



**Facultad de Ingeniería Geográfica, Ambiental y Ecoturismo  
Escuela Profesional de Ingeniería Ambiental**

**“DETERMINACIÓN DE VARIABLES CON MAYOR  
IMPACTO EN LA CALIDAD DEL AGUA, DE LA CUENCA  
BAJA DEL RÍO CHILLÓN”**

**Tesis para obtener el Título Profesional de  
Ingeniero Ambiental**

**AUTOR (A)**

Diaz Toribio, Yeselin Margi

**ASESOR (A)**

Muñoz Ortega, César Augusto

**JURADO**

Galarza Zapata, Edwin Jaime  
Gómez Escriba, Benigno Paulo  
Gómez Lora, Jhon Walter  
Ventura Barrera, Carmen Luz

**LIMA - PERÚ**

**2019**

## **DEDICATORIA**

*A mis padres: Elva y Rodolfo, por su confianza plena, apoyo incondicional y amor desinteresado.*

*A mis hermanos: Cristhian y Piero, por su grata compañía, ser la fuente de mi inspiración y constancia.*

## AGRADECIMIENTO

A mi respetable alma máter, Universidad Nacional Federico Villarreal, que me cobijó en mi etapa universitaria y me brindó la experiencia más grata de mi vida.

A mi asesor, MSc. César Augusto Muñoz Ortega, que con su amabilidad y compromiso me apoyó en la revisión de mi tesis; además de sus sabios consejos respecto a mi carrera profesional.

A mis informantes, Dr. Gómez Lora, Jhon Walter; Mg. Ventura Barrera, Carmen Luz; Ing. Gómez Escriba, Benigno Paulo y Mg. Sandoval Ricci, Aldo Juan; por sus valiosos comentarios y siempre buena disposición.

A todos mis familiares, que me animan siempre a seguir; a pesar de las vicisitudes de la vida. Especialmente, a mi primo Ing. Alfonso Daniel Diaz Calero quién es un referente profesional, siempre con sus consejos acertados desde que inicié mi etapa universitaria y la confianza respecto a mi profesionalismo.

A todos mis amigos, quiénes son pocos, pero muy valiosos, y son parte de este camino. Ellos, quiénes confían en mis habilidades y me enseñan el verdadero regalo de la amistad. Especialmente quisiera agradecer a mi colega y amiga Ing. Lucy Valentina Martínez Álvarez por su apoyo en la revisión de mi tesis y enseñarme a ser perseverante; a mi colega y amiga Ing. Andrea Isabel Tocre Fracchia, por su apoyo técnico y motivación en el desarrollo de mi tesis; a mi amigo Ing. Julio César Berthel Padilla, por su apoyo en el manejo e interpretación del programa RapidMiner; y a mi amigo Geog. Luis Alfonso Bustamante Torres, por su apoyo en la elaboración de los planos que respaldan este estudio.

## Resumen

En el presente trabajo, se propone obtener las variables con mayor afectación en la calidad de agua, tomando como lugar de estudio la subcuenca baja de río Chillón. Se consideraron los resultados de las 6 estaciones de monitoreo establecidas por la Autoridad Nacional del Agua – ANA, durante el periodo 2012-2016, las cuales se encuentran desde la desembocadura del río Chillón hasta la altura del distrito de Carabayllo. Se utilizaron los Estándares de Calidad de agua D.S. 004-2017-MINAM, para luego determinar el Índice de Calidad ambiental del agua - ICA a partir de la metodología aprobada mediante la Resolución Jefatural N°068-2018-ANA., donde por cada estación se indica si la calidad de agua es excelente, buena, regular, mala o pésima; con el fin de introducir esta información al software libre RapidMiner, el cual recepciona gran información de datos y obtiene como resultado un patrón, la exactitud depende de la cantidad de información que se ingrese, nosotros introducimos data de 5 años indicando la calidad de agua en cada estación de monitoreo por cada año. El estudio determinó que los Coliformes Termotolerantes y la Conductividad son las variables de mayor afectación en la calidad ambiental del agua de la cuenca baja del río Chillón.

***Palabras claves: RapidMiner, Índice de Calidad ambiental del agua, Calidad de Agua.***

## **Abstract**

In the present work, it is proposed to obtain the variables with the greatest impact on water quality, taking as a study site the lower sub-basin of the Chillón River. The results of the 6 monitoring stations established by the National Water Authority - ANA, during the period 2012-2016, which are located from the mouth of the Chillón River to the height of the district of Carabayllo, were considered. The D.S. Water Quality Standards were used. 004-2017-MINAM, to then determine the Water Quality Index - ICA based on the methodology approved by Head Resolution No. 068-2018-ANA., Where for each station it is indicated if the water quality is excellent, good, fair, bad or bad; In order to introduce this information to the free software RapidMiner, which receives a lot of data information and results in a pattern, the accuracy depends on the amount of information that is entered, we enter data of 5 years indicating the quality of water in each monitoring station for each year. The study determined that the Thermotolerant Coliforms and Conductivity are the variables with the greatest impact on water quality in the lower basin of the Chillón River.

***Keywords: RapidMiner, Water Quality Index, Water Quality.***

## INDICE GENERAL

|  |    |
|--|----|
| DEDICATORIA.....   | 2  |
| AGRADECIMIENTO.....  | 3  |
| Resumen .....  | 4  |
| Abstract .....   | 5  |
| I. Introducción .....  | 14 |
| 1.1. Descripción y formulación del problema.....                     | 15 |
| 1.2. Antecedentes .....  | 17 |
| 1.2.1. En el ámbito nacional.....                                    | 18 |
| 1.2.2. En el ámbito internacional .....                              | 22 |
| 1.3. Objetivos .....   | 25 |
| 1.4. Justificación.....  | 25 |
| 1.5. Hipótesis.....  | 27 |
| II. Marco teórico .....  | 28 |
| 2.1. Bases Teóricas sobre el tema de investigación.....              | 28 |
| 2.1.1. Agua .....  | 28 |
| 2.1.2. Propiedades del agua.....                                     | 28 |
| 2.1.3. Clasificación de los cuerpos de agua.....                     | 30 |
| 2.1.4. Calidad ambiental del agua .....                              | 32 |
| 2.1.5. Parámetros del agua .....                                     | 34 |
| 2.1.6. Manejo y análisis de datos de calidad ambiental del agua..... | 40 |
| 2.1.7. Minería de Datos .....  | 43 |
| 2.1.8. Etapas de la Minería de Datos.....                            | 43 |
| 2.1.9. Técnicas de Minería de datos .....                            | 47 |
| 2.1.10. Herramientas para Minería de Datos.....                      | 48 |
| 2.1.11. RapidMiner.....  | 51 |
| 2.1.12. Revisión de Literatura .....                                 | 52 |
| 2.1.13. Marco Legal .....  | 54 |
| III. Método .....  | 59 |
| 3.1. Tipo de investigación.....                                      | 59 |

|          |   |    |
|----------|---|----|
| 3.2.     | Ámbito temporal y espacial.....                   | 60 |
| 3.2.1.   | Ubicación .....                                   | 60 |
| 3.2.2.   | Accesibilidad.....                                | 61 |
| 3.2.3.   | Hidrología.....                                   | 61 |
| 3.2.3.1. | Sistema Hidrográfico.....                         | 61 |
| 3.2.3.2. | Caudales Medios Mensuales .....                   | 62 |
| 3.2.4.   | Geología .....                                    | 63 |
| 3.2.4.1. | Formación Geológica .....                         | 63 |
| 3.2.4.2. | Estratigrafía .....                               | 64 |
| 3.2.4.3. | El Jurásico Medio .....                           | 65 |
| 3.2.4.4. | Cretáceo Medio a Superior .....                   | 67 |
| 3.2.4.5. | El Terciario .....                                | 69 |
| 3.2.4.6. | El Cuaternario.....                               | 70 |
| 3.2.5.   | Rocas Intrusivas .....                            | 72 |
| 3.2.6.   | Rasgos Estructurales .....                        | 73 |
| 3.2.7.   | Geomorfología .....                               | 74 |
| 3.2.7.1. | Ubicación geomorfológica regional .....           | 74 |
| 3.2.8.   | Climatología.....                                 | 75 |
| 3.2.8.1. | Estaciones Meteorológicas .....                   | 75 |
| 3.2.8.2. | Temperatura.....                                  | 75 |
| 3.2.8.3. | Precipitación .....                               | 76 |
| 3.2.8.4. | Humedad Relativa .....                            | 76 |
| 3.2.8.5. | Vientos.....                                      | 77 |
| 3.2.9.   | Descripción Poblacional y Servicios Básicos. .... | 78 |
| 3.2.9.1. | Población .....                                   | 78 |
| 3.2.9.2. | Vivienda.....                                     | 79 |
| 3.2.9.3. | Agua y Saneamiento .....                          | 81 |
| 3.2.9.4. | Residuos Sólidos.....                             | 85 |
| 3.2.9.5. | Salud .....                                       | 88 |
| 3.2.9.6. | Educación .....                                   | 90 |
| 3.3.     | Variables.....                                    | 91 |

|          |  |     |
|----------|--|-----|
| 3.4.     | Población y muestra.....   | 92  |
| 3.5.     | Instrumentos .....   | 93  |
| 3.6.     | Procedimientos .....   | 94  |
| 3.6.1.   | Trabajo de campo .....   | 94  |
| 3.6.2.   | Trabajo de Gabinete .....  | 101 |
| 3.6.2.1. | Determinación de los parámetros a evaluar.....                   | 102 |
| 3.6.2.2. | Comparación con los Estándares de Calidad Ambiental - ECA .....  | 103 |
| 3.6.2.3. | Elaboración de los ICA.....                                      | 105 |
| 3.7.     | Análisis de datos.....   | 108 |
| 3.7.1.   | Transformación en minería de datos - RapidMiner .....            | 108 |
| IV.      | Resultados .....   | 111 |
| 4.1.     | Comparación con los ECA – Categoría 3.....                       | 111 |
| 4.1.1.   | Conductividad .....  | 111 |
| 4.1.2.   | Demanda Bioquímica de Oxígeno .....                              | 112 |
| 4.1.3.   | Oxígeno Disuelto.....  | 114 |
| 4.1.4.   | Potencial de Hidrógeno .....                                     | 115 |
| 4.1.5.   | Aluminio.....  | 117 |
| 4.1.6.   | Arsénico .....   | 118 |
| 4.1.7.   | Boro.....  | 119 |
| 4.1.8.   | Cadmio .....   | 120 |
| 4.1.9.   | Cobre .....  | 121 |
| 4.1.10.  | Hierro .....   | 122 |
| 4.1.11.  | Manganeso .....  | 123 |
| 4.1.12.  | Mercurio .....   | 124 |
| 4.1.13.  | Plomo .....  | 125 |
| 4.1.14.  | Zinc.....  | 126 |
| 4.1.15.  | Coliformes Termotolerantes.....                                  | 127 |
| 4.2.     | Determinación de los Índices de Calidad ambiental del agua ..... | 128 |
| 4.3.     | Aplicación del RapidMiner .....                                  | 131 |
| V.       | Discusiones de resultados .....                                  | 170 |
| VI.      | Conclusiones .....   | 173 |



|       |                      |     |
|-------|----------------------|-----|
| VII.  | Recomendaciones..... | 175 |
| VIII. | Referencias .....    | 176 |

## ÍNDICE DE TABLAS

| N° | Descripción   | Pág. |
|----|---|------|
|    | Tabla 1. Parámetros bacteriológicos propuestos para medir en el recurso agua.....       | 34   |
|    | Tabla 2. Parámetros organolépticos propuestos para medir en el recurso agua.....        | 34   |
|    | Tabla 3. Parámetros físicos propuestos para medir en el recurso agua.....               | 35   |
|    | Tabla 4. Parámetros bioquímicos propuestos para medir en el recurso agua .....          | 36   |
|    | Tabla 5. Parámetros químicos propuestos para medir en el recurso agua.....              | 36   |
|    | Tabla 6. Metales pesados propuestos para medir en el recurso agua .....                 | 39   |
|    | Tabla 7. Variables asociadas con la calidad ambiental del agua.....                     | 42   |
|    | Tabla 8. Ubicación de la estación hidrometereológica “Puente Magdalena” .....           | 63   |
|    | Tabla 9. Distribución Espacial de la Población.....                                     | 63   |
|    | Tabla 10. Datos de las Estación Meteorológica .....                                     | 75   |
|    | Tabla 11. Precipitación Total Media Mensual .....                                       | 76   |
|    | Tabla 12. Precipitación Total Media Mensual .....                                       | 76   |
|    | Tabla 13. Humedad Relativa Media Mensual .....  | 77   |
|    | Tabla 14. Velocidad del Viento Media Mensual.....                                       | 77   |
|    | Tabla 15. Distribución Espacial de la Población.....                                    | 79   |
|    | Tabla 16. Tipo de Viviendas .....   | 80   |
|    | Tabla 17. Viviendas con Alumbrado Eléctrico .....                                       | 81   |
|    | Tabla 18. Abastecimiento de Agua en las Viviendas.....                                  | 82   |
|    | Tabla 19. Alcantarillado en las Viviendas .....   | 84   |
|    | Tabla 20. Generación de Residuos Sólidos - 2012.....                                    | 86   |
|    | Tabla 21. Generación de Residuos Sólidos - 2013.....                                    | 87   |
|    | Tabla 22. Generación de Residuos Sólidos - 2014.....                                    | 88   |
|    | Tabla 23. Establecimientos de Salud por Categoría – Lima Metropolitana.....             | 89   |
|    | Tabla 24. Establecimientos de Salud por Categoría – Provincia Constitucional del Callao | 89   |
|    | Tabla 25. Nivel de Educación en el Área de Estudio.....                                 | 90   |

|   |     |
|---|-----|
| Tabla 26. Resumen de Variables .....  | 91  |
| Tabla 27. Equipos para la investigación.....  | 94  |
| Tabla 28. Instrumentos para la investigación.....                                     | 94  |
| Tabla 29. Ubicación de los puntos de monitoreo de calidad de agua .....               | 95  |
| Tabla 30. Parámetros considerados en la Categoría 3.....                              | 102 |
| Tabla 31. Categoría 3: Riego de vegetales y bebida de animales .....                  | 103 |
| Tabla 32. Interpretación de la Calificación ICA- PE .....                             | 108 |
| Tabla 33. Resultados ICA-PE – Cuenca Baja del río Chillón – D1 Riego de vegetales.... | 129 |
| Tabla 34. Resultados ICA-PE – Cuenca Baja del río Chillón – D1 Riego de vegetales.... | 130 |
| Tabla 35. Resultados ICA-PE – Cuenca Baja del río Chillón – D2 Bebida de Animales .   | 130 |
| Tabla 36. Correlaciones – ICA Variables .....   | 169 |

## ÍNDICE DE FIGURAS

| N°         | Descripción   | Pág. |
|------------|---|------|
| Figura 1.  | La minería de datos es un campo multidisciplinario .....                    | 43   |
| Figura 2.  | Rosa de vientos del área de estudio .....                                   | 78   |
| Figura 3.  | Ubicación de los seis (06) puntos de monitoreo de calidad de agua. ....     | 93   |
| Figura 4.  | Estación PMA – 01.....  | 96   |
| Figura 5.  | Estación PMA – 02.....  | 97   |
| Figura 6.  | Estación PMA – 03.....  | 98   |
| Figura 7.  | Estación PMA – 04.....  | 99   |
| Figura 8.  | Estación PMA – 06.....  | 100  |
| Figura 9.  | Ubicación de los seis (06) puntos de monitoreo de calidad de agua. ....     | 101  |
| Figura 10. | Ecuación para determinar el F1-Alcane. ANA (2018). ....                     | 105  |
| Figura 11. | Ecuación para determinar el F2-Frecuencia. ANA (2018). ....                 | 106  |
| Figura 12. | Ecuación para determinar el F3-Ampliación. ANA (2018).....                  | 106  |
| Figura 13. | Ecuación para determinar el Suma Normalizada de Excedentes. ANA. ....       | 106  |
| Figura 14. | Ecuación para determinar el Excedente. ANA (2018). ....                     | 106  |
| Figura 15. | Ecuación para determinar el Excedente. ANA (2018). ....                     | 107  |
| Figura 16. | Ecuación para determinar el Índice de Calidad ambiental del agua. ANA . ... | 107  |

|   |     |
|---|-----|
| Figura 17. Comparación de los valores de la Conductividad con los ECA Cat 3.....      | 112 |
| Figura 18. Comparación de los valores de la DBO con los ECA Cat 3.....                | 114 |
| Figura 19. Comparación de los valores de Oxígeno Disuelto con los ECA Cat 3.....      | 115 |
| Figura 20. Comparación de los valores del Potencial de Hidrógeno con los ECA Cat 3 .. | 116 |
| Figura 21. Comparación de los valores del Aluminio con los ECA Cat 3.....             | 118 |
| Figura 22. Comparación de los valores del Arsénico con los ECA Cat 3.....             | 119 |
| Figura 23. Comparación de los valores del Boro con los ECA Cat 3 .....                | 120 |
| Figura 24. Comparación de los valores del Cadmio con los ECA Cat 3 .....              | 121 |
| Figura 25. Comparación de los valores del Cobre con los ECA Cat 3 .....               | 122 |
| Figura 26. Comparación de los valores del Hierro con los ECA Cat 3.....               | 123 |
| Figura 27. Comparación de los valores del Manganeso con los ECA Cat 3.....            | 124 |
| Figura 28. Comparación de los valores del Mercurio con los ECA Cat 3 .....            | 125 |
| Figura 29. Comparación de los valores del Plomo con los ECA Cat 3.....                | 126 |
| Figura 30. Comparación de los valores del Zinc con los ECA Cat 3.....                 | 127 |
| Figura 31. Comparación de los valores de los Coliformes con los ECA Cat 3. ....       | 128 |
| Figura 32. Coliformes Termotolerantes – Árbol de decisión 1.....                      | 131 |
| Figura 33. Coliformes Termotolerantes – Árbol de decisión 2.....                      | 132 |
| Figura 34. Coliformes Termotolerantes – Árbol de decisión 3.....                      | 132 |
| Figura 35. Coliformes Termotolerantes – Árbol de decisión 3.....                      | 133 |
| Figura 36. Coliformes Termotolerantes – Árbol de decisión 4.....                      | 134 |
| Figura 37. Coliformes Termotolerantes – Árbol de decisión 5.....                      | 134 |
| Figura 38. Coliformes Termotolerantes – Árbol de decisión 6.....                      | 135 |
| Figura 39. Coliformes Termotolerantes – Árbol de decisión 7.....                      | 136 |
| Figura 40. Coliformes Termotolerantes – Árbol de decisión 8.....                      | 136 |
| Figura 41. Coliformes Termotolerantes – Árbol de decisión 9.....                      | 137 |
| Figura 42. Coliformes Termotolerantes – Árbol de decisión 10.....                     | 138 |
| Figura 43. Coliformes Termotolerantes – Árbol de decisión 11.....                     | 139 |
| Figura 44. Coliformes Termotolerantes – Árbol de decisión 12.....                     | 139 |
| Figura 45. Conductividad – Árbol de decisión 1 .....                                  | 140 |
| Figura 46. Conductividad – Árbol de decisión 2 .....                                  | 140 |
| Figura 47. Conductividad – Árbol de decisión 3 .....                                  | 141 |

|   |     |
|---|-----|
| Figura 48. Conductividad – Árbol de decisión 4 .....          | 142 |
| Figura 49. Conductividad – Árbol de decisión 5 .....          | 142 |
| Figura 50. Conductividad – Árbol de decisión 6 .....          | 143 |
| Figura 51. Conductividad – Árbol de decisión 7 .....          | 143 |
| Figura 52. Conductividad – Árbol de decisión 8 .....          | 144 |
| Figura 53. Conductividad – Árbol de decisión 9 .....          | 145 |
| Figura 54. Conductividad – Árbol de decisión 10 .....         | 146 |
| Figura 55. Potencial de Hidrógeno – Árbol de decisión 1 ..... | 146 |
| Figura 56. Hierro – Árbol de decisión 2.....                  | 147 |
| Figura 57. Hierro – Árbol de decisión 3.....                  | 147 |
| Figura 58. Hierro – Árbol de decisión 4.....                  | 148 |
| Figura 59. Aluminio – Árbol de decisión 1.....                | 149 |
| Figura 60. Aluminio – Árbol de decisión 2.....                | 150 |
| Figura 61. Aluminio – Árbol de decisión 3.....                | 150 |
| Figura 62. Aluminio – Árbol de decisión 4.....                | 151 |
| Figura 63. Aluminio – Árbol de decisión 5.....                | 152 |
| Figura 64. Boro – Árbol de decisión 1 .....                   | 152 |
| Figura 65. Boro – Árbol de decisión 2 .....                   | 153 |
| Figura 66. Boro – Árbol de decisión 3 .....                   | 153 |
| Figura 67. Boro – Árbol de decisión 4.....                    | 154 |
| Figura 68. Boro – Árbol de decisión 5 .....                   | 155 |
| Figura 69. Boro – Árbol de decisión 6.....                    | 156 |
| Figura 70. Boro – Árbol de decisión 7 .....                   | 156 |
| Figura 71. Boro – Árbol de decisión 8.....                    | 157 |
| Figura 72. Boro – Árbol de decisión 9 .....                   | 158 |
| Figura 73. Boro – Árbol de decisión 10.....                   | 158 |
| Figura 74. Manganeso – Árbol de decisión 1.....               | 159 |
| Figura 75. Manganeso – Árbol de decisión 2.....               | 160 |
| Figura 76. Manganeso – Árbol de decisión 3.....               | 160 |
| Figura 77. Zinc – Árbol de decisión 1.....                    | 161 |
| Figura 78. Zinc – Árbol de decisión 2.....                    | 162 |

|  |     |
|--|-----|
| Figura 79. Zinc – Árbol de decisión 3.....     | 162 |
| Figura 80. Zinc – Árbol de decisión 4.....     | 163 |
| Figura 81. Zinc – Árbol de decisión 5.....     | 164 |
| Figura 82. Zinc – Árbol de decisión 6.....     | 164 |
| Figura 83. Zinc – Árbol de decisión 7.....     | 165 |
| Figura 84. Zinc – Árbol de decisión 8.....     | 165 |
| Figura 85. Zinc – Árbol de decisión 9.....     | 166 |
| Figura 86. Zinc – Árbol de decisión 10.....    | 167 |
| Figura 87. Zinc – Árbol de decisión 11.....    | 167 |
| Figura 88. Arsénico – Árbol de decisión 1..... | 168 |

## I. Introducción

Chapman (como se citó en Guzmán *et al.*, 2011) piensa que los ríos son corrientes naturales sometidas a los cambios climáticos y a las características propias de la cuenca, la calidad de su agua varía naturalmente a lo largo del tiempo y de su curso debido a la combinación de factores ambientales. Sin embargo, las actividades humanas alteran, a veces de manera irreversible, las características físicas, químicas y biológicas del agua (90).

La Autoridad Nacional del Agua (ANA, 2018) afirma lo siguiente:

En el Perú, la evaluación de la calidad ambiental del agua se realiza a través de la comparación de los resultados de un conjunto de parámetros físicos, químicos y biológicos con los valores establecidos en el ECA - Agua según la categoría del cuerpo de agua superficial correspondiente; lo que determina su cumplimiento o incumplimiento, precisando únicamente los parámetros críticos y su correspondiente concentración. Sin embargo, esta evaluación es ambigua a la hora de precisar o establecer el nivel de calidad de agua del recurso hídrico, es decir si esta tiene una calidad excelente, buena, regular, mala o pésima (p.21).

Asimismo, es importante identificar los parámetros con mayor influencia en la calidad ambiental del agua, con el fin de tener un mejor conocimiento del comportamiento de los contaminantes del agua en cada sector, considerando su comportamiento a partir del análisis de datos.

Pérez (como se citó en Pedraza *et al.*, 2016) afirma:

La minería de datos como un conjunto de técnicas encaminadas al descubrimiento de la información contenida en grandes conjuntos de datos (p.34).

Por ello, en el presente trabajo se utilizó el software libre RapidMiner para obtener mediante árboles de decisión los contaminantes más influyentes en el sector bajo del río Chillón tomando la

información de los monitoreos realizados en el periodo 2012-2016 de la Subcuenca Baja del río Chillón, complementado la información con los ECA D.S. 004-2017-MINAM y la aplicación de la metodología para determinar el Índice de Calidad ambiental del agua – ICA, aprobado por el ANA mediante la Resolución Jefatural N°068-2018-ANA.

Finalmente, la presente investigación pretende servir como guía para la identificación de parámetros con mayor influencia en las cuencas hidrográficas del Perú y con esta información plantear la cuantificación de los monitoreos participativos, considerando como prioridad los parámetros con mayor influencia; además de proponer con mejor criterio las posibles soluciones.

### **1.1. Descripción y formulación del problema**

Ministerio de Medio Ambiente (2000) brinda un concepto sobre la calidad de aguas, mencionando lo siguiente:

La calidad de las aguas es una variable descriptora fundamental del medio hídrico, tanto desde el punto de vista de su caracterización ambiental, como desde la perspectiva de la planificación y gestión hidrológica, ya que delimita la aptitud del agua para mantener los ecosistemas y atender las diferentes demandas. La calidad de las aguas puede verse modificada tanto por causas naturales como por factores externos. Cuando los factores externos que degradan la calidad natural del agua son ajenos al ciclo hidrológico, se habla de contaminación (p. 196).

Las fuentes de agua, aunque disponibles en mayor o menor cantidad, han sido contaminadas gradualmente y fueron las causantes de muchas epidemias que diezmaron ciudades enteras en la antigüedad. El hombre tardó bastante tiempo en darse cuenta de que el agua que estaba consumiendo era la causante de muchas de las enfermedades que estaba padeciendo y solo a finales del siglo XVIII y principios del siglo XIX empezó a implementar procesos para tratar y desinfectar el agua que consumía. A medida que la humanidad continuó su desarrollo, las descargas de agua

residuales domésticas e industriales empezaron a contaminar los recursos hídricos, a deteriorar los ecosistemas, etc. (Sierra, 2011, p.30).

El Perú posee una vasta riqueza natural mineralógica por las condiciones geológicas que inciden en la calidad de los recursos hídricos. Sumado a ello, las acciones transformadoras que ejerce el hombre sobre el ambiente debido a su capacidad tecnológica causan impactos que pueden ser positivos o negativos. La alteración de la calidad de los cuerpos naturales de agua continentales y marinos costeros debido a las actividades poblacionales y productivas que generan vertimientos de aguas residuales y residuos sólidos constituye un problema complejo que genera malestar en la población asentada en la cuenca hidrográfica que usa el recurso hídrico para sus necesidades (Autoridad Nacional del Agua [ANA], 2016, p.8-9).

Olarte (2007). La cuenca del río Chillón se ubica en el centro-oeste del país, en el departamento de Lima, y el Chillón es uno de los tres ríos, junto con el Rímac y el Lurín, que soporta la mayor cantidad de población urbana (p.53).

Olarte (2007). La cuenca baja del río Chillón aparece como el ámbito más contaminado. Este sector está sufriendo un proceso de deterioro ambiental como resultado de una falta de planeación urbano-rural, por la inexistencia de condiciones sanitarias básicas en gran parte de esta cuenca, el crecimiento poblacional desordenado, la falta de cultura ambiental, entre otros (p.61).

Es de conocimiento que la Autoridad Nacional del Agua (ANA) viene ejecutando monitoreos en la cuenca baja del río Chillón, sin embargo, es necesario efectuar un análisis más detallado de las variables fisicoquímicas, metales pesados y microbiológicas que alteran la calidad ambiental del agua en la cuenca baja para identificar en primera instancia las concentraciones



que superan los Estándar de Calidad Ambiental (ECA) para agua, aprobada en el Decreto Supremo N°004-2017-MINAM, en la Categoría 3: Riego de vegetales y bebida de animales. Posteriormente con el uso del software libre RapidMiner, las variables identificadas como mayor impacto en la calidad ambiental del agua de la cuenca baja del río Chillón, pueden servir para generar modelos óptimos que permitirán disminuir los costos y el tiempo en el monitoreo y formular proyectos específicos para restaurar la cuenca baja del río Chillón; de esa forma garantizar el derecho a gozar de un ambiente equilibrado, sano y adecuado para el desarrollo de la vida.

**- Problema principal**

¿Cuáles son las variables con mayor impacto en la calidad del agua de la cuenca baja del río Chillón?

**- Problemas secundarios**

1. ¿Cómo es la variación de las concentraciones de las variables para cada estación de monitoreo de la cuenca baja del río Chillón en relación con el Estándar de Calidad Ambiental (ECA) para agua- Categoría 3: ¿Riego de vegetales y bebida de animales, en el periodo 2012-2016?
2. ¿Cuál es el Índice de Calidad ambiental del agua (ICA) para cada estación de monitoreo de la cuenca baja del río Chillón?
3. ¿Cuál es la correlación de las variables de la cuenca baja del río Chillón, respecto al Índice de Calidad ambiental del agua (ICA) en el software libre RapidMiner?

## **1.2. Antecedentes**

La calidad de aguas superficiales es un tema recurrente en el ámbito nacional e internacional, y específicamente en la cuenca del río Chillón se han desarrollado múltiples investigaciones que

han determinado el riesgo de afectación a la salud. A continuación se describen las investigaciones vinculadas a la presente investigación.

### **1.2.1. En el ámbito nacional**

Instituto Nacional de Recursos Naturales (INRENA, 1996) identificó dos puntos de muestreo, el monitoreo se realizó en cuatro oportunidades (junio, agosto, octubre y noviembre-diciembre de 1982) durante el periodo de estiaje e inicio del periodo de avenidas, se consideraron parámetros físico-químicos y metales. El estudio concluyó en que las aguas del río Chillón son adecuadas para todos los usos, excepto el piscícola, aunque con algunas limitaciones por estar contaminadas, principalmente, por materiales en suspensión; sobre todo en la parte baja del valle; requiriendo, para el uso poblacional, el tratamiento de las aguas para la eliminación de carga orgánica y sustancias tóxicas. Por su contenido de sales de agua muestran algunas limitaciones en suelos poco permeables y cultivos poco tolerantes.

Instituto Geológico, Minero y Metalúrgico (INGEMMET, 1979) analizó la calidad de las aguas de la cuenca del Chillón y el mar adyacente. Se consideró 6 puntos de muestreo, los parámetros evaluados fueron: Potencial de Hidrógeno, Temperatura, Conductividad Eléctrica, Oxígeno Disuelto, Demanda Bioquímica de Oxígeno, Cianuro, Arsénico, Cadmio, Cobre, Cromo, Mercurio, Plomo y Coliformes Fecales. Según los resultados los puntos críticos más resaltantes se encuentran desde el Puente Trapiche en Yangas (inicio de la cuenca baja), siendo los coliformes fecales, Oxígeno Disuelto y Demanda Bioquímica de Oxígeno, los parámetros que sobrepasan los límites, estos resultados serían el respaldo de las visitas de campo, donde los especialistas observaron

el excesivo arrojado de basura y la descarga directa de los desechos domésticos e industriales al cauce del río Chillón.

Olarte (2007) en su estudio consideró cuatro estaciones: una a la salida de la laguna de Chuchón (naciente del río Chillón), otra en el río Chillón (Km 96, en Canta), la tercera en el puente Panamericana Norte y, finalmente, una cuarta en el puente Néstor Gambeta para analizar la calidad del río Chillón. En los resultados, la temperatura, DBO y coliformes fecales registró su mayor dato en la tercera estación (puente de la Panamericana Norte), el cual pertenece a la cuenca baja del río Chillón. La temperatura más baja se registró en el agua a la salida de la laguna de Chuchón (9,1°C) y la más alta (26,0°C) se reportó en el puente Panamericana Norte. Una temperatura superior a 15°C favorece el desarrollo de microorganismos, a la vez que puede intensificar olores y sabores; por el contrario, una temperatura menor de 10°C modera las reacciones químicas y bioquímicas. El mayor valor de la demanda bioquímica de oxígeno (DBO5) se obtuvo también en la estación del puente Panamericana Norte (76 mg/l). Como se sabe, valores altos de DBO5 indican la presencia de materia orgánica considerable y, por lo tanto, niveles bajos de oxígeno disuelto, indispensable para la vida acuática en los cuerpos de agua. En coliformes fecales los valores oscilan de 2 NMP/100 mL en el rebose de la laguna de Chuchón hasta  $2,40 \times 10^7$  NMP/100 mL en la estación puente Panamericana Norte, ubicado en la cuenca baja. La tendencia relevante en la evaluación de este parámetro es el aumento de la carga bacteriana a medida que se acerca al área de mayor densidad poblacional.

Dirección General de Hidrología y Recursos Hídricos (DGHRH, 2007) como parte de sus actividades del 2007, programó la comisión de servicio a las cuencas de los ríos

Rimac, Chillón y Lurin. La cuenca del río Chillón fue monitoreada en dos puntos: la estación Obrajillo y la estación puente Magdalena. El río Chillón, presentó dentro de sus valores de pH y T° valores que no muestran variaciones que puedan comprometer la estabilidad del ecosistema acuático ya que éstas no presentaron oscilaciones bruscas, aunque este valor este por debajo del estándar (6,32 - 6,38). Su valor de OD registra una concentración que varía entre 3,39 y 4,08 mg/l. Estos valores registraron niveles de concentraciones de oxígeno disuelto dentro y bajo el mínimo necesario para que exista vida de organismos acuáticos. Con una capacidad de alta mineralización media debido a la presencia de 546,00 uS/cm de CE, siendo estas de calidad media para ser utilizadas en riego. En cuanto a los nutrientes que son lixiviados de los campos agrícolas se observaron concentraciones bajas. Finalmente la presencia de sustancias tóxicas es una mínima proporción por debajo de sus límites permisibles.

Aliaga (2010) desarrolló la determinación de la calidad ambiental del agua del río Chillón, para ello decidió ubicar las fuentes de contaminación realizando un reconocimiento de lugar y revisión de información bibliográfica y analizó la calidad ambiental del agua en los años 2004, 2005 y 2006, donde se consideró 14 estaciones de monitoreo desde Carabayllo hasta la desembocadura, los parámetros analizados fueron: pH, temperatura, oxígeno disuelto, demanda bioquímica de oxígeno, coliformes fecales o termotolerantes, coliformes totales, cobre, hierro, arsénico, plomo, cadmio, cromo y zinc. Los resultados de análisis físico químico y microbiológico indican que la calidad de las aguas superficiales del río Chillón presentan factores de riesgo alto por coliformes fecales o termotolerantes, coliformes totales, demanda bioquímica de oxígeno, plomo, hierro, según la normativa peruana (Ley General de Aguas) regida en ese momento,

debido a la contaminación por descargas industriales, aguas residuales domésticas, botaderos de residuos sólidos generados por los pobladores que se ubican en las márgenes del río al carecer de servicios básicos y tratamiento de los efluentes, según la identificación en campo. Finalmente, Aliaga Martínez menciona una serie de proyectos como estrategia para la recuperación de la calidad de la cuenca baja Chillón.

