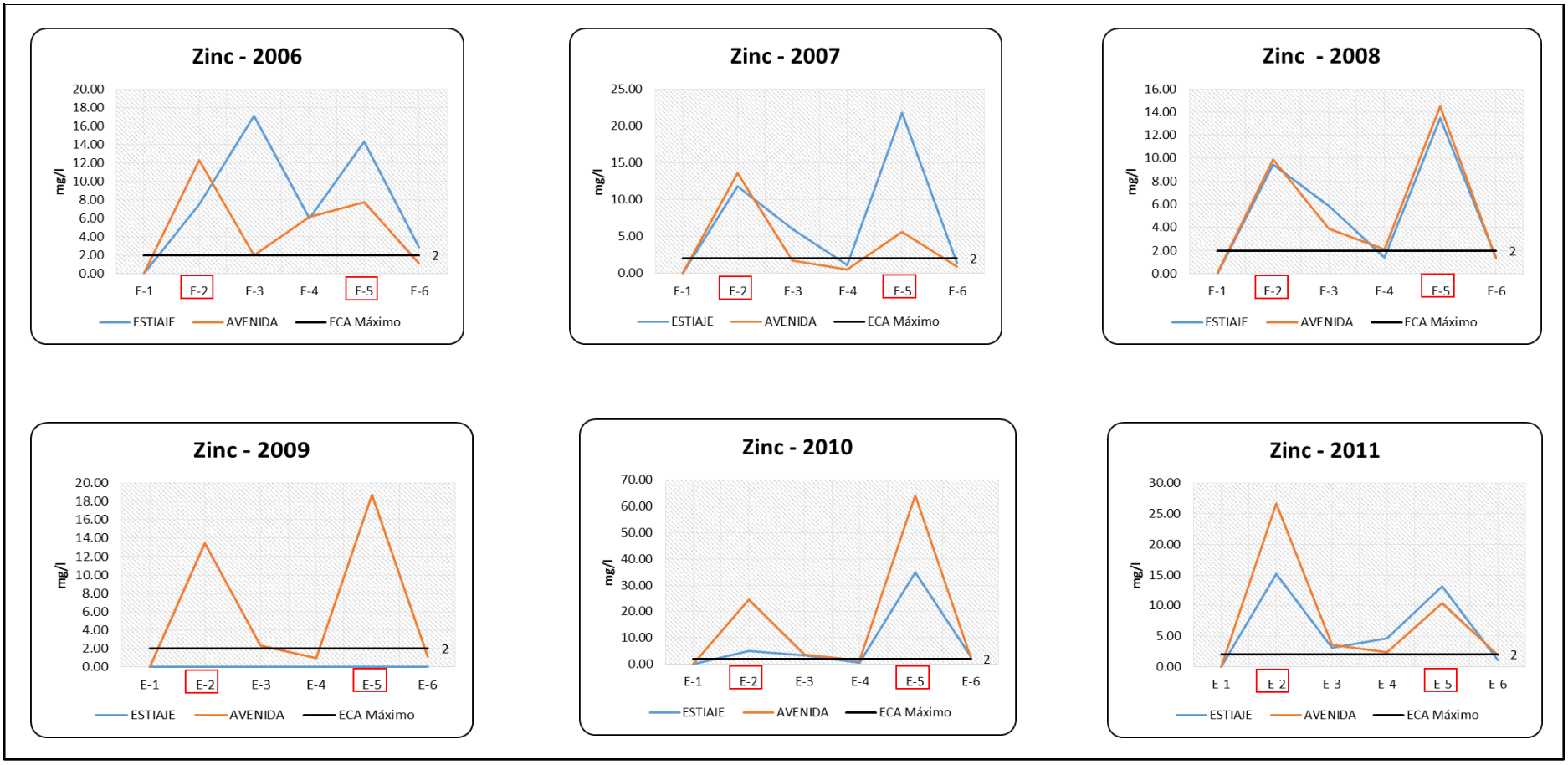


	2006	2007	2008	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016
E-1	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.121	0.012	0.011	0.019	0.043
E-2	7.51	11.76	9.47	5.17	15.17	11.325	3.154	3.014	3.241	2.820
E-3	17.15	5.99	5.85	3.43	3.16	19.689	2.012	0.986	0.492	1.343
E-4	6.00	1.08	1.41	0.71	4.62	6.199	1.02	0.456	0.292	0.783
E-5	14.30	21.80	13.51	34.88	13.18	4.34	3.914	7.874	6.529	2.093
E-6	2.83	1.42	1.42	2.72	1.04	5.745	0.741	0.741	0.888	0.909
ECA Máximo	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2

Fuente: Elaboración propia.

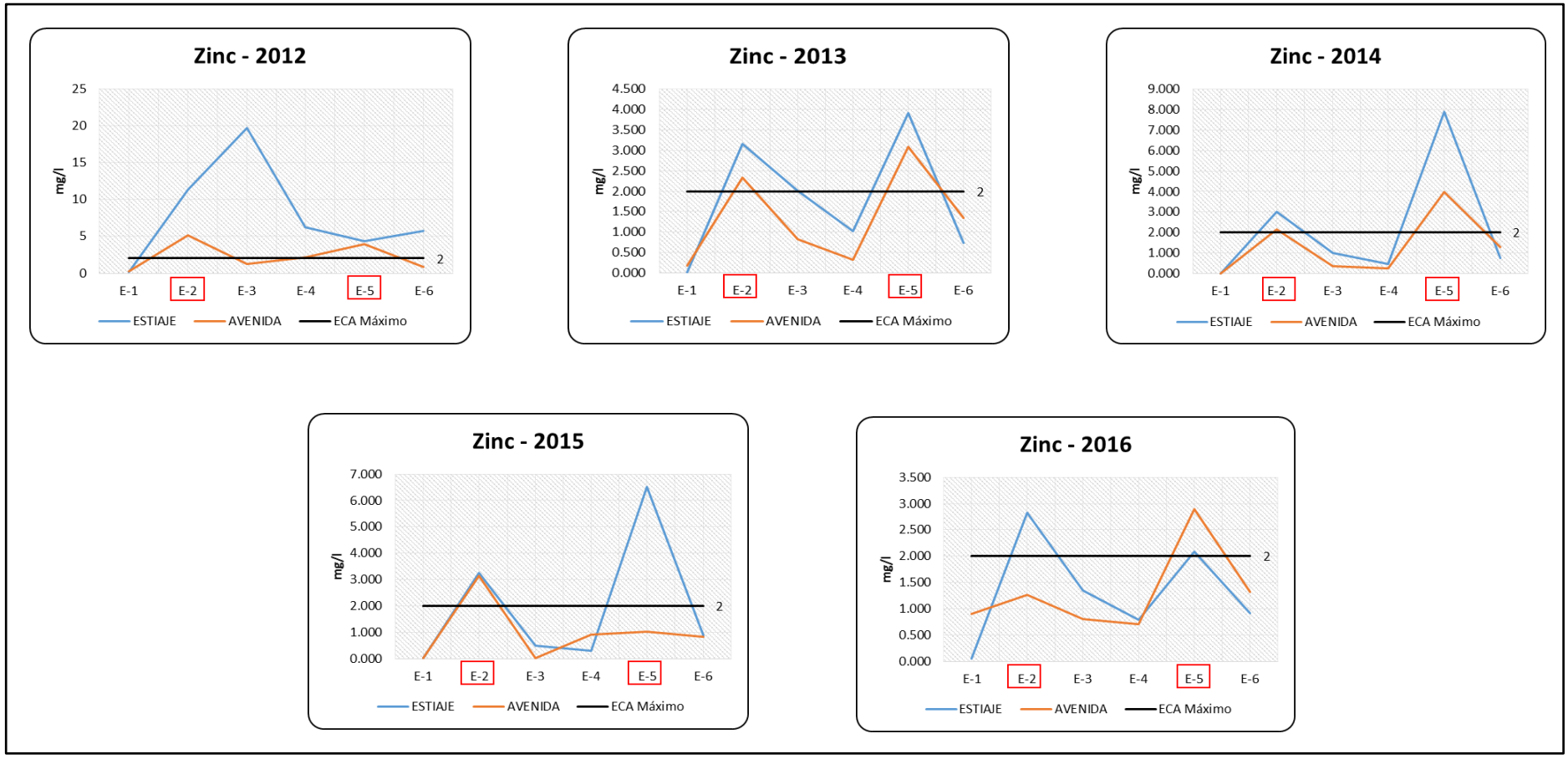
Avenida: De igual manera que la época anterior, en este periodo de monitoreo, se aprecia que en cinco estaciones, el Zinc supera el Estándar de Calidad Ambiental para la mayoría de años.

Gráfica 98: Zinc en época de estiaje y avenida (2006-2011)



Fuente: Elaboración propia.
*Sin datos el año 2009 (estiaje).

Gráfica 99 Zinc en época de estiaje y avenida (2012-2016)



Fuente: Elaboración propia.

En el año 2006, se aprecia que para la época de estiaje las concentraciones de Zinc exceden el Estándar de Calidad Ambiental para las estaciones Nº 2, 3, 4, 5 y 6, mientras que en época de avenidas las concentraciones de Zinc exceden los rangos permitidos en las estaciones Nº 2, 4 y 5.

Para el año 2007, en la época de estiaje se aprecia que el nivel de Zinc, excede el Estándar de Calidad para las estaciones Nº 2, 3 y 5. De igual forma tenemos que para la época de avenidas los niveles de Zinc sobrepasan los rangos permitidos en las estaciones Nº 2 y 5.

En el año 2008, se aprecia que para la época de estiaje y avenidas las concentraciones de Zinc exceden el Estándar de Calidad para las estaciones Nº 2, 3, y 5.

Para el año 2009 y 2010, en la época de estiaje y avenidas se aprecia que las estaciones Nº 2 y 5 exceden el Estándar de Calidad para Zinc. Para la época de estiaje del 2009 no se cuenta con información.

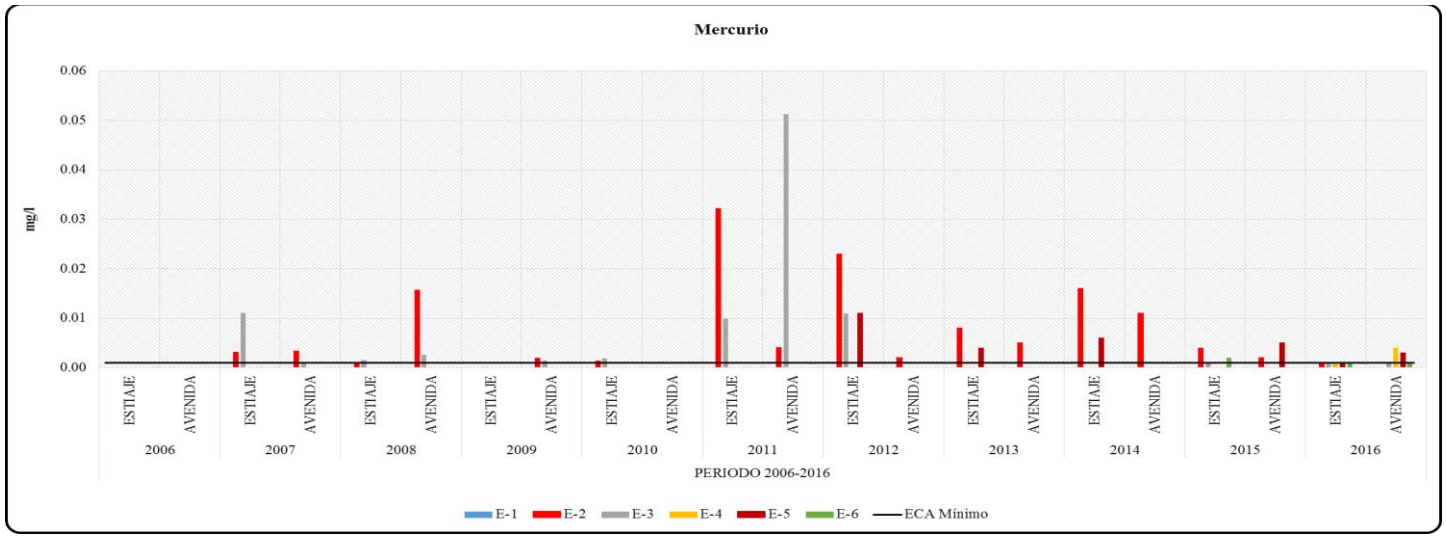
Para el año 2011, en época de estiaje y avenidas, se aprecia que el nivel de Zinc, excede el Estándar de Calidad para las estaciones Nº 2, 3, 4 y 5.

Para el año 2012, se observa que en la época de estiaje las estaciones Nº 2, 3, 4, 5 y 6 exceden el Estándar de Calidad Ambiental, mientras que en época de avenidas las concentraciones de Zinc sobrepasan los rangos permitidos en las estaciones Nº 2 y 5.

En los años 2013, 2014, 2015 y 2016, se aprecia que las concentraciones de Zinc para las estaciones Nº 2 y 5 exceden el Estándar de Calidad, tanto para la época de avenidas como de estiaje, mientras que para las otras estaciones dichos niveles se encuentran dentro de los rangos permitidos.

4.4.11. Mercurio

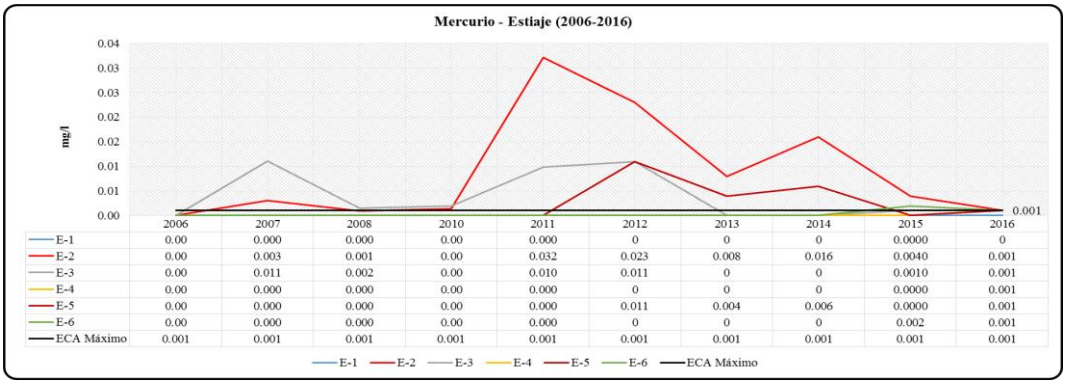
Gráfica 100: Mercurio en época de estiaje y avenida (2006-2016)



Fuente: Elaboración propia.
*Sin datos el año 2006 (estiaje y avenida), 2009 (estiaje) y 2010 (avenida).