Reyes (2012) analizó la calidad ambiental del agua en 14 estaciones en la cuenca baja durante los años 2008, 2009 y 2010, se tomaron los resultados de DIGESA. Los resultados decretaron que el agua del río Chillón no es apta para riego de vegetales y bebida de animales según lo comparado con en el Estándar de Calidad Ambiental para el agua en la categoría 3, los parámetros que sobrepasan los estándares son los coliformes fecales y totales. Además, según el trabajo en campo, Reyes Cubas, menciona que un impacto negativo con mayor trascendencia en la cuenca baja del río Chillón, es la existencia de criaderos de cerdos cercanos a la ribera del río que en su mayoría se alimenta de basura arrojada al río. Los efluentes de la actividad mencionada son arrojados al río sin recibir ningún tratamiento.

Terrones y Herrera (2015) en su investigación determinan el riesgo potencial de las zonas agrícolas regadas con las aguas del río Chillón (cuenca baja), para ello se revisaron los datos establecidos en los monitoreos realizados desde 2004 al 2013 realizados por DIGESA y ANA en 8 estaciones distribuidas en la cuenca baja. Los parámetros analizados fueron: temperatura, Ph, cadmio, cromo, plomo, mercurio, coliformes totales, coliformes termotolerantes. Lo resultados fueron comparados con los Estandares de Calidad Ambiental para agua aprobado mediante el D.S. N°002-2008-MINAM. En consencuencia se determinó que el agua de la cuenca baja del río Chillón en época de

estiaje en promedio es de mala calidad pues en el análisis de resultados se encontró que los metales pesados tienen altas concentraciones en todas las estaciones monitoreadas y no cumplen con los valores establecidos para los ECA Categoría 3, (Riego de Vegetales y Bebida de Animales). Respecto a estos resultados se determinó que el riesgo potencial en zonas agrícolas es significativo, considerándose como tal, debido a la presencia de Cd, Cr, Hg y Pb en el agua.

Autoridad Nacional del Agua (ANA, 2016) mencionan en su estudio que en el tercer nivel, se considera de prioridad baja, y cuenta con 3 cuencas, donde las cuencas Chancay – Huaral y Chillón muestran una ponderación alta promedio en el componente ambiental, destaca la presencia de parámetros que superan el ECA agua, solo Chillón, de residuos, pasivos ambientales y vertimientos no autorizados.

Por otro lado, se desarrollaron investigaciones aplicando metodologías estadísticas, es así como Castillo y Medina (2014) procesaron los resultados del monitoreo realizado por DIGESA en los meses enero, febrero, marzo, abril, mayo, junio y agosto del 2011, considerando solo tres estaciones. Para la evaluación espacial se aplicó el ICA de la Fundación Nacional de Sanidad de los Estados Unidos (WQI NSF) y el del consejo canadiense (CCME WQI) y para la evaluación temporal se aplicó métodos estadísticos utilizando el programa STATISTICA 10, que obtiene gráficos donde de acuerdo a los resultados de monitoreos, los contaminantes representan correlaciones positivas o negativas.

### **1.2.2. En el ámbito internacional**

Pedraza *et al.* (2016), realizaron un estudio donde se evaluaron las variables más influyentes en la calidad del río Bogotá usando la metodología de minería de datos en el

manejo de información correspondiente a parámetros relacionados con la calidad ambiental del agua, a través del uso de un software libre como lo es rapidminer, el cual facilitó el tratamiento de datos y los medios necesarios para el manejo adecuado de la base de datos correspondiente a las variables del agua del río Bogotá. Para la evaluación consideraron 48 estaciones de monitoreo, desde el 2008 al 2015. Como resultado se obtuvo que 13 variables (contaminantes) son relevantes, puesto que se evidencia una mayor influencia de estas sobre el mismo, dejando de lado la gran mayoría de datos expuestos, lo que se permitió suponer que si se avanza en el estudio de variables de mayor influencia en la calidad ambiental del agua u otros recursos naturales, se podrán generar modelos óptimos que permitirán disminuir los costos y el tiempo en el monitoreo de tales recursos.

Valencia (2007), en su estudio examina la mayor parte de los parámetros hidroquímicos en la totalidad de la cuenca del río Ebro, durante el periodo 1983-2002, y además buscó la relación entre la evolución de los citados parámetros con respecto a otras características, como el terreno destinado a regadío, el tipo de cultivo, la evolución de la población, el agua embalsada o la lluvia recogida en la cuenca. Los parámetros analizados son: caudal, ph, conductividad por catión, cloruros, sulfatos, alcalinidad, iones, calcio, magnesio, sodio, fosfatos y temperatura; en 78 estaciones de muestreo distribuidas en toda la cuenca. En la metodología se usaron técnicas estadísticas como las redes de Kohonen, la descomposición de funciones en series Wavelet o el algoritmo MMCT (creado por el autor del estudio inspirado en el algoritmo de Singhal-Seborg). Finalmente, se obtuvieron resultados muy coherentes antes la utilización de la

metodología, por tanto, se sienta un precedente esperanzador ante la aplicación de las técnicas estadísticas.

Comas *et al.* (1998), elaboraron un estudio donde evaluaron la variabilidad espacio – temporal de la calidad ambiental del agua en el río Urola, durante el periodo 1986 – 1994, utilizaron el Análisis de Componentes Principales (ACP), mediante el programa estadístico SPSS V2. Los puntos de muestreo fueron 10, distribuidos en el río Urola. Las variables a analizar son: Conductividad, Sólidos en suspensión, Nitro, DBO, Turbidez, Temperatura, Amonio, DQO, PH, Oxígeno Disuelto, Fosforo disuelto, Fe y Zn. El estudio concluye en que la aplicación del ACP permitió resumir de forma objetiva y facilitar la interpretación de una importante cantidad de información y el análisis temporal determinó que los años 1986, 1987, 1989 y 1990 son muy contaminados; los años 1988,1991,1994 medianamente contaminados; y los años 1992 y 1993 reflejan contaminación muy baja.

Chavez (2015), en su tesis titulada “*Evaluación espacial y temporal del índice de calidad ambiental del agua del río Cazonas en Coatzintla, Veracruz*”, utiliza métodos estadísticos, mediante dos software, para análisis de varianza se utilizó R versión 3.0 y para el análisis de componentes principales se utilizó MVSP versión 3.2. El muestreo se realizó desde abril del 2013 hasta marzo del 2014, considerando 3 puntos de muestreo y 9 parámetros a monitorear (Temperatura, PH, DBO, Nitratos, Fosfatos, Sólidos totales, Oxígeno disuelto, Turbiedad y Coliformes totales), los cuales fueron comparados con los ICA establecidos por los índices de la NSF, lo que llevó a concluir que la calidad ambiental del agua es de calidad media, según el índice mencionado. Finalmente, según



la metodología estadística aplicada se determinó que los Sólidos totales, Turbiedad y Coliformes Fecales son los parámetros con mayor incidencia en el río Cazonés.

### **1.3. Objetivos**

- **Objetivo general**

Identificar las variables de mayor impacto en la calidad del agua de la cuenca baja del río Chillón.

- **Objetivos específicos**

1. Analizar la variación de las concentraciones de las variables para cada estación de monitoreo de la cuenca baja del río Chillón en relación con el Estándar de Calidad Ambiental (ECA) para agua- Categoría 3: Riego de vegetales y bebida de animales, en el periodo 2012-2016.
2. Determinar el Índice de Calidad ambiental del agua (ICA) para cada estación de monitoreo de la cuenca baja del río Chillón.
3. Determinar la correlación de las variables de la cuenca baja del río Chillón, respecto al Índice de Calidad ambiental del agua (ICA) en el software libre RapidMiner.

### **1.4. Justificación**

Los ríos son corrientes naturales sometidas a los cambios climáticos y a las características propias de la cuenca, la calidad de su agua varía naturalmente a lo largo del tiempo y de su curso debido a la combinación de factores ambientales. Sin embargo, las actividades humanas alteran, a veces de manera irreversible, las características físicas, químicas y biológicas del agua Chapman (como se citó en Guzmán *et al.*, 2011, p. 90). Sin embargo, uno de los inconvenientes que presenta la valoración de la calidad ambiental del agua es precisamente la

naturaleza multidimensional del concepto de “calidad ambiental del agua”. La interpretación y el manejo de los datos obtenidos en el monitoreo suele ser un trabajo complicado y en muchas ocasiones de difícil entendimiento para el público en general Samboni *et al.* (como se citó en Guzmán *et al.*, 2011, p. 90).

Actualmente, existen procedimientos para determinar el nivel de la calidad de aguas superficiales, según la concentración de cada parámetro evaluado, tales resultados son comparados con los Estándares de Calidad Ambiental establecidos según normativa, sin embargo, no existe una evaluación histórica u otra forma de evaluación de la calidad ambiental del agua para darle un enfoque de proyección, de acuerdo a los datos registrados.

El problema se complica aún más cuando se trata de evaluar la calidad global, particularmente cuando son aplicados los distintos criterios para los diferentes usos del agua. Sedeño-Díaz y López-López (como se citó en Guzmán *et al.*, 2011, p. 90).

Por lo antes expuesto se plantea utilizar la minería de datos, a través del software RapidMiner, el cual permite extraer información implícita de un conjunto de datos y compilarla en una estructura entendible y legible para su tratamiento futuro. En la evaluación de la calidad de agua lograría identificar los parámetros más influyentes, considerando la información histórica de monitoreos realizados.

Por lo tanto, la presente investigación permitirá establecer las variables (contaminantes) de mayor impacto en el recurso hídrico, y con ello disminuir los costos y el tiempo en los próximos monitoreos, además de promover la implementación de la estrategia orientada a la recuperación y protección de la calidad del recurso hídrico y de esa forma garantizar el derecho a gozar de un ambiente equilibrado, sano y adecuado para el desarrollo de la vida; y el cumplimiento de los objetivos de desarrollo sostenible, enmarcados en la agenda 2030.

## 1.5. Hipótesis

### - **Hipótesis General**

El análisis de todas las variables contribuirá a identificar las de mayor impacto en la calidad del agua de la cuenca baja del río Chillón.

### - **Hipótesis Específicas**

1. Las concentraciones de las variables para cada estación de monitoreo de la cuenca baja del río Chillón superan los Estándares de Calidad Ambiental (ECA) para agua- Categoría 3: Riego de vegetales y bebida de animales, en el periodo 2012-2016.
2. El Índice de Calidad ambiental del agua (ICA) es MALA para cada estación de monitoreo es de la cuenca baja del río Chillón.
3. La correlación de las variables de la cuenca baja del río Chillón es buena respecto al Índice de Calidad ambiental del agua (ICA) según el software libre RapidMiner.

## II. Marco teórico

### 2.1. Bases Teóricas sobre el tema de investigación

#### 2.1.1. Agua

El agua o dihidruro de oxígeno es un líquido incoloro, inodoro e insaboro, esencial para la vida animal y vegetal, solvente universal compuesto molarmente por dos átomos de hidrógeno y uno de oxígeno. Además, menciona que, en la práctica, llamamos agua a las soluciones y suspensiones acuosas de sustancias orgánicas e inorgánicas como las que constituyen la lluvia, el mar, los lagos y los ríos (Romero, 2002, p.338).

Asimismo, Sierra (2011), define al agua como:

Una sustancia química compuesta de 2 átomos de hidrógeno y 1 de oxígeno y que puede presentarse en cualquiera de los tres estados: líquido, gas (vapores) y sólido (hielo). Se conoce, además, que en la naturaleza sigue un ciclo (ciclo hidrológico)” (p, 53).

#### 2.1.2. Propiedades del agua

El entendimiento de la naturaleza física, química y biológica del agua es esencial para todo ingeniero ambiental. El agua, considerada como una sustancia químicamente pura, solamente existe en el laboratorio. En la naturaleza el agua entra en contacto con el suelo, la atmosfera y adquiere elementos o sustancias (a través de vertimientos) que alteran su composición original. El agua, cualquiera que sea su estado, está caracterizada por ciertas propiedades que la distinguen de los demás líquidos y su calidad se determina analizando en el laboratorio varios parámetros físicos, químicos y biológicos Las propiedades son las características que distinguen al agua de los demás líquidos (Sierra, 2011, p. 52).

- La **densidad**: Al respecto, Sierra (2011) señala que la densidad: “Se mide como masa por unidad de volumen. El agua tiene su máxima densidad a 4°C y disminuye a partir de allí con la temperatura, lo que hace que la densidad del hielo sea inferior a la del agua líquida y, por lo tanto, flote en ella. Esta aparente anomalía se debe a la forma de la estructura molecular del agua. La densidad es importante en la ingeniería del agua debido a que interviene en el cálculo del número de Reynolds (régimen de flujo), y en prácticamente todos los procesos de tratamiento del agua, por ejemplo, la sedimentación y la filtración.” (p.53).
- La **viscosidad**: Con respecto a la viscosidad, Sierra (2011) menciona que: “Se puede definir en términos prácticos como la resistencia que presenta el agua a la deformación, y por ello, es análoga a la fricción interna. En el agua, la viscosidad disminuye regularmente con la temperatura. La viscosidad cambia más rápidamente que la densidad y por esto afecta notablemente todos los procesos de tratamiento de agua. La viscosidad es importante porque interviene en el cálculo del número de Reynolds y en los procesos de coagulación y floculación en el tratamiento de agua.” (p.53).
- **Calor Específico (CE)**: Al respecto del CE, Sierra (2011) indica que: “La cantidad de calor necesario para elevar 1°C la temperatura de un gramo de agua. En la mayoría de los líquidos el calor específico aumenta con la temperatura, pero el agua tiene su mínimo a 35°C, y este valor es mucho más elevado que en compuestos tales como el alcohol, el benceno, etc., que tienen valores de CE de 0,4 a 0,6. En otras palabras, se necesita una gran cantidad de calor para poder elevar la temperatura del

agua, lo que hace muy costoso los procesos de tratamiento de agua como la destilación.” (p.54).

- **Tensión superficial:** Con respecto a la tensión superficial, Sierra (2011) señala que: “Entre las moléculas de un líquido se presentan fuerzas naturales de atracción internas denominadas fuerzas de Van de Waals. En el agua, las moléculas de la capa superficial están, por una parte, atraídas entre sí, y por otra parte, atraídas por las moléculas de las capas inferiores formándose en la superficie como densos que el agua flotan en ella. La energía necesaria para romper la capa por unidad de área es a lo que se le conoce como tensión superficial. La tensión superficial causa la elevación del agua en los tubos capilares, la forma esférica de las gotas de agua o de las pompas de jabón, las aparentes atracciones o repulsiones que se observan en los cuerpos pequeños que flotan en la superficie de un líquido, la forma redondeada de los meniscos, etc.” (p.54).

### 2.1.3. Clasificación de los cuerpos de agua

Según, Sierra (2011) “Todos los cuerpos de agua están interconectados, desde la atmosfera hasta los océanos a través del ciclo hidrológico.” (p.27).

- **Ríos:** Al respecto, Sierra (2011) detalla que los ríos son:

Estos cuerpos de agua, comúnmente denominados corrientes, se caracterizan porque fluyen unidireccionalmente con velocidades promedio relativamente altas que varían entre 0,1 y 1 m/s. El flujo en los ríos es altamente variable y depende de las condiciones climáticas y de las características del área de drenaje. En general, los ríos son cuerpos de agua los cuales pueden considerarse permanentemente

mezclados, y en la mayoría de ellos, la calidad ambiental del agua es importante en el sentido del flujo (p.27).

- **Lagos:** Sobre los lagos, Sierra (2011) indica que:  
En estos sistemas acuáticos, la velocidad promedio es relativamente baja: varía entre 0,01 y 0,001 m/s (valores en la superficie). Este hecho hace que el agua permanezca en el sistema desde unos pocos días hasta varios años. Con respecto a la calidad ambiental del agua, esta se comporta o está gobernada de acuerdo con el estado trófico y con los períodos de estratificación (p.27).
- **Aguas subterráneas:** Al respecto, Sierra (2011) indica lo siguiente: “En los acuíferos el régimen del flujo es relativamente estable en términos de velocidad y dirección. Las velocidades promedio pueden variar entre  $10^{-10}$  y  $10^{-3}$  m/s y son gobernadas por la porosidad y la permeabilidad del estrato.” (p.28).
- **Embalses:** Con respecto a los embalses, Sierra (2011) menciona que “Se pueden considerar cuerpos de agua intermedios entre lagos y ríos y se caracterizan por su hidrodinámica y calidad de agua dependen de las reglas de operación.” (p.28).
- **Ciénagas:** Sierra (2011), indica que las ciénagas “Son ecosistemas considerados cuerpos de agua intermedios entre lago y un acuífero freático.” (p.28).
- **Estuarios:** Sierra (2011), indica que los estuarios: “Son sistemas acuáticos intermedios entre río y mar.” (p.28).

Además, Sierra (2011) menciona lo siguiente:

La variedad de regímenes hidráulicos que se presentan en los distintos cuerpos de agua hace que estén caracterizados por su tamaño y las condiciones climáticas de la cuenca. El factor que caracteriza los ríos es la variabilidad del caudal. En los lagos y

embalses lo más importante es el tiempo de residencia (estado trófico) y su régimen térmico, mientras que en las aguas subterráneas importa altamente el grado de saturación del suelo.” (p.28).

#### **2.1.4. Calidad ambiental del agua**

La Universidad Nacional Autónoma de México (UNAM, 2010) se refiere a la gestión del agua con lo siguiente:

El agua es un recurso difícil de estudiar y gestionar, por las formas que adopta (líquida, sólida y gaseosa) y por la fuerza de gravedad a lo largo de una cuenca o en el subsuelo. Muchas actividades económicas están ligadas de manera indirecta a los ecosistemas acuáticos, de modo que la contaminación de cuerpos de agua río arriba repercuten río abajo y en consecuencia las actividades dependientes de un alto grado de calidad ambiental del agua corren el riesgo de reducir su potencial productivo, entre ellas diversas manufacturas, turismo, pesca, acuicultura y algunas recreativas (p.13).

Asimismo, Sierra (2011) menciona que “La disponibilidad de agua en cantidad suficiente y de buena calidad es una de las principales necesidades de cualquier población.” (p.28).

Sobre el uso del agua, la Universidad Nacional Autónoma de México (2010), menciona lo siguiente:

El uso del agua impone numerosas modificaciones a la morfología de los ríos, tales como la construcción de presas y canales de riego. El uso del suelo en las cuencas influye en la calidad ambiental del agua, debido a que la agricultura, la industria, la urbanización y la deforestación representan las principales fuentes de contaminación



puntual y difusa. Así, se afecta el almacenamiento en acuíferos y la calidad ambiental del agua subterránea. De hecho, muchas actividades en la superficie de las cuencas repercuten en el agua subterránea (p.13).

La calidad de las aguas es una variable descriptora fundamental del medio hídrico, tanto desde el punto de vista de su caracterización ambiental, como desde la perspectiva de la planificación y gestión hidrológica, ya que delimita la aptitud del agua para mantener los ecosistemas y atender las diferentes demandas. La calidad de las aguas puede verse modificada tanto por causas naturales como por factores externos. Cuando los factores externos que degradan la calidad natural del agua (Centros de Estudios Hidrográficos, 2000, p.196).

Asimismo, Sierra (2011) menciona que:

La calidad de un ambiente acuático se puede definir como: i) Una lista de concentraciones, especificaciones y aspectos físicos de sustancias orgánicas e inorgánicas, y ii) la composición y el estado de la biota acuática presente en el cuerpo de agua. La calidad presenta variaciones espaciales y temporales debido a factores externos e internos al cuerpo de agua (p.47).

Respecto a los factores de la calidad ambiental del agua, Sierra (2011) indica lo siguiente:

La complejidad de los factores que determinan la calidad ambiental del agua y la gran cantidad de variables utilizadas para describir el estado de los cuerpos de agua en términos cuantitativos, es difícil dar una definición simple de “calidad ambiental del agua”. Además, los conocimientos sobre calidad ambiental del agua han evolucionado a través del tiempo a medida que ha aumentado su demanda en

diferentes usos y han mejorado los métodos para analizar e interpretar sus características (p.47).

### 2.1.5. Parámetros del agua

Los parámetros ambientales son las características que determinan la calidad de al agua según su uso. Se describen los parámetros bacteriológicos en la tabla 1, los parámetros organolépticos en la tabla 2, los parámetros físicos en la tabla 3, los parámetros bioquímicos en la tabla 4, los parámetros químicos en la tabla 5 y los parámetros de metales pesados en la tabla 6.

**Tabla 1**  
*Parámetros bacteriológicos propuestos para medir en el recurso agua*

| A. Bacteriológicos |                       |   |
|--------------------|-----------------------|---|
| N°                 | Parámetros            | Descripción   |
| 1                  | Coliformes totales    | La presencia de coliformes totales indica que el cuerpo de agua ha sido o está contaminado con materia orgánica de origen fecal, ya sea por humanos o animales.   |
| 2                  | Coliformes fecales    | Es un indicador indirecto del riesgo potencial de contaminación con bacterias o virus de carácter patógeno, ya que las coliformes fecales siempre están presentes en las heces humanas y de los animales.   |
| 3                  | Estreptococos totales | Es un indicador de la contaminación fecal de origen humano o animal, usado porque presenta una alta resistencia al cloro. Se usa ampliamente en otros países como indicador bacteriológico en balnearios y playas, es decir, en sitios para la recreación en general. |

Fuente: (Sierra, 2011).

**Tabla 2**  
*Parámetros organolépticos propuestos para medir en el recurso agua.*

| B. Organolépticos |            |   |
|-------------------|------------|---|
| N°                | Parámetros | Descripción   |
| 4                 | Turbiedad  | Su presencia disminuye la producción de oxígeno por fotosíntesis restringe los usos del agua, indica deterioro estético del cuerpo de agua, interfiere en la desinfección.      |
| 5                 | Color      | Su mayor aporte en monitoreo de aguas es la descripción que pueda aportar para el análisis de una muestra o describir las condiciones físicas o estéticas de un cuerpo de agua. |

| <b>B. Organolépticos</b> |                      |  |
|--------------------------|----------------------|--|
| <b>N°</b>                | <b>Parámetros</b>    | <b>Descripción</b>   |
| 6                        | Sustancias flotantes | Es un indicador estético del cuerpo del agua, y como tal se debe “medir” de manera cualitativa, o descriptiva.                               |
| 7                        | Olor                 | Se mide cualitativamente como presente o no. Actualmente, lo más práctico evaluar su presencia midiendo concentraciones de H <sub>2</sub> S. |

Fuente: (Sierra, 2011).

**Tabla 3**

*Parámetros físicos propuestos para medir en el recurso agua.*

| <b>C. Físicos</b>                |  |  |
|----------------------------------|--|--|
| <b>N°</b>                        | <b>Parámetros</b>  | <b>Descripción</b>   |
| 8                                | Ph   | Origina cambios en la fauna y la flora de los cuerpos de agua. Ejerce influencia sobre la toxicidad de ciertos compuestos, como el amoníaco, metales pesados, hidrógeno sulfurado, etc.  |
| 9                                | Temperatura  | Las variaciones de este parámetro en las corrientes de agua generan un cambio en el ambiente de desarrollo de la fauna y la flora presente en él; elevan el potencial tóxico de ciertas sustancias disueltas en el agua y originan la disminución del oxígeno disuelto, lo que conduce a condiciones anaeróbicas de la corriente.  |
| 10                               | Conductividad  | Se mide en umhos/cm o uS/cm. Indica la presencia de sales en forma ionizada, como los cloruros o iones de sodio, carbonatos, etc. Permite establecer relaciones e interpretación de resultados con sólidos disueltos en las descargas o cuerpos de agua. Es la mejor medida indirecta de la salinidad, ya que por otros métodos se torna engorroso e impreciso. Mediante el establecimiento de relaciones empíricas de la conductividad en soluciones estándar, posibilita resultados más rápidos y funcionales. |
| 11<br>12<br>13<br>14<br>15<br>16 | Sólidos totales<br>Suspendidos volátiles<br>Suspendidos<br>Disueltos<br>Disueltos volátiles<br>Sedimentables | Las diferentes formas de sólidos propuestos indican la presencia de sales disueltas, partículas en suspensión de carácter orgánico o inorgánico. Con los sólidos se puede establecer relaciones con otros parámetros como la DQO y la DBO, la turbiedad y el color, para que una vez establecidas las relaciones empíricas a través de series de datos, se pueda ahorrar parámetros como la DBO, que normalmente demora 7 días desde la entrega de la muestra hasta el reporte de resultados.                    |

Fuente: (Sierra, 2011).

**Tabla 4***Parámetros bioquímicos propuestos para medir en el recurso agua.*

| <b>D. Indicador bioquímico</b> |                   |   |
|--------------------------------|-------------------|---|
| <b>N°</b>                      | <b>Parámetros</b> | <b>Descripción</b>  |
| 17                             | DBO <sub>5</sub>  | Demanda bioquímica de oxígeno e cinco días. Parámetro de mayor significación cuando se trata de determinar la carga polucional que pueden generar los desechos domésticos e industriales de carácter orgánico al ser descargados en corrientes de agua en las que persistan condiciones aeróbicas. Normalmente se determina la demanda a los 5 días y mediante ecuaciones de cinética bacteriana se extrapolan los resultados a los 20 días, para obtenerlos más rápidamente. |

Fuente: (Sierra, 2011).

**Tabla 5***Parámetros químicos propuestos para medir en el recurso agua.*

| <b>E. Químicos básicos</b> |                   |  |
|----------------------------|-------------------|--|
| <b>N°</b>                  | <b>Parámetros</b> | <b>Descripción</b>   |
| 18                         | Acidez            | Estos dos parámetros no pueden considerarse como contaminantes directos o específicos, sino como una medida de los efectos de la combinación de sustancias asociadas a los carbonatos y bicarbonatos. Debido a las variaciones que producen en el Ph se generan reacciones secundarias rompiendo el ciclo ecológico en un cuerpo de agua. Ellos se expresan como la concentración de carbonato de calcio (CaCO <sub>3</sub> ). |
| 19                         | Alcalinidad       |  |
| 20                         | COT               | Carbono orgánico total. Este parámetro es el más conveniente y directo para determinar la cantidad total de materia orgánica presente en el agua. Con sus resultados se pueden establecer relaciones con la DBO, DQO, y, por tanto, obtener conclusiones sobre su consistencia o no.   |
| 21                         | Calcio            | Son la causa más frecuente de la dureza y afecta vitalmente las propiedades incrustantes y corrosivas de un agua.  |
| 22                         | Cianuros          | Su presencia tiene efecto de significación sobre la actividad biológica del sistema. Los organismos causantes de autopurificación de los cuerpos de aguas son inhibidos por un contenido de 0.3 mg/L de CN <sup>-</sup> . Su toxicidad aumenta cuando se asocia a variables tales como temperatura, Ph, OD y la concentración de ciertas sustancias minerales.   |
| 23                         | Cloruros          | Son una medida indirecta de contaminación de origen orgánico humano, así como de la presencia de sales ionizables.   |

| <b>E. Químicos básicos</b> |                   |  |
|----------------------------|-------------------|--|
| <b>N°</b>                  | <b>Parámetros</b> | <b>Descripción</b>   |
| 24                         | DQO               | La prueba de demanda química de oxígeno es muy usada para medir la carga la carga polucional de los desechos domésticos e industriales. Mediante esta prueba se puede medir un desecho en términos de cantidad de oxígeno requerido para oxidar completamente la materia orgánica del desecho a CO <sub>2</sub> , agua y amoníaco.   |
| 25                         | Detergentes       | Originan cambios significativos de reducción de la tensión superficial del agua, imposibilitando el intercambio adecuado del oxígeno gaseoso. Originan consumo del oxígeno disuelto por su componente orgánico, incrementan la concentración de fósforo total.   |
| 26                         | Dureza            | Las aguas duras imposibilitan el efecto adecuado de jabones en las aguas de uso doméstico. Sus valores altos ocasionan incrustación y corrosión en las tuberías o equipos metálicos industriales o redes de acueducto. En aguas de teñido originan manchas en las telas.   |
| 27                         | Fósforo total     | Puede ser utilizado como indicador de cantidad de detergentes sintéticos vertidos a una corriente, ya que estos poseen entre el 12 al 13 % de fósforo en sus formulaciones. Desde el punto de vista de la eutrofización de cuerpos de agua, el nivel crítico es aproximadamente 0.01 mg/L  |
| 28                         | Grasas y aceites  | En aguas superficiales ocasionan películas que interfieren en la transferencia de oxígeno atmosférico. En cantidades excesivas disminuyen la eficiencia de los tratamientos biológicos. Originan taponamientos de las redes del alcantarillado, por su adherencia a las paredes del tubo. Su presencia disminuye notablemente la calidad estética del cuerpo del agua. Generalmente están asociadas a la presencia de hidrocarburos por su insolubilidad en el agua. |
| 29                         | Hidrocarburos     | Están englobados dentro de las grasas y aceites. Sin embargo, por su importancia y efectos ambientales se deben determinar independientemente. Generan olores fuertes y deterioro estético de los cuerpos de agua. Su presencia origina incremento de la DBO, alteran los procesos biológicos e impiden el intercambio del oxígeno gaseoso.  |
| 30                         | Hierro total      | Aguas con altos contenidos de este metal, al entrar en contacto con el aire, se puede precipitar, originando sólidos sedimentables, y coloración de las aguas. Su presencia imposibilita el uso del agua en algunas actividades industriales y posibilita el crecimiento de las bacterias del  |

| <b>E. Químicos básicos</b> |                       |  |
|----------------------------|-----------------------|--|
| <b>N°</b>                  | <b>Parámetros</b>     | <b>Descripción</b>   |
|                            |                       | hierro (crenotherix), que causan taponamiento en las tuberías de acueducto.  |
| 31                         | Magnesio              | El contenido de dureza está asociado al contenido de magnesio, la formación de incrustaciones y propiedades corrosivas del agua.   |
| 32                         | Manganeso             | En pequeñas cantidades produce manchas muy intensas en porcelanas y muebles sanitarios. Su oxidación posibilita la formación de precipitados, generando turbiedad y disminución de la calidad estética de los cuerpos de agua.   |
| 33                         | Nitratos              | Este parámetro presente en aguas puede causar metahemoglobina (color azul de la piel) en los infantes alimentados con leche preparada. La enfermedad es producida por reducción de los nitratos a nitritos dentro del sistema digestivo de estos niños.  |
| 34                         | Nitritos              | En aguas superficiales crudas, las huellas de nitrito indican contaminación.<br>Debido a que el nitrito es formador de ácido nitroso en solución ácida, cuya mezcla con aminas secundarias forma las nitroso-aminas (cancerígenas), debe tener un cuidadoso control.   |
| 35                         | Nitrógeno amoniacal   | La descarga de este parámetro a los cuerpos de agua reducir sus niveles de oxígeno disuelto, en especial, cuando sus tiempos de residencia son altos.  |
| 36                         | Nitrógeno orgánico    | La presencia de N amoniacal y orgánico en aguas indica una reciente contaminación, por lo que ofrecen mayor peligro para la salud pública.   |
| 37                         | Oxígeno disuelto (OD) | Es una de las pruebas más simples e importantes, para determinar por su concentración la contaminación de corrientes o los cuerpos de agua.<br>Es una de las condiciones más importantes para exista crecimiento y reproducción de una población normal de peces y otros organismos acuáticos.   |
| 38                         | Sulfatos              | Los sulfatos, al mezclarse con iones de calcio y magnesio en aguas de consumo humano, producen en efecto laxante. En aguas residuales al entrar en contacto con el concreto inducen la formación de cristales de sulfato aluminato que originan una expansión del material que destruye su textura. Bajo la acción de bacterias anaerobias los reducen hasta la formación de sulfuros, que luego en condiciones aeróbicas favorecen la formación de ácido sulfúrico, con los problemas de olor y corrosión asociados a estos compuestos. |

| <b>E. Químicos básicos</b> |                   |  |
|----------------------------|-------------------|--|
| <b>N°</b>                  | <b>Parámetros</b> | <b>Descripción</b>   |
| 39                         | Sulfuros          | Son grandes causantes de olores y disminución del Ph. Es un estado intermedio de la reducción de los sulfatos bajo condiciones anaeróbicas y bacterias sulfurosas. Atacan directamente los metales e indirectamente la corrosión de tuberías. Es tóxico para los peces y otros organismos acuáticos.   |
| 40                         | Salinidad         | Es una propiedad importante para las aguas naturales e industriales. Originalmente fue concebida como una medida la masa de sales disueltas. Su determinación inicialmente se hacía por secado y pesado de sales, pero presenta dificultades por las pérdidas de algunos compuestos. Actualmente, la salinidad se determina indirectamente por la medida de propiedades físicas se determina la salinidad de las aguas. La precisión de la determinación de las propiedades físicas, determina la precisión de la medida de salinidad. En orden de precisión el método estándar recomienda: 1) la conductividad, 2) la densidad y 3) a velocidad del sonido en el agua. Aunque la conductividad tiene la mayor precisión, ella sólo responde a los iones disueltos. La densidad del agua, aunque menos precisa, incluye todas las sales disueltas. |
| 41                         | Zinc              | Es un elemento esencial para las plantas y animales, pero en elevadas concentraciones es tóxico para algunas especies de la vida acuática. En aguas alcalinas pueden originar opalescencia en concentraciones de 5 mg/L. Su presencia es un indicador descargas contaminantes industriales.  |

**Fuente:** (Sierra, 2011).

**Tabla 6**

***Metales pesados propuestos para medir en el recurso agua.***

| <b>F. Metales pesados básicos</b> |                  |  |
|-----------------------------------|------------------|--|
| <b>N°</b>                         | <b>Parámetro</b> | <b>Descripción</b>   |
| 42                                | Aluminio         | En las corrientes de los EE.UU., se encuentran valores de 400 ug/L. En aguas de consumo debe estar en 54ug/L y en aguas subterráneas se encuentra en valores menores de 0.1 ug/L. Los minerales principales asociados al aluminio son la bauxita y óxidos de aluminio que son usados como abrasivos. Se usa en intercambiadores de calor y construcción de partes de aviones, contenedores y en material de construcción. El sulfato de aluminio se usa en la potabilización del agua como floculante. A valores mayores de 1.5 mg/L constituye un tóxico peligroso en los ambientes marinos. La Organización Nacional de Alimentos recomienda un valor máximo de 5 mg/L en aguas para riego. Para aguas de consumo la |

| F. Metales pesados básicos |           |   |
|----------------------------|-----------|---|
| N°                         | Parámetro | Descripción   |
|                            |           | <i>Environmental Protection Agency</i> , por sus siglas en inglés (EPA) recomienda concentraciones máximas permisibles de 0.05 mg/L.  |
| 43                         | Arsénico  | La contaminación por As aparece asociada a la fabricación o utilización de herbicidas o pesticidas. Obstaculiza reproducción celular. Los tejidos de muchos organismos lo acumulan, por tanto, sus efectos dañinos pueden durar un tiempo cuando la concentración es baja, pero a pesar de ello es mortal.                      |
| 44                         | Cadmio    | Es especialmente peligroso ya que se puede combinar con otras sustancias tóxicas. Afecta principalmente a los micromusculos (no se desarrolla la concha). Produce graves enfermedades cardiovasculares en el hombre, además, es un irritante gastrointestinal.  |
| 45                         | Cobre     | Su toxicidad sobre los organismos acuáticos varía con la especie, características físicas y químicas del agua, como temperatura, dureza, turbiedad y contenido de CO <sub>2</sub>   |
| 46                         | Cromo     | Su toxicidad varía con el tipo de peces, con la temperatura y el Ph del agua, así como también con su estado de oxidación, siendo el Cr <sup>+6</sup> el más nocivo. Las sales de cromo imparten una coloración en el agua.   |
| 47                         | Mercurio  | Cuando está presente en agua de consumo de una u otra forma invade el cuerpo humano a través de los tejidos de la piel o ingestión de comida, preparadas con dicha agua. Debilita progresivamente los músculos, pérdida de la visión, deteriora otras funciones cerebrales, genera parálisis eventual, estado de coma o muerte. |
| 48                         | Níquel    | En bajas concentraciones es vital para el desarrollo de plantas y animales, pero en elevados valores causan problemas graves en la salud humana.  |
| 49                         | Plomo     | Compuesto tóxico acumulativo en el cuerpo humano. Produce una variedad de síntomas en los tejidos vulnerables. Cuando el agua está contaminada con sales de plomo, se les forma a los peces una película mucosa coagulante, primero sobre las agallas y luego sobre todo el cuerpo, causándoles sofocación.                     |

Fuente: (Sierra, 2011).