De acuerdo a la gráfica Nº 102, se puede observar que los niveles de Mercurio para los once años de investigación indican que en cuatro de las seis estaciones las concentraciones exceden el Estándares de Calidad Ambiental (0.001 mg/l).

Gráfica 101: Mercurio en época de estiaje (2007-2016)

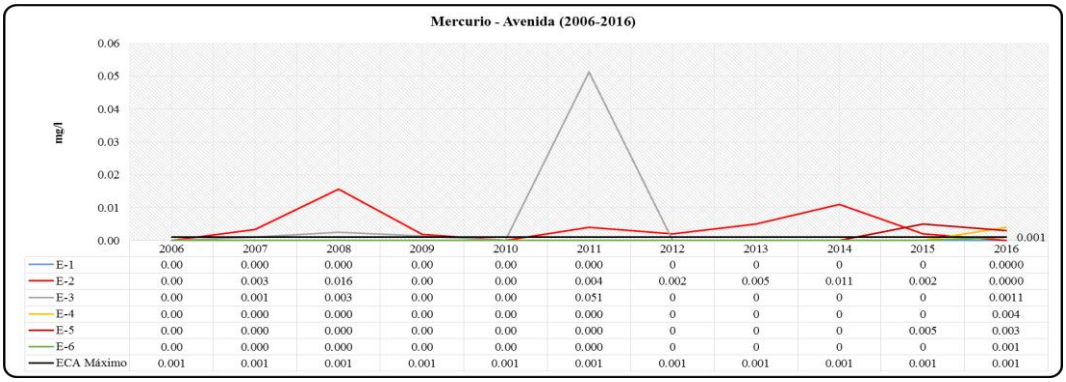


	2006	2007	2008	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016
E-1	0.00	0.000	0.000	0.00	0.000	0	0	0	0.0000	0
E-2	0.00	0.003	0.001	0.00	0.032	0.023	0.008	0.016	0.0040	0.001
E-3	0.00	0.011	0.002	0.00	0.010	0.011	0	0	0.0010	0.001
E-4	0.00	0.000	0.000	0.00	0.000	0	0	0	0.0000	0.001
E-5	0.00	0.000	0.000	0.00	0.000	0.011	0.004	0.006	0.0000	0.001
E-6	0.00	0.000	0.000	0.00	0.000	0	0	0	0.002	0.001
ECA Máximo	0.001	0.001	0.001	0.001	0.001	0.001	0.001	0.001	0.001	0.001

Fuente: Elaboración propia.
*Sin datos el año 2006 y 2009 (estiaje).

Estiaje: En esta época, el comportamiento del Mercurio durante los once años de monitoreo muestra una tendencia semejante para tres estaciones, quienes en casi todos los años de seguimiento se aprecia que sobrepasan el Estándar de calidad Ambiental.

Gráfica 102: Mercurio en época de avenida (2006-2016)

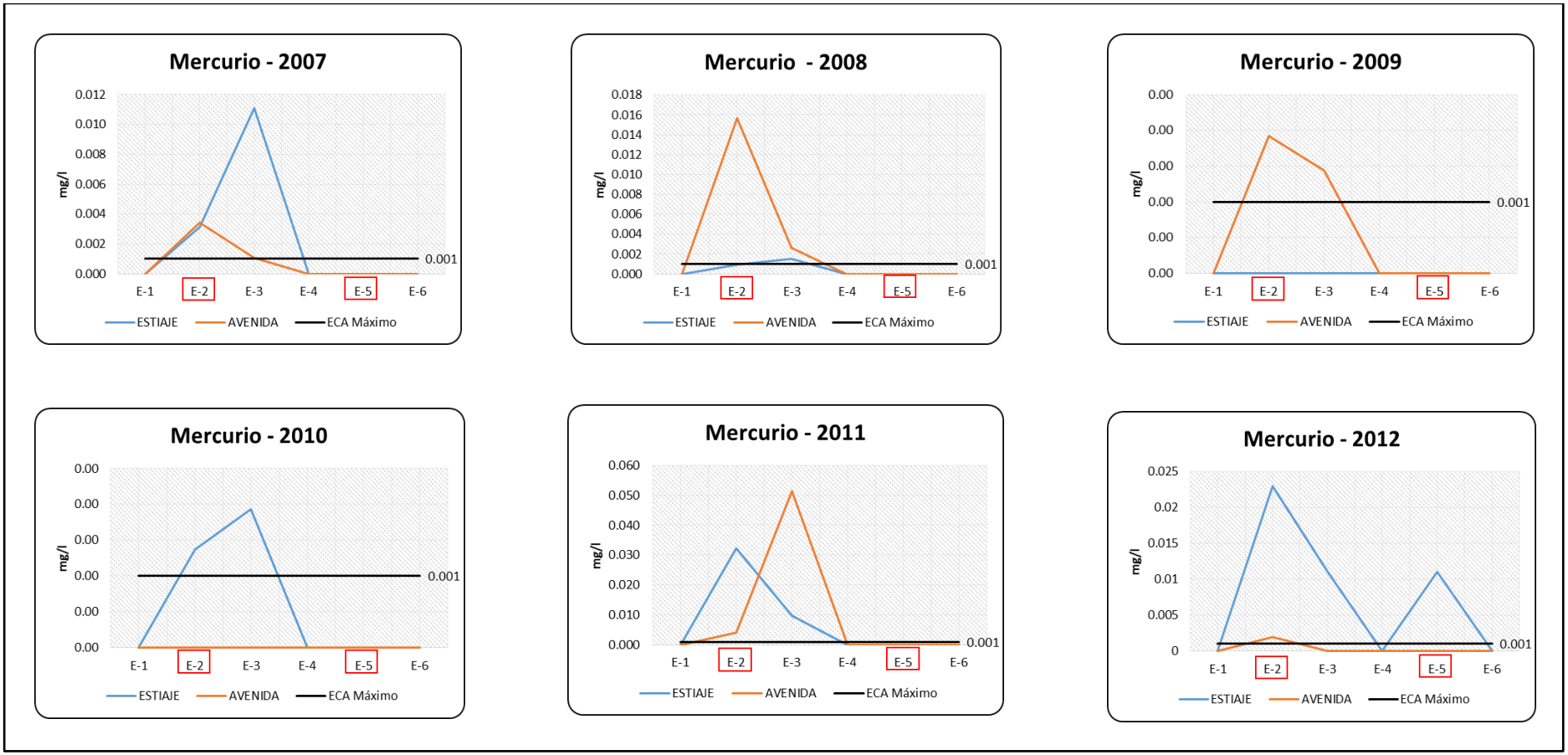


	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016
E-1	0.00	0.000	0.000	0.00	0.00	0.000	0	0	0	0	0.0000
E-2	0.00	0.003	0.016	0.00	0.00	0.004	0.002	0.005	0.011	0.002	0.0000
E-3	0.00	0.001	0.003	0.00	0.00	0.051	0	0	0	0	0.0011
E-4	0.00	0.000	0.000	0.00	0.00	0.000	0	0	0	0	0.004
E-5	0.00	0.000	0.000	0.00	0.00	0.000	0	0	0	0.005	0.003
E-6	0.00	0.000	0.000	0.00	0.00	0.000	0	0	0	0	0.001
ECA Máximo	0.001	0.001	0.001	0.001	0.001	0.001	0.001	0.001	0.001	0.001	0.001

Fuente: Elaboración propia.
*Sin datos el año 2009 (estiaje).