### 2.1.6. Manejo y análisis de datos de calidad ambiental del agua

Los cuerpos de agua se pueden caracterizar analizando básicamente tres componentes: su hidrología, sus características fisicoquímicas y la parte biológica. Para llevar a cabo un análisis y evaluación completa de calidad ambiental del agua, es necesario monitorear estos tres componentes (Sierra, 2011, p.27).



Sierra (2011), menciona que la descripción de la calidad ambiental del agua se puede realizar de las siguientes formas:

- Midiendo variables físicas (turbiedad, sólidos totales, etc.), químicas (Ph, acidez, etc.) o biológicas (bioensayos) (p.47).
- Utilizando un índice de calidad ambiental del agua (p.47).

Además, Sierra (2011), se refiere que el ingeniero especializado en la calidad de agua debe considerar los siguientes componentes:

- **Las entradas** corresponden a las descargas de sustancias o contaminantes provenientes de las actividades del hombre y la naturaleza y que se generan en la cuenca (p.35).
- **Las reacciones y el transporte físico**, esto es, las transformaciones químicas y biológicas que ocurren en el ecosistema producen niveles diferentes de calidad ambiental del agua en determinado tiempo y espacio en el cuerpo de agua. Dada la complejidad de los ecosistemas acuáticos, en la práctica, el ingeniero de calidad de agua ha tratado de representar las distintas reacciones que ocurren en estos ecosistemas por medios de modelos matemáticos y así disponer de herramientas para poder tomar decisiones (p.35).
- **Las salidas** son las concentraciones resultantes de las sustancias estudiadas (oxígeno disuelto, nutrientes, etc.) en el cuerpo de agua, en un tiempo específicos y en un lugar determinado (p.36).

En la tabla 7 indica las variables asociadas según la contaminación que se manifiesta.

**Tabla 7*****Variables asociadas con la calidad ambiental del agua.***

| <b>Aparición del problema</b>  | <b>Interferencia</b>  | <b>Problemas</b>   | <b>Variables</b>  |
|--|---|--|---|
| <ul style="list-style-type: none"> <li>- Mortalidad de peces.</li> <li>- Olores molestos -H<sub>2</sub>S.</li> <li>- Organismos desagradables.</li> <li>- Cambio radical en el ecosistema.</li> </ul>        | <ul style="list-style-type: none"> <li>- Pesca.</li> <li>- Recreación.</li> <li>- Salud ecológica.</li> </ul>             | <ul style="list-style-type: none"> <li>- Oxígeno disuelto.</li> <li>- (OD) bajo</li> </ul>           | <ul style="list-style-type: none"> <li>- DBO</li> <li>- NH<sub>3</sub>, N</li> <li>- Sólidos orgánicos</li> <li>- Fitoplancton</li> <li>- OD</li> </ul> |
| <ul style="list-style-type: none"> <li>- Transmisión de enfermedades.</li> <li>- Trastornos gastro-intestinales, irritación de ojos.</li> </ul>  | <ul style="list-style-type: none"> <li>- Abasto de agua.</li> <li>- Recreación.</li> </ul>                                | <ul style="list-style-type: none"> <li>- Niveles altos de bacterias.</li> </ul>                      | <ul style="list-style-type: none"> <li>- Coliformes totales</li> <li>- Coliformes fecales</li> <li>- Estreptococos</li> <li>- Virus</li> </ul>          |
| <ul style="list-style-type: none"> <li>- Sabor y olor.</li> <li>- Algas azul-verdes.</li> <li>- Problemas estéticos algas con exceso.</li> <li>- Disturbios en el ecosistema.</li> </ul>                     | <ul style="list-style-type: none"> <li>- Abasto de agua.</li> <li>- Recreación.</li> <li>- Salud ecológica.</li> </ul>    | <ul style="list-style-type: none"> <li>- Crecimiento excesivo de plantas (eutrofización).</li> </ul> | <ul style="list-style-type: none"> <li>- Nitrógeno</li> <li>- Fosforo</li> <li>- Fitoplancton</li> </ul>  |
| <ul style="list-style-type: none"> <li>- Carcinógenos en el agua potable.</li> <li>- Pesca cerrada-niveles altos de toxicidad.</li> <li>- Ecosistema alterado; mortalidad, reproducción impedida.</li> </ul> | <ul style="list-style-type: none"> <li>- Abastecimiento de agua.</li> <li>- Pesca.</li> <li>- Salud ecológica.</li> </ul> | <ul style="list-style-type: none"> <li>- Niveles altos de toxicidad.</li> </ul>                      | <ul style="list-style-type: none"> <li>- Metales pesados</li> <li>- Sustancias radioactivas</li> <li>- Plaguicidas</li> <li>- Herbicidas</li> </ul>     |

**Fuente:** (Sierra, 2011).

Respecto a la recolección de información, Sierra (2011) menciona lo siguiente:

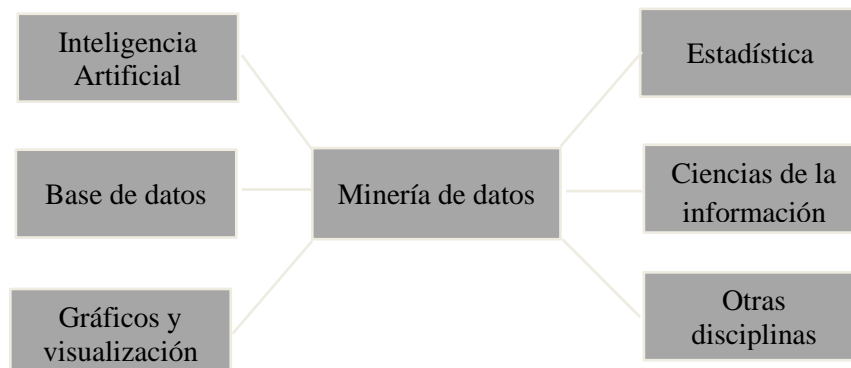
El estudio de la calidad ambiental del agua por parte de ingenieros y científicos comúnmente involucra la recolección de datos, su análisis, resumen y presentación en determinadas formas. Para tal efecto, el desarrollo actual de los computadores, las hojas de cálculo y los paquetes estadísticos han facilitado esta tarea. Sin embargo, para su aplicación se requiere un determinado conocimiento de la estadística. Esta es, tal vez, una de las razones por las cuales el análisis e interpretación de los resultados no recibe la atención apropiada en los estudios de calidad ambiental del agua. De ahí el síndrome “muchos datos,

poca información” que se está presentando en las diferentes autoridades ambientales, agencias gubernamentales y empresas de servicios públicos (p.171).

### 2.1.7. Minería de Datos

La minería de datos (MD) es un intento de buscarle sentido a la explosión de información que actualmente puede ser almacenada (Riquelme, Ruiz y Gilbert, 2006, p. 11). Asimismo, Pérez (como se citó en Pedraza *et al.*, 2016), indica que “la minería de datos como un conjunto de técnicas encaminadas al descubrimiento de la información contenida en grandes conjuntos de datos” (p. 34). De acuerdo a lo planteado por Pérez y Santin (2007), la minería de datos es un proceso de descubrimiento de nuevas y significativas relaciones, patrones y tendencias al examinar grandes cantidades de datos.

En la figura 1 se plantea el campo multidisciplinario de la minería de datos.



**Figura 1. La minería de datos es un campo multidisciplinario**

**Fuente:** (Universidad de los Andes, Venezuela, 2011).

### 2.1.8. Etapas de la Minería de Datos

El término KDD (iniciales de *Knowledge Discovery in Databases*), acuñado en 1989 se refiere a todo el proceso de extracción de conocimiento a partir de una base de datos y marca un cambio de paradigma en el que lo importante es el conocimiento útil que seamos capaces de descubrir a partir de los datos. Claramente apunta a la

importancia de incluir en la metodología el pre proceso de los datos, o la formalización del conocimiento descubierto (Riquelme, Ruiz y Gilbert, 2006, p.12).

Asimismo, Riquelme, Ruiz y Gilbert (2006), se refieren a la comparación de la minería de datos (MD) y proceso de extracción de conocimiento a partir de datos (KDD), mencionando lo siguiente:

Los términos MD y KDD son a menudo confundidos como sinónimos. En general se acepta que la MD es un paso particular en el proceso consistiendo en la aplicación de algoritmos específicos para extraer patrones (modelos) de los datos. Otros pasos en el proceso KDD, son la preparación de los datos, la selección y limpieza de los mismos, la incorporación de conocimiento previo, y la propia interpretación de los resultados de minería. Estos pasos aplicados de una manera iterativa e interactiva aseguran que un conocimiento útil se extraiga de los datos (p.12).

La minería de datos es ya un concepto muy evolucionado que necesita ser aproximado conceptualmente por etapas. Este proceso consta de varias fases como la preparación de datos (selección, limpieza, y transformación), su exploración y auditoria, minería de datos propiamente dicha (desarrollo de modelos y análisis de datos), evaluación, difusión y utilización de modelos (output) (Pérez y Santin, 2007, p.45).

Por tal razón, Pérez y Santin (2007) a continuación detallan cada etapa de la minería de datos:

- a. **Recopilación e integración** de la información a partir de unos datos iniciales de que se dispone (fase de selección de datos). Las primeras fases del KDD determinan que las fases sucesivas sean capaces de extraer conocimiento válido y útil a partir de la información original. Generalmente, la información que se quiere investigar

sobre un cierto dominio de la organización se encuentra en bases de datos (Database) y otras fuentes muy diversas, tanto internas como externas (en general la información se encuentra ordenada en almacenes de datos). Muchas de estas fuentes son las que utilizan para el trabajo transaccional. El análisis posterior será mucho más sencillo si la fuente es unificada, accesible (interna) y desconectada del trabajo transaccional. Aparte de información interna de la organización, los almacenes de datos pueden recoger información externa, como demografías (censo), páginas amarillas, psicografías (perfiles por zonas), uso de internet, información de otras organizaciones y base de datos externas compradas a otras compañías. La disponibilidad de grandes volúmenes de información en esta fase nos lleva a la necesidad de usar técnicas de muestreo para la selección de datos.

(p.4)

- b. La fase siguiente del KDD integra **la exploración, la limpieza o criba de datos (Data Cleaning) y la transformación de datos**. Se deben eliminar el mayor número posible de datos erróneos o inconsistentes (limpieza) e irrelevantes (criba). En esta fase se utilizan herramientas de consulta (*Query tools*) y herramientas estadísticas (*Statistics tools*) casi exclusivamente. En la exploración se usan técnicas de análisis exploratorio de datos como los histogramas y los diagramas de caja, tallo y técnicas de análisis exploratorio de datos como los histogramas y los diagramas de caja, tallo y hojas, que ayudan a detectar datos anómalos o atípicos (*outliers*). La presencia de datos atípicos y valores desaparecidos (datos *missing*) puede llevarnos a usar algoritmos robustos a datos atípicos y desaparecidos (p.ej. árboles de decisión), a filtrar la información, a reemplazar valores mediante técnicas de

imputación y a transformar datos continuos en discretos mediante técnicas de discretización. Entre las técnicas avanzadas de transformación tenemos las de reducción y aumento de la dimensión (p.4).

- c. La fase siguiente en el KDD es la propia de **minería de datos** que se llevará a cabo a partir del desarrollo de modelos predictivos y descriptivos (*Model Development*) y mediante el análisis de datos (*Data Analysis*). Una vez recogidos los datos de interés, un explorador puede decidir qué tipo de patrón quiere descubrir. El tipo de conocimiento que se desea extraer va a marcar claramente la técnica de minería de datos a utilizar (p.5).
- d. Para seleccionar y validar los modelos anteriores es necesaria una nueva fase consistente en el uso de criterios de evaluación de hipótesis. El despliegue del modelo a veces es trivial pero otras veces requiere un proceso de **implementación o interpretación**. En esta fase se utilizan adicionalmente herramientas estadísticas y de visualización (*Visualization tools*) (p.5).
- e. Una fase posterior del KDD es la relativa a **la difusión y uso del conocimiento** derivado de las técnicas de minería de datos a través de los modelos correspondientes que habitualmente desembocan en la generación de resultados (*Output Generation*). El modelo puede tener muchos usuarios y necesitar difusión, con lo que puede requerir ser expresado de una manera comprensible para ser distribuido en la organización. En esta fase se utilizan herramientas de visualización (*Visualization tools*), presentación (*Presentation tools*) y transformación de datos (*Data transformation tools*) (p.5).

### 2.1.9. Técnicas de Minería de datos

Según Vergel y Martínez (como se citó en Pedraza *et al.*, 2016), menciona que:

Existen técnicas de las cuales se escogió modelado originado por los datos, en la que los modelos se crean automáticamente partiendo del reconocimiento de patrones siguiendo las fases de selección de los datos, limpieza de datos, codificación de los datos procesados, minería de los datos transformados, modelo y, finalmente, interpretación y evaluación del conocimiento (p.34).

Las técnicas de minería de datos persiguen el descubrimiento automático del conocimiento contenido en la información almacenada de modo ordenado en grandes bases de datos. Estas técnicas tienen como objetivo descubrir patrones, perfiles y tendencias a través del análisis de los datos utilizando tecnologías de reconocimiento de patrones, redes neuronales, lógica difusa, algoritmos genéticos y otras técnicas avanzadas de análisis de datos (Pérez y Santin, 2007, p.1).

La clasificación inicial de las técnicas de minería de datos distingue entre técnicas predictivas, en las que las variables pueden clasificarse inicialmente en dependientes e independientes (similares a las técnicas del análisis de la dependencia o métodos explicativos del análisis multivariante), técnicas descriptivas, en las que todas las variables tienen inicialmente o métodos descriptivos del análisis multivariante y técnicas auxiliares. Las técnicas **predictivas** especifican el modelo para los datos en base a un conocimiento teórico previo. El modelo supuesto para los datos debe contrastarse después del proceso de minería de datos antes de aceptarlo como válido. Formalmente, la aplicación de todo modelo debe superar las fases de **identificación objetiva** (a partir de los datos se aplican reglas que permitan identificar el mejor

modelo posible que ajuste los datos), **estimación** (proceso de cálculo de los parámetros del modelo elegido para los datos en la fase de identificación), **diagnos** (proceso de contraste de la validez del modelo estimado) y **predicción** (proceso de utilización del modelo identificado, estimado y validado para predecir valores futuros de las variables dependientes). En algunos casos, el modelo se obtiene como mezcla del conocimiento obtenido antes y después del *Data Mining* y también debe contrastarse antes de aceptarse como válido. Por ejemplo, las redes neuronales permiten descubrir modelos complejos y afinarlos a medida que progresa la exploración de los datos. Gracias a su capacidad de aprendizaje, permiten descubrir relaciones complejas entre variables sin ninguna intervención externa. Podemos incluir entre estas técnicas todos los tipos de regresión, series temporales, análisis de la varianza y covarianza, análisis discriminantes son a su vez técnicas de clasificación que pueden extraer perfiles de comportamiento o clases, siendo el objetivo construir un modelo que permite clasificar cualquier nuevo dato. Los árboles de decisión permiten clasificar los datos consiste en elegir un atributo como raíz y desarrollar el árbol según las variables más significativas (Pérez y Santin, 2007, p.8).

#### **2.1.10. Herramientas para Minería de Datos**

El avance de la tecnología para la gestión de bases de datos hace posible integrar diferentes tipos de datos hace posible integrar diferentes tipos de datos, tales como imagen video, texto, y otros datos numéricos, en una base de datos sencilla, facilitando el procesamiento multimedia. Como resultado, la mezcla tradicional *ad hoc* de técnicas estadísticas y herramientas de gestión de datos no son adecuadas por más tiempo para analizar esta vasta colección de datos desiguales. Existen diversos



dominios donde almacenan grandes volúmenes de información en base de datos centralizadas y distribuidas, como por ejemplo librerías digitales, archivos de imágenes, bioinformática, cuidados médicos, finanzas e inversión, fabricación y producción, negocios y marketing, redes de telecomunicación, etc. (Riquelme, Ruiz y Gilbert, 2006, p.11).

Además, Riquelme, Ruiz y Gilbert (2006), menciona lo siguiente:

Es conocida la frase “los datos en bruto raramente son beneficiosos directamente”. Su verdadero valor se basa en: (a) la habilidad para extraer información útil la toma de decisiones o la exploración, y (b) la comprensión del fenómeno gobernante en la fuente de datos. En muchos dominios, el análisis de datos fue tradicionalmente un proceso manual. Uno o más analistas familiarizados con los datos, con la ayuda de técnicas estadísticas, proporcionaban resúmenes y generaban informes. En efecto, el analista hacía de procesador de preguntas sofisticadas. Sin embargo, tal enfoque cambió como consecuencia del crecimiento del volumen de datos. Cada vez es más común encontrarse con bases de los datos con un número de ejemplos del orden  $10^9$  o superior y  $10^3$  dimensiones. Cuando la escala de manipulación de datos, exploración e inferencia va más allá de la capacidad humana, se necesita la ayuda de las tecnologías informáticas para automatizar el proceso. Todo apunta a la necesidad de metodologías de análisis inteligente de datos, las cuales pueden descubrir conocimiento útil de los datos (p.12).

Según, Novatica (2010), a continuación, se describen algunos softwares que se utilizan para ejecutar la minería de datos:

- a. **Weka:** Es la herramienta de minería de datos en código abierto más popular. Se compone de tres herramientas: a) *Explorer* para “probar” rápidamente diferentes algoritmos, pre procesado, selección de atributos y visualización; b) *Experimenter* para ejecutar múltiples algoritmos y análisis de base de datos; y c) *KnowledgeFlow* para el diseño visual de experimentos (p.59).
- b. **RapidMiner:** Es otra herramienta abierta de minería con un intuitivo y potente interfaz gráfico. Ha sido desarrollada en Java incluye además Weka (p.59).
- c. **Orange:** Es otra herramienta de minería de datos, pero en este caso está implementada en Python (p.59).
- d. **R:** Es principalmente una herramienta estadística, pero existen numerosos “plug-ins” de minería de datos incluyendo uno para Weka (RWeka). Además, existe un entorno gráfico llamado Rattle que facilita la aplicación de ciertos algoritmos de minería (p.59).
- e. Dentro del ámbito comercial nos encontramos como **Clementine**. También dentro del ámbito comercial podemos utilizar las librerías que se pueden encontrar en las herramientas clásicas como Matlab, Mathematica para algunos aspectos del análisis de datos (p.59).
- f. **KNIME** es otra herramienta abierta de minería de datos basada en la plataforma Eclipse (p.59).
- g. Además, existen diversas de herramientas para la extracción de datos de repositorios software como paso previo a la aplicación de minería de datos. Una relación de las mismas la podemos encontrar en <http://tools.libresoft.es/> (p.59).

### **2.1.11. RapidMiner**

RapidMiner Studio combina tecnología y aplicabilidad para la integración de las técnicas de minería de datos más recientes y establecidos. Definiendo análisis de procesos con RapidMiner Studio se realiza mediante arrastrar y soltar de los operadores, establecer parámetros y combinar operadores, los procesos pueden ser producidos a partir de un gran número de operadores casi inestables al azar y finalmente estar representados por un llamado gráfico de proceso (diseño de flujo). La estructura del proceso se describe internamente por XML y desarrollado a través de una interfaz gráfica de usuario. En el fondo, RapidMiner Studio comprueba constantemente el proceso que se está desarrollando para Sintaxis y hace automáticamente sugerencias en caso de problemas. Esta es posible gracias a la llamada transformación de metadatos, que transforma los metadatos subyacentes en la fase de diseño de tal manera que forma el resultado. RapidMiner Studio contiene más de 1500 operaciones en conjunto para todas las tareas del análisis de datos profesionales, desde la partición de datos hasta el análisis basado en el mercado, para atribuir generación, incluye todas las herramientas que necesita para que sus datos funcionen para ti. Pero también los métodos de minería de texto, minería web, el sentimiento automático, análisis de foros de discusión en Internet (análisis de sentimientos, minería de opinión), así como el análisis y la predicción de las series temporales. RapidMiner Studio nos permite usar visualizaciones fuertes como gráficos tridimensionales, matrices de dispersión y mapas auto-organizados. Le permite convertir sus datos en completamente personalizable, Gráficos exportables

con soporte para zoom, *panning* y reescalado para un máximo impacto visual (RapidMiner Studio Manual, 2015, p.19).

### **2.1.12. Revisión de Literatura**

- **Estándar de Calidad Ambiental (ECA)**

Nivel de concentración máximo de elementos, sustancias o parámetros físicos, químicos y biológicos presentes en los recursos hídricos superficiales que no presentan riesgo significativo para la salud de las personas ni contaminación del ambiente. Los estándares aprobados son aplicables a los cuerpos de agua del territorio nacional en su estado natural y son obligatorios en el diseño de las normas legales y las políticas públicas, siendo un referente obligatorio en el diseño y aplicación de todos los instrumentos de gestión ambiental (ANA, 2016, p. 83).

- **Calidad de Agua:**

Es el estudio que permite conocer la calidad natural y actual del agua, determinar la capacidad de dilución de contaminantes y clasificar los cuerpos naturales del agua. Esta clasificación permitirá identificar las aguas de calidad aptas para usos prioritarios y para la protección o conservación (Autoridad Nacional del Agua, 2011).

- **Cuerpo Receptor**

Cuerpo natural de agua continental o marino-costero que recibe el vertimiento de aguas residuales tratadas (ANA, 2016, p. 83).

- **Vertimiento**

Descarga de aguas residuales previamente tratadas que se efectúa en un cuerpo natural de agua continental o marítima. Se excluyen las provenientes de naves y artefactos navales (ANA, 2016, p.86).

- **Monitoreo de Calidad de Agua**

Proceso que permite obtener como resultado la medición de la calidad ambiental del agua, con el objetivo de realizar el seguimiento sobre la exposición de contaminantes a los usos de agua y el control a las fuentes de contaminación (ANA, 2016, p.85).

- **Punto de Monitoreo**

Ubicación geográfica en una zona específica de un cuerpo de agua donde se realiza la toma de muestras de parámetros para la determinación de la calidad ambiental del agua (ANA, 2016, p.86).

- **Punto de Control**

En el presente documento representa aquel lugar definido por sus coordenadas geográficas y establecido en el estudio de impacto ambiental (EIA) o en la autorización de vertimiento en un cuerpo de agua natural para llevar a cabo la evaluación de su calidad (ANA, 2016, p.85).

- **Análisis de datos**

El Análisis de Datos (Data Analysis, o DA) es la ciencia que examina datos en bruto con el propósito de sacar conclusiones sobre la información. El análisis de datos es usado en varias industrias para permitir que las compañías y las organizaciones tomen mejores decisiones empresariales y también es usado en las ciencias para verificar o reprobar modelos o teorías existentes (Rouse, 2012).

- **Índice de Calidad ambiental del agua (ICA)**

Estos índices tienen la finalidad de evaluar el grado de afectación de un cuerpo natural de agua por contaminación y, aplicando a una serie de datos de monitoreo de varios

años, puede evidenciar una tendencia de recuperación o degradación de calidad ambiental del agua (ANA, 2012, p.14).

- **Recurso Hídrico**

Comprende el agua superficial, subterránea, continental y los bienes asociados con esta. Se extiende el agua marítima en lo que resulte aplicable (Autoridad Nacional del Agua, 2016, p.86).

- **Parámetros de calidad**

Compuestos, elementos, sustancias, indicadores y propiedades físicas, químicas y biológicas de interés para la determinación de la calidad ambiental del agua (ANA, 2016, p.85).

### **2.1.13. Marco Legal**

- Según el Artículo 2, inciso 22 de la Constitución Política del Perú - 1993 se menciona que toda persona tiene derecho de gozar de un ambiente equilibrado y adecuado al desarrollo de la vida.
- En el año 1991; Código Penal, Aprobado por Decreto Legislativo N°635; establece penas privativas de libertad a las personas que depositen, comercialicen o viertan desechos industriales o domésticos en lugares no autorizados, con mayor sanción si el agente es funcionario o servidor público.
- Según el artículo 96 del capítulo IV de la Ley General de Salud N° 26842 - 1997 se reconoce la responsabilidad del Estado frente a la protección de la salud ambiental y que en la disposición de sustancias y productos peligrosos deben tomarse todas las medidas y precauciones necesarias para prevenir daños a la salud humana o al ambiente. Asimismo, los Artículos 99, 104 y 107 del Capítulo VIII, tratan sobre los desechos y la responsabilidad

de las personas naturales o jurídicas de no efectuar descargas de residuos o sustancias contaminantes al agua, el aire o al suelo.

- En el año 2008; creación de Ministerio del Ambiente, Decreto Legislativo N° 1013. Tiene como objeto la conservación del ambiente, de modo tal que se propicie y asegure el uso sostenible, responsable, racional y ético de los recursos naturales y del medio que los sustenta, que permita contribuir al desarrollo integral social, económico y cultural de la persona humana, en permanente armonía con su entorno, así asegurar a las presentes y futuras generaciones el derecho de gozar de un ambiente equilibrado y adecuado para el desarrollo de la vida. Asimismo, tiene entre sus objetivos asegurar la prevención de la degradación del ambiente y de los recursos naturales y revertir los procesos negativos que los afectan.
- Según el artículo 9 de la Ley General del Ambiente N° 28611 la Política Nacional del Ambiente tiene como objetivo mejorar la calidad de vida de las personas garantizando la existencia de ecosistemas saludables, viables y funcionales en el largo plazo; y el desarrollo sostenible del país, mediante la preservación, protección y recuperación del ambiente y sus componentes, la conservación y el aprovechamiento sostenible de los recursos naturales, de una manera responsable y congruente con el respeto de los derechos fundamentales de la persona.
- Según el artículo 11 de la Ley General del Ambiente N° 28611, se menciona como uno de los lineamientos a el fortalecimiento de la gestión ambiental, por lo cual debe dotarse a las autoridades de recursos, atributos y condiciones adecuadas para el ejercicio de sus funciones conforme al carácter transversal de la gestión ambiental, tomando en cuenta que las cuestiones y problemas ambientales deben ser considerados y asumidos integral e

intersectorialmente y al más alto nivel, sin eximirse de tomar en consideración o de prestar su concurso a la protección del ambiente incluyendo la conservación de los recursos naturales.

- Según el artículo 31 de la Ley General del Ambiente N° 28611, se menciona que el Estándar de Calidad Ambiental, ECA, es 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.
- Según el artículo 66 de la Ley General del Ambiente N° 28611 se menciona que la prevención de riesgos y daños a la salud de las personas es prioritaria en la gestión ambiental. Es responsabilidad del Estado, a través de la Autoridad de Salud y de las personas naturales y jurídicas dentro del territorio nacional, contribuir a una efectiva gestión del ambiente y de los factores que genera riesgos a la salud de las personas.
- Según el artículo 67 de la Ley General del Ambiente, Ley N° 28611 se menciona que, las autoridades públicas de nivel nacional, sectorial, regional y local priorizan medidas de saneamiento básico que incluyan la construcción y administración de infraestructura apropiada; la gestión y manejo adecuado del agua potable, las aguas pluviales, las aguas subterráneas, el sistema de alcantarillado público, el reúso de aguas servidas, la disposición de excretas y los residuos sólidos, en las zonas urbanas y rurales promoviendo la universalidad, calidad y continuidad de los servicios de saneamiento, así como el establecimiento de tarifas adecuadas y consistentes con el costo de dichos servicios, su administración y mejoramiento.



- Según el artículo 90 de la Ley General del Ambiente, ley N° 28611 se menciona que, el Estado promueve y controla el aprovechamiento sostenible de las aguas continentales a través de la gestión integrada del recurso hídrico, previniendo la afectación de su calidad ambiental y de las condiciones naturales de su entorno, como parte del ecosistema donde se encuentran; regula su asignación en función de los objetivos sociales, ambientales y económicos; y promueve la inversión y participación del sector privado en el aprovechamiento sostenible del recurso.
- Según el artículo 113 de la Ley General del Ambiente se menciona que, son objetivos de la gestión ambiental en materia de calidad ambiental el aire, el agua y los suelos y demás componentes del ambiente identificando y controlando los factores de riesgo que la afecten.
- Según el artículo 3 de la Ley de Recursos Hídricos, ley N° 29338, se menciona que el acceso al agua para la satisfacción de las necesidades primarias de la persona humana es prioritario por ser un derecho fundamental sobre cualquier uso, inclusive en épocas de escasez. Así también menciona en el Principio de sostenibilidad que, el Estado promueve y controla el aprovechamiento y conservación sostenible de los recursos hídricos previniendo la afectación de su calidad ambiental y de las condiciones naturales de su entorno, como parte del ecosistema donde se encuentran. El uso y gestión sostenible del agua implica la integración equilibrada de los aspectos socioculturales, ambientales y económicos en el desarrollo nacional, así como la satisfacción de las necesidades de las actuales y futuras generaciones.
- Según el artículo 75 de la Ley de Recursos Hídricos, ley N° 29338, se menciona que la Autoridad Nacional, a través del consejo de cuenca correspondiente, ejerce funciones de vigilancia y fiscalización con el fin de prevenir y combatir los efectos de la contaminación

del mar, ríos y lagos en lo que corresponda. Puede coordinar, para tal efecto, con los sectores de la administración pública, los gobiernos regionales y los gobiernos locales.

- Según el artículo 79 de la Ley de Recursos Hídricos, ley N° 29338, se menciona que la Autoridad Nacional autoriza el vertimiento del agua residual tratada a un cuerpo natural de agua continental o marina, previa opinión técnica favorable de las Autoridades Ambiental y de Salud sobre el cumplimiento de los Estándares de calidad Ambiental del Agua (ECA-Agua) y Límites máximos permisibles (LMP). Queda prohibido el vertimiento directo o indirecto de agua residual sin dicha autorización.
- Según el artículo 103 del Reglamento de la Ley de Recursos Hídricos, D.S. N° 001-2010 - AG, se menciona que la protección del agua tiene por finalidad prevenir el deterioro de su calidad; proteger y mejorar el estado de sus fuentes naturales y los ecosistemas acuáticos; establecer medidas específicas para eliminar o reducir progresivamente los factores que generan su contaminación y degradación.
- Política Nacional del Ambiente, D.S. N° 012-2009- MINAM, tiene como objetivo mejorar la calidad de vida de las personas, garantizando la existencia de ecosistemas saludables, viables y funcionales en el largo plazo; y el desarrollo sostenible del país, mediante la prevención, protección y recuperación del ambiente y sus componentes, la conservación y el aprovechamiento sostenible de los recursos naturales, de una manera responsable y congruente con el respeto de los derechos fundamentales de la persona.

### III. Método

En el presente trabajo, se consideraron las concentraciones de los parámetros fisicoquímicos, metales pesados y microbiológicos de las 6 estaciones de monitoreo establecidas por la Autoridad Nacional del Agua – ANA, durante el periodo 2012-2016, las cuales se ubican desde la desembocadura del río Chillón hasta la altura de Carabayllo. Estas concentraciones se compararon con los Estándares de Calidad de agua D.S. 004-2017-MINAM - Categoría 3: Riego de vegetales y bebidas de animales, para luego determinar el Índice de Calidad ambiental del agua - ICA a partir de la metodología aprobada mediante Resolución Jefatural N°068-2018-ANA., donde por cada estación se indica si la calidad de agua es excelente, buena, regular, mala o pésima; con el fin de introducir esta información al software libre RapidMiner, el cual recepciona gran información de datos y obtiene como resultado un patrón.

#### 3.1. Tipo de investigación

La elaboración de la presente tesis se desarrolla como un trabajo de tipo **observacional**, ya que no existe intervención del investigador en los resultados del monitoreo de la calidad ambiental del agua. Según la planificación de la toma de datos, se plantea el nivel **retrospectivo** porque los resultados de monitoreo de calidad de agua han sido medidos externamente; **longitudinal**, porque los parámetros de calidad de agua (variable) fueron medidas en un periodo anual durante 5 años; y **analítico**, porque la investigación analizará más de una variable en el software RapidMiner.

El nivel de investigación desarrollado es descriptivo-predictivo, dando a conocer el comportamiento de las variables en un escenario temporal – espacial para la caracterización de la calidad ambiental del agua en la cuenca baja del río Chillón.

Asimismo, de acuerdo a lo señalado, se va a determinar la dependencia y relación entre las variables con el uso del software RapidMiner.

### **3.2. Ámbito temporal y espacial**

#### **3.2.1. Ubicación**

El río Chillón se origina en la laguna de Chonta a 4,800 m.s.n.m., alimentándose con las precipitaciones que caen en las partes altas de su cuenca colectora y con los deshielos de la Cordillera de la Viuda. La cuenca del río Chillón se halla comprendida entre las coordenadas geográficas 76° 20' y 77°10' de longitud Oeste, 11° 20' y 12° 00' de latitud sur; políticamente se halla ubicada en el departamento de Lima, ocupando las provincias de Lima y Canta; limita por el Norte con la cuenca del río Chancay-Huaral, por el Sur con la cuenca del río Rímac, por el Este con la cuenca del río Mantaro y por el Oeste con el Océano Pacífico (Instituto Nacional de Recursos Naturales, 1996, p.321).

El área de estudio está ubicada en la Subcuenca Chillón Bajo, Instituto Nacional de Recursos Naturales (2003), menciona las siguientes características:

Cuenta con un área de drenaje de 1126,14 Km<sup>2</sup>, un perímetro igual a 207.345 Km., se ubica entre los 0 y 1100 m.s.n.m., la principal fuente hídrica lo constituye el río Chillón que la recorre en una longitud de 58.620 Km. (p.31).

Los distritos que abarcan el área de estudio son: Carabaylo, Comas, Puente Piedra, San Martín de Porres, Los Olivos, Callao y Ventanilla (**Ver Mapa N°1: Ubicación del área de estudio**).

### **3.2.2. Accesibilidad**

El área de estudio abarca parte de la subcuenca baja del río Chillón, involucrando a los distritos de: Carabayllo, Comas, Puente Piedra, San Martín de Porres, Los Olivos, Callao y Ventanilla. Los accesos son los siguientes:

- La intersección de la Av. Néstor Gambeta y la Av. Chillón, para acceder a la desembocadura del río Chillón; y al sector de los distritos del Callao y Ventanilla, involucrados en el área de estudio.
- Siguiendo por la Av. Chillón, se continúa con la Av. San Diego de Alcalá, para acceder al sector de los distritos de San Martín de Porres y Los Olivos, involucrados en el área de estudio.
- La intersección de la Panamericana Norte y el Pje. Mario de las Nueces, para acceder al sector de los distritos de Los Olivos y Puente Piedra, involucrados en el área de estudio.
- Finalmente, para acceder al sector de los distritos de Comas y Carabayllo, involucrados en área del estudio, por la Av. Universitaria o la Av. Túpac Amaru.

### **3.2.3. Hidrología**

#### **3.2.3.1. Sistema Hidrográfico**

INRENA (2003) afirma:

Hidrográficamente, la cuenca del río Chillón pertenece a la vertiente del Pacífico. El relieve general de la cuenca es el que caracteriza a la mayoría de los ríos de la vertiente occidental, es decir, el de una hoya hidrográfica alargada, de fondo profundo y quebrado y de pendiente fuerte, presenta una fisiografía escarpada cortada por quebradas de fuerte pendiente y estrechas gargantas, la cuenca se encuentra limitada

por cadenas de cerros que en dirección hacia aguas abajo muestran un descenso sostenido del nivel de cumbres. La parte superior de la cuenca alta presenta un gran número de lagunas, originadas por la reducida pendiente, lo que ha permitido el represamiento parcial del escurrimiento superficial favorecido además por la presencia de nevados (p.23). **Ver Mapa N°3: Hidrografía de la Cuenca del río Chillón.**

La cuenca del río Chillón tiene cuatro tipos de fuentes de agua. Al respecto, el INRENA (2003) nos señala lo siguiente:

- Agua superficial no regulada, proveniente del escurrimiento superficial de toda la cuenca del río Chillón (p.23).
- Agua superficial regulada, proveniente de lagunas embalsadas localizadas en la cuenca alta del río Chillón (p.23).
- “Agua subterránea, extraída mediante bombeo de los pozos ubicados en la llanura aluvial del valle (p.23).
- Agua de recuperación o de cola evidenciada por el afloramiento en puquios y drenes que es incorporado al sistema de riego del valle (p.23).

### **3.2.3.2. Caudales Medios Mensuales**

La estación hidrometeorológica más cercana al área de estudio, es la estación Puente Magdalena, la cual pertenece a la red de estaciones del Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología del Perú. Se cuenta con la información del caudal medio mensual en los periodos 2002-2010 y 2012-2015. En la tabla 8 se indica la ubicación de la estación.

**Tabla 8****Ubicación de la estación hidrometeorológica “Puente Magdalena”**

| Estación         | Ubicación Geográfica |               |                    |
|------------------|----------------------|---------------|--------------------|
|                  | Latitud              | Longitud      | Altitud (m.s.n.m.) |
| Puente Magdalena | 76°51'13.90''        | 11°41'40.60'' | 956                |

**Fuente:** (Logistic Industry & Mining S.A., 2017).

En la tabla 9, se presentan los caudales medios mensuales asumidos como representativos del tramo del río Chillón, en referencia al área de estudio.

**Tabla 9****Distribución Espacial de la Población**

| Río     | Caudal Medio Mensual (m <sup>3</sup> /s) |       |       |       |      |      |      |      |      |      |      |      |
|---------|--|-------|-------|-------|------|------|------|------|------|------|------|------|
|         | Ene                                      | Feb   | Mar   | Abr   | May  | Jun  | Jul  | Ago  | Sep  | Oct  | Nov  | Dic  |
| Chillón | 10.62                                    | 13.78 | 18.57 | 11.51 | 4.06 | 1.83 | 1.49 | 1.27 | 1.66 | 2.54 | 3.56 | 6.49 |

**Fuente:** (Logistic Industry & Mining S.A., 2017).

Se tiene que el mes con mayor caudal medio en el tramo del río Chillón cercano al área de estudio es el de marzo con 18.57 m<sup>3</sup>/s y el mes con menor caudal medio es agosto con 1.27 m<sup>3</sup>/s. El periodo húmedo se produce entre enero y abril, reduciéndose considerablemente para el periodo comprendido entre junio y noviembre; los meses de mayo y diciembre pueden considerarse como de transición. La descarga máxima media llega al valor de 36.35 m<sup>3</sup>/s, ocurrida en marzo, y la mínima media es de 0.687 m<sup>3</sup>/s ocurrida en agosto. La descarga media anual es de 6.449 m<sup>3</sup>/s. (Logistic Industry & Mining S.A., 2017).

**3.2.4. Geología****3.2.4.1. Formación Geológica**

Instituto Geológico, Minero y Metalúrgico (INGEMMET, 1979) afirma lo siguiente:

La génesis de la cuenca muestra ciertos rasgos de complejidad. En su formación se combinan caracteres geológicos, climatológicos e hidrológicos. La cuenca ocupa una considerable porción de la superficie accidentada de la Cordillera Occidental y, otra de llanos y depresiones costaneras. Ambas unidades, formadas durante el Terciario y Cuaternario contienen los fluvios que erosionan el área y que el río Chillón, en la condición de colector principal, deposita en el mar pacífico. El sistema actual de la cuenca del Chillón es el resultado de la evolución de un sistema más antiguo, que tenía una ubicación aproximada a la actual Cordillera de los Andes, posteriormente fue modificada por efectos tectónicos como consecuencia del emplazamiento del Batolito de la Costa y de los procesos orogénicos y epirogénicos que generaron fuerzas de tensión y compresión, cuya evidencia constituye el levantamiento de la cordillera y las estructuras geológicas como fallas, pliegues, sobre – escurrimientos. Las cadenas de montaña fueron erosionadas antes que se depositaran las capas rojas y los conglomerados terciarios, así como las lavas y los piroclastos terciario – cuaternarios. De la deformación de estos sedimentos, se originó un segundo sistema de cordilleras que es el que configura el paisaje actual (INGEMMET, 1979, p.60).

**Ver Mapa N°5: Formaciones Geológicas de la cuenca baja del río Chillón.**

#### **3.2.4.2. *Estratigrafía***

Desde el punto de vista estratigráfico el área de estudio según INGEMMET (1979) “incluye rocas sedimentarias, volcánicas y metamórficas, cuyas edades quedan comprendidas entre el Jurásico Medio y el Cuaternario Reciente” (p.60).



### 3.2.4.3. *El Jurásico Medio*

El Jurásico Medio, tiene presencia con las formaciones: Arahuay, Puente Piedra, el Volcánico, Yangas, El Grupo Morro Solar y el Grupo Pamplona, las más antiguas y de mayor distribución en la cuenca (INGEMMET, 1979, p.60).

- **La Formación Arahuay**

INGEMMET (1979) refiere lo siguiente:

Es reconocida como una secuencia de cerca de 4,000 m de potencia. Consistente, en la parte inferior, por volcánicos andesíticos, luego cherts bandeados blanquecinos y, hacia arriba intercalaciones de calizas bituminosas, cherts gris verdosos y lodolitas silificadas negruzcas. Su nombre responde a su mejor exposición en las inmediaciones de la localidad de Araguay. Sus afloramientos se prolongan hacia el Norte, sectores de Pampacocha y Huamantanga, sigue un rumbo general NE-SO y buzamientos de 65° a 85° al noroeste, presenta una topografía agreste resistente a los efectos del intemperismo (p.60).

- **La formación Puente Piedra**

INGEMMET (1979) refiere lo siguiente:

Es una serie volcánica sedimentaria de cerca de 1,000 m de grosor, que se expone en las inmediaciones de Puente Piedra y Ventanilla, así como en los cerros Resbalón, Negro, etc., en la margen derecha del curso inferior del río Chillón. Tiene tres componentes: el Inferior, con predominancia de derrames andesíticos o dacíticos, intercalados con capas de brechas y aglomerados. El intermedio, Puente Inga, compuesto por areniscas, arcósicas, gravas, arcillas

bentoníticas y lutitas multicolores; en menor proporción ftanitas y calizas. El Superior, contiene flujos lávicos. Esta litología le da una apariencia de lomas de poca elevación, con capas de rumbo NO-SE y buzamiento entre 15° y 20° al suroeste (p.61).

- **El Volcánico Yangas**

INGEMMET (1979) refiere lo siguiente:

Es una serie monótona volcánico-sedimentaria de aproximadamente 4,500 m de grosor. Su mejor exposición se da en las inmediaciones de Yangas, prolongándose al norte y sur en afloramientos discontinuos, debido a la intrusión batolítica. Su litología muestra una alternancia de meta-volcánicos andesíticos, lodolitas y margas silicificadas; contiene además ftanitas blancas y calizas oscuras metamorfizadas. Los afloramientos, a manera de elevaciones algo agrestes, con partes bajas cubiertas por depósitos coluviales con ese tipo de material. Adopta una tendencia homoclinal, NO-SE, con buzamientos entre 20° y 50° hacia el suroeste (p.61).

- **Grupo Morro Solar**

INGEMMET (1979) refiere lo siguiente:

Tiene exposiciones en las lomas de Carabayllo y en Comas, con un grosor de 200 m, correspondiente a la formación La Herradura y Marcavilca. La primera está compuesta básicamente de lutitas limolíticas rojas o grises y en la parte superior areniscas verdosas, intercaladas con lutitas micáceas gris oscuras y en el tope se tiene la ocurrencia de cuarcitas con lutitas gris oscuras. Presenta una estructura arqueada, en el sector de Carabayllo sigue un rumbo general E-O,

girando hacia Comas a una tendencia NO-SE, con buzamientos que varían entre 30° y 45° al norte y noroeste (p.61).

- **El Grupo Pamplona**

INGEMMET (1979) refiere lo siguiente:

Es de afloramiento restringido a los sectores de Comas e Independencia y partes altas de Carabayllo. Yace concordante sobre el grupo Morro Solar y, debido a la estructura sinclinal, pasa hacia el sector noroeste hasta la curva del Valle (Macas y Zapán). Su espesor varía entre 900 y 600 m, predomina un material conformado por niveles de lutitas grises o marrones intercaladas con calizas margosas, limolitas y lodolitas. Los niveles sedimentarios forman terrenos blandos y deprimidos, mientras los paquetes volcánicos componentes se mantienen con alineaciones agrestes (p.61).

#### ***3.2.4.4. Cretáceo Medio a Superior***

Se encuentra representado por las formaciones: Atocongo, Umasha, Grupo Casma y Grupo Quilmaná (INGEMMET, 1979, p.61).

- **Formación Atocongo**

INGEMMET (1979) refiere lo siguiente:

Suprayace al grupo Pamplona y sus afloramientos se ubican en áreas contiguas a éste, con similares características estructurales. Consiste en bancos masivos de calizas micríticas, gris oscuras a negras, calizas marrón claras, lutitas y lodolitas calcáreas. En la parte superior predominan lutitas limolíticas abigarras, interestratificadas con calizas gris oscuras a negras, además

ocurrencias de limolitas y derrames andesíticos. Su espesor varía entre 200 y 800 m. (p.61).

- **Formación Jumasha**

INGEMMET (1979) refiere lo siguiente:

Aflora en el extremo superior de la cuenca, es un sector reducido de la Cordillera de la Viuda. Mitológicamente constituida por bancos de calizas gris oscuras de 1.00 a 1,500 m de grosor y algunas capas de calizas claras con abundantes venas de calcita. Exhibe superficies aborregadas debido a la acción glaciaria. Su espesor es calculado en 1,200 m. los paquetes rocosos siguen la dirección NO-SE con buzamiento entre 60° y 70° en flancos de pliegues longitudinales (p.61).

- **Grupo Casma**

INGEMMET (1979) refiere lo siguiente:

Consiste en diferentes unidades estratigráficas de naturaleza volcánico-sedimentaria, las que suprayacen a la Formación Atocongo. Su espesor aproximado a 2,000 m., aflora la cuenca media, tomando un rumbo NO-SE con buzamientos entre 45° y 55°, en los flancos de un sinclinal abierto. En la parte inferior alternan aglomerados andesíticos o dacíticos con derrames andesíticos, riolíticos, algunas capas delgadas de lutitas, areniscas, lodolitas y calizas. El relieve de estos suelos se destaca por sus resistencias a la erosión (p.61).

- **Grupo Quilmaná**

INGEMMET (1979) refiere lo siguiente:

Secuencia volcánico-sedimentaria del Cretáceo superior que equivale a la parte superior del Grupo Casma. Son derrames volcánicos masivos en un espesor de 200 a 300 m., de composición andesítica y riodacítica, de colores gris oscuros, verdosos que destacan por un relieve abrupto. Constituye el núcleo de un sinclinal amplio entre la Quebrada Gangay y el Cerro Cabrera, sigue un rumbo NO-SE (p.62).

#### **3.2.4.5. *El Terciario***

Se encuentra representado en la cuenca, por las unidades estratigráficas: Grupo Colqui y el Grupo Lima (Terciario Inferior a Medio) y, por los Volcánicos Millotingo y Huarochirí (INGEMMET, 1979, p.62).

- **Grupo Colqui**

INGEMMET (1979) refiere lo siguiente:

Volcánico-sedimentario con espesor aproximado de 2,00 m, conformado por bancos de tobas gris blanquecinas, en la parte inferior; seguido de una secuencia abigarrada conformada de lutitas, areniscas tobáceas, lodolitas, calizas y algunos mantos de yeso, en la sección media y; en la sección superior; predominio de derrames andesíticos, conglomerados y volcánicos intercalados con algunos sedimentos de estratos delgados. Las capas siguen rumbo de dirección andina, la topografía responde a las características litológicas: formas suaves en los sedimentos y agrestes en las partes donde afloran los volcánicos (p.62).

- **Grupo Rímac**

INGEMMET (1979) refiere lo siguiente:

Serie aproximadamente 1,000 m de espesor que subyace discordante al Grupo Colqui y que pasa al Valle del Chillón. Conformada basalmente por rocas piroclásticas de composición andesítica a riodacítica, tobas intercalaciones de areniscas tobáceas. En la parte media y superior, se intercalan areniscas y limolitas con tobas de colores claros. Esta unidad de tonalidad marrón violácea o gris verdosa, aflora al Este y Sureste de Lachaqui, mostrando un plegamiento suave con ejes de dirección NO-SE (p.62).

- **Volcánico Millotingo**

INGEMMET (1979) refiere lo siguiente:

Paquete de rocas piroplásticas de composición andesítica a riodacítica, con intercalaciones de tobas y flujos de brecha, que afloran en las partes altas coincidiendo con la divisoria de cuencas de los ríos Rímac y Chillón. Los buzamientos oscilan entre 15° y 20° generalmente de rumbo SE (p.62).

- **Volcánico Huarochirí**

INGEMMET (1979) refiere lo siguiente:

Conformado de tobas riolíticas y riodacíticas de colores blancos y rosados, pseudo-estratificados con areniscas tobáceas, aglomerados y tobas blanquecidas. Aflora en las inmediaciones de Huamantanga, sub horizontalmente sobre rocas intrusivas y estratos mesozoicos. La topografía es suave y la inclinación general sigue rumbo SO-NE (p.62).

#### **3.2.4.6. El Cuaternario**

En la cuenca del Chillón está representado por un conjunto de Depósitos: Glaciales, aluviales, Fluviales Marinos y Eólicos (INGEMMET, 1979, 62).

- **Los Depósitos Glaciales**

INGEMMET (1979) refiere lo siguiente:

Son extensas acumulaciones de morrenas asociadas con fluvio glaciales de pocas extensiones. Ocurren en ambas márgenes de la sección superior del río Chillón, depositadas a alturas superiores a los 4,000 m.s.n.m, se encuentran en las nacientes de las quebradas tributarias, en la forma de morrenas laterales o frontales, esta última con desarrollo de lagunas glaciales (p.62).

- **Depósitos Fluviales**

INGEMMET (1979) refiere lo siguiente:

Son acumulaciones aluvionales o depósitos originados por la acción de los huaycos y por los cursos fluviales en épocas de grandes avenidas. Se caracteriza por su heterogeneidad y desorden en la deposición; constituidos por bloques, rodados, gravas de naturaleza variada, con una matriz areno-limosa. El proceso de deglaciación del Pleistoceno otorgó a los ríos y quebradas un gran poder de erosión y transporte, por lo que se van a depositar grandes volúmenes de material en las partes bajas de la cordillera. Desde la localidad de Culhuay y, en ambos flancos del Valle del río Chillón se presentan gruesos depósitos de material aluvial que, en algunos casos como en las quebradas Moquegua y Huamrimayo, alcanzan 30 m. de espesor. En la parte baja de la cuenca, estos depósitos aluvionales forman las extensas planicies utilizadas para la agricultura (p.62).

- **Depósitos Marinos**

Representados por acumulaciones de arenas finas de color gris. El principal depósito se encuentra en el borde inferior de las Pampas de Ventanilla, dispuesto paralelo a la línea de playa y alcanza un ancho promedio de 2 km. (INGEMMET, 1979, 63).

- **Depósitos Eólicos**

INGEMMET (1979) refiere lo siguiente:

Compuestos por extensos depósitos de arena eólica de grano mediano y anguloso, de color amarillento. Se encuentran emplazados en la margen derecha del río Chillón, desde la Pampa de Huarangal hasta el borde del mar. El más potente se localiza en el área de la Pampilla, donde la arena cubre las cumbres de la mayoría de cerros circundantes (p.63).

### **3.2.5. Rocas Intrusivas**

INGEMMET (1979) refiere lo siguiente:

Las rocas intrusivas plutónicas comprenden unidades petrográficas con una composición que varía desde gabros hasta granitos, emplazados entre el Cretáceo superior y el terciario inferior, los intrusivos sub-volcánicos son de ocurrencia limitada. La mayoría de afloramientos rocosos plutónicos se encuentran en la parte media de la cuenca y su naturaleza va del rango básico hasta ácido. Los estudios han permitido diferenciar unidades y súper-unidades de extensión regional, limitadas al área del Batolito de la Costa, que en orden decreciente de edad y por el lugar de afloramiento responden a: Súper-unidad Patap, Complejo Paraísos, Súper-unidad Paccho, Súper-unidad Santa Rosa de Quives, Adamelita Amancaes (p.63).



### 3.2.6. Rasgos Estructurales

En términos generales se puede destacar que la mayor parte de la superficie de la cuenca presenta una deformación estructural que se evidencia en los sistemas de fallamientos y plegamientos resultantes de los diferentes (INGEMMET, 1979, 63).

- **Pliegues**

INGEMMET (1979) refiere lo siguiente:

Se presentan como anticlinales o sinclinales que disturbán los estratos de las formaciones Puente Piedra, Morro Solar, Pamplona, y a las formaciones Arahuay y las calizas Jumasha del sector oriental del área. Los más significativos son el anticlinal que aflora en el área de Puente Piedra y alcanza 15 Km., con un eje SE-NE; otro es el sinclinal que se encuentra al Oeste de Chocas Bajo, con buzamientos suaves entre 10° y 20°. Hacia los sectores medio y superior de la cuenca, las unidades estratigráficas se disponen a manera de un amplio homoclinal con buzamientos SE-NO. La sección superior de la cuenca se caracteriza por presentar una zona estructural con pliegues apretados, especialmente en las áreas de rocas sedimentarias poco competentes (p.63).

- **Fallas**

INGEMMET (1979) refiere lo siguiente:

Constituyen rasgos importantes en la cuenca, en la que se observan dos importantes sistemas de fallas desde la cabecera hasta el borde del mar. El más importante tiene sentido SE-NO; el segundo, tiene orientación SO-NE. Son fallas transversales al valle y algunas siguen la dirección de las quebradas afluentes al río Chillón. Existen otras fallas verticales próximas al borde del mar (p.63).

### **3.2.7. Geomorfología**

#### **3.2.7.1. Ubicación geomorfológica regional**

INGEMMET (1979) refiere lo siguiente:

Geomorfológicamente, la cuenca del río Chillón se encuentra en el borde occidental del continente Sudamericano configurado por la cordillera de Los Andes, la repisa continental, la plataforma continental submarina, el talud continental y la fosa abisal; que recorren longitudinalmente el territorio peruano, en la parte central se encuentra la cuenca del río Chillón, la que es el resultado de desgaste glacial, pluvial y fluvial; durante los procesos de glaciación y deglaciación que han ocurrido durante el período Cuaternario, instalando la escorrentía hídrica que ha dado lugar al río Chillón (p.64).

#### **Ver Mapa N°04: Geomorfología de la cuenca baja del río Chillón.**

El perfil geomorfológico que abarca el área de estudio consta de la cordillera costanera, repisa continental y los espolones montañosos, descritas a continuación:

- **La repisa Continental y Cordillera Costanera Callao-Carabaylo**

INGEMMET (1979) refiere lo siguiente:

Formada por planicies, terrazas y colinas; entre 0,0 y 700 m.s.n.m Muy favorables para la ocupación socioeconómica. Se encuentra la ciudad de Lima Metropolitana y la provincia constitucional del Callao, caracterizada por la aridez y temperaturas cálidas (p.65).

- **Los Espolones Montañosos**

Los Espolones Montañosos entre 300 y 3.800 m.s.n.m. de morfología muy irregular y abrupta, con fuertes pendientes, muy limitativo para la ocupación humana.

Caracterizados por su aridez y climas de cálidos a templados (INGEMMET, 1979, 65).

### 3.2.8. Climatología

#### 3.2.8.1. Estaciones Meteorológicas

Las estaciones meteorológicas se detallan en la siguiente tabla, las cuales pertenecen a la red de estaciones del SENAMHI.

Los parámetros y periodos utilizados para este estudio se muestran en la tabla 10.

**Tabla 10**  
**Datos de las Estación Meteorológica**

| Estación Meteorológica | Departamento /Provincia | Distrito    | Latitud      | Longitud     | Altitud m.s.n.m. |
|------------------------|-------------------------|-------------|--------------|--------------|------------------|
| Campo de Marte         | Lima/Lima               | Jesús María | 77°02'35.30" | 12°04'14.00" | 123              |
| Arahuay                | Lima/Canta              | Arahuay     | 76°42'00.00" | 11°37'00.00" | 2800             |
| Canta                  | Lima/Canta              | Canta       | 76°37'33.00" | 11°28'16.00" | 2810             |
| Lachaqui               | Lima/Canta              | Lachaqui    | 76°37'00.00" | 11°33'00.00" | 3668             |
| Pariacancha            | Lima/Canta              | Huaros      | 76°30'00.00" | 11°23'00.00" | 3800             |

**Fuente:** (Logistic Industry & Mining S.A., 2017).

#### 3.2.8.2. Temperatura

El área de estudio presenta temperaturas mínimas medias mensuales que varían entre 14.8°C en el mes de setiembre, y 20.9°C en el mes de febrero; las temperaturas mínimas medias mensuales que varían entre 14.8°C en el mes de setiembre, y 20.9°C en el mes de febrero; y temperaturas máximas medias mensuales que varían entre 17.5 °C en el mes de agosto, y 34.1 °C en el mes de marzo (Logistic Industry & Mining S.A., 2017). Ver tabla 11.

**Tabla 11**  
**Precipitación Total Media Mensual**

| Precipitación<br>Total | Precipitación Total Media Mensual (%) |             |             |      |      |      |      |             |             |      |      |      |
|------------------------|---------------------------------------|-------------|-------------|------|------|------|------|-------------|-------------|------|------|------|
|                        | Ene                                   | Feb         | Mar         | Abr  | May  | Jun  | Jul  | Ago         | Sep         | Oct  | Nov  | Dic  |
| Promedio               | 22.6                                  | 23.5        | <b>23.6</b> | 20.2 | 17.4 | 17.2 | 16.8 | <b>16.1</b> | 16.3        | 17.0 | 18.5 | 20.5 |
| Máxima                 | 25.2                                  | 26.4        | <b>34.1</b> | 24.8 | 21.5 | 18.7 | 18.1 | <b>17.5</b> | 17.9        | 19.1 | 20.6 | 22.9 |
| Mínima                 | 20.3                                  | <b>20.9</b> | 20.6        | 18.8 | 16.9 | 16.3 | 15.8 | 15.0        | <b>14.8</b> | 15.5 | 16.8 | 18.6 |

Fuente: (Logistic Industry & Mining S.A., 2017).

### 3.2.8.3. Precipitación

El área de estudio presenta precipitación total media mensual que varían entre 0.0 °C en el mes de abril y 1.9 °C en el mes de agosto; la precipitación total mínima media mensual que varía entre 0.0 °C en los meses de enero, febrero, abril, mayo, junio, julio, septiembre, octubre, noviembre y diciembre y 0.2 °C en el mes de agosto; y la precipitación total máxima media mensual que varía entre 0.6 °C en el mes de abril, y 7.9 °C en el mes de enero (Logistic Industry & Mining S.A., 2017). Ver tabla 12.

**Tabla 12**  
**Precipitación Total Media Mensual**

| Precipitación<br>Total | Precipitación Total Media Mensual (%) |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |
|------------------------|---------------------------------------|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|
|                        | Ene                                   | Feb | Mar | Abr | May | Jun | Jul | Ago | Sep | Oct | Nov | Dic |
| Promedio               | 0.5                                   | 0.3 | 0.2 | 0.0 | 0.2 | 1.1 | 1.6 | 1.9 | 1.6 | 0.7 | 0.6 | 0.4 |
| Máxima                 | 7.9                                   | 2.9 | 1.3 | 0.6 | 1.2 | 5.0 | 5.2 | 3.8 | 5.9 | 6.7 | 5.2 | 3.2 |
| Mínima                 | 0.0                                   | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.2 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 |

Fuente: (Logistic Industry & Mining S.A., 2017).

### 3.2.8.4. Humedad Relativa

El área de estudio presenta humedad relativa media mensual que varía entre 75.0% en el mes de marzo y 85.2% en el mes de agosto; la humedad relativa mínima mensual que varía entre 73.5% en el mes de febrero y 80.4% en el mes de agosto; y humedad relativa máxima mensual que varía entre 76.3% en el mes de marzo y 92.9% en el mes de noviembre. (Logistic Industry & Mining S.A., 2017). Ver tabla 13.

**Tabla 13*****Humedad Relativa Media Mensual***

| Humedad  | Humedad Relativa Media Mensual (%) |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |
|----------|------------------------------------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|
|          | Ene                                | Feb  | Mar  | Abr  | May  | Jun  | Jul  | Ago  | Sep  | Oct  | Nov  | Dic  |
| Promedio | 76.2                               | 76.4 | 75.0 | 76.5 | 76.0 | 84.7 | 82.9 | 85.2 | 84.6 | 82.5 | 80.7 | 80.3 |
| Máxima   | 79.9                               | 77.8 | 76.3 | 87.1 | 84.6 | 87.2 | 90.9 | 89.5 | 89.6 | 86.9 | 92.9 | 88.9 |
| Mínima   | 73.6                               | 73.5 | 74.2 | 70.5 | 58.0 | 79.3 | 75.1 | 80.4 | 80.1 | 70.7 | 76.9 | 75.0 |

**Fuente:** (Logistic Industry & Mining S.A., 2017).

**3.2.8.5. Vientos****- Velocidad del viento**

En la tabla 21 se puede apreciar que la velocidad media mensual varía entre 0.9 m/s en los meses de mayo y junio hasta los 1.4 m/s en los meses de noviembre y diciembre.

La mínima velocidad del viento alcanzando los 0.5 m/s en el mes de junio; respecto a la máxima, esta se produce en noviembre y alcanza el valor de 2.6 m/s (Logistic Industry & Mining S.A., 2017). Ver tabla 14.

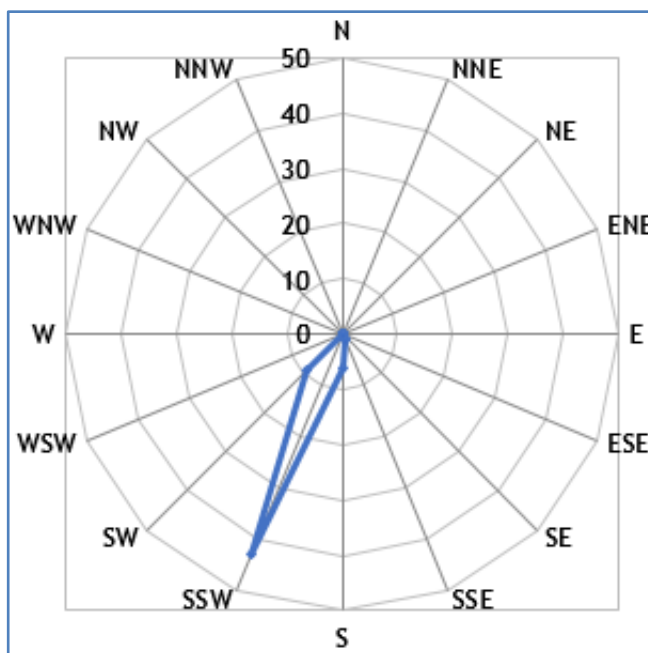
**Tabla 14*****Velocidad del Viento Media Mensual***

| Velocidad | Velocidad del Viento Media Mensual (m/s) |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |
|-----------|--|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|
|           | Ene                                      | Feb | Mar | Abr | May | Jun | Jul | Ago | Sep | Oct | Nov | Dic |
| Promedio  | 1.3                                      | 1.2 | 1.1 | 1.1 | 0.9 | 0.9 | 1.0 | 1.0 | 1.3 | 1.3 | 1.4 | 1.4 |
| Máxima    | 1.7                                      | 1.7 | 1.5 | 1.4 | 1.3 | 1.3 | 1.9 | 1.7 | 2.0 | 2.4 | 2.6 | 2.3 |
| Mínima    | 0.9                                      | 0.4 | 0.2 | 0.7 | 0.6 | 0.5 | 0.6 | 0.6 | 0.9 | 0.8 | 1.0 | 1.0 |

**Fuente:** (Logistic Industry & Mining S.A., 2017).

**- Dirección predominante del viento**

En figura 2 se observa que la dirección predominante del viento en el área de estudio es suroeste. (Logistic Industry & Mining S.A., 2017).



**Figura 2. Rosa de vientos del área de estudio**

**Fuente:** (Logistic Industry & Mining S.A., 2017).

### **3.2.9. Descripción Poblacional y Servicios Básicos.**

Los distritos que abarcan el área de estudio pertenecen a Lima Metropolitana y la provincia constitucional del Callao y son: Puente Piedra, Los Olivos, Carabaylo, San Martín de Porres, Comas, Callao y Ventanilla.

#### **3.2.9.1. Población**

##### **Tamaño de la Población**

El distrito de Comas para el 2017 cuenta con una población de 537,263 habitantes, en tanto que el distrito de Puente Piedra tiene 373,062 habitantes, el distrito de Los Olivos tiene 384,711 habitantes, el distrito de Carabaylo tiene 317,952 habitantes, el distrito de Comas tiene 537,263 habitantes, el distrito de San Martín de Porres tiene 729,974 habitantes, el distrito del Callao tiene 406,686 habitantes y el distrito de Ventanilla tiene 398,017 habitantes. En total en el área de estudio habitan 3, 684,928 habitantes. Ver tabla 15.

## Distribución espacial de la Población

La distribución territorial de la población comprendida en el área de estudio es totalmente urbana. En efecto, según el Compendio Estadístico de la Provincia de Lima y el Compendio Estadístico de la Provincia Constitucional del Callao, ambos del 2017, el 100.0% de la población de Comas, Puente Piedra, Carabayllo, Los Olivos y San Martín de Porres, Callao y Ventanilla, vive en áreas de residencia urbana. Ver tabla 15.

**Tabla 15**  
*Distribución Espacial de la Población*

| Distribución Espacial | Distritos     |            |            |                      |         |         |            |
|-----------------------|---------------|------------|------------|----------------------|---------|---------|------------|
|                       | Puente Piedra | Los Olivos | Carabayllo | San Martín de Porres | Comas   | Callao  | Ventanilla |
| Población Total       | 373,062       | 384,711    | 317,952    | 729,974              | 537,263 | 406,686 | 398,017    |
| Población Urbana (%)  | 100           | 100        | 100        | 100                  | 100     | 100     | 100        |
| Población Rural (%)   | 0             | 0          | 0          | 0                    | 0       | 0       | 0          |

Fuente: (Instituto Nacional de Estadística e Informática, 2017).

### 3.2.9.2. Vivienda

#### Tipo de viviendas

En el distrito de Comas existen un total de 97,655 viviendas, en el distrito de Puente Piedra existen 55,884 viviendas, en el distrito de Los Olivos existen 76,535 viviendas, en el distrito de Carabayllo existen 53,560 viviendas, en el distrito de San Martín de Porres existen 130,007 viviendas, en el distrito de Comas existen 97,655 viviendas, en el distrito de Callao existen 68,043 viviendas y en el distrito de Ventanilla existen 22,739 viviendas. Ver tabla 16.

**Tabla 16**  
**Tipo de Viviendas**

| Tipo de Vivienda     | Distritos     |              |              |                      |              |              |              |  |
|----------------------|---------------|--------------|--------------|----------------------|--------------|--------------|--------------|--|
|                      | Puente Piedra | Los Olivos   | Carabayllo   | San Martín de Porres | Comas        | Callao       | Ventanilla   |  |
| Casa Independiente   | 51040         | 64034        | 50247        | 109457               | 90566        | 47109        | 11877        |  |
| Departamento         | 323           | 10234        | 966          | 16231                | 4709         | 7267         | 55           |  |
| Vivienda en quint    | 346           | 449          | 225          | 1860                 | 585          | 3057         | 3            |  |
| Vivienda en casa     | 548           | 563          | 196          | 1366                 | 615          | 5735         | 128          |  |
| Chozabañal           | -             | -            | 237          | -                    | -            | 4159         | 10551        |  |
| Vivienda improvisada | 3457          | 172          | 1518         | 836                  | 979          | 2            | 15           |  |
| Local no destinado   | 138           | 142          | 55           | 251                  | 179          | 697          | 97           |  |
| Otro tipo            | 32            | 941          | 116          | 6                    | 22           | 17           | 13           |  |
| <b>Total</b>         | <b>55884</b>  | <b>76535</b> | <b>53560</b> | <b>130007</b>        | <b>97655</b> | <b>68043</b> | <b>22739</b> |  |

Fuente: (Instituto Nacional de Estadística e Informática, 2007).

### Energía

Según el XI Censo de Población y VI de Vivienda efectuado el año 2007, el 65.4% de las viviendas del distrito de Comas cuenta con alumbrado eléctrico y el 34.6% de las viviendas no cuenta con ese servicio; el 98.8% de las viviendas del distrito de Puente Piedra cuenta con alumbrado eléctrico y el 1.2% de las viviendas no cuenta con ese servicio; el 98.9% de las viviendas del distrito de Los Olivos cuenta con alumbrado eléctrico y el 1.1% de las viviendas no cuenta con ese servicio; el 97.8% de las viviendas del distrito de Carabayllo cuenta con alumbrado eléctrico y el 2.2% de las viviendas no cuenta con ese servicio; el 90.4% de las viviendas del distrito de San Martín de Porres



cuenta con alumbrado eléctrico y el 9.6% de las viviendas no cuenta con ese servicio; el 98.2% de las viviendas del distrito de Callao cuenta con alumbrado eléctrico y el 1.8% de las viviendas no cuenta con ese servicio; y el 56.3% de las viviendas del distrito de Ventanilla cuenta con alumbrado eléctrico y el 43.7% de las viviendas no cuenta con ese servicio. Ver tabla 17.