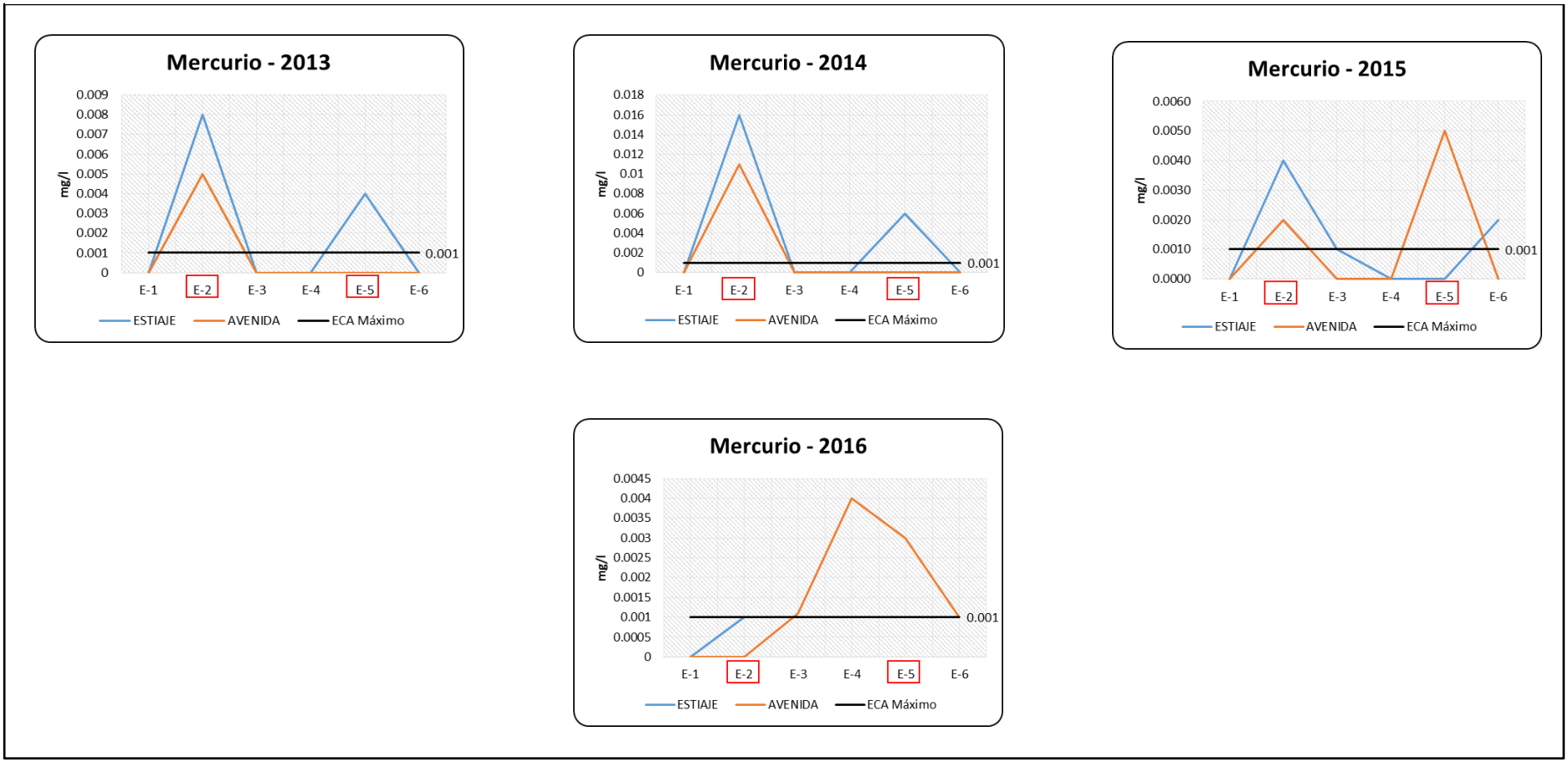
Avenida: En esta época y en el periodo de monitoreo, se aprecia que en cuatro estaciones principalmente, el Mercurio supera el Estándar de Calidad Ambiental para la mayoría de años.

Gráfica 103: Mercurio en época de estiaje y avenida (2006-2011)



Fuente: Elaboración propia.
*Sin datos el año 2006 (estiaje y avenida), 2009 (estiaje) y 2010 (avenida).

Gráfica 104: Mercurio vs estaciones (2012-2016)



Fuente: Elaboración propia.

En el año 2007, se aprecia que para la época de estiaje en las estaciones Nº 2 y 3 las concentraciones de Mercurio en el tramo monitoreado exceden el Estándar de Calidad, mientras que en la época de avenidas excede únicamente en la estación Nº 2.

En el año 2008, se aprecia que en la época de avenidas las concentraciones de Mercurio en las estaciones Nº 2 y 3 exceden el Estándar de Calidad, mientras que para la época de estiaje la Estación Nº 3 excede los rangos permitidos.

En el año 2009, se aprecia que en la época de avenidas las concentraciones de Mercurio en las estaciones Nº 2 y 3 exceden el Estándar de Calidad, mientras que para la época de estiaje no se cuenta con información.

Para el año 2010, en época de estiaje, se aprecia que el nivel de Mercurio, excede el Estándar de Calidad para las estaciones Nº 2 y 3, mientras que para la época de avenidas todas las concentraciones se encuentran dentro de los rangos permitidos.

Para el año 2011, en época de estiaje y avenidas, se aprecia que el nivel de Mercurio, excede el Estándar de Calidad para las estaciones Nº 2 y 3.

Para el año 2012, se aprecia que en la época de estiaje las estaciones Nº 2 y 5 exceden el Estándar de Calidad Ambiental, mientras que en época de avenidas las concentraciones de Mercurio sobrepasan los rangos permitidos en la estación Nº 2.

Para los años 2013 y 2014, se aprecia que en la época de estiaje las estaciones Nº 2 y 5 exceden el Estándar de Calidad Ambiental para Mercurio, mientras que en la época de avenidas la estación Nº 2 excede los rangos permitidos en la norma.

Para el año 2015, se aprecia que en la época de estiaje la concentración de Mercurio excede el Estándar de Calidad Ambiental para la estación Nº 2 y 6. Para la época de avenidas el nivel de Mercurio sobrepasa los rangos permitidos en las estaciones Nº 2 y 6.

Para el año 2016 en la época de estiaje, se aprecia que las concentraciones de Mercurio se encuentran dentro de los Estándares de Calidad Ambiental. Para la época de avenidas las concentraciones de mercurio se incrementan en las estaciones Nº 4 y 5 sobrepasando el rango permitido por norma.