**Tabla 17**  
***Viviendas con Alumbrado Eléctrico***

| <b>Distritos</b>     | <b>Si tiene alumbrado eléctrico</b> | <b>No tiene alumbrado eléctrico</b> | <b>Total</b> |
|----------------------|-------------------------------------|-------------------------------------|--------------|
| Puente Piedra        | 98.8%                               | 1.2%                                | 100%         |
| Los Olivos           | 98.9%                               | 1.1%                                | 100%         |
| Carabaylo            | 97.8%                               | 2.2%                                | 100%         |
| San Martín de Porres | 90.4%                               | 9.6%                                | 100%         |
| Comas                | 65.4%                               | 34.6%                               | 100%         |
| Callao               | 98.2%                               | 1.8%                                | 100%         |
| Ventanilla           | 56.3%                               | 43.7%                               | 100%         |

**Fuente:** (Instituto Nacional de Estadística e Informática, 2007).

### **3.2.9.3. Agua y Saneamiento**

#### **Agua potable**

Según el INEI, el 62.9% de las viviendas del distrito de Comas cuenta con el servicio de agua de red pública dentro de sus viviendas, el 5.9% se abastece de red pública fuera de la vivienda, el 5.7% se abastece de pilón de uso público y otro 18.8% se abastece de camión cisterna; el 87% de las viviendas del distrito de Puente Piedra cuenta con el servicio de agua de red pública dentro de sus viviendas, el 10.8% se abastece de red pública fuera de la vivienda, el 1.7% se abastece de pilón de uso público y otro 0.3 % se abastece de algún vecino; el 74.2% de las viviendas del distrito de Los Olivos cuenta con el servicio de agua de red pública dentro de sus viviendas, el 17.3% se abastece de red pública fuera de la vivienda, el 6.2% se

abastece de pilón de uso público y otro 1.2% se abastece de algún vecino; el 81.7% de las viviendas del distrito de Carabayllo cuenta con el servicio de agua de red pública dentro de sus viviendas, el 15.6% se abastece de red pública fuera de la vivienda, el 1.6% se abastece de pilón de uso público y otro 0.9% se abastece de algún vecino; el 76.0% de las viviendas del distrito de San Martín de Porres cuenta con el servicio de agua de red pública dentro de sus viviendas, el 7.2% se abastece de red pública fuera de la vivienda, el 8.8% se abastece de pilón de uso público y otro 5.6% se abastece de camión cisterna; el 90.7% de las viviendas del distrito de Callao cuenta con el servicio de agua de red pública dentro de sus viviendas, el 7.1% se abastece de red pública fuera de la vivienda, el 1.1% se abastece de pilón de uso público y otro 0.5% se abastece de pozos; y el 28.3% de las viviendas del distrito de Ventanilla cuenta con el servicio de agua de red pública dentro de sus viviendas, el 1.4% se abastece de red pública fuera de la vivienda, el 24.9% se abastece de pilón de uso público y otro 40.8% se abastece de camión cisterna. Ver tabla 18.

**Tabla 18**  
***Abastecimiento de Agua en las Viviendas***

| <b>Distritos</b> | <b>Red Pub. Dentro de la Viv.</b> | <b>Red Pub. Fuera Viv. Dentro del Edific.</b> | <b>Pilón uso Público</b> | <b>Pozo</b> | <b>Camión Cisterna u Otro</b> | <b>Río, Acequia, Manant.</b> | <b>Otros</b> |
|------------------|-----------------------------------|---|--------------------------|-------------|-------------------------------|------------------------------|--------------|
| Puente Piedra    | 87%                               | 10.8%   | 1.7%                     | 0.2%        | 0.2%                          | 0.0%                         | 0.3%         |
| Los Olivos       | 74.2%                             | 17.3%   | 6.2%                     | 0.5%        | 0.5%                          | 0.0%                         | 1.2%         |
| Carabayllo       | 81.7%                             | 15.6%   | 1.6%                     | 0.1%        | 0.1%                          | 0.0%                         | 0.9%         |

| Districtos           | Red Pub. Dentro de la Viv. | Red Pub. Fuera Viv. Dentro del Edific. | Pilón uso Público | Pozo | Camión Cisterna u Otro | Río, Acequia, Manant. | Otros |
|----------------------|----------------------------|--|-------------------|------|------------------------|-----------------------|-------|
| San Martín de Porres | 76%                        | 7.2%                                   | 8.8%              | 1.5% | 5.6%                   | 0.2%                  | 0.7%  |
| Comas                | 62.9%                      | 5.9%                                   | 5.7%              | 5.5% | 18.8%                  | 0.2%                  | 1%    |
| Callao               | 90.7%                      | 7.1%                                   | 1.1%              | 0.5% | 0.2%                   | 0.0%                  | 0.3%  |
| Ventanilla           | 28.3%                      | 1.4%                                   | 24.9%             | 3.3% | 40.8%                  | 0.4%                  | 0.9%  |

**Fuente:** (Instituto Nacional de Estadística e Informática, 2007).

### **Alcantarillado**

Respecto al alcantarillado, el 50.5% de las viviendas del distrito de Comas tiene el servicio higiénico conectado a la red pública dentro de la vivienda, el 4.3% tiene el baño de red pública fuera de la vivienda, el 35.1% tiene pozo séptico y el 9.6% no tiene servicio higiénico; el 56.9% de las viviendas del distrito de Puente Piedra tiene el servicio higiénico conectado a la red pública dentro de la vivienda, el 9.8% tiene el baño de red pública fuera de la vivienda, el 4.1% tiene pozo séptico y el 29.2% no tiene servicio higiénico; el 72.9% de las viviendas del distrito de Los Olivos tiene el servicio higiénico conectado a la red pública dentro de la vivienda, el 18.5% tiene el baño de red pública fuera de la vivienda, el 1.5% tiene pozo séptico y el 7.0% no tiene servicio higiénico; el 80.4% de las viviendas del distrito de Carabaylo tiene el servicio higiénico conectado a la red pública dentro de la vivienda, el 16.8% tiene el

baño de red pública fuera de la vivienda, el 0.8% tiene pozo séptico y el 1.9% no tiene servicio higiénico; el 86.5% de las viviendas del distrito de San Martín de Porres tiene el servicio higiénico conectado a la red pública dentro de la vivienda, el 9.9% tiene el baño de red pública fuera de la vivienda, el 1.2% tiene pozo séptico y el 2.5% no tiene servicio higiénico; el 91.7% de las viviendas del distrito de Callao tiene el servicio higiénico conectado a la red pública dentro de la vivienda, el 5.7% tiene el baño de red pública fuera de la vivienda, el 1.3% tiene pozo séptico y el 1.2% no tiene servicio higiénico; el 25.4% de las viviendas del distrito de Ventanilla tiene el servicio higiénico conectado a la red pública dentro de la vivienda, el 0.5% tiene el baño de red pública fuera de la vivienda, el 42.3% tiene pozo séptico y el 30.9% no tiene servicio higiénico. Ver tabla 19.

**Tabla 19**  
***Alcantarillado en las Viviendas***

| Distritos            | Servicio Higiénico conectado a:   |  |                    |                       | Sin Servicio Higiénico |
|----------------------|-----------------------------------|--|--------------------|-----------------------|------------------------|
|                      | Red Pública dentro de la Vivienda | Red Pública fuera Viv. Dentro del Edificio | Pozo Negro o Ciego | Sobre Acequia o Canal |                        |
| Puente Piedra        | 56.9                              | 9.8  | 4.1                | -                     | 29.2                   |
| Los Olivos           | 72.9                              | 18.5                                       | 1.5                | 0.1                   | 7.0                    |
| Carabayllo           | 80.4                              | 16.8                                       | 0.8                | 0.1                   | 1.9                    |
| San Martín de Porres | 86.5                              | 9.9  | 1.2                | -                     | 2.5                    |
| Comas                | 50.5                              | 4.3  | 35.1               | 0.6                   | 9.6                    |

| Distritos  | Servicio Higiénico conectado a:   |  |                    |                       | Sin Servicio Higiénico |
|------------|-----------------------------------|--|--------------------|-----------------------|------------------------|
|            | Red Pública dentro de la Vivienda | Red Pública fuera Viv. Dentro del Edificio | Pozo Negro o Ciego | Sobre Acequia o Canal |                        |
| Callao     | 91.7                              | 5.7  | 1.3                | 0.1                   | 1.2                    |
| Ventanilla | 25.4                              | 0.5  | 42.3               | 0.9                   | 30.9                   |

**Fuente:** (Instituto Nacional de Estadística e Informática, 2007).

#### 3.2.9.4. Residuos Sólidos

Respecto a la generación de Residuos Sólidos en el año 2012, en el distrito de Puente Piedra hay una generación per cápita 0.6 (Kg/hab/día), en el distrito de Los Olivos hay una generación per cápita 0.7 (Kg/hab/día), en el distrito de Carabayllo hay una generación per cápita 0.8 (Kg/hab/día), en el distrito de San Martín de Porres hay una generación per cápita 0.7 (Kg/hab/día), en el distrito de Comas hay una generación per cápita 0.6 (Kg/hab/día), en el distrito de Callao hay una generación per cápita 0.7 (Kg/hab/día), en el distrito de Ventanilla hay una generación per cápita 0.6 (Kg/hab/día). Ver tabla 20.

Respecto a la generación de Residuos Sólidos en el año 2013, en el distrito de Puente Piedra hay una generación per cápita 0.6 (Kg/hab/día), en el distrito de Los Olivos hay una generación per cápita 0.8 (Kg/hab/día), en el distrito de Carabayllo hay una generación per cápita 0.8 (Kg/hab/día), en el distrito de San Martín de Porres hay una generación per cápita 0.7 (Kg/hab/día), en el distrito de Comas hay una generación per cápita 0.8 (Kg/hab/día), en el distrito de Callao hay una generación per cápita 0.7 (Kg/hab/día), en el distrito de Ventanilla hay una generación per cápita 0.6 (Kg/hab/día). Ver tabla 21.

Respecto a la generación de Residuos Sólidos en el año 2014, en el distrito de Puente Piedra hay una generación per cápita 0.5 (Kg/hab/día), en el distrito de Los Olivos hay una generación per cápita 0.8 (Kg/hab/día), en el distrito de Carabayllo hay una generación per cápita 0.8 (Kg/hab/día), en el distrito de San Martín de Porres hay una generación per cápita 0.7 (Kg/hab/día), en el distrito de Comas hay una generación per cápita 0.8 (Kg/hab/día), en el distrito de Callao hay una generación per cápita 0.7 (Kg/hab/día), en el distrito de Ventanilla hay una generación per cápita 0.6 (Kg/hab/día). Ver tabla 22.

**Tabla 20**  
**Generación de Residuos Sólidos - 2012**

| Distrito                   | 2012                                  |                              |                                    |
|----------------------------|---------------------------------------|------------------------------|------------------------------------|
|                            | Generación per cápita<br>(Kg/hab/día) | Generación<br>(Tonelada/día) | Generación anual<br>(Tonelada/año) |
| Puente<br>Piedra           | 0.6                                   | 162.8                        | 59426                              |
| Los<br>Olivos              | 0.7                                   | 242.9                        | 88647                              |
| Carabayllo                 | 0.8                                   | 213.8                        | 78023                              |
| San<br>Martín de<br>Porres | 0.7                                   | 433.0                        | 158066                             |
| Comas                      | 0.6                                   | 419.5                        | 153123                             |
| Callao*                    | 0.7                                   | 325.5                        | 118805.5                           |

| Distrito    | 2012                                  |                              |                                    |
|-------------|---------------------------------------|------------------------------|------------------------------------|
|             | Generación per cápita<br>(Kg/hab/día) | Generación<br>(Tonelada/día) | Generación anual<br>(Tonelada/año) |
| Ventanilla* | 0.6                                   | -                            | --                                 |

**Fuente:** (Instituto Nacional de Estadística e Informática, 2017).

**Tabla 21**  
**Generación de Residuos Sólidos - 2013**

| Distrito                   | 2013                                  |                              |                                    |
|----------------------------|---------------------------------------|------------------------------|------------------------------------|
|                            | Generación per cápita<br>(Kg/hab/día) | Generación<br>(Tonelada/día) | Generación anual<br>(Tonelada/año) |
| Puente<br>Piedra           | 0.6                                   | 172.7                        | 63044                              |
| Los<br>Olivos              | 0.8                                   | 277.4                        | 101255                             |
| Carabayllo                 | 0.8                                   | 224.8                        | 82060                              |
| San<br>Martín de<br>Porres | 0.7                                   | 430.0                        | 156950                             |
| Comas                      | 0.8                                   | 425.9                        | 155444                             |
| Callao*                    | 0.7                                   | 362.8                        | 118444.9                           |
| Ventanilla*                | 0.6                                   | -                            | -                                  |

**Fuente:** (Instituto Nacional de Estadística e Informática, 2017).

**Tabla 22**  
**Generación de Residuos Sólidos - 2014**

| Distrito             | 2014                                  |                              |                                    |
|----------------------|---------------------------------------|------------------------------|------------------------------------|
|                      | Generación per cápita<br>(Kg/hab/día) | Generación<br>(Tonelada/día) | Generación anual<br>(Tonelada/año) |
| Puente Piedra        | 0.5                                   | 162.4                        | 59276                              |
| Los Olivos           | 0.8                                   | 284.2                        | 103730                             |
| Carabayllo           | 0.8                                   | 236.4                        | 86284                              |
| San Martín de Porres | 0.7                                   | 443.2                        | 161773                             |
| Comas                | 0.8                                   | 432.2                        | 157763                             |
| Callao*              | 0.7                                   | 392.5                        | 143266.0                           |
| Ventanilla*          | 0.6                                   | -                            | -                                  |

**Fuente:** (Instituto Nacional de Estadística e Informática, 2017).

### 3.2.9.5. Salud

Según la cantidad de establecimiento de salud, el distrito de Comas cuenta con 261 establecimientos de salud, el distrito de Carabayllo cuenta con 65 establecimientos de salud, el distrito de Los Olivos cuenta con 539 establecimientos de salud, en el distrito de Puente Piedra cuenta con 190 establecimientos de salud y en el distrito de San Martín de Porres cuenta con 366 establecimientos de salud. Ver tabla 23.



**Tabla 23*****Establecimientos de Salud por Categoría – Lima Metropolitana***

| Categoría del Establecimiento | Distritos del Área de Estudio<br>Lima Metropolitana |            |            |               |                      |
|-------------------------------|---|------------|------------|---------------|----------------------|
|                               | Comas   | Carabayllo | Los Olivos | Puente Piedra | San Martín de Porres |
| <b>I-1</b>                    | 79  | 13         | 207        | 50            | 143                  |
| <b>I-2</b>                    | 38  | 20         | 82         | 31            | 82                   |
| <b>I-3</b>                    | 45  | 12         | 46         | 20            | 38                   |
| <b>I-4</b>                    | 4   | 1          | 1          | 3             | -                    |
| <b>II-1</b>                   | 3   | -          | 2          | 1             | 2                    |
| <b>II-2</b>                   | -   | -          | -          | 1             | -                    |
| <b>II-E</b>                   | -   | -          | 6          | -             | -                    |
| <b>III-1</b>                  | 1   | -          | -          | -             | 1                    |
| <b>III-2</b>                  | -   | -          | -          | -             | 1                    |
| <b>III-E</b>                  | -   | -          | -          | -             | -                    |
| <b>Sin Categoría</b>          | 91  | 19         | 195        | 84            | 99                   |
| <b>Total</b>                  | 261   | <b>65</b>  | <b>539</b> | <b>190</b>    | <b>366</b>           |

Fuente: (Instituto Nacional de Estadística e Informática, 2007).

Según la cantidad de establecimientos de salud, en el distrito de Callao cuenta con 298 establecimientos de salud y el distrito de Ventanilla cuenta con 164 establecimientos de salud. Ver tabla 24.

**Tabla 24*****Establecimientos de Salud por Categoría – Provincia Constitucional del Callao***

| Categoría del Establecimiento | Distritos del Área de Estudio<br>Provincia Constitucional del Callao |            |
|-------------------------------|--|------------|
|                               | Callao   | Ventanilla |
| <b>I-1</b>                    | 95   | 58         |
| <b>I-2</b>                    | 73   | 38         |
| <b>I-3</b>                    | 22   | 16         |
| <b>I-4</b>                    | 5  | 2          |
| <b>II-1</b>                   | -  | 1          |
| <b>II-2</b>                   | 2  | -          |
| <b>II-E</b>                   | 1  | 1          |
| <b>III-1</b>                  | -  | -          |
| <b>Sin Categoría</b>          | 100  | 48         |
| <b>Total</b>                  | 298  | 164        |

Fuente: (Instituto Nacional de Estadística e Informática, 2007).

### 3.2.9.6. Educación

A nivel educativo en el distrito de Comas se conoce que un 12.1 % del nivel primaria, con 42.4% del nivel secundario y un 19.4% del nivel superior universitaria; en el distrito de Carabayllo cuenta con 16.2 % del nivel primaria, con 51.5% del nivel secundario y un 12.7% del nivel superior universitaria; en el distrito de Los Olivos cuenta con 10.8 % del nivel primaria, con 43.1% del nivel secundario y un 23.9% del nivel superior universitaria; en el distrito de Puente Piedra cuenta con 15.2 % del nivel primaria, con 47.3% del nivel secundario y un 12.8% del nivel superior universitaria; distrito de San Martín de Porres cuenta con 9.8 % del nivel primaria, con 38.5% del nivel secundario y un 24.6% del nivel superior universitaria; en el distrito de Callao cuenta con 11.3 % del nivel primaria, con 42.9% del nivel secundario y un 18.7% del nivel superior universitaria; y en el distrito de Ventanilla cuenta con 13.9% del nivel primaria, con 48.6% del nivel secundario y un 12.0% del nivel superior universitaria. Ver tabla 25.

**Tabla 25**  
**Nivel de Educación en el Área de Estudio**

| Distrito          | Nivel de Educación |         |          |            |                           |                        |
|-------------------|--------------------|---------|----------|------------|---------------------------|------------------------|
|                   | A lo más primaria  |         |          | Secundaria | Superior                  |                        |
|                   | Sin Nivel          | Inicial | Primaria |            | Superior no Universitaria | Superior Universitaria |
| <b>Carabayllo</b> | 2.8 %              | 0.1 %   | 16.2 %   | 51.5 %     | 16.7 %                    | 12.7 %                 |
| <b>Comas</b>      | 2.9 %              | 0.1 %   | 12.1 %   | 42.4 %     | 23.1 %                    | 19.4 %                 |

| Distrito             | Nivel de Educación |         |          |            |                              |                           |
|----------------------|--------------------|---------|----------|------------|------------------------------|---------------------------|
|                      | A lo más primaria  |         |          | Secundaria | Superior                     |                           |
|                      | Sin Nivel          | Inicial | Primaria |            | Superior no<br>Universitaria | Superior<br>Universitaria |
| Los Olivos           | 1.4 %              | 0.1 %   | 10.8 %   | 43.1 %     | 20.7 %                       | 23.9 %                    |
| Puente Piedra        | 4.2 %              | 0.1 %   | 15.2 %   | 47.3 %     | 20.4 %                       | 12.8 %                    |
| San Martín de Porres | 1.9 %              | 0.1 %   | 9.8 %    | 38.5 %     | 25.1 %                       | 24.6 %                    |
| Callao (*)           | 2.4 %              | 0.1 %   | 11.3 %   | 42.9 %     | 24.4 %                       | 18.7 %                    |
| Ventanilla (*)       | 3.1 %              | 0.2 %   | 13.9 %   | 48.6 %     | 22.2 %                       | 12.0 %                    |

Fuente: (Instituto Nacional de Estadística e Informática, 2017).

### 3.3. Variables

En el tabla 26, se detallan la variable independiente y variable dependiente de la presente investigación.

**Tabla 26**  
*Resumen de Variables*

| Variables   | Definición Conceptual   | Definición Operacional  | Indicadores   |
|---|---|---|---|
| <b>Variable Independiente</b>   |   |   |   |
| Elementos metálicos, físicos-químicos y microbiológicos con mayor impacto en la calidad ambiental del agua del río Chillón. | Los elementos metálicos, físico-químicos y microbiológicos, son características que determinan la calidad | Los elementos metálicos, físico-químicos y microbiológicos con mayor impacto serán deducidos por la | Número de elementos metálicos, físicos-químicos y microbiológicos (unidad). |

| Variables                                   | Definición Conceptual  | Definición Operacional   | Indicadores  |
|---|--|--|--|
|   | ambiental del agua para su uso posterior.  | aplicación de la minería de datos.   |  |
| Variable Dependiente                        |  |  |  |
| Calidad ambiental del agua del río Chillón. | La calidad ambiental del agua se determina en la concentración de los elementos metálicos, físicos-químicos y microbiológicos, respecto a lo establecido en los Estándares de Calidad Ambiental. | Se determina mediante el monitoreo ambiental, siguiendo el protocolo nacional de monitoreo de la calidad ambiental del agua. | Concentración de elementos metálicos, según los ECA en mg/L.<br>Concentración de elementos microbiológicos, según los ECA en NMP/100 ML.<br>Valores de elementos físico-químicos, según los ECA en mg/L. |

**Nota: ECA:** Estándares de Calidad Ambiental. Elaboración propia.

### 3.4. Población y muestra

Previo a la delimitación de la zona de estudio, se realizó un reconocimiento del lugar el día 20 de mayo del 2017. Como primer alcance, se tuvo un conocimiento *a priori* de las condiciones del lugar, así como de la ubicación de las estaciones de muestreo de la calidad ambiental del agua de la Autoridad Nacional del Agua (ANA) en la cuenca baja del río Chillón.

Posteriormente, se llevó a cabo una revisión de los resultados de los monitoreos realizados en la cuenca baja del río Chillón, entre los años 2012 – 2016, siendo 9 estaciones de muestreo las evaluadas en la cuenca baja del río Chillón, por la Autoridad Nacional del Agua (ANA), sin embargo, según la representatividad de los resultados respecto a las características físicas del lugar y la cantidad de datos para procesar, se considerarán 6 estaciones de muestreo para este estudio.

Es así, que el presente estudio realizado, se estableció como parte de un muestreo tipo preferencial, donde las estaciones de muestreo fueron seleccionadas a criterio del investigador.

Al respecto, el estudio contempló 6 estaciones de muestreo, como se observa en la figura 3, la ubicación de las estaciones se observa en el **Mapa N°2: Estaciones de Monitoreo de Agua Superficial de la Cuenca Baja del Río Chillón.**



**Figura 3. Ubicación de los seis (06) puntos de monitoreo de calidad de agua. Se muestran los códigos de cada punto.**

Fuente: Google Earth.

### 3.5. Instrumentos

#### Materiales

La información cartográfica que se ha utilizado es la Carta Nacional de Lima (25i), a escala 1:100 000 elaborada por el Instituto Geográfico Nacional (IGN) del año 1998 y Shape files para la elaboración de los mapas brindados por del Ministerio del Ambiente y Autoridad Nacional del Agua.

#### Equipos

En la tabla 27 se detallan los equipos usados en la presente investigación.

**Tabla 27**  
**Equipos para la investigación**

| Descripción                                       | Uso  |
|---|--|
| Cámara digital (Canon Power Shot SX170 IS 16 MP). | Registro fotográfico.                              |
| GPS (Garmin - Etrex Legend).                      | Localización y orientación de unidades muestrales. |

**Fuente:** Elaboración propia.

## **Instrumentos**

En la tabla 28 se detallan los instrumentos usados en la presente investigación.

**Tabla 28**  
**Instrumentos para la investigación**

| Descripción               | Uso                                       |
|---------------------------|---|
| Software libre RapidMiner | Procesamiento de datos (minería de datos) |
| Software ArcGIS 10.1.     | Elaboración de mapas.                     |

**Fuente:** Elaboración propia.

## **3.6. Procedimientos**

### **3.6.1. Trabajo de campo**

#### **Elección de las estaciones de monitoreo de calidad de agua**

Como ya se mencionó anteriormente, para el desarrollo del estudio se consideró seis estaciones de muestreo de calidad de agua. Los criterios tomados en cuenta, fueron en base a la identificación de fuentes contaminantes y actividades económicas, realizadas por la Autoridad Nacional del Agua (ANA) en los Informes Técnicos de Resultados de los Monitoreos Participativos desde el 2012 al 2016; además de seguir el Protocolo Nacional para el Monitoreo de la Calidad de los Recursos Hídricos Superficiales, aprobado con Resolución Jefatural N°010-2016-ANA, de la Autoridad Nacional del Agua (ANA). Las estaciones de monitoreo corresponden a la cuenca baja del río Chillón y presentan determinadas características, que a continuación serán descritas en la tabla 29, figura 2-7.

**Tabla 29****Ubicación de los puntos de monitoreo de calidad de agua.**

| Código | Coordenadas |         | Altura<br>(m.s.n.m.) | Descripción  |
|--------|-------------|---------|----------------------|--|
|        | UTM – WGS84 |         |                      |  |
|        | Este        | Norte   |                      |  |
| PMA-01 | 267151      | 8679309 | 13                   | Desembocadura del río Chillón a la playa Márquez. Ver Figura N°4.  |
| PMA-02 | 268263      | 8679387 | 24                   | Río Chillón 700m., aproximadamente aguas arriba del puente Márquez. Ver Figura N°5.  |
| PMA-03 | 273475      | 8680227 | 109                  | Río Chillón aproximadamente 100 m., aguas arriba de la comisión de regantes Chuquitanta. Ver Figura N°6.                             |
| PMA-04 | 274138      | 8681693 | 121                  | Río Chillón, Puente Chillón – Puente Chillón.  |
| PMA-05 | 274544      | 8682573 | 135                  | Río Chillón, puente peatonal aguas arriba de la intersección con la Av. Panamericana Norte. Ver Figura N°7.                          |
| PMA-06 | 278536      | 8687258 | 237                  | Río Chillón, aproximadamente 300 m. aguas abajo del botadero de residuos sólidos de construcción – Sector Chaperito. Ver Figura N°8. |

**Fuente:** Adaptado de los monitoreos participativos del periodo 2012-2016 de la Autoridad Nacional del Agua - ANA.



**Figura 4.** Estación PMA – 01. (A) Vista del Asentamiento Humano Márquez. (B) y (C) Desembocadura del río Chillón al Océano Pacífico, se observa la acumulación de desmontes, así como restos de residuos sólidos arrastrados por el río hasta la desembocadura.

Fuente: Fotografía de Yeselin Diaz Toribio (Lima, 2017).





**Figura 5.** Estación PMA – 02. (A) En dirección de Oeste a Este, encontrándose el distrito de San Martín de Porres por la margen derecha y el distrito de Ventanilla por la margen izquierda. (B) En dirección de Este a Oeste, antes de cruzar la Avenida Néstor Gambeta. (C) Se observa residuos sólidos que fueron arrojados al río probablemente por la población aledaña o terceros.

Fuente: Fotografía de Yeselin Díaz Toribio (Lima, 2017).



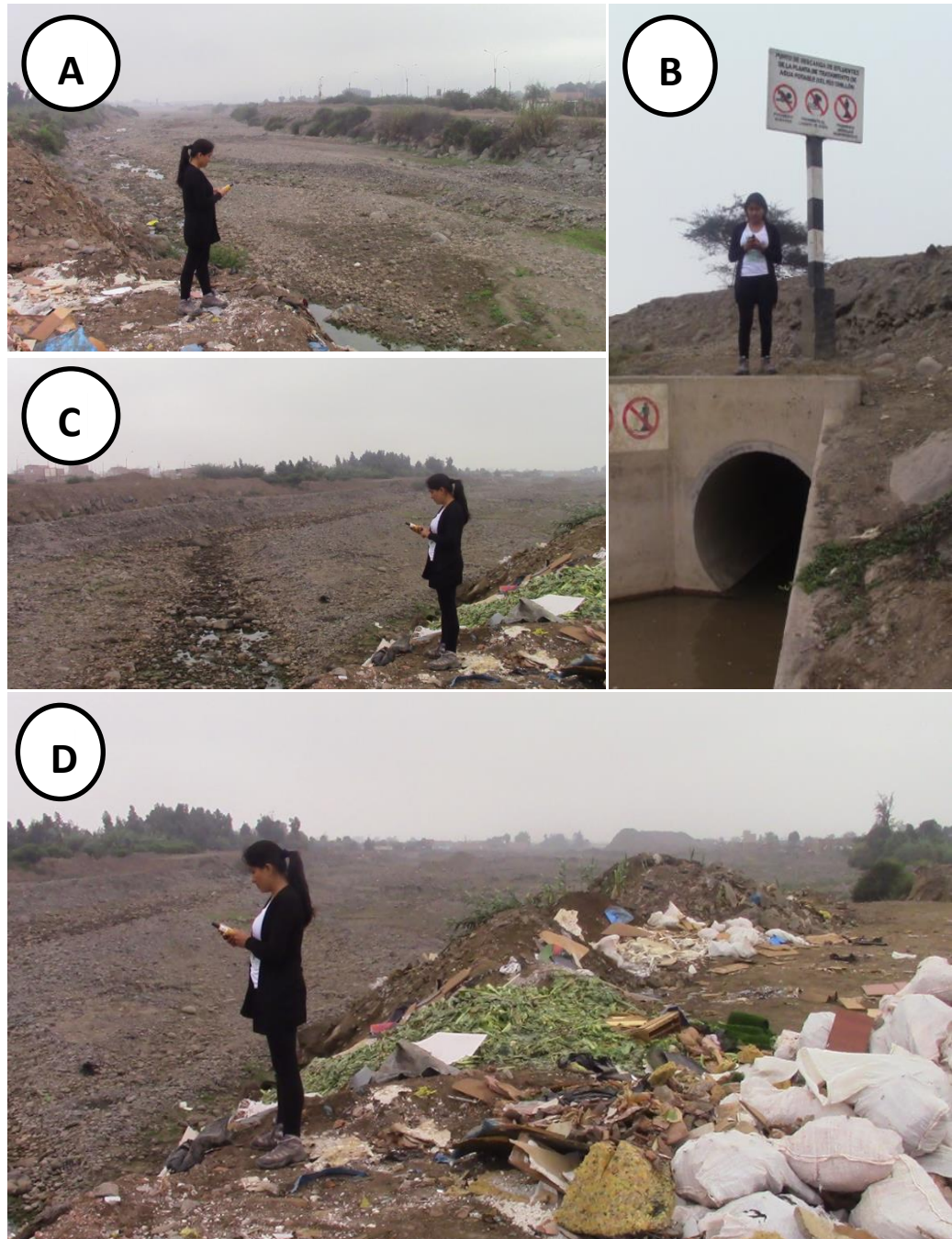
**Figura 6.** Estación PMA – 03. (A) En dirección de Este a Oeste, encontrándose el distrito Puente Piedra por la margen derecha y los distritos de San Martín de Porres y Los Olivos por la margen izquierda, antes de llegar al Parque Porcino. (B) En dirección de Oeste a Este, se observa el puente peatonal Nueva Esperanza. (C) Se observa que el río se desarrolla sobre un lecho tendido discurriendo en su curso natural; además se observó residuos sólidos domésticos dispersos.

Fuente: Fotografía de Yeselin Díaz Toribio (Lima, 2017).



**Figura 7. Estación PMA – 04. (A) En dirección de Oeste a Este, cruzando la Panamericana Norte, se observa una tubería que vierte sus aguas residuales al río Chillón. (B) Se observa desmontes, residuos de construcción y una tubería que vierte las aguas residuales domiciliarias de las viviendas que se encuentran en la ribera del río Chillón. (C), (D) y (E) En las figuras se observan residuos sólidos domiciliarios que fueron arrojados posiblemente por las poblaciones aledañas o terceros; además de restos de la quema de residuos sólidos.**

**Fuente:** Fotografía de Yeselin Diaz Toribio (Lima, 2017).



**Figura 8.** Estación PMA – 06. (A) En dirección de Este a Oeste, se observa que no hay presencia de agua por ser época de estiaje. (B) Punto de Descarga de Efluentes de la Planta de Tratamiento de Agua Potable del río Chillón. (C) En dirección de Oeste a Este, se observa que no hay presencia de agua por ser época de estiaje. (D) Se observan residuos sólidos provenientes de los comercios de las poblaciones aledañas.

Fuente: Fotografía de Yeselin Diaz Toribio (Lima, 2017).



**Figura 9. Ubicación de los seis (06) puntos de monitoreo de calidad de agua. Se muestran los códigos de cada punto.**

**Fuente:** Elaboración propia a partir de la imagen satelital de Google Earth.

### **Obtención de datos para el análisis de la calidad ambiental del agua**

Los datos para el análisis de la calidad ambiental del agua se obtuvieron de la Dirección de Gestión de Calidad de Recursos Hídricos de la Autoridad Nacional del Agua (ANA).

Para el análisis de las concentraciones de los parámetros físico-químicos: Potencial de Hidrógeno (pH), Oxígeno disuelto (OD) y Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO); parámetros inorgánicos: Arsénico, Cadmio, Cobre, Cromo, Hierro, Manganeso, Plomo, Mercurio y Zinc; además del parámetro microbiológico: Coliformes termotolerantes.

Se tomaron los resultados de la época de avenida de los años 2012 y 2014, y los resultados de la época de estiaje de los años 2013, 2015 y 2016.

### **3.6.2. Trabajo de Gabinete**

La información obtenida en el trabajo de campo será procesada, ordenada y analizada para el cumplimiento de los objetivos propuestos.

### 3.6.2.1. Determinación de los parámetros a evaluar

Los parámetros a evaluar fueron determinados según la recurrencia de estos en los monitoreos participativos de la Autoridad Nacional del Agua - ANA y la categoría asignada al cuerpo de agua, según la “Clasificación de los Cuerpos de Agua Continentales Superficiales”, aprobado por la Autoridad Nacional del Agua –ANA, mediante la Resolución Jefatural N°056-2018-ANA. El cuerpo de agua evaluado en la zona de estudio se encuentra clasificado en la categoría 3: Riego de vegetales y bebidas de animales. Considerando los dos criterios mencionados, en la tabla 30 se menciona los parámetros que serán evaluados en el presente estudio.

**Tabla 30**  
**Parámetros considerados en la Categoría 3**

| N° | Parámetro                            | Unidades      |
|----|--------------------------------------|---------------|
| 01 | Cloruros                             | mg/L          |
| 02 | Conductividad                        | ( $\mu$ S/cm) |
| 03 | Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO5) | mg/L          |
| 04 | Oxígeno disuelto (valor mínimo)      | mg/L          |
| 05 | Potencial de Hidrógeno (pH)          | Unid. de pH   |
| 06 | Aluminio                             | mg/L          |
| 07 | Arsénico                             | mg/L          |
| 08 | Boro                                 | mg/L          |
| 09 | Cadmio                               | mg/L          |
| 10 | Cobre                                | mg/L          |
| 11 | Hierro                               | mg/L          |
| 12 | Manganeso                            | mg/L          |
| 13 | Mercurio                             | mg/L          |
| 14 | Plomo                                | mg/L          |
| 15 | Zinc                                 | mg/L          |
| 16 | Coliformes Termotolerantes (44.5°C)  | NMP/100 ml    |
| 17 | Huevos y larvas helmintos            | Huevos/L      |

**Fuente:** ANA. Metodología para la Determinación del Índice de Calidad de Agua ICA-PE. 2018.

### 3.6.2.2. Comparación con los Estándares de Calidad Ambiental - ECA

Los resultados de los monitoreos participativos serán comparados con los Estándares de Calidad Ambiental – ECA, específicamente con la Categoría 3: Riego de vegetales y bebida de animales. En la tabla 31 se encuentran los valores de los ECA en la Categoría 3.

**Tabla 31**  
**Categoría 3: Riego de vegetales y bebida de animales**

| Parámetros  | Unidad de medida              | D1: Riego de vegetales             |                             | D2: Bebida de animales     |
|---|-------------------------------|------------------------------------|-----------------------------|----------------------------|
|   |                               | Agua para riego no restringido (c) | Agua para riego restringido | Bebida de animales         |
| <b>FÍSICOS-QUÍMICOS</b>   |                               |                                    |                             |                            |
| Aceites y Grasas  | mg/L                          |                                    | 5                           | 10                         |
| Bicarbonatos  | mg/L                          |                                    | 518                         | **                         |
| Cianuro Wad   | mg/L                          |                                    | 0.1                         | 0.1                        |
| <b>Cloruros</b>   | <b>mg/L</b>                   |                                    | <b>500</b>                  | <b>**</b>                  |
| Color (b)   | Color verdadero Escala Pt/Co  |                                    | 100 (a)                     | 100 (a)                    |
| <b>Conductividad</b>  | <b>(<math>\mu</math>S/cm)</b> |                                    | <b>2500</b>                 | <b>5000</b>                |
| <b>Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO<sub>5</sub>)</b>          | <b>mg/L</b>                   |                                    | <b>15</b>                   | <b>15</b>                  |
| Demanda Química de Oxígeno (DQO)                                | mg/L                          |                                    | 40                          | 40                         |
| Detergentes (SAAM)  | mg/L                          |                                    | 0.2                         | 0.5                        |
| Fenoles   | mg/L                          |                                    | 0.002                       | 0.01                       |
| Fluoruros   | mg/L                          |                                    | 1                           | **                         |
| Nitratos (NO <sub>3</sub> --N) + Nitritos (NO <sub>2</sub> --N) | mg/L                          |                                    | 100                         | 100                        |
| Nitritos (NO <sub>2</sub> --N)                                  | mg/L                          |                                    | 10                          | 10                         |
| <b>Oxígeno Disuelto (valor mínimo)</b>                          | <b>mg/L</b>                   |                                    | <b><math>\geq 4</math></b>  | <b><math>\geq 5</math></b> |
| <b>Potencial de Hidrógeno (pH)</b>                              | <b>Unidad de pH</b>           |                                    | <b>6.5-8.5</b>              | <b>6.5-8.4</b>             |
| Sulfatos  | mg/L                          |                                    | 1000                        | 1000                       |
| Temperatura   | °C                            |                                    | $\Delta 3$                  | $\Delta 3$                 |
| <b>INORGÁNICOS</b>  |                               |                                    |                             |                            |
| <b>Aluminio</b>   | <b>mg/L</b>                   |                                    | <b>5</b>                    | <b>5</b>                   |
| <b>Arsénico</b>   | <b>mg/L</b>                   |                                    | <b>0.1</b>                  | <b>0.2</b>                 |

| Parámetros                           | Unidad de medida | D1: Riego de vegetales             |                             | D2: Bebida de animales |
|--------------------------------------|------------------|------------------------------------|-----------------------------|------------------------|
|                                      |                  | Agua para riego no restringido (c) | Agua para riego restringido | Bebida de animales     |
| Bario                                | mg/L             | 0.7                                |                             | **                     |
| Berilio                              | mg/L             | 0.1                                |                             | 0.1                    |
| <b>Boro</b>                          | <b>mg/L</b>      | <b>1</b>                           |                             | <b>5</b>               |
| <b>Cadmio</b>                        | <b>mg/L</b>      | <b>0.01</b>                        |                             | <b>0.05</b>            |
| <b>Cobre</b>                         | <b>mg/L</b>      | <b>0.2</b>                         |                             | <b>0.5</b>             |
| Cobalto                              | mg/L             | 0.05                               |                             | 1                      |
| Cromo Total                          | mg/L             | 0.1                                |                             | 1                      |
| <b>Hierro</b>                        | <b>mg/L</b>      | <b>5</b>                           |                             | <b>**</b>              |
| Litio                                | mg/L             | 2.5                                |                             | 2.5                    |
| Magnesio                             | mg/L             | **                                 |                             | 250                    |
| <b>Manganeso</b>                     | <b>mg/L</b>      | <b>0.2</b>                         |                             | <b>0.2</b>             |
| <b>Mercurio</b>                      | <b>mg/L</b>      | <b>0.001</b>                       |                             | <b>0.01</b>            |
| Níquel                               | mg/L             | 0.2                                |                             | 1                      |
| <b>Plomo</b>                         | <b>mg/L</b>      | <b>0.05</b>                        |                             | <b>0.05</b>            |
| Selenio                              | mg/L             | 0.02                               |                             | 0.05                   |
| <b>Zinc</b>                          | <b>mg/L</b>      | <b>2</b>                           |                             | <b>24</b>              |
| <b>ORGÁNICOS</b>                     |                  |                                    |                             |                        |
| <b><u>Bifenilos Policlorados</u></b> |                  |                                    |                             |                        |
| Bifenilos Policlorados (PCB)         | µg/L             | 0.04                               |                             | 0.045                  |
| <b>PLAGUICIDAS</b>                   |                  |                                    |                             |                        |
| Paratión                             | µg/L             | 35                                 |                             | 35                     |
| <b><u>Organoclorados</u></b>         |                  |                                    |                             |                        |
| Aldrín                               | µg/L             | 0.004                              |                             | 0.7                    |
| Clordano                             | µg/L             | 0.006                              |                             | 7                      |
| Dicloro Difenil Tricoloroetano (DDT) | µg/L             | 0.001                              |                             | 30                     |
| Dieldrín                             | µg/L             | 0.5                                |                             | 0.5                    |
| Endosulfán                           | µg/L             | 0.01                               |                             | 0.01                   |
| Endrin                               | µg/L             | 0.004                              |                             | 0.2                    |
| Heptacloro + Heptacloro Epóxido      | µg/L             | 0.01                               |                             | 0.03                   |
| Lindano                              | µg/L             | 4                                  |                             | 4                      |
| <b><u>Carbamato</u></b>              |                  |                                    |                             |                        |
| Aldicarb                             | µg/L             | 1                                  |                             | 11                     |



| Parámetros                               | Unidad de medida  | D1: Riego de vegetales             |                             | D2: Bebida de animales |
|--|-------------------|------------------------------------|-----------------------------|------------------------|
|  |                   | Agua para riego no restringido (c) | Agua para riego restringido | Bebida de animales     |
| <b>MICROBIOLÓGICOS Y PARASITOLÓGICOS</b> |                   |                                    |                             |                        |
| <b>Coliformes Termotolerantes</b>        | <b>NMP/100 ml</b> | <b>1000</b>                        | <b>2000</b>                 | <b>2000</b>            |
| Echerichia coli                          | NMP/100 ml        | 1000                               | **                          | **                     |
| <b>Huevos de Helminetos</b>              | <b>Huevo/L</b>    | <b>1</b>                           | <b>1</b>                    | <b>1</b>               |

(a): Para aguas claras. Sin cambio anormal (para aguas que presentan coloración natural).

(b): Después de filtración simple.

(c): Para el riego de parques públicos, campos deportivos, áreas verdes y plantas ornamentales, sólo aplican los parámetros microbiológicos y parasitológicos del tipo de riego no restringido.

Δ 3: significa variación de 3 grados Celsius respecto al promedio mensual multianual del área evaluada.

**Nota 4:**

- El símbolo \*\* dentro de la tabla significa que el parámetro no aplica para esta Subcategoría.
- Los valores de los parámetros se encuentran en concentraciones totales, salvo que se indique lo contrario.

**Fuente:** D.S. 004-2017-MINAM. Estándares de Calidad Ambiental (ECA) para Agua.

### 3.6.2.3. Elaboración de los ICA

Una vez comparados los resultados de los monitoreos participativos con los Estándares de Calidad de Agua, se procede a elaborar los Índices de Calidad ambiental del agua (ICA), siguiendo la Metodología para la Determinación de Índice de Calidad de Agua (ICA-PE) aplicado a los Cuerpos de Agua Continentales Superficiales, aprobado por la Autoridad Nacional del Agua – ANA, mediante Resolución Jefatural N°068-2018-ANA. A continuación, se describe la metodología:

**F1 - Alcance:** representa la cantidad de parámetros de calidad que no cumplen los valores establecidos en la normativa, Estándares de Calidad Ambiental para Agua (ECA- Agua) vigente, respecto al total de parámetros a evaluar (ANA, 2018, p.35).

Ver figura 9.

$$F_1 = \frac{\text{Número de parámetros que no cumplen los ECA – Agua}}{\text{Número total de parámetros a evaluar}}$$

**Figura 10. Ecuación para determinar el F1-Alcane. ANA (2018).**

**F2 - Frecuencia:** representa la cantidad de datos que no cumplen la normativa ambiental (ECA- Agua) respecto al total de datos de los parámetros a evaluar (datos que corresponden a los resultados de un mínimo de 4 monitoreos (ANA, 2018, p.35). Ver figura 10.

$$F_2 = \frac{\text{Número de los parámetros que NO cumplen el ECA – Agua de los Datos evaluados}}{\text{Número total de datos evaluados}}$$

**Figura 11. Ecuación para determinar el F2-Frecuencia. ANA (2018).**

**F3 - Amplitud:** es una medida de la desviación que existe en los datos, determinada por la suma normalizada de excedentes, es decir los excesos de todos los datos respecto al número total de datos (ANA, 2018, p.35). Ver figura 11.

$$F_3 = \frac{\text{Suma Normalizada de Excedentes}}{\text{Suma Normalizada de Excedentes} + 1} * 100$$

**Figura 12. Ecuación para determinar el F3-Ampliación. ANA (2018).**

$$nse = \text{Suma Normalizada de Excedentes} = \frac{\sum i = \text{Excedentes}_i}{\text{Total de datos}}$$

**Figura 13. Ecuación para determinar el Suma Normalizada de Excedentes. ANA (2018).**

EXCEDENTE, se da para cada parámetro, siendo el valor que representa la diferencia del valor ECA y el valor del dato respecto al valor del ECA – Agua (ANA, 2018, p.36).

**Caso 1:** Cuando el valor de concentración del parámetro supera al valor establecido en el ECA – Agua (ANA, 2018, p.36). Ver figura 13.

$$\text{Excedente}_i = \frac{\text{Valor del parámetro que no cumple el ECA – Agua}}{\text{Valor establecido del parámetro en ECA – Agua}} - 1$$

**Figura 14. Ecuación para determinar el Excedente. ANA (2018).**

**Caso 2:** Cuando el valor de concentración del parámetro es menor al valor establecido en el ECA - Agua, incumpliendo la condición señalada en el mismo, como ejemplo: el Oxígeno Disuelto (> 4), pH (>6.5, <8.5) (ANA, 2018, p.36). Ver figura 14.

$$Excedente_i = \frac{Valor\ establecido\ del\ parámetro\ en\ el\ ECA - Agua}{Valor\ del\ parámetro\ que\ no\ cumple\ en\ ECA - Agua} - 1$$

**Figura 15. Ecuación para determinar el Excedente. ANA (2018).**

Una vez obtenido el valor de los factores (F1, F2, y F3) se procede a realizar el Cálculo del Índice de Calidad de Agua, siendo este la diferencia de 100 y la raíz cuadrada del promedio de los cuadrados de los tres (03) factores, F1, F2 y F3; valor que se presenta en un rango de 100, como un ICA de excelente calidad a 0, como valor que representa un ICA de pésima calidad (ANA, 2018, p.36). Ver figura 15.

$$ICA - PE = 100 - \sqrt{\frac{F1^2 + F2^2 + F3^2}{3}}$$

**Figura 16. Ecuación para determinar el Índice de Calidad ambiental del agua. ANA (2018).**

Para el desarrollo del cálculo del índice de calidad ambiental del agua, se empleó una aplicación en Microsoft Excel ( Hoja de Cálculo ), un macro donde se introduce los Datos y las fórmulas matemáticas para la obtención de los factores (F1, F2 y F3) y asimismo el valor del índice de calidad de agua, ICA - PE, es calculado y como resultado, el valor del índice se presenta como un número adimensional comprendido entre un rango, el cual permite establecer escalas en cinco rangos, que son niveles de sensibilidad que expresan y califican el estado de la calidad ambiental del agua, como Pésimo, Malo, Regular, Bueno y Excelente. En la tabla 32 se indica la interpretación de cada nivel (ANA, 2018, p.36). Ver tabla 32.

**Tabla 32**  
**Interpretación de la Calificación ICA- PE**

| ICA-PE | Calificación | Interpretación  |
|--------|--------------|---|
| 90-100 | Excelente    | La calidad ambiental del agua está protegida con ausencia de amenazas o daños. Las condiciones son muy cercanas a niveles naturales o deseados.   |
| 75-89  | Bueno        | La calidad ambiental del agua se aleja un poco de la calidad natural del agua. Sin embargo, las condiciones deseables pueden estar con algunas amenazas o daños de poca magnitud.               |
| 45-74  | Regular      | La calidad ambiental del agua natural ocasionalmente es amenazada o dañada. La calidad ambiental del agua a menudo se aleja de los valores deseables. Muchos de los usos necesitan tratamiento. |
| 30-44  | Malo         | La calidad ambiental del agua no cumple con los objetivos de calidad, frecuentemente las condiciones deseables están amenazadas o dañadas. Muchos de los usos necesitan tratamiento.            |
| 0-29   | Pésimo       | La calidad de agua no cumple con los objetivos de calidad, casi siempre está amenazada o dañada. Todos los usos necesitan previo tratamiento.   |

Fuente: (ANA, 2018).

### 3.7. Análisis de datos

#### 3.7.1. Transformación en minería de datos - RapidMiner

Para el análisis de datos se optó por la herramienta RapidMiner ya que es una aplicación eficiente, rápida y fácil de emplear para la minería de datos. Con los resultados de los monitoreos proporcionados por la Autoridad Nacional de Agua y el Índice de Calidad ambiental del agua – ICA, se ingresa la base de datos al software.

Para empezar, se optó por la elaboración de un árbol de decisiones, con la intención de observar como se ve afectado el Índice de Calidad ambiental del agua – ICA por las diferentes variables que influyen en la calidad ambiental del agua de la cuenca baja del río Chillón.

En la elaboración del árbol de decisión, fueron necesarios diversos operadores proporcionados por RapidMiner, cuyo funcionamiento se detalla a continuación:

- El operador *retrieve* permite leer los datos pertenecientes a una base de datos o un archivo en Excel, que se haya importado previamente. Este operador no tiene un puerto de entrada, puesto que lo único que requiere es un conjunto de datos válidos para trabajar. Pedraza *et al.* (2016, p.5)
- El operador *validation* permitirá saber la precisión con la que se construirá el árbol de decisiones, el cual está compuesto de dos (2) subprocesos: *training subprocess* y *testing subprocess*. Pedraza *et al.* (2016, p.5)
- Debe importarse el operador *retrieve* a la zona de trabajo, después unir su salida *out* con la entrada *tra* del operador *validation*. Posteriormente, unir las salidas *mod* y *ave* con las salidas res del proceso. Sin embargo, dentro del operador *validation*, hay dos (2) subprocesos que podemos utilizar para obtener el modelo de árbol de decisión que deseamos, además de una verificación de la veracidad de este modelo. Pedraza *et al.* (2016, p.5)
- En el subproceso *training* se construye el modelo con el que se van a tratar los datos. En este caso, el modelo por aplicar sólo consta del operador *decision tree*, el cual, a partir de un conjunto de datos de entrada, entre los que se encuentra la variable dependiente, crea un árbol de decisiones basado en los valores de dicho conjunto de datos. Debe unirse la salida *tra* del subproceso *training* a la entrada *tra* del operador *decisión tree*, y, de este último, unir su salida *mod* a la salida *mod* del subproceso *training*. Pedraza *et al.* (2016, p.5)

- Posteriormente en el subproceso *tesing*, cuyo propósito es la medición del rendimiento del modelo, se aplica el operador *apply model* para aplicar el modelo de árbol de decisión del subproceso *testing* en la prueba de la veracidad del árbol, puesto que, si se usara el operador *decision tree*, sin verificar la veracidad en la construcción del árbol, se podría llegar a hacer el análisis de un árbol totalmente erróneo. Pedraza *et al.* (2016, p.5)
- Debe enlazarse las salidas *mod* y *tes*, con las entradas *mod* y *uni* del operador *apply model*. De este operador debe enlazarse su salida *lab* con la entrada *lab* del operador *performance*. Este operador se utiliza para la evaluación del desempeño y proporciona una lista de los valores de los criterios de rendimiento. Estos criterios de rendimiento se determinan automáticamente con el fin de ajustarse al tipo de tarea de aprendizaje. Y, de este último, debe enlazarse su salida *per* con la salida *ave* del subproceso *testing*. Pedraza *et al.* (2016, p.5-6)

## **IV. Resultados**

### **4.1. Comparación con los ECA – Categoría 3**

La información obtenida en los monitoreos realizados en el periodo 2012-2016, de la cuenca baja del río Chillón, fueron revisados y de acuerdo a la “Clasificación de los Cuerpos de Agua Continentales Superficiales”, aprobado por la Autoridad Nacional del Agua –ANA, para la Categoría 3: Riego de vegetales y bebida de animales, sugiere evaluar 17 parámetros, los cuales fueron mencionados en la tabla 31. Sin embargo, solo serán evaluados 15 parámetros, los cuales son: Conductividad, Demanda Bioquímica de Oxígeno, Oxígeno Disuelto, Potencial de Hidrógeno, Aluminio, Arsénico, Boro, Cadmio, Cobre, Hierro, Manganeso, Mercurio, Plomo, Zinc y Coliformes Termotolerantes.

Los parámetros Cloruros, Huevos y larvas helmintos no serán parte de la evaluación del presente estudio, ya que no fueron monitoreados en el periodo 2012-2016.

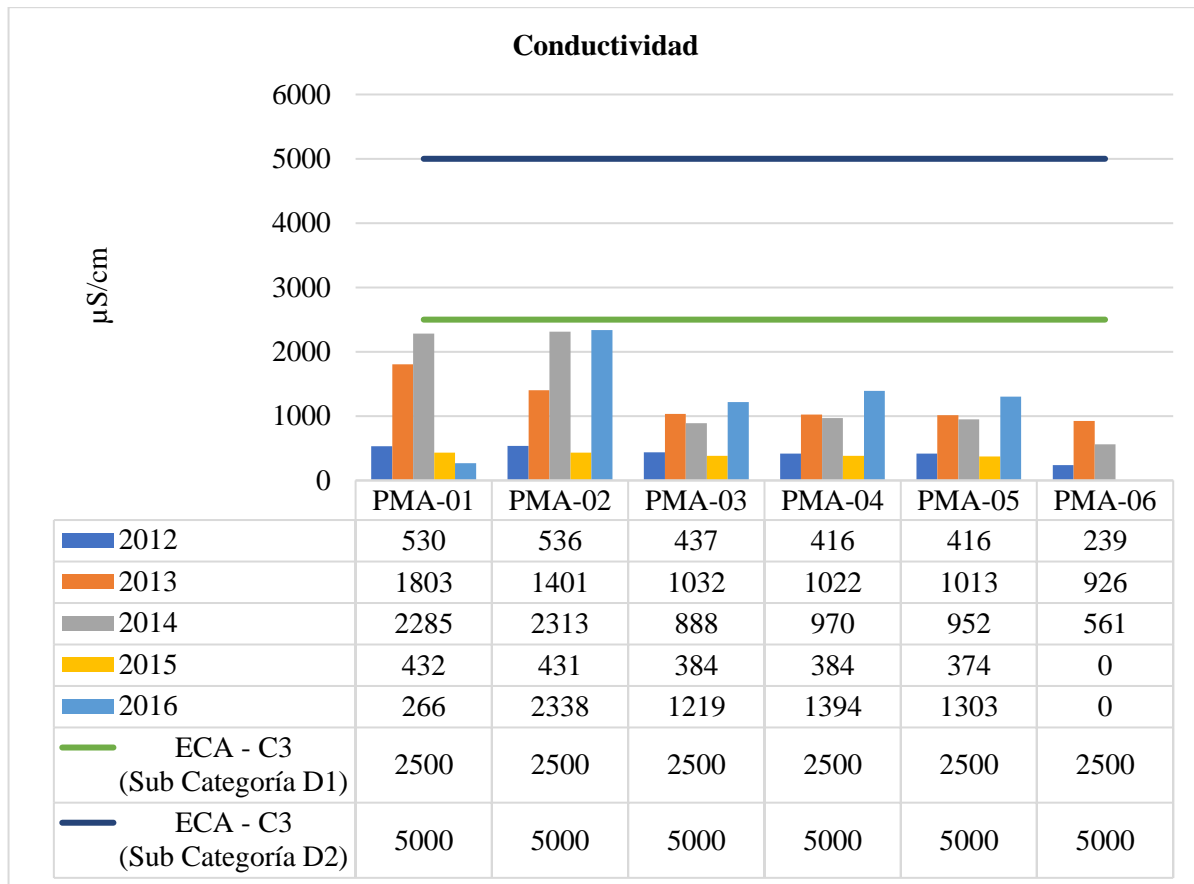
La estación PMA-06 no fue monitoreada en los años 2015 y 2016 por no encontrar caudal de agua en el río Chillón, según lo indicado por la Autoridad Nacional del Agua - ANA.

Así mismo, se menciona que la Categoría 3: Riego de vegetales y bebida de animales, contiene dos subcategorías, las cuales son: D1, Riego de vegetales y D2, Bebida de animales, según lo estipulado en el D.S.004-2017-MINAM. En el presente estudio, cada parámetro es comparado con la concentración establecida para cada subcategoría, lo que se verá representado en los siguientes gráficos.

#### **4.1.1. Conductividad**

En la figura 17, se observa que todas las estaciones de monitoreo, durante el periodo 2012-2016, las concentraciones de la Conductividad, no superan las concentraciones establecidas en la Subcategoría D1: Riego de vegetales (2500  $\mu\text{S}/\text{cm}$ ) y la Subcategoría

D2: Bebida de animales (5000  $\mu\text{S}/\text{cm}$ ), de los ECA Agua, Categoría 3 “Riego de vegetales y bebida de animales”.



**Figura 17. Comparación de los valores de la Conductividad con los ECA Cat 3**

Fuente: Elaboración propia.

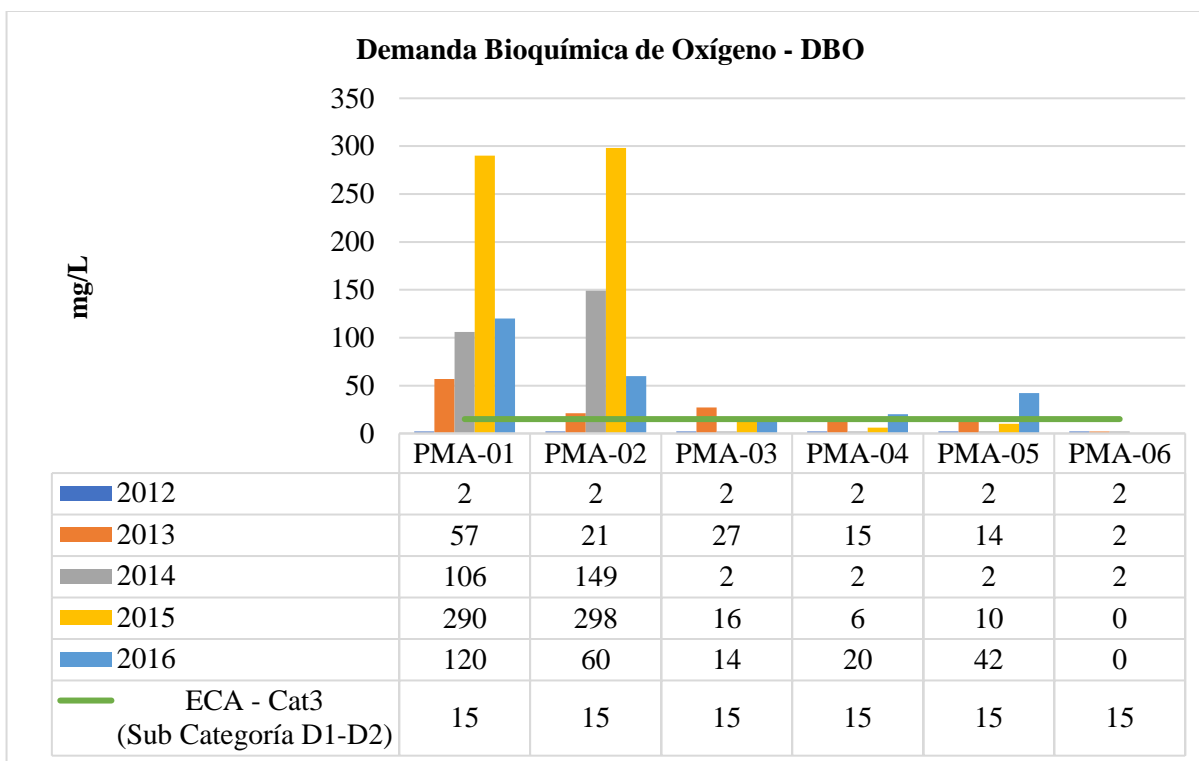
#### 4.1.2. Demanda Bioquímica de Oxígeno

En la figura 18, se interpreta lo siguiente:

- En las estaciones PMA-01 y PMA-02, en el periodo 2013-2016, las concentraciones de la Demanda Bioquímica de Oxígeno, superaron las concentraciones establecidas en la Subcategoría D1: Riego de vegetales (15 mg/L) y la Subcategoría D2: Bebida de animales (15 mg/L), de los ECA Agua, Categoría 3 “Riego de vegetales y bebida de animales”.



- En las estaciones PMA-01, PMA-02, PMA-03, PMA-04, PMA-05 y PMA-06, en el año 2012; y en la estación PMA-06, en el periodo 2013-2014; las concentraciones de la Demanda Bioquímica de Oxígeno, no superan las concentraciones establecidas en la Subcategoría D1: Riego de vegetales (15 mg/L) y la Subcategoría D2: Bebida de animales (15 mg/L), de los ECA Agua, Categoría 3 “Riego de vegetales y bebida de animales”.
- En las estaciones PMA-03, PMA-04 y PMA-05, en el periodo 2013-2016, las concentraciones de la Demanda Bioquímica de Oxígeno son bajas, en su mayoría no superan las concentraciones establecidas en la Subcategoría D1: Riego de vegetales (15 mg/L) y la Subcategoría D2: Bebida de animales (15 mg/L), de los ECA Agua, Categoría 3 “Riego de vegetales y bebida de animales”.
- En las estaciones PMA-04 y PMA-05, en el año 2016, las concentraciones de la Demanda Bioquímica de Oxígeno superan las concentraciones establecidas en la Subcategoría D1: Riego de vegetales (15 mg/L) y la Subcategoría D2: Bebida de animales (15 mg/L), de los ECA Agua, Categoría 3 “Riego de vegetales y bebida de animales”.



**Figura 18. Comparación de los valores de la DBO con los ECA Cat 3**

Fuente: Elaboración propia.

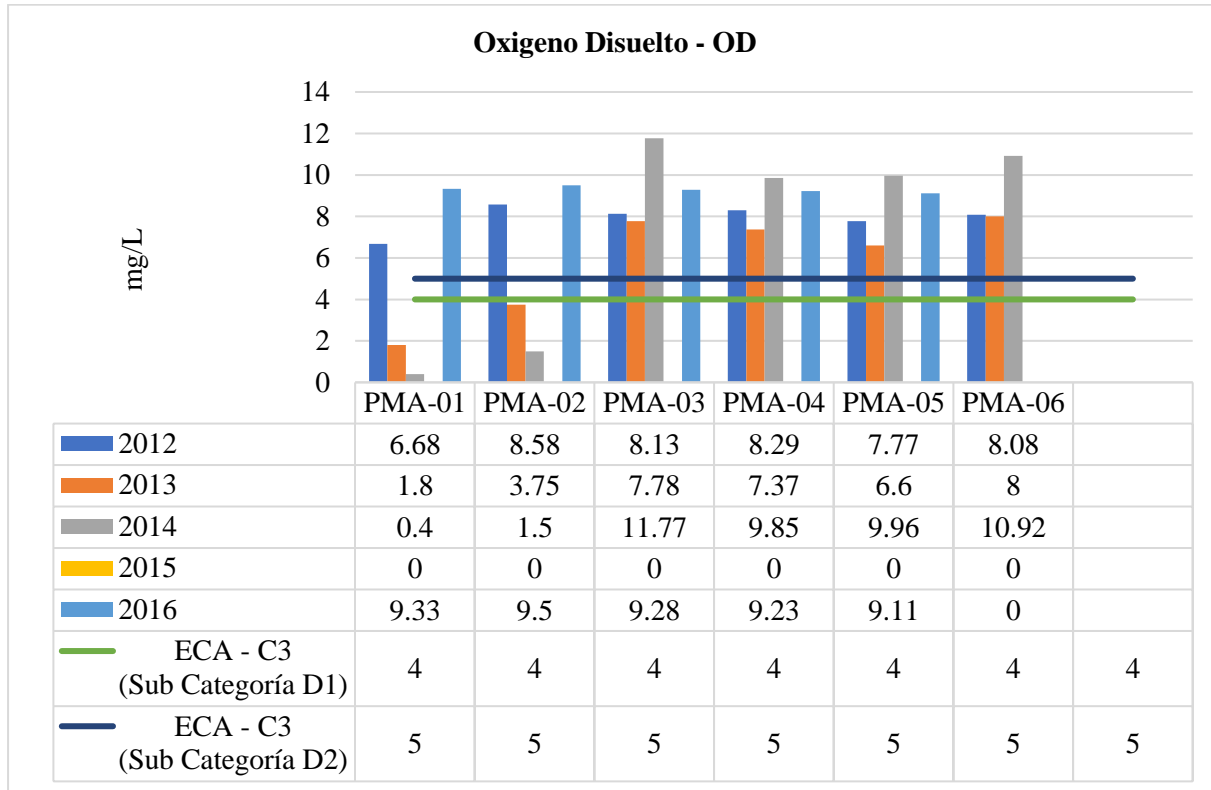
#### 4.1.3. Oxígeno Disuelto

En la figura 19, se interpreta lo siguiente:

- En las estaciones PMA-01 y PMA-02, durante el periodo 2013-2014, las concentraciones del Oxígeno Disuelto, superan las concentraciones establecidas en la Subcategoría D1: Riego de vegetales ( $\geq 4$  mg/L) y la Subcategoría D2: Bebida de animales ( $\geq 5$  mg/L), de los ECA Agua, Categoría 3 “Riego de vegetales y bebida de animales”.
- En todas las estaciones, en el año 2012; en las estaciones PMA-03, PMA-04, PMA-05 y PMA-06, durante el periodo 2013-2014; y en las estaciones PMA-01, PMA-02, PMA-03, PMA-04 y PMA-05, en el año 2016; las concentraciones del Oxígeno Disuelto, no superan las concentraciones establecidas en la Subcategoría D1: Riego

de vegetales ( $\geq 4$  mg/L) y la Subcategoría D2: Bebida de animales ( $\geq 5$  mg/L), de los ECA Agua, Categoría 3 “Riego de vegetales y bebida de animales”

- En el año 2015 no se midió el Oxígeno Disuelto en ninguna estación, según lo que menciona el “Monitoreo Participativo de la Calidad ambiental del agua en la Cuenca del río Chillón – 2015” elaborado por la Autoridad Nacional de Agua – ANA.



**Figura 19. Comparación de los valores de Oxígeno Disuelto con los ECA Cat 3**

Fuente: Elaboración propia.

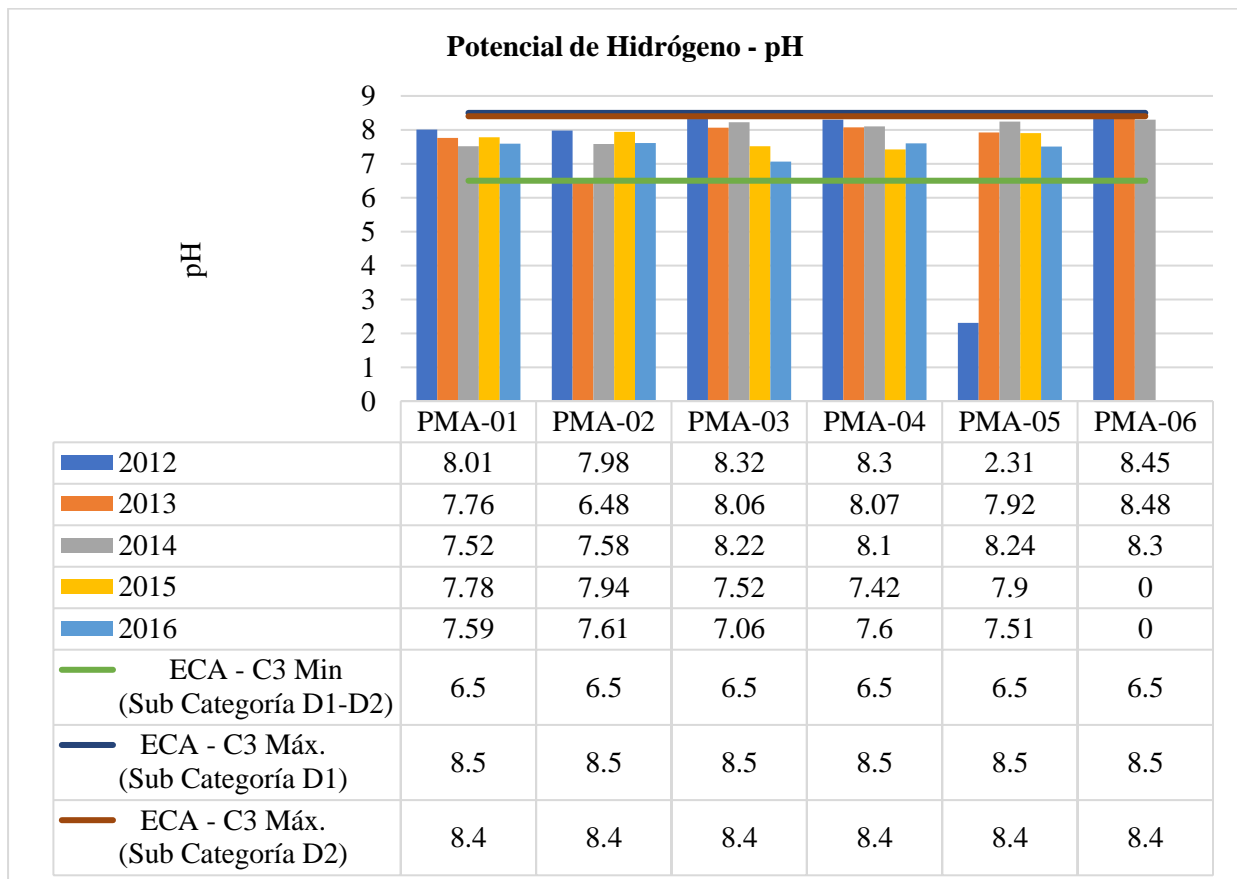
#### 4.1.4. Potencial de Hidrógeno

En la figura 20, se interpreta lo siguiente:

- En la estación PMA-05, en el año 2012, la concentración del Potencial de Hidrógeno, supera el rango de las concentraciones establecidas en la Subcategoría D1: Riego de vegetales (6.5 mg/L - 8.5 mg/L) y la Subcategoría D2: Bebida de

animales (6.5 mg/L - 8.4 mg/L), de los ECA Agua, Categoría 3 “Riego de vegetales y bebida de animales”

- En las estaciones PMA-01, PMA-02, PMA-03, PMA-04 y PMA-06, en el año 2012; y en las estaciones PMA-01, PMA-02, PMA-03, PMA-04, PMA-05 y PMA-06, durante el periodo 2013-2016; las concentraciones del Potencial de Hidrógeno, no superan el rango de las concentraciones establecidas en la Subcategoría D1: Riego de vegetales (6.5 mg/L - 8.5 mg/L) y la Subcategoría D2: Bebida de animales (6.5 mg/L - 8.4 mg/L), de los ECA Agua, Categoría 3 “Riego de vegetales y bebida de animales”.