4.5. DISCUSION GENERAL

En el año 1999, en la Auditoría Ambiental realizada por la Contraloría General de la Republica en la Subcuenca del rio San Juan encuentran niveles hasta 2.8 de pH, estando este valor muy por debajo del Estándar de Calidad Ambiental, en todo el tiempo de monitoreo realizado en la presente investigación los valores más bajos encontrados corresponden a la estación Nº 5, así tenemos que, en el año 2007 se llegaron a registrar niveles de pH con 2.5, en el 2010 de 3.3; y para los años 2013 y 2016 se encontraron niveles de 6.3. Los niveles bajos de pH siempre estarán asociados a los efluentes generados en los procesos de extracción del mineral, Oyarzun e Higueras 2011, indican que el principal mineral en yacimientos sulfurados es la pirita (FeS2), la oxidación y lixiviación de este compuesto trae como consecuencia la formación del denominado drenaje ácido de mina, generalmente de un característico color rojo o anaranjado. En la presente investigación se puede evidenciar que los niveles de pH han venido incrementándose a través de los años en el rio San Juan, sin embargo para esta estación de monitoreo aún no se alcanza un valor más estable que se encuentre dentro del Estándar de Calidad Ambiental (6.5-8.5). Así mismo Calla, Hellen, 2010, menciona en su investigación Calidad del Agua en la Cuenca del rio Rímac, Sector San Mateo, afectado por Actividades Mineras, que en algunas estaciones de monitoreo se presentan valores bajos de pH, en este sentido lo que podemos analizar homólogamente que la estación Nº 5, río Andacancha (afluente del río San Juan) se comporta como un receptor de efluentes tanto industriales provenientes de la mina El Brocal así como efluentes

domésticos provenientes del distrito de Tinyahuarco, lo que influye y hace variar la Calidad del agua del rio San Juan, es así que podemos demostrar la estrecha relación que existe entre los efluentes industriales mineros y la calidad del agua de los cuerpos receptores.

En el mismo proceso de Auditoría Ambiental del año 1999 en el rio San Juan, se encuentran concentraciones de Cobre, Zinc, Manganeso y Fierro de 7.47, 414.24, 5.53 y 317.29 mg/l respectivamente, encontrándose todos fuera del estándar de calidad Ambiental para la categoría 3.

De la misma manera tenemos que Alfonso Romero, et al, 2007, en su estudio, Calidad del agua en la Cuenca del rio Santa relaciona el impacto negativo producido por infiltraciones de la relavera polimetálica de Ticapampa, que afecta la calidad de aguas de la cuenca media del río Santa, donde encuentran en la estación M-3 concentraciones de Cobre con 0.027 mg/l, Fierro de 1 mg/l, Plomo de 0.024 mg/l y Zinc de 4.652 mg/l y en la estación M-2 registran valores de Arsénico de 0.108 mg/l y Cadmio de 0.024 mg/l. Si bien es cierto no todos estos valores exceden el Estándar de Calidad Ambiental a excepción del Zinc (2.0 mg/l) y Arsénico (0.1 mg/l) podemos indicar que el autor relaciona dichas concentraciones con infiltraciones provenientes de la Relavera.

En el presente trabajo de investigación durante el tiempo de monitoreo se registraron en la estación Nº 2 concentraciones de Cobre para el año 2006 de 2.4 mg/l, en el 2007 de 1.7 mg/l y para el 2016 de 0.72 mg/l. En el año 2006 se registraron concentraciones para Zinc de 12.3 mg/l, en el año 2007 de 13.56 mg/l y para el año 2016 con 2.82 mg/l. Para el Manganeso se obtuvieron valores en el año 2006 de 24.22 mg/l, en el 2007 de 13.28 mg/l y para el 2016 de 3.12 mg/l. Para el Hierro se registró en el año 2006 concentraciones de 43.58 mg/l, para el 2007 de 38.28 mg/l y para el 2016 de 10.15 mg/l. La estación Nº 2 se caracteriza por que pertenece a la Quebrada Quiulacocha, donde se

encuentran desmontes de la unidad minera Cerro SAC y la Relavera Quiulacocha (Ex laguna), así mismo dicha Quebrada recibe los efluentes totales de la Industria minera así como también los efluentes Domésticos de la Cuidad de Cerro de Pasco. La Quebrada descarga su caudal en el rio San Juan, motivo por el cual dichas características físico químicas en el cuerpo receptor se encuentran asociadas a tales vertimientos. La estación Nº 5, presenta características muy similares en cuanto a concentraciones de Metales Pesados, debido a que recibe en su cauce descargas provenientes de la Unidad Minera El Brocal y efluentes domésticos de Tinyahuarco.

Las estaciones ubicadas en el mismo rio San Juan como son la Nº 1, 3, 4 y 6, también exceden los Estándares de Calidad Ambiental para Metales Pesados como Plomo, Zinc, Hierro, Manganeso y Cobre. En cuanto a los indicadores Orgánicos y Microbiológicos se encuentran excediendo los rangos permitidos sobre todo en las Estaciones Nº 2 y 5 (Quebrada Quiulacocha y rio Andacancha), quienes se caracterizan sobre todo por ser receptores de vertimientos de tipo industrial y doméstico.

4.6 PROPUESTA DE MANEJO: DRENAJE ACIDO DE MINA (DAM)

4.6.1 Tecnología HDS (High Density Sludge)

Una de las principales causas de la alta solubilidad de los metales pesados es el grado de acidez en el cual se pueden encontrar los efluentes que los contienen, en otras palabras se puede decir que valores bajos de pH hacen posible una mayor movilidad de estos elementos e ingresar con mayor facilidad a diferentes compartimientos ambientales o ser asimilados por diversos organismos. Como ya se había mencionado en el marco teórico, la formación del Drenaje Acido de Mina (DAM) está sujeta a la combinación de tres componentes esenciales como son los minerales sulfurosos, la presencia de agua y

oxígeno, que al reaccionar entre ellos dan formación de ácido sulfúrico con iones ferrosos y férricos.

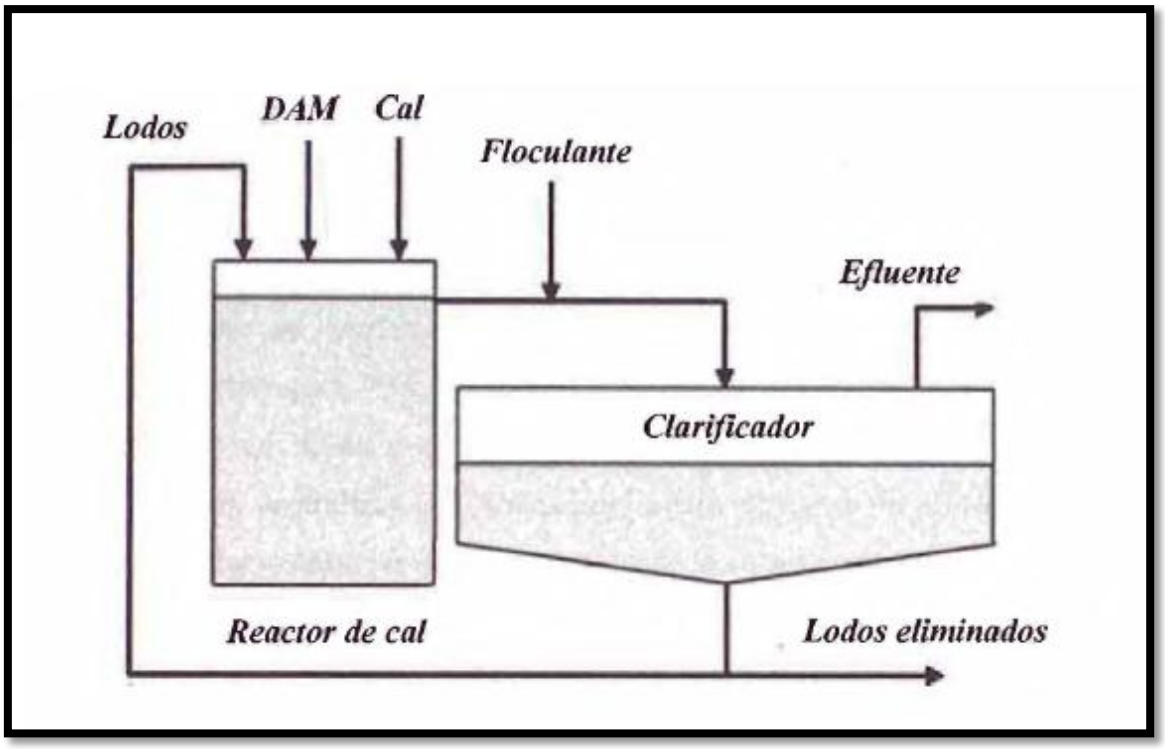
Para el tratamiento del Drenaje Acido se han venido utilizando una serie de alternativas entre los cuales figuran El Método Convencional, el cual consiste en la neutralización del efluente acido en un tanque de recepción y aplicando cantidades controladas de Cal hasta alcanzar el pH deseado, luego de ello este lodo formado es mezclado con un polímero o floculante en solución para finalmente ser depositado en un clarificador donde se separa la fase solida decantada de la fase liquida suspendida. El lodo sedimentado será bombeado desde la parte inferior del calificador hasta un depósito o almacenamiento para su posterior tratamiento u otro tipo de manejo; el líquido sobrenadante es descargado a un cuerpo receptor dependiendo de los valores obtenidos en cuanto a la presencia de metales pesados, sólidos en suspensión y niveles de pH.