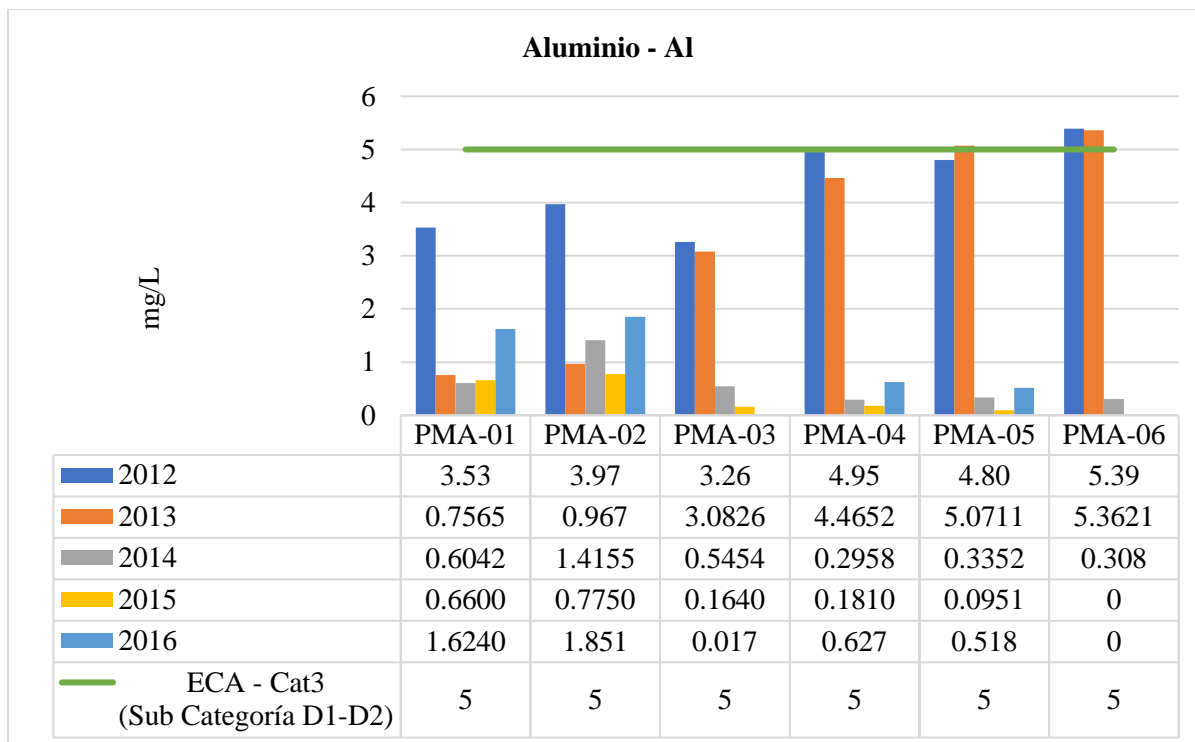


**Figura 20. Comparación de los valores del Potencial de Hidrógeno con los ECA Cat 3**  
Fuente: Elaboración propia.

#### 4.1.5. Aluminio

En la figura 21, se interpreta lo siguiente:

- En la estación PMA-06, durante el periodo 2012-2013; y en la estación PMA-05, en el año 2013; las concentraciones del Aluminio, superan el rango de las concentraciones establecidas en la Subcategoría D1: Riego de vegetales (5 mg/L) y la Subcategoría D2: Bebida de animales (5 mg/L), de los ECA Agua, Categoría 3 “Riego de vegetales y bebida de animales”.
- En las estaciones PMA-01, PMA-02, PMA-03 y PMA-04, durante el periodo 2012-2016; las estaciones PMA-05 y PMA-06, durante el periodo 2014-2016; y en la estación PMA-05, en el año 2012; las concentraciones del Aluminio, no superan el rango de las concentraciones establecidas en la Subcategoría D1: Riego de vegetales (5 mg/L) y la Subcategoría D2: Bebida de animales (5 mg/L), de los ECA Agua, Categoría 3 “Riego de vegetales y bebida de animales”.

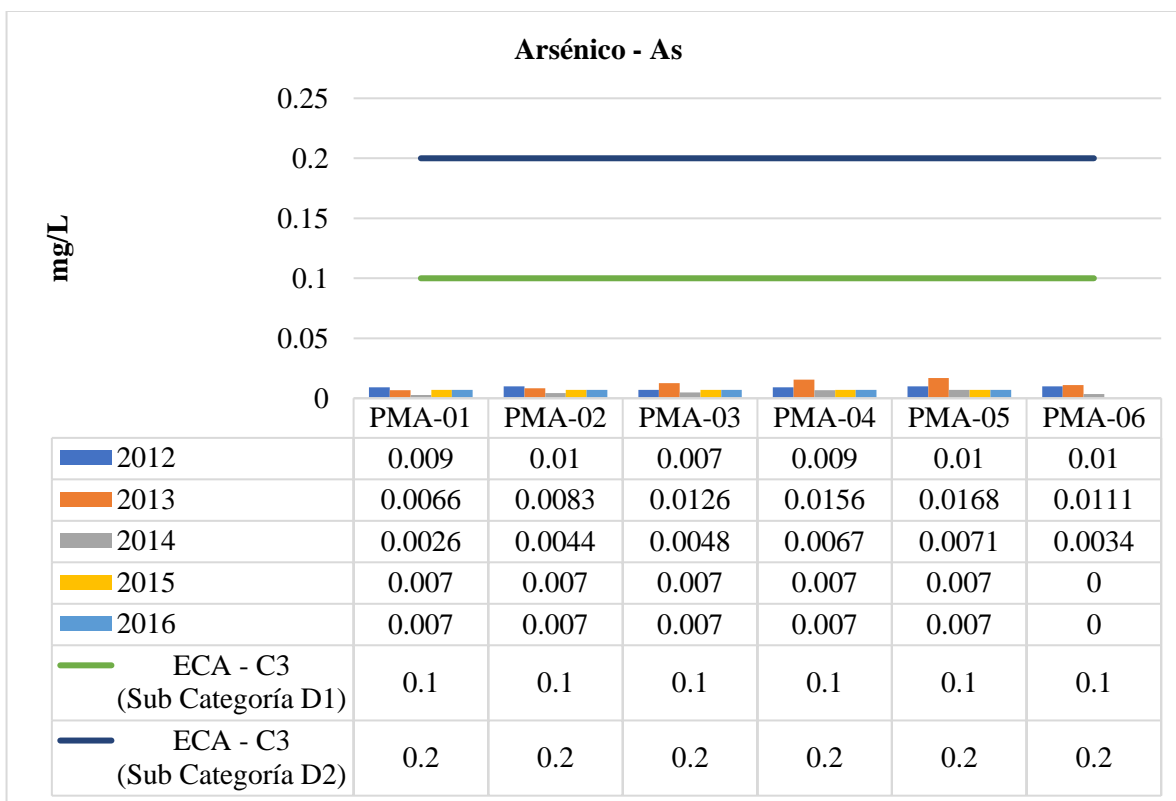


**Figura 21. Comparación de los valores del Aluminio con los ECA Cat 3**

Fuente: Elaboración propia.

#### 4.1.6. Arsénico

En la figura 22, se interpreta que todas las estaciones de monitoreo, durante el periodo 2012-2016, en cuanto a las concentraciones del Arsénico, no superan las concentraciones establecidas en la Subcategoría D1: Riego de vegetales (0,1 mg/L) y la Subcategoría D2: Bebida de animales (0,2 mg/L), de los ECA Agua, Categoría 3 “Riego de vegetales y bebida de animales”.

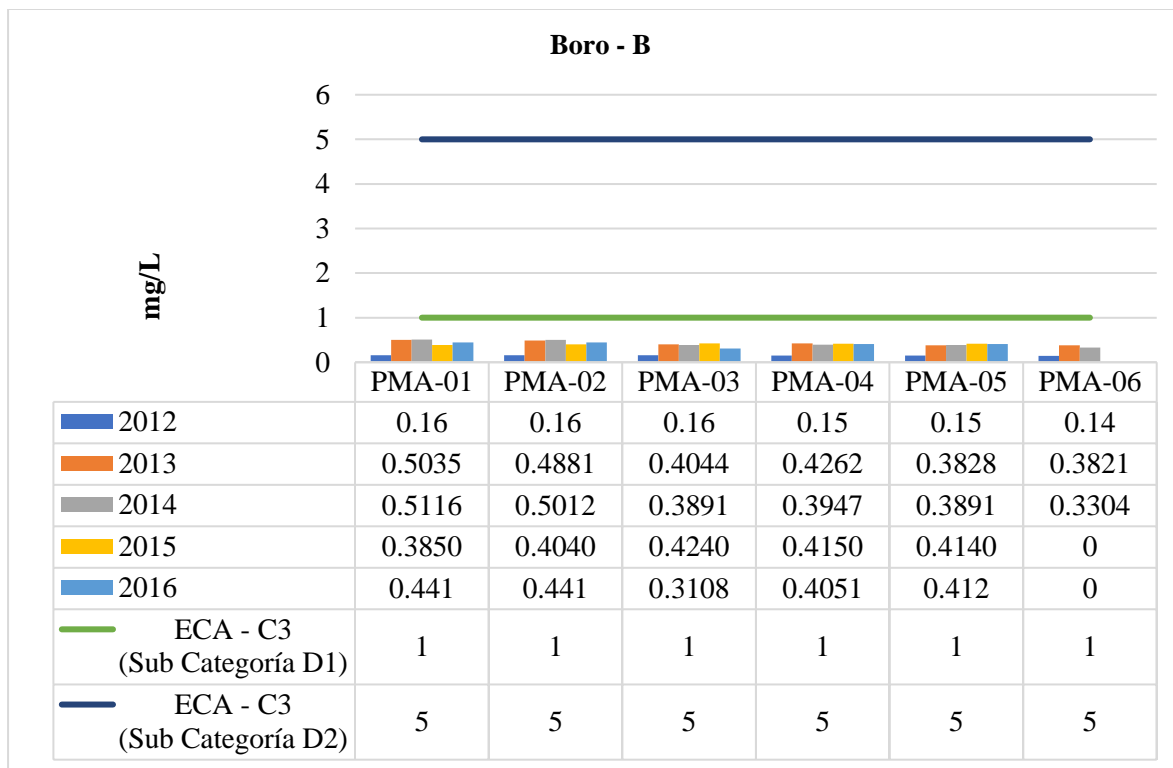


**Figura 22. Comparación de los valores del Arsénico con los ECA Cat 3**

Fuente: Elaboración propia.

#### 4.1.7. Boro

En la figura 23, se interpreta que todas las estaciones de monitoreo, durante el periodo 2012-2016, en cuanto a las concentraciones del Boro, no superan las concentraciones establecidas en la Subcategoría D1: Riego de vegetales (1 mg/L) y la Subcategoría D2: Bebida de animales (5 mg/L), de los ECA Agua, Categoría 3 “Riego de vegetales y bebida de animales”.



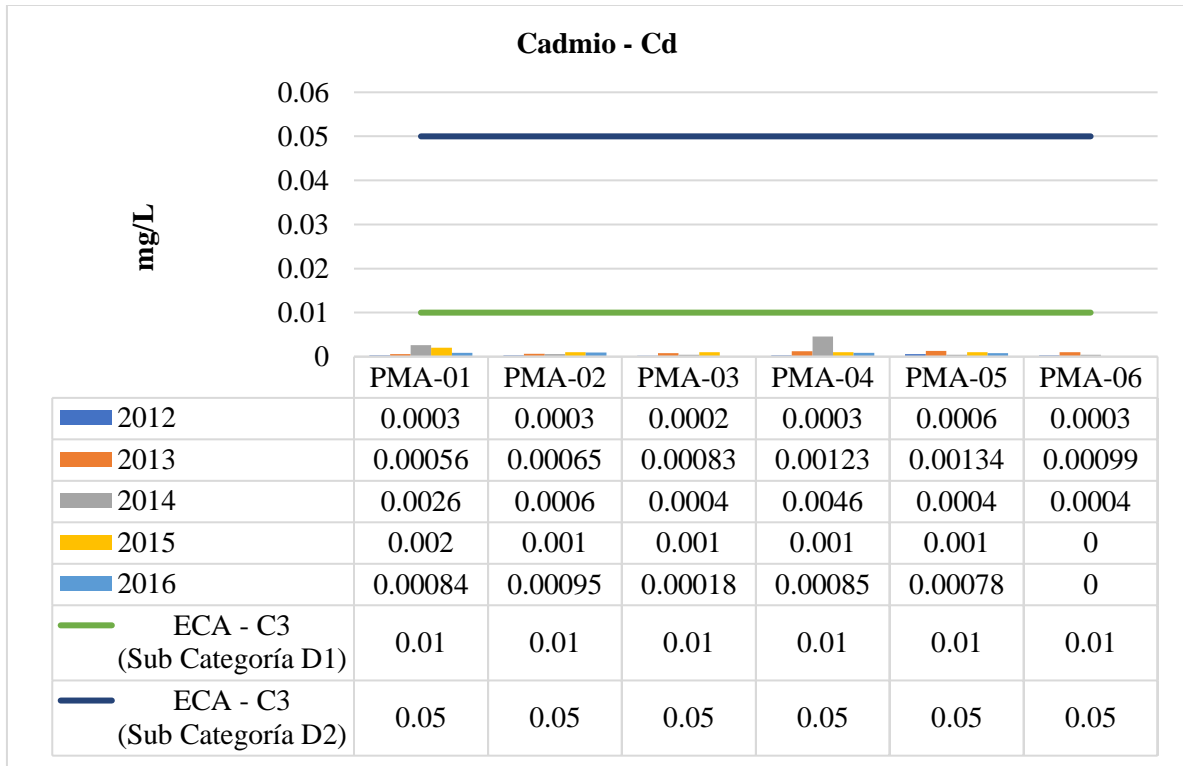
**Figura 23. Comparación de los valores del Boro con los ECA Cat 3**

Fuente: Elaboración propia.

#### 4.1.8. Cadmio

En la figura 24, se interpreta que todas las estaciones de monitoreo, durante el periodo 2012-2016, en cuanto a las concentraciones del Cadmio, no superan las concentraciones establecidas en la Subcategoría D1: Riego de vegetales (0,01 mg/L) y la Subcategoría D2: Bebida de animales (0,05 mg/L), de los ECA Agua, Categoría 3 “Riego de vegetales y bebida de animales”.





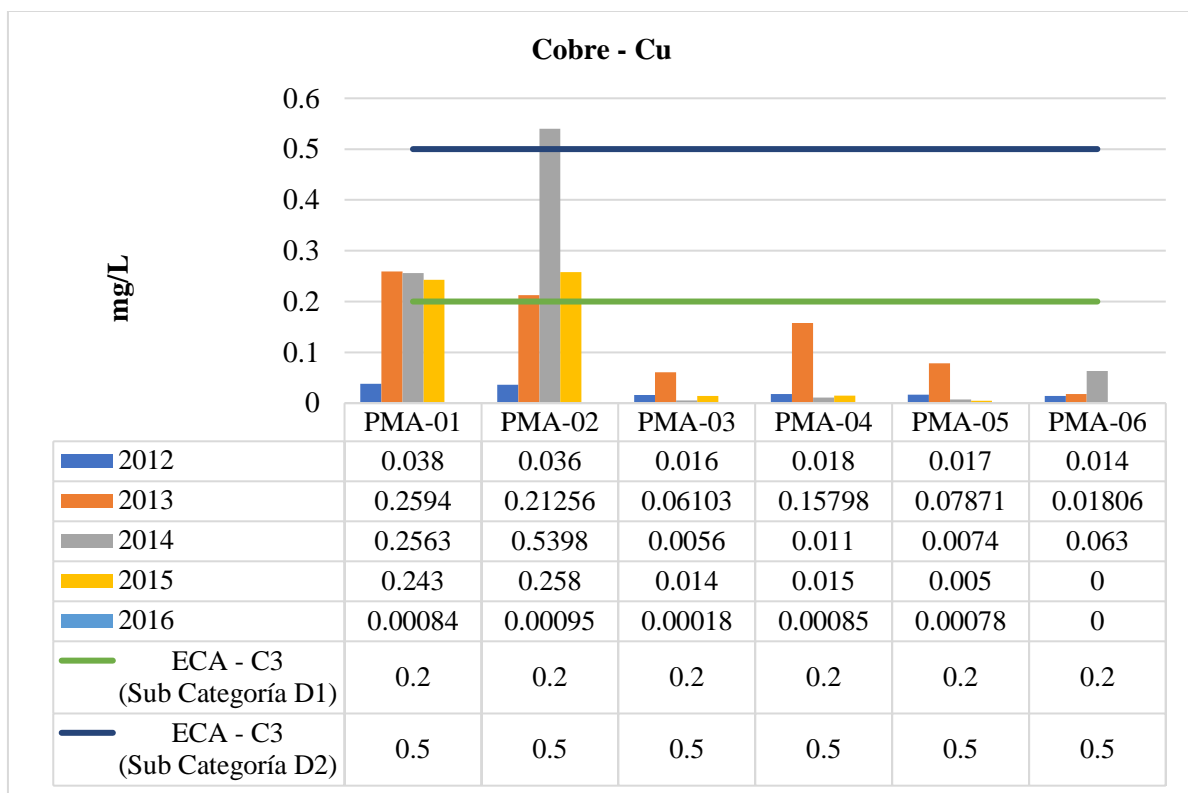
**Figura 24. Comparación de los valores del Cadmio con los ECA Cat 3**

Fuente: Elaboración propia.

#### 4.1.9. Cobre

En la figura 25, se interpreta lo siguiente:

- En las estaciones PMA-01 y PMA-02, en el periodo 2013-2015, las concentraciones del Cobre, superan las concentraciones establecidas en la Subcategoría D1: Riego de vegetales (0,2 mg/L) y la Subcategoría D2: Bebida de animales (0,5 mg/L), de los ECA Agua, Categoría 3 “Riego de vegetales y bebida de animales”.
- En todas las estaciones, en el año 2012; en las estaciones PMA-03, PMA-04, PMA-05 y PMA-06, durante el periodo 2013-2015; y en las estaciones PMA-01, PMA-02, PMA-03, PMA-04 y PMA-05, en el año 2016; las concentraciones del Cobre, no superan las concentraciones establecidas en la Subcategoría D1: Riego de vegetales (0,2 mg/L) y la Subcategoría D2: Bebida de animales (0,5 mg/L), de los ECA Agua, Categoría 3 “Riego de vegetales y bebida de animales”.



**Figura 25. Comparación de los valores del Cobre con los ECA Cat 3**

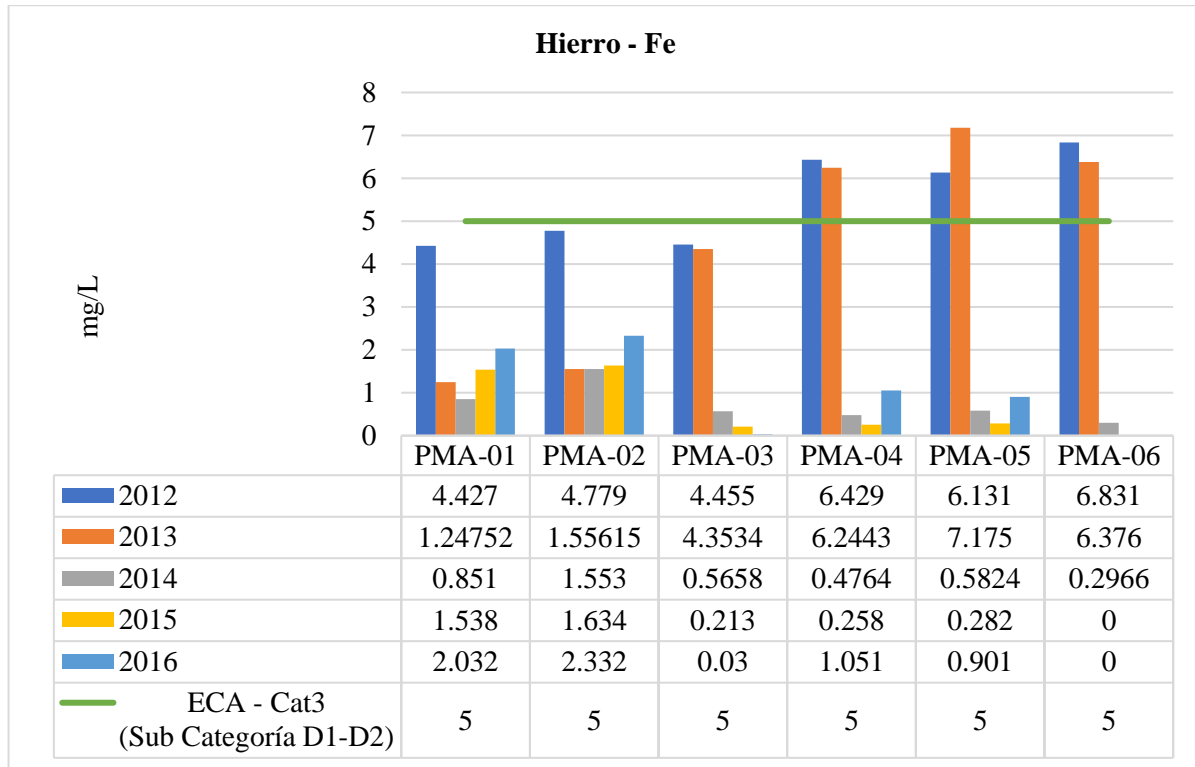
Fuente: Elaboración propia.

#### 4.1.10. Hierro

En la figura 26, se interpreta lo siguiente:

- En las estaciones PMA-04, PMA-05 y PMA-06, en el periodo 2012-2013, las concentraciones del Hierro, superan las concentraciones establecidas en la Subcategoría D1: Riego de vegetales (5 mg/L) y la Subcategoría D2: Bebida de animales (5 mg/L), de los ECA Agua, Categoría 3 “Riego de vegetales y bebida de animales”.
- En las estaciones PMA-01, PMA-02 y PMA-03, en el periodo 2012-2016; y en las estaciones PMA-04, PMA-05 y PMA-06, en el periodo 2014-2016; las concentraciones del Hierro, no superan las concentraciones establecidas en la Subcategoría D1: Riego de vegetales (5 mg/L) y la Subcategoría D2:

Bebida de animales (5 mg/L), de los ECA Agua, Categoría 3 “Riego de vegetales y bebida de animales”.



**Figura 26. Comparación de los valores del Hierro con los ECA Cat 3**

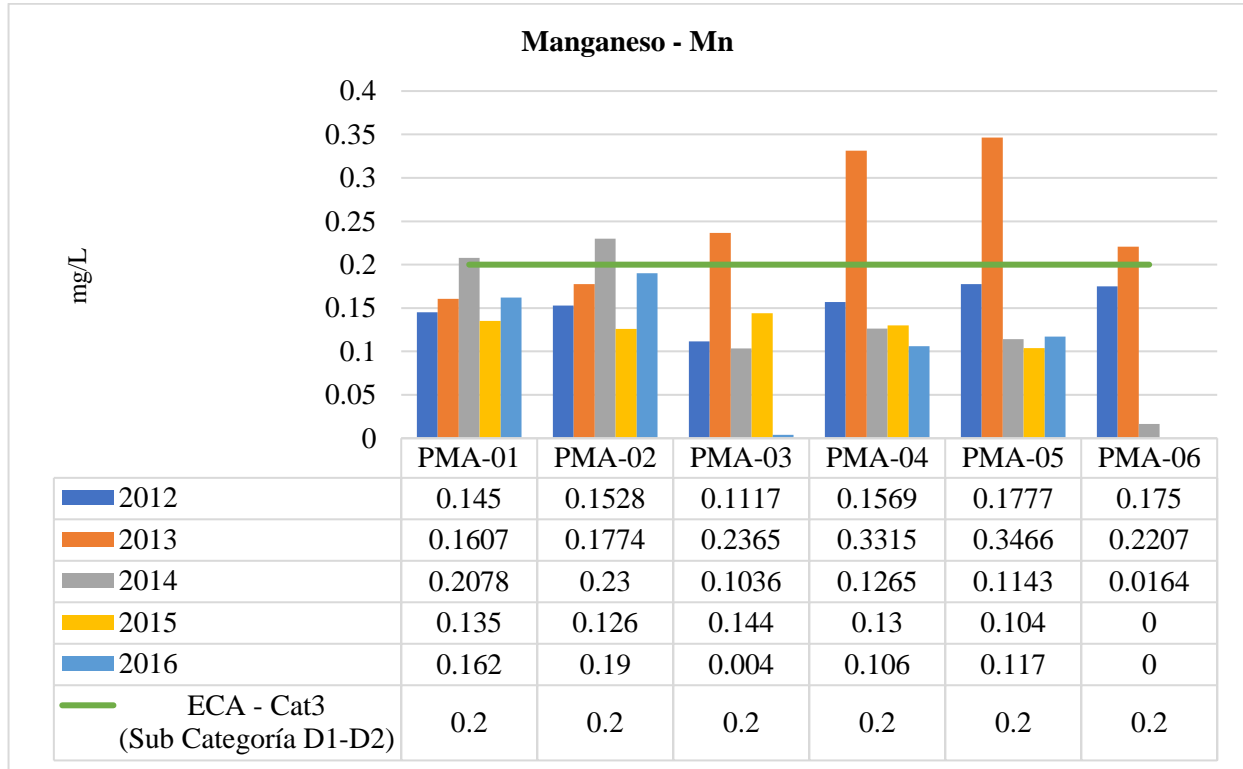
Fuente: Elaboración propia.

#### 4.1.11. Manganeseo

En la figura 27, se interpreta lo siguiente:

- En las estaciones PMA-01 y PMA-02, en el año 2014; y en las estaciones PMA-03, PMA-04, PMA-05 y PMA-06, en el año 2013; las concentraciones del Manganeseo superan las concentraciones establecidas en la Subcategoría D1: Riego de vegetales (0,2 mg/L) y la Subcategoría D2: Bebida de animales (0,2 mg/L), de los ECA Agua, Categoría 3 “Riego de vegetales y bebida de animales”.
- En todas las estaciones, en el año 2012; en las estaciones PMA-01 y PMA-02, en el año 2013; en las estaciones PMA-03, PMA-04, PMA-05 y PMA-06, en el año 2014; y en todas las estaciones, durante el periodo 2015-2016; las concentraciones del

Manganeso no superan las concentraciones establecidas en la Subcategoría D1: Riego de vegetales (0,2 mg/L) y la Subcategoría D2: Bebida de animales (0,2 mg/L), de los ECA Agua, Categoría 3 “Riego de vegetales y bebida de animales”.

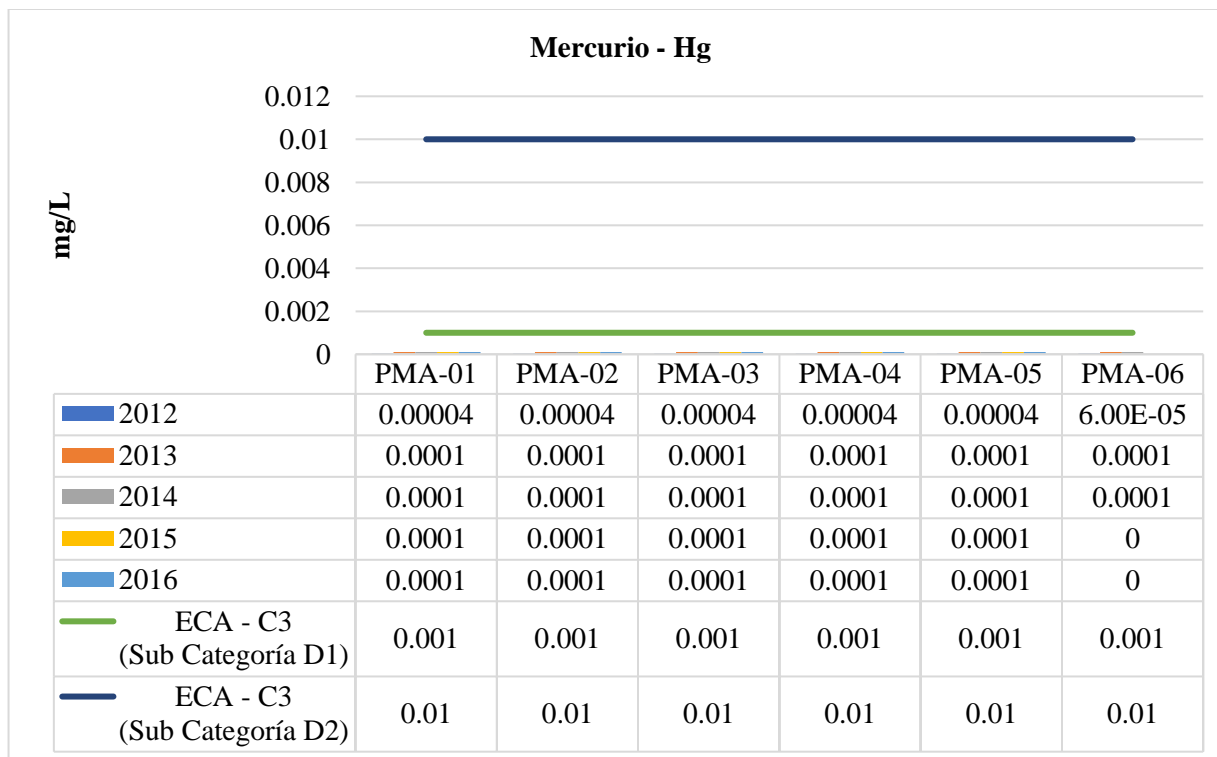


**Figura 27. Comparación de los valores del Manganeso con los ECA Cat 3**

Fuente: Elaboración propia.

#### 4.1.12. Mercurio

En la figura 28, se interpreta que todas las estaciones de monitoreo, durante el periodo 2012-2016, en cuanto a las concentraciones del Mercurio, no superan las concentraciones establecidas en la Subcategoría D1: Riego de vegetales (0,001 mg/L) y la Subcategoría D2: Bebida de animales (0,01 mg/L), de los ECA Agua, Categoría 3 “Riego de vegetales y bebida de animales”.



**Figura 28. Comparación de los valores del Mercurio con los ECA Cat 3**

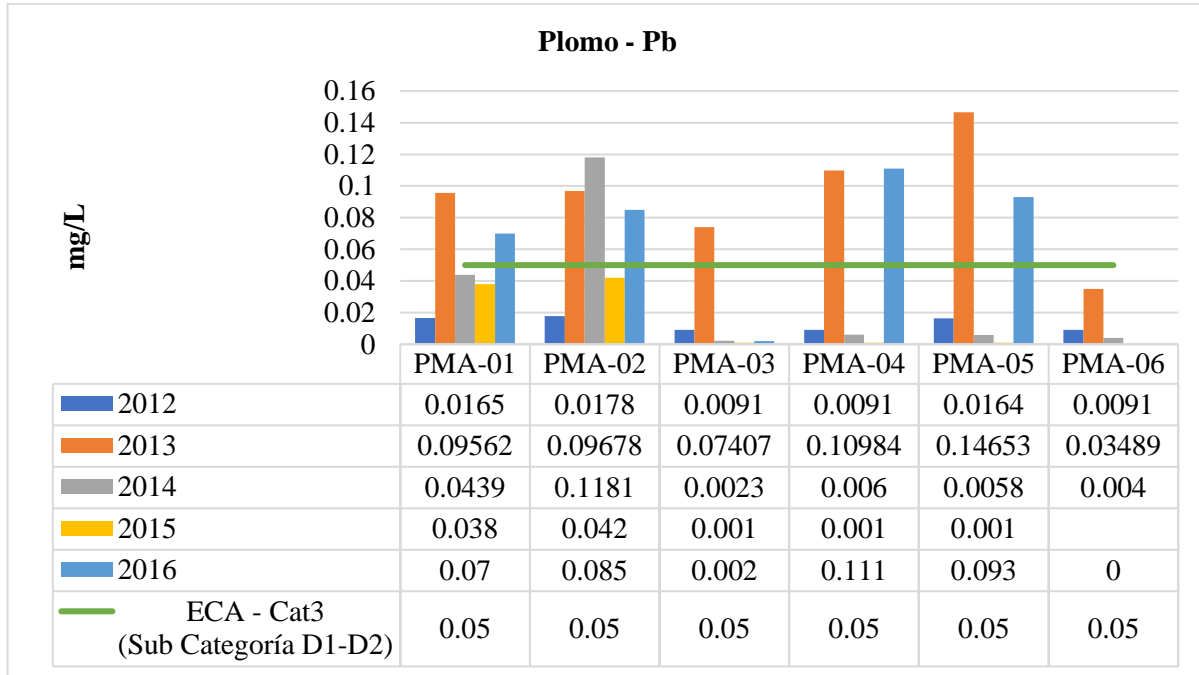
Fuente: Elaboración propia.

#### 4.1.13. Plomo

En la figura 29, se interpreta lo siguiente:

- En las estaciones PMA-01, PMA-02, PMA-03, PMA-04 y PMA-05, en el año 2013; en la estación PMA-02, en el año 2014; y en las estaciones PMA-01, PMA-02, PMA-04 y PMA-05; las concentraciones del Plomo, superan las concentraciones establecidas en la Subcategoría D1: Riego de vegetales (0,05 mg/L) y la Subcategoría D2: Bebida de animales (0,05 mg/L), de los ECA Agua, Categoría 3 “Riego de vegetales y bebida de animales”.
- En todas las estaciones, en el año 2012; en la estación PMA-06, en el año 2013; en las estaciones PMA-01, PMA-03, PMA-04, PMA-05 y PMA-06, en el año 2014; y en las estaciones PMA-01, PMA-02, PMA-03, PMA-04 y PMA-05, durante el periodo 2015-2016; las concentraciones del Plomo, no superan las concentraciones

establecidas en la Subcategoría D1: Riego de vegetales (0,05 mg/L) y la Subcategoría D2: Bebida de animales (0,05 mg/L), de los ECA Agua, Categoría 3 “Riego de vegetales y bebida de animales”.