Otro método utilizado es el Proceso de Recirculación simple de lodos (fig 4), el cual consiste en hacer recircular los lodos desde su base inferior hasta el tanque de neutralización o reactor, definitivamente tiene más ventajas que el Sistema Convencional por algunas razones:

En primer lugar este utiliza tanques reactores en lugar de estanques de neutralización, en segundo lugar se tiene una mejora considerable de separación solido-liquido, en tercer lugar se tiene una reducción importante en el uso de Cal y por ultimo logra aumentar la densidad de los lodos a diferencia del método convencional cuyo sistema permite obtener densidades mucho más bajas que no alcanzan la eficiencia esperada, sin embargo a pesar de la mejora en su densidad y en la eficiencia en el tratamiento de drenajes ácidos, no llega alcanzar densidades como los sistemas HDS. Este proceso está diseñado para que las reacciones de precipitación se produzcan en la superficie de las partículas presentes lo que conlleva a que las partículas incrementen su tamaño de

manera microscópica variando así la densidad y su físico química de los lodos. Con una recirculación simple se hace posible el crecimiento de las partículas. La diferencia entre el sistema convencional y el de recirculación de lodos está en que el primero forma lodos entre menos del 1% a 3% de sólidos y el de recirculación simple de lodos puede llegar a formar lodos de hasta 15% de sólidos.

Figura 4: Método Convencional para el Tratamiento de DAM



Fuente: Acevedo, 2015.

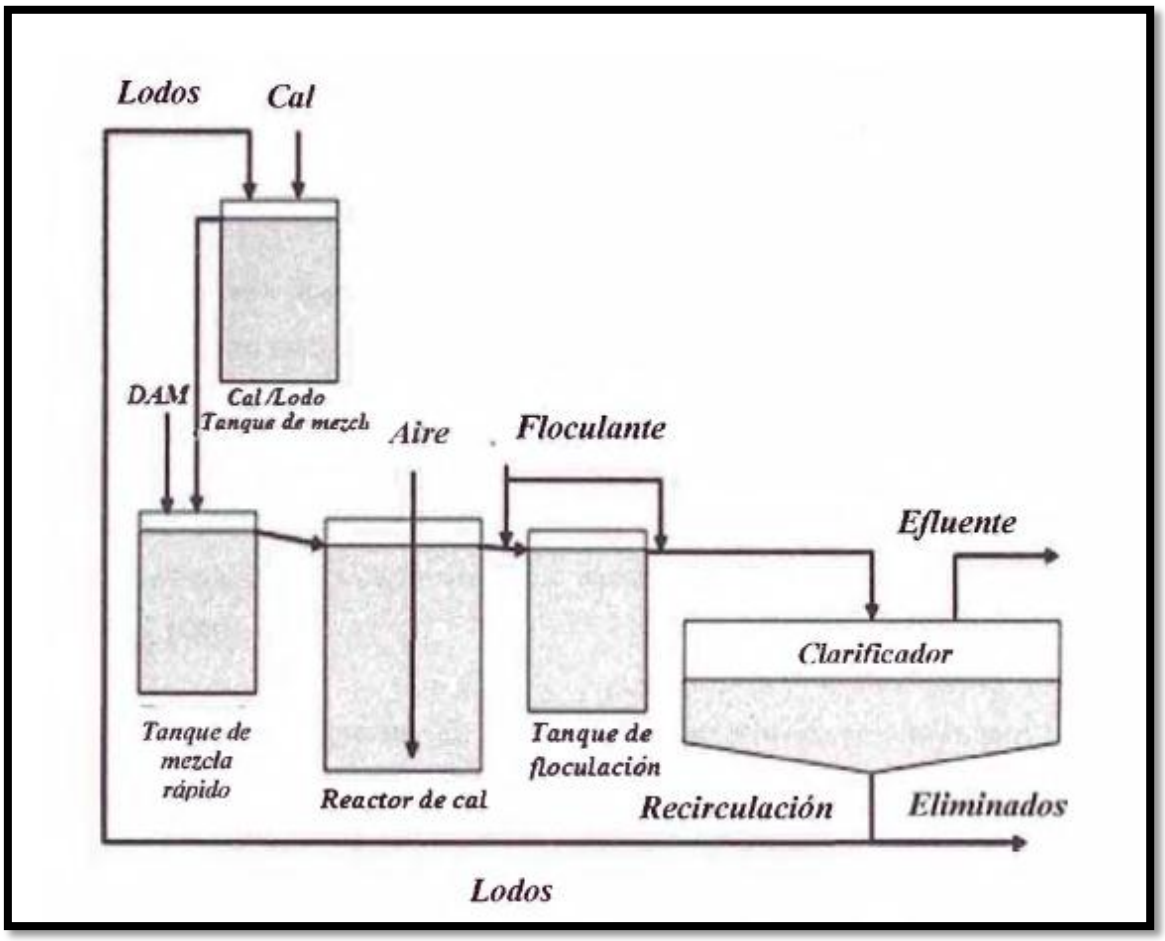
El Sistema HDS (High Density Sludge), es un estándar en la actualidad utilizado y recomendado en muchos países para el tratamiento de Drenajes Ácidos de Mina, su método consiste en hacer recircular los lodos que mantienen en suspensión la Cal a fin de alcanzar cierto nivel de neutralización en lugar de poner en contacto directo la Cal con el Drenaje Acido de Mina, esto se logra realizando un bombeo desde la base del

clarificador hasta el tanque de mezcla Cal-Lodo y de ser necesario seguir adicionando mas cal hasta alcanzar los niveles de pH deseados, esto permite hacer un contacto entre los sólidos y promoviendo una coagulación de las partículas de cal en los precipitados recirculados. Una vez obtenida la mezcla, éste pasa a otro tanque de mezcla rápida donde se controla nuevamente el pH hasta alcanzar cierto nivel de neutralización, luego de ello esta nueva suspensión formada pasa al reactor de cal donde se llevaran a cabo las reacciones de precipitación, y en el cual también se realiza el proceso de aireación con la finalidad de oxidar el Hierro Ferroso a Férrico. La nueva suspensión formada pasa a un tanque de floculación donde el floculante adicionado entrara en contacto con la mezcla para dar finalmente formaciones de hidróxidos metálicos y una decantación eficiente en el clarificador (fig. 5)

El éxito obtenido mediante este proceso radica principalmente en mezclar los lodos y la cal antes de entrar en contacto con el efluente y darse la neutralización, cuando el hidróxido de calcio y las partículas recicladas se juntan tienden a que las reacciones de precipitación se produzcan principalmente en la superficie de las partículas existentes llegando así aumentar su tamaño y densidad. En tal sentido podemos decir que los precipitados obtenidos son diferentes a los sistemas antes mencionados.

Tal vez una de las desventajas de los sistemas HDS es que la mezcla de Cal-Lodo es bastante viscosa y puede tender a obstruir el reactor, si se va a utilizar dicho sistema hay que tener en cuenta para su diseño un buen sistema de agitación y deflectores por su gran viscosidad. Combinaciones de Yeso, Calcio y Sulfatos hacen mezclas muy viscosas y difíciles de agitar. Con este sistema se alcanzan densidades de 20 a 30% de solidos mediante la recirculación y oxidación de los precipitados con tiempos de retención de 1 hora.

Figura 5: Método HDS para el Tratamiento del DAM



Fuente: Acevedo, 2015.

CAPITULO V: CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

5.1. Conclusiones:

✓ La zona de estudio está caracterizada por un yacimiento coniforme de Pb, Zn, Ag y Cu, que alcanza profundidades de aproximadamente 700 metros, así mismo presenta un cuerpo de Pb-Zn masiva, y está rodeado de un cuerpo mayor de pirita silicificada. El contraste geoquímico es anómala y bastante fuerte en Pb, Zn, Au, Hg, As, Sb, y de manera moderada en Ag y Cu; esta anomalía estaría ligada a la franja de depósitos polimetálicos en skarn, cuerpos y vetas del Oligoceno. En tal sentido podemos indicar que toda esta área es bastante mineralizada con presencia de Sulfuro de Hierro (Pirita) que recubre las zonas anómalas, motivo por el cual es factible que se puedan combinar con otros elementos como el agua y el oxígeno y dar formaciones naturales de Drenajes Ácidos de Roca, cuya principal característica es la gran acidez que posee por el Ácido Sulfúrico en formación, el cual puede alcanzar niveles de pH menores a 2, debido a la existencia de este drenaje los procesos de lixiviación de metales hace posible su presencia en toda la zona de estudio el cual incluye necesariamente el rio San Juan, todo esto de manera muy independiente a las concentraciones encontradas y de la actividad minera.

✓ En términos generales podemos indicar que durante los 11 años de monitoreo en el rio San Juan, para la mayoría de las estaciones, las concentraciones de metales pesados como Arsénico, Plomo, Zinc, Manganeso, Cobre, Hierro y Cadmio han venido reduciéndose en el tiempo, lo cual no necesariamente significa que hayan alcanzado los Estándares de Calidad Ambiental para la categoría 3 que corresponde al riego y bebida de animales. Es importante mencionar que debido a la obligatoriedad de tratar los efluentes industriales mineros, las técnicas de tratamiento con plantas de neutralización

han ayudado en reducir la presencia de iones metálicos en el rio San Juan, sin embargo estos métodos utilizados al parecer no están alcanzando la eficiencia esperada. De todas las estaciones monitoreadas las correspondientes a la Nº 2 y 5 son las que presentan a través de los años los niveles más altos para metales pesados, y son justamente las que corresponden a los puntos de vertimientos por parte de las Industrias Mineras de Cerro SAC y EL Brocal.

✓ La presencia de pasivos ambientales en toda zona de estudio como Relaveras, Desmontes y Tajos coadyuvan a la presencia de iones metálicos por procesos de lixiviación e infiltración en el rio San Juan. La Relavera Quiulacocha, laguna Yanamate y los desmontes extraídos del Tajo Raúl Rojas en Cerro de Pasco, así como también en Tinyahuarco por la Unidad Minera El Brocal, son muestras de lo que contribuye a elevar los niveles de metales pesados.

✓ A través de todo el tiempo estudio (11 años), el nivel de pH para la estación de monitoreo Nº 5 (rio Andacancha), se ha ido estabilizando hasta alcanzar en la actualidad el Estándar de Calidad Ambiental. Las características de materiales sedimentarios hacen factible en toda la zona de estudio una neutralización natural ante la posibilidad de cambiar bruscamente los niveles de pH del rio San Juan como resultado de actividades antropogénicas. Las demás estaciones siempre se han mantenido dentro de los rangos permitidos mostrando una recuperación rápida ante la presencia de efluentes de naturaleza acida. Los niveles de ciertos compuestos inorgánicos como Cianuro, Nitratos, Fosfatos, Conductividad Eléctrica y Solidos Totales Disueltos se han mantenido siempre dentro del Estándar de Calidad Ambiental para todas las estaciones consideradas.

✓ Las concentraciones de los indicadores orgánicos para los cinco años de monitoreo como la Demanda Bioquímica de Oxigeno, Demanda Química de Oxigeno y Oxígeno Disuelto en la mayoría de los años, siempre se han encontrado fuera de los Estándares de Calidad Ambiental para las estaciones Nº 2 y 5 (Quebrada Quiulacocha y rio Andacancha), esto muy asociado a los vertimientos de tipo domestico proveniente de las ciudades de Cerro de Pasco y Tinyahuarco. Los Aceites y Grasa, y Coliformes Termotolerantes muestran un comportamiento semejante a los indicadores orgánicos, asociados a las mismas causas. Sin embargo dichos parámetros aguas abajo en el rio San Juan presentan una recuperación importante encontrándose sus niveles dentro de los Estándares de Calidad Ambiental.

5.2. Recomendaciones

✓ Se recomienda el uso de tecnologías modernas para el tratamiento de efluentes mineros de característica acida como son los HDS (Lodos de Alta Densidad), el cual nos puede garantizar tener un efluente que cumpla con los límites máximos permisibles en forma permanente, de tal manera que cuando llegue a los cuerpos receptores acuáticos nos garantice cumplir con los actuales Estándares de Calidad Ambiental. Dicha tecnología ya viene aplicándose en distintas unidades mineras tanto a nivel nacional como internacional con óptimos resultados, permitiendo de esta manera el cuidado y protección de los recursos hídricos.

✓ Desarrollar un plan integral de remediación ambiental para todos los pasivos ambientales mineros que se encuentran en toda la Subcuenca del rio San Juan a fin de

reducir el impacto por procesos de lixiviación e infiltración, alcanzar un compromiso en el que los actores involucrados directamente como las industrias mineras, la población y las instituciones del estado colaboren significativamente en busca del objetivo principal.

- ✓ Contar con un sistema de tratamiento de aguas residuales domesticas para los centros poblados de Cerro de Pasco y Tinyahuarco acorde con los volúmenes de aguas residuales generadas, a fin de reducir la contaminación por carga orgánica y de Coliformes Termotolerantes, quienes en dos estaciones principalmente exceden los Estándares de Calidad Ambiental por que dichos vertimientos no son tratados adecuadamente.

- ✓ Debido a que Cerro de Pasco se dedica a la ganadería como una de sus actividades principales, se recomienda llevar a cabo un manejo de las excretas de ganado sobre todo en zonas de pastizales donde la presencia de Ovinos y Camélidos es considerable, dicho ganado puede llegar aportar cantidades importantes de contaminantes microbiológicos debido a los lixiviados y escorrentías superficiales afectando de esta manera la calidad del agua del rio San Juan.

REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS

1. Autoridad Nacional del Agua. *Protocolo Nacional para el Monitoreo de Calidad de los Recursos Hidricos Superficiales*. Lima 2016.

2. APHA, AWWA & WPCF, *Metodos Normalizados para el Analisis de Aguas Potables y Residuales.*1992. España.

3. CEPIS. Procedimientos Simplificados de Análisis Químicos de Aguas Residuales. Segunda Edición.1995. Lima

4. Chira, Jorge. *Biodisponibilidad de metales pesados en la determincion del impacto ambiental.* ECI 2011. LIMA: INGEMMET, 2011.

5. Dirección General Parlamentaria. Oficina de Gestión de la Información y Estadística. *Carpeta Geo referencial Cerro de Pasco*. 2012.

6. Dirección General de Salud Ambiental. *Protocolo de Monitoreo de Calidad del Agua de los Recursos Hídricos Superficiales*. Lima 2007.

7. Dirección General de Salud Ambiental. *Informes anuales de monitoreo de aguas de la cuenca del río San Juan de los años 2004 al 2010*. lima. 2010.

8. Fernández, Jorge Chira. *Metales biodisponibles en la cuenca alta del río Torres-Vizcarra,* departamentos de Ancash y Huánuco. Lima: Universidad Nacional Mayor de San Marcos, Lima 2010.

9. Hellen Jesús, Calla LLontop. Calidad del Agua en la Cuenca del Rio Rímac sector de San Mateo, afectado por las actividades por actividades mineras, 2010.

10. Instituto Geológico Minero Metalúrgico del Perú. *Geología del cuadrángulo de Cerro de Pasco*. boletín.

11. Instituto Nacional de Estadística e Informática. (2007). *Censos nacionales 2007: xi de población y vi de vivienda*. Pasco.

12. LABOR. Centro Cultural Popular. *Evaluación de la Calidad de los Recursos Hidricos en la Provincia de Pasco y de la salud en el centro Poblado de Paragsha.* 2009.

13. Lilia A. Albert. *Curso Básico de Toxicología Ambiental.2002*

14. Manual del Minero. Minería y Energía. *Rumbo Minero*. Primera Edición 2009.

15. Ministerio del Ambiente. Identificación de fuentes de Contaminación en la Cuenca del rio Mantaro. DGCA. 2009

16. M. Rodríquez-Serrano, N. Martínez-De la Casa, M.C. Romero-Puertas, D e l río, L .M. Sandalio. (2008). *Toxicidad del cadmio en plantas.* Revista técnica y científica de medio ambiente de la asociación española de ecología terrestre. Granada, España. págs. 139-146.

17. Minera Interandina de Consultores S.R.L.T.D.A. (2001). *Estudio de impacto ambiental para la ampliación de la planta concentradora san expedito en Cerro de Pasco*, 2007.

18. Ministerio del Ambiente. *Fuentes de Contaminación por Vertimientos de Aguas Residuales, Cuenca del rio Mantaro. Abril* 2010.

19. Ministerio del Ambiente. *Estándares Nacionales de Calidad Ambiental para agua. D.S Nº 002-2008-MINAM. Norma legal*. Lima, 2008.

20. Ministerio del Ambiente. *Estándares nacionales de calidad ambiental para agua. D.S Nº 015-2015-MINAM. Norma legal*. Lima, 2015.

21. Ministerio del Ambiente. *Estándares nacionales de calidad ambiental para agua. D.S Nº 004-2017-MINAM. Norma legal*. Lima, 2017.

22. Ministerio de Energía y Minas. (2007). *Guía para la evaluación de impactos en la calidad de las aguas superficiales por actividades minero*

metalúrgicas. primera edición. Vol. 22. lima. 153 págs.

23. Ministerio de Energía y Minas. (1997). *Guía Ambiental de Manejo de Agua en Operaciones Minero metalúrgicas.* Lima. 24 págs.

24. Ministerio de Energía y Minas. (2006). *Inventario de Pasivos Ambientales Mineros.* Informe Preliminar. Lima. 41 págs.

25. Ministerio de Energía y Minas. (1996). *Niveles Máximos Permisibles de Emisión de Efluentes Líquidos para las Actividades Minero metalúrgicas*. R.M Nº 011-96-EM/VMM. Norma Legal. Lima.

26. Ministerio de Energía y Minas. *Protocolo de Monitoreo de Calidad de Agua. Guía Técnica*. Lima. 56 págs.

27. Minas, Ministerio de Energía y. «Ministerio de Energía y Minas.» Decreto Legislativo Nº 1105, Perú – 2012. 22 de julio de 2015. www.minem.com.pe.

28. Ministerio del Ambiente, MINAM. «*Aprueban Estándares de Calidad Ambiental (ECA) para Suelo*.» El Peruano, 25 de Marzo de 2013: 491497-491500.

29. Ministerio del Ambiente, MINAM. Ley General del Ambiente - Ley N° 28611. Lima: Congreso de la Republica, 2005.

30. Ministerio del Ambiente, MINAM. Política Nacional del Ambiente. Lima: Súper Grafica E.I.R.L., 2009.

31. Toxicología, Asociación Española de. Observatorio de Salud y Medio Ambiente de Andalucía. 22 de julio de 2015. http://www.osman.es/ficha/12496.

Roberto Oyarzún, J. (2003) Minería y contaminación del agua en Chile: ¿Cuando es necesario preocuparse?

http://www.ucm.es/info/crismine/Aguas_contaminacion_Chile/Contaminacion_aguas_Chile.htm

32. Roberto Oyarzun, Pablo Higueras, Javier Lillo. *Minería Ambiental.* Ediciones GEMM. Madrid 2011.

33. Rodríguez Jiménez, J.J. (2001). *Eliminación de iones metálicos pesados*. Documentación Curso de Verano UCLM "Procesos tecnológicos en el tratamiento de aguas".

34. Rodríguez Mayor, L. (2001). *Tratamiento de aguas: procesos biológicos*. Documentación Curso de Verano UCLM "Procesos tecnológicos en el tratamiento de aguas".

35. Sanin Luz Helena, Cossio T, Romieu I, Avila M. (1998). *Acumulación de Plomo en Hueso y sus Efectos en la Salud*. Artículo de Revisión del Centro de Investigación en Sistemas de Salud del Instituto Nacional de Salud Pública. Morelos, México. Págs. 359-367.

36. USEPA (1994). *Acid Mine Drainage Prediction*. EPA 530-R-94-036.

37. USEPA, Water Office. *Estándares del Reglamento Nacional Primario de Agua Potable*. http://www.epa.gov/safewater/agua/estandares.html

38. V illaseñor, J. (2001). *Tratamiento físico-químico de aguas*. Documentación Curso de Verano UCLM "Procesos tecnológicos en el tratamiento de aguas".

39. Vargas, Ing. Victor Vargas. Actividad Minera en el Perú. Lima: Ministerio de Energía y Minas, 2013.

40. http://www.monografias.com/trabajos30/prueba-de-hipotesis/prueba-de-hipotesis.shtml#ixzz54YDlVTWA

ANEXO