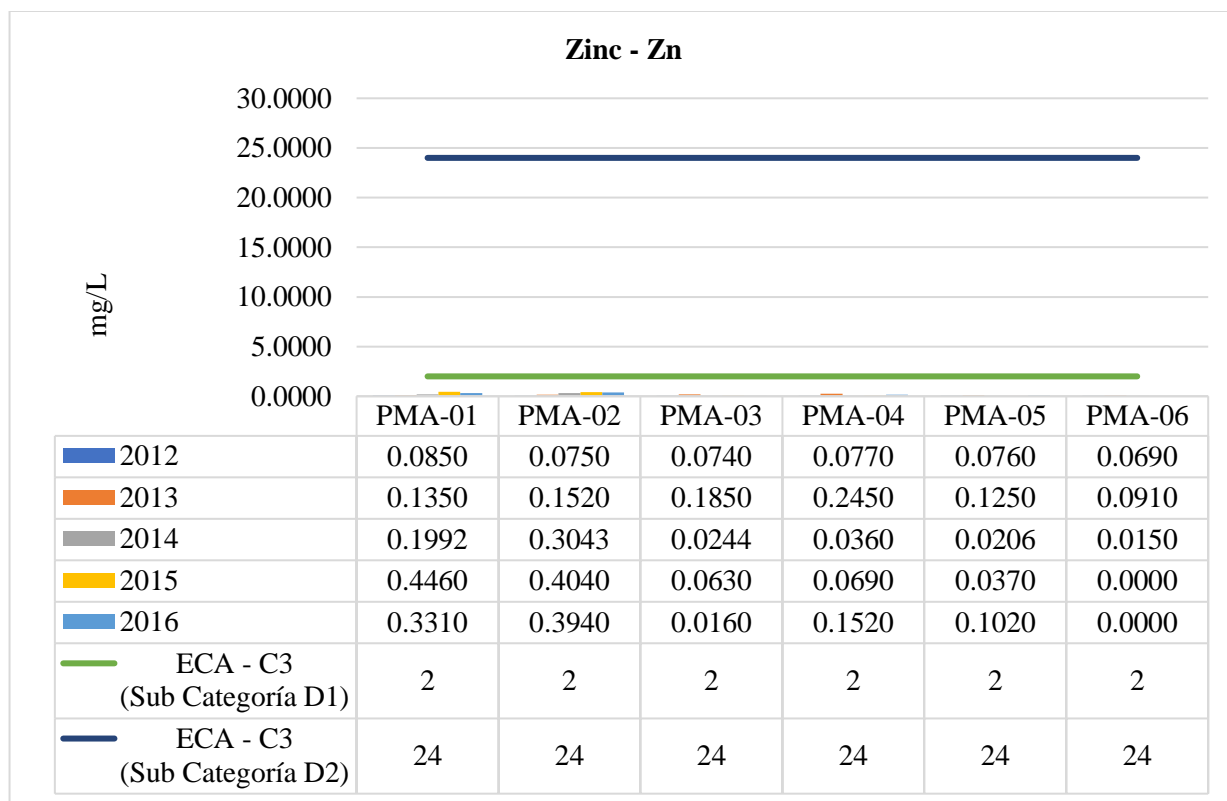


**Figura 29. Comparación de los valores del Plomo con los ECA Cat 3**

Fuente: Elaboración propia.

#### 4.1.14. Zinc

En la figura 30, se interpreta que todas las estaciones de monitoreo, durante el periodo 2012-2016, en cuanto a las concentraciones del Zinc, no superan las concentraciones establecidas en la Subcategoría D1: Riego de vegetales (2 mg/L) y la Subcategoría D2: Bebida de animales (24 mg/L), de los ECA Agua, Categoría 3 “Riego de vegetales y bebida de animales”.

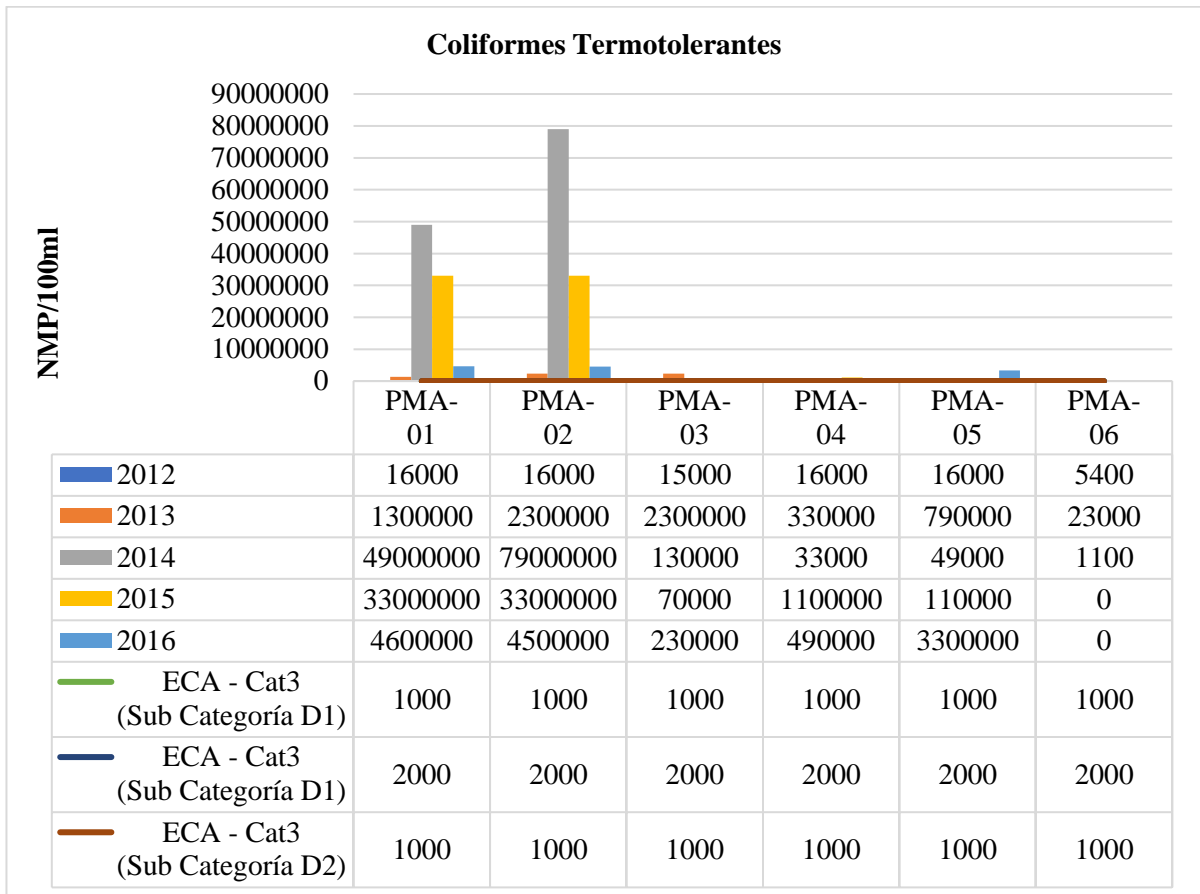


**Figura 30. Comparación de los valores del Zinc con los ECA Cat 3**

Fuente: Elaboración propia.

#### 4.1.15. Coliformes Termotolerantes

En la figura 31, se interpreta que todas las estaciones de monitoreo, durante el periodo 2012-2016, en cuanto a las concentraciones de los Coliformes Termotolerantes, superan las concentraciones establecidas en la Subcategoría D1: Riego de vegetales (1000 mg/L y 2000 mg/L) y la Subcategoría D2: Bebida de animales (1000 mg/L), de los ECA Agua, Categoría 3 “Riego de vegetales y bebida de animales”.



**Figura 31. Comparación de los valores de los Coliformes Termotolerantes con los ECA Cat 3.**

Fuente: Elaboración propia.

#### 4.2. Determinación de los Índices de Calidad ambiental del agua

Se aplicó la metodología de la Autoridad Nacional del Agua para la determinación del Índice de Calidad ambiental del agua - ICA en cada estación del área de estudio, considerando que tal metodología necesita la comparación de las concentraciones obtenidas en los monitoreos con las concentraciones establecidas en los Estándares de Calidad de Agua – ECA, siendo esto necesario para determinar la cantidad de parámetros y concentraciones que sobrepasan lo establecido, como primer paso para la determinación de los Índice de Calidad ambiental del agua - ICA.



En este caso, el cuerpo superficial del área de estudio es comparado con los Estándares de Calidad de Agua – ECA, categoría 3, los cuales a su vez contienen dos subcategorías: D1 Riego de vegetales y D2 Bebida de animales. Los Coliformes Termotolerantes, en la subcategoría D1 Riego de vegetales, contiene dos valores, de acuerdo al agua para riego no restringido y agua para riego restringido; al tener los Coliformes Termotolerantes esta distinción, se necesitaba ser específico con los resultados de los Índice de Calidad ambiental del agua - ICA, por ello se elaboraron tres tablas donde se determinó los Índice de Calidad ambiental del agua - ICA para cada estación de monitoreo. **Ver Anexo 01: Índices de Calidad ambiental del agua-ICA.**

En la tabla 33, se encuentran los resultados finales de los Índice de Calidad ambiental del agua – ICA. Las estaciones PMA-01, PMA-02, PMA-03, PMA-04 y PMA-05, se encuentran en el rango 30 – 44, que califica la calidad de agua como “Malo”; y la estación PMA-06, se encuentran en el rango 75 – 89, que califica la calidad de agua como “Bueno”, considerar que en esta estación no se realizaron monitoreos en los años 2015 y 2016, lo que podría ser un factor que infiere en los resultados de la calidad.

**Tabla 33**

***Resultados ICA-PE – Cuenca Baja del río Chillón – D1 Riego de vegetales\****

| Monitoreos de la Cuenca Chillón 2012-2016 |                    |                |                  |       |
|---|--------------------|----------------|------------------|-------|
| N°  | Punto de Monitoreo | Cuerpo de Agua | Resultado ICA-PE |       |
| 1   | PMA - 01           | Río Chillón    | 42               | Malo  |
| 2   | PMA – 02           | Río Chillón    | 42               | Malo  |
| 3   | PMA – 03           | Río Chillón    | 44               | Malo  |
| 4   | PMA – 04           | Río Chillón    | 44               | Malo  |
| 5   | PMA – 05           | Río Chillón    | 43               | Malo  |
| 6   | PMA - 06           | Río Chillón    | 78               | Bueno |

\*Agua para riego no restringido/Coliformes Termotolerantes 1000 NMP/100 ml.

**Fuente:** Elaboración propia.

En la tabla 34, se encuentran los resultados finales de los Índice de Calidad ambiental del agua – ICA. Las estaciones PMA-01, PMA-02 y PMA-05, se encuentran en el rango 30 – 44, que

califica la calidad de agua como “Malo”; las estaciones PMA-03 y PMA-04 se encuentran en el rango 45 – 74, que califica la calidad de agua como “Regular”; y la estación PMA-06, se encuentran en el rango 75 – 89, que califica la calidad de agua como “Bueno”, considerar que en esta estación no se realizaron monitoreos en los años 2015 y 2016.

**Tabla 34**

**Resultados ICA-PE – Cuenca Baja del río Chillón – D1 Riego de vegetales\***

| Monitoreos de la Cuenca Chillón 2012-2016 |                    |                |                  |         |
|---|--------------------|----------------|------------------|---------|
| N°  | Punto de Monitoreo | Cuerpo de Agua | Resultado ICA-PE |         |
| 1   | PMA - 01           | Río Chillón    | 42               | Malo    |
| 2   | PMA – 02           | Río Chillón    | 42               | Malo    |
| 3   | PMA – 03           | Río Chillón    | 45               | Regular |
| 4   | PMA – 04           | Río Chillón    | 46               | Regular |
| 5   | PMA – 05           | Río Chillón    | 44               | Malo    |
| 6   | PMA - 06           | Río Chillón    | 87               | Bueno   |

\*Agua para riego restringido//Coliformes Termotolerantes 2000 NMP/100 ml.

**Fuente:** Elaboración propia.

En la tabla 35, se encuentran los resultados finales de los Índice de Calidad ambiental del agua – ICA. Las estaciones PMA-01, PMA-02, PMA-03, PMA-04 y PMA-05, se encuentran en el rango 30 – 44, que califica la calidad de agua como “Malo”; y la estación PMA-06, se encuentran en el rango 75 – 89, que califica la calidad de agua como “Bueno”, considerar que en esta estación no se realizaron monitoreos en los años 2015 y 2016.

**Tabla 35**

**Resultados ICA-PE – Cuenca Baja del río Chillón – D2 Bebida de Animales**

| Monitoreos de la Cuenca Chillón 2012-2016 |                    |                |                  |       |
|---|--------------------|----------------|------------------|-------|
| N°  | Punto de Monitoreo | Cuerpo de Agua | Resultado ICA-PE |       |
| 1   | PMA - 01           | Río Chillón    | 42               | Malo  |
| 2   | PMA – 02           | Río Chillón    | 42               | Malo  |
| 3   | PMA – 03           | Río Chillón    | 44               | Malo  |
| 4   | PMA – 04           | Río Chillón    | 44               | Malo  |
| 5   | PMA – 05           | Río Chillón    | 43               | Malo  |
| 6   | PMA - 06           | Río Chillón    | 78               | Bueno |

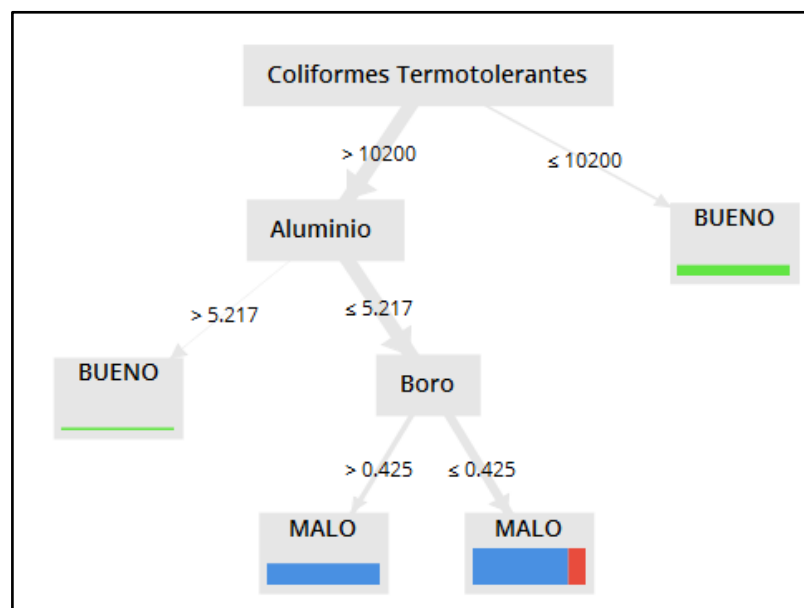
**Fuente:** Elaboración propia.

### 4.3. Aplicación del RapidMiner

Los resultados obtenidos en el software RapidMiner 9.0, fueron los árboles de decisión que se mostraran a continuación y que indican que los Coliformes Termotolerantes, Conductividad, Zinc, Arsénico, Hierro, Manganeso y Boro son las variables de mayor impacto en la cuenca baja del río Chillón, por ser las variables que mayor relación guardan entre ellas. El árbol se dividió en varias imágenes, puesto que, por su magnitud, no puede ser expuesto en una sola imagen.

En las siguientes imágenes se ilustrará la información correspondiente al árbol generado, en diferentes partes para su explicación:

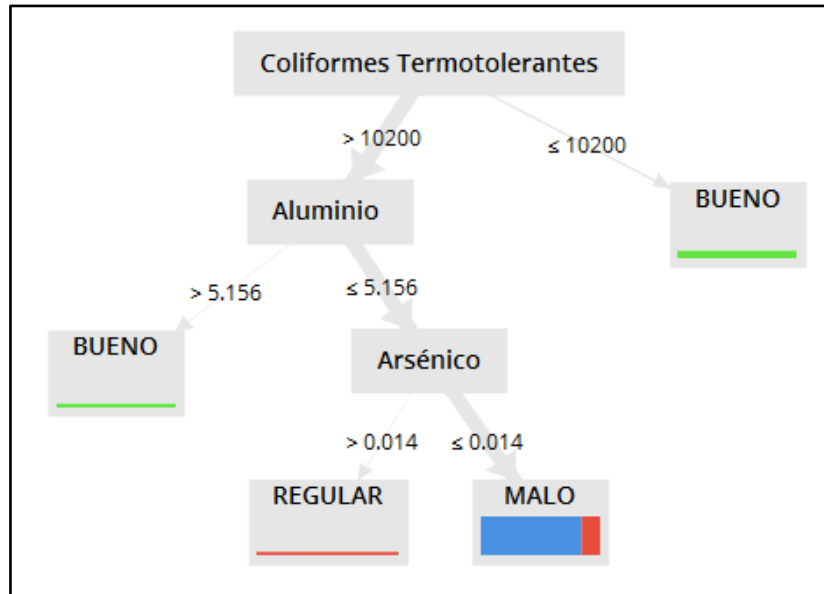
- De acuerdo a la figura 32, el nodo principal es la variable Coliformes Termotolerantes, de manera que, si los Coliformes Termotolerantes son menores o iguales a 10200, la calidad ambiental del agua será buena. Por otro lado, si los resultados de un mismo análisis indican que los Coliformes Termotolerantes son mayores a 10200, el Aluminio es menor o igual a 5.217 y el Boro es menor o igual a 0.425, la calidad ambiental del agua será mala.



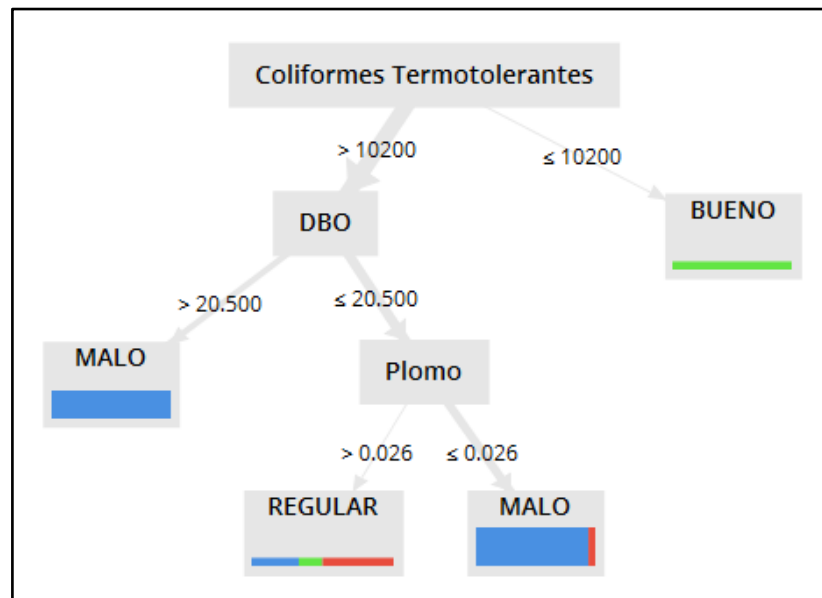
**Figura 32. Coliformes Termotolerantes – Árbol de decisión 1**

Fuente: Elaboración propia.

- De acuerdo a la figura 33, el nodo principal es la variable Coliformes Termotolerantes, de manera que, si los Coliformes Termotolerantes son menores o iguales a 10200, la calidad ambiental del agua será buena. Por otro lado, si los resultados de un mismo análisis indican que los Coliformes Termotolerantes son mayores a 10200, el Aluminio es menor o igual a 5.156 y el Arsénico es menor o igual a 0.014, la calidad ambiental del agua será mala.



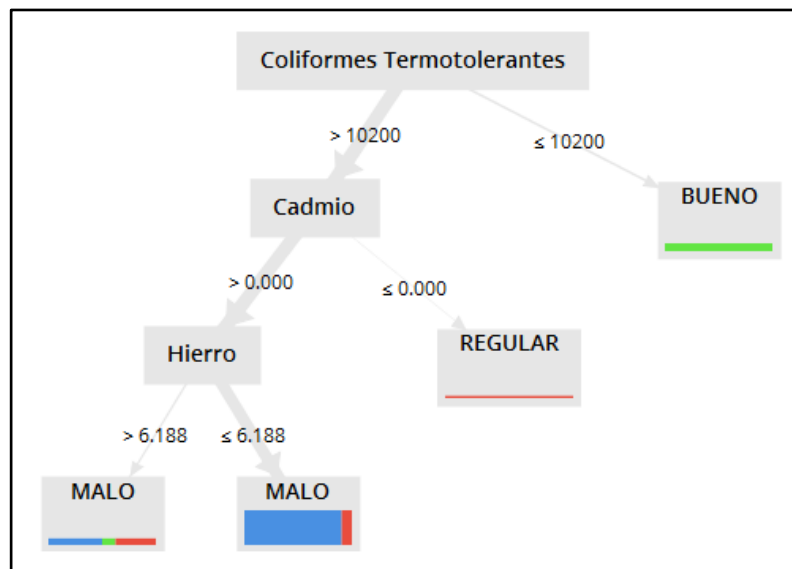
**Figura 33. Coliformes Termotolerantes – Árbol de decisión 2**  
Fuente: Elaboración propia.



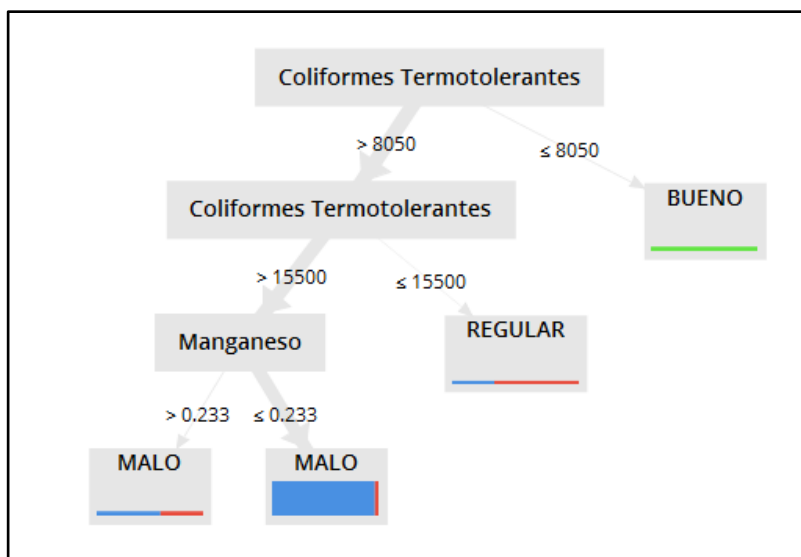
**Figura 34. Coliformes Termotolerantes – Árbol de decisión 3**  
Fuente: Elaboración propia.

- De acuerdo a la figura 34, el nodo principal es la variable Coliformes Termotolerantes, de manera que, si los Coliformes Termotolerantes son menores o iguales a 10200, la calidad ambiental del agua será buena. Por otro lado, si los resultados de un mismo análisis indican que los Coliformes Termotolerantes son mayores a 10200, la Demanda Bioquímica Orgánica es menor o igual a 20.500 y el Plomo es menor o igual a 0.026, la calidad ambiental del agua será mala.
- De acuerdo a la figura 35, el nodo principal es la variable Coliformes Termotolerantes, de manera que, si los Coliformes Termotolerantes son menores o iguales a 10200, la calidad ambiental del agua será buena. Por otro lado, si los resultados de un mismo análisis indican que los Coliformes Termotolerantes son mayores a 10200 y el Hierro es menor o igual a 6.188, la calidad ambiental del agua será mala.

El software RapidMiner no incluyó al Cadmio en el árbol de decisión, debido a que la información ingresada no fue suficiente para medir la calidad ambiental del agua.

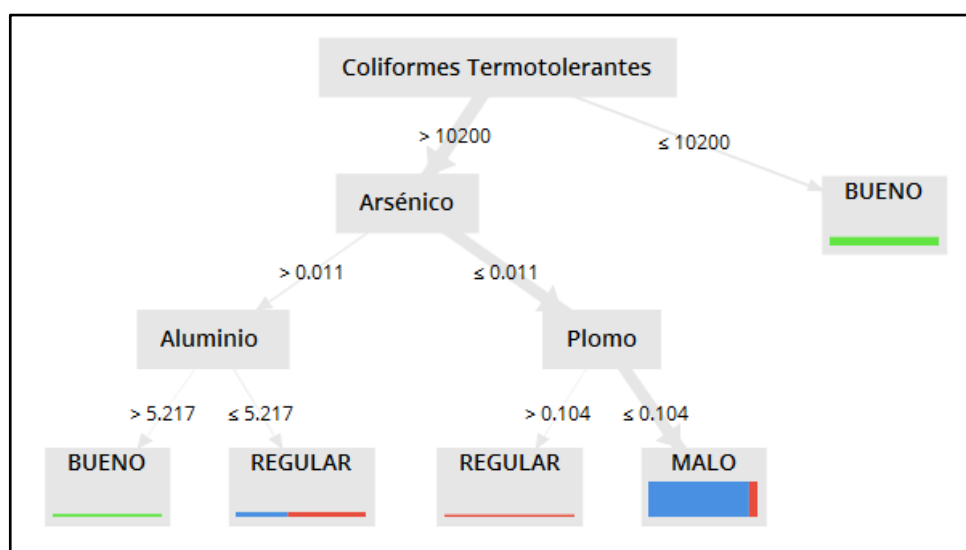


**Figura 35. Coliformes Termotolerantes – Árbol de decisión 3**  
 Fuente: Elaboración propia.



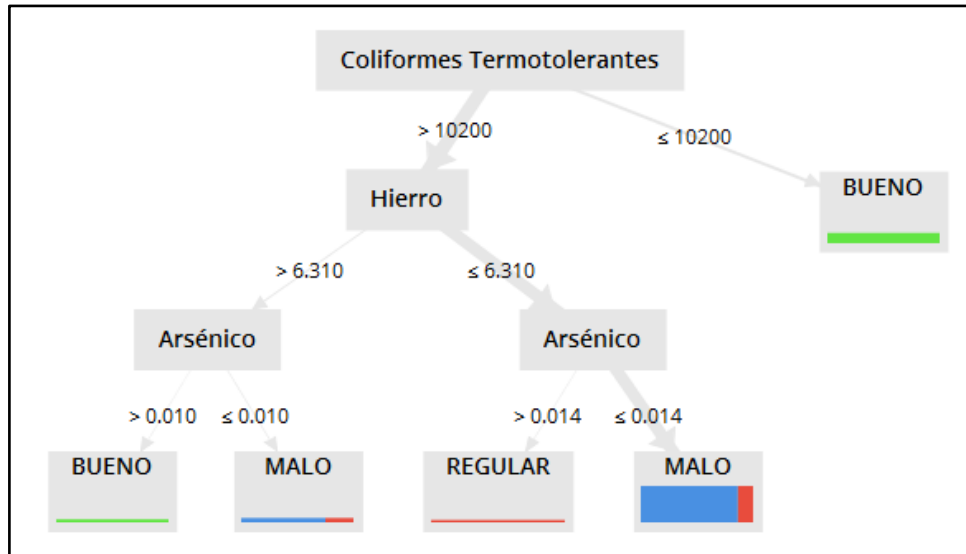
**Figura 36. Coliformes Termotolerantes – Árbol de decisión 4**  
Fuente: Elaboración propia.

- De acuerdo a la figura 36, el nodo principal es la variable Coliformes Termotolerantes, de manera que, si los Coliformes Termotolerantes son menores o iguales a 8050, la calidad ambiental del agua será buena. Por otro lado, si los resultados de un mismo análisis indican que los Coliformes Termotolerantes son mayores a 15500; y el Manganeso es menor o igual a 0.233, la calidad ambiental del agua será mala.



**Figura 37. Coliformes Termotolerantes – Árbol de decisión 5**  
Fuente: Elaboración propia.

- De acuerdo a la figura 37, el nodo principal es la variable Coliformes Termotolerantes, de manera que, si los Coliformes Termotolerantes son menores o iguales a 10200, la calidad ambiental del agua será buena. Por otro lado, si los resultados de un mismo análisis indican que los Coliformes Termotolerantes son mayores a 10200, el Arsénico es menor o igual a 0.011 y el Plomo es menor o igual a 0.104, la calidad ambiental del agua será mala.

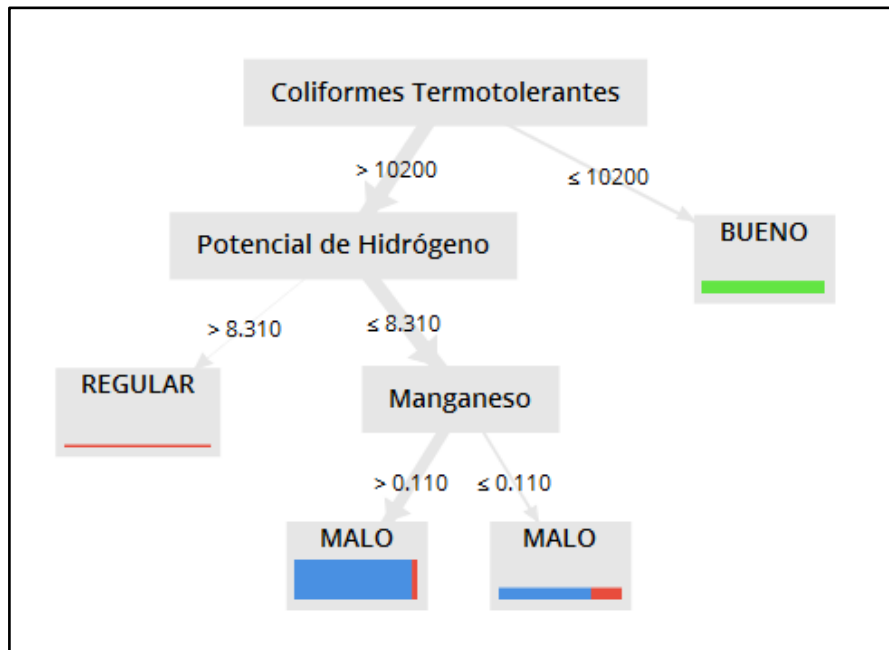


**Figura 38. Coliformes Termotolerantes – Árbol de decisión 6**

Fuente: Elaboración propia.

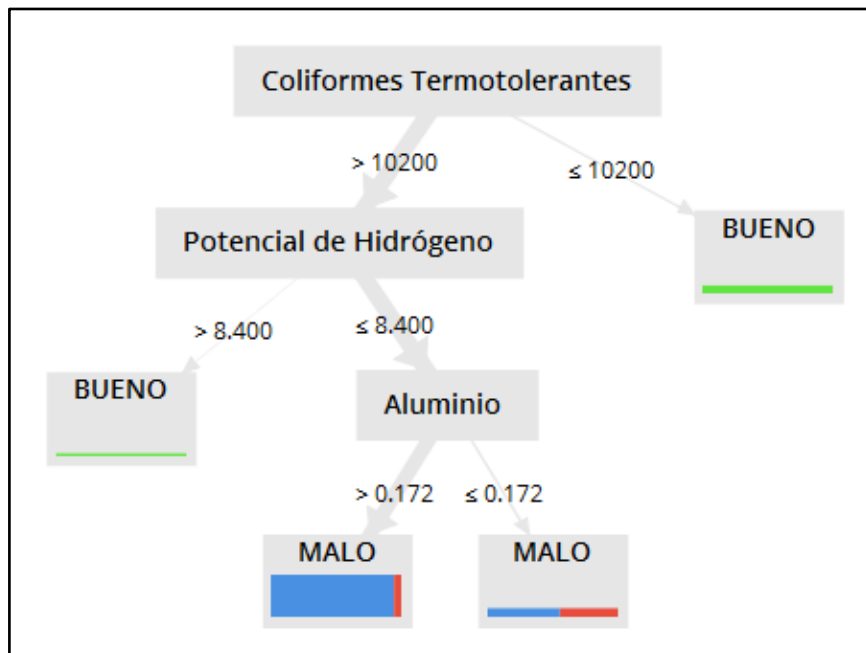
- De acuerdo a la figura 38, el nodo principal es la variable Coliformes Termotolerantes, de manera que, si los Coliformes Termotolerantes son menores o iguales a 10200, la calidad ambiental del agua será buena. Por otro lado, si los resultados de un mismo análisis indican que los Coliformes Termotolerantes son mayores a 10200, el Hierro es menor o igual a 6.310 y el Arsénico es menor o igual a 0.014, la calidad ambiental del agua será mala.
- De acuerdo a la figura 39, el nodo principal es la variable Coliformes Termotolerantes, de manera que, si los Coliformes Termotolerantes son menores o iguales a 10200, la calidad ambiental del agua será buena. Por otro lado, si los resultados de un mismo análisis indican que los Coliformes Termotolerantes son mayores a 10200, el Potencial de Hidrógeno es

menor o igual a 8.310 y el Manganeso es mayor a 0.110, la calidad ambiental del agua será mala.



**Figura 39. Coliformes Termotolerantes – Árbol de decisión 7**

Fuente: Elaboración propia.

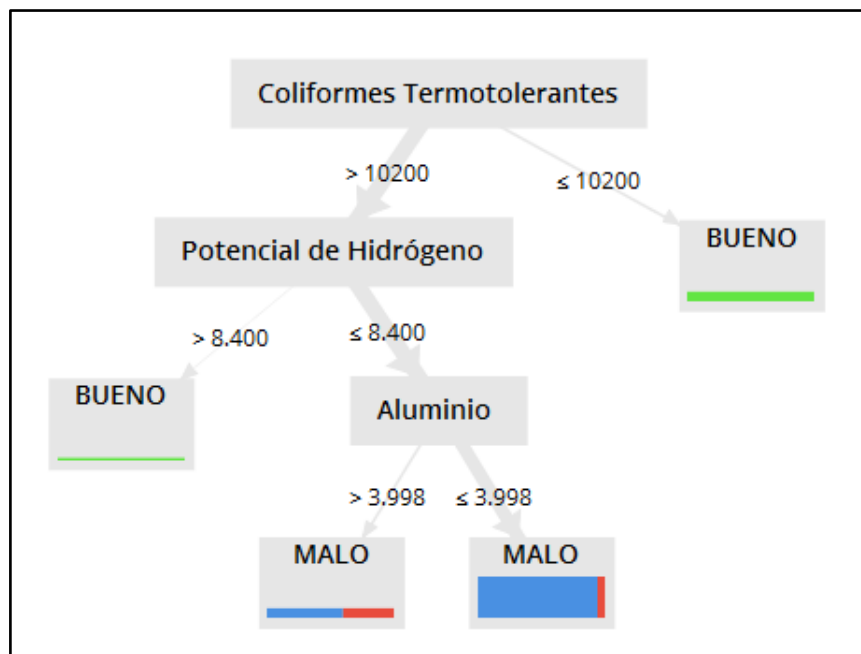


**Figura 40. Coliformes Termotolerantes – Árbol de decisión 8**

Fuente: Elaboración propia.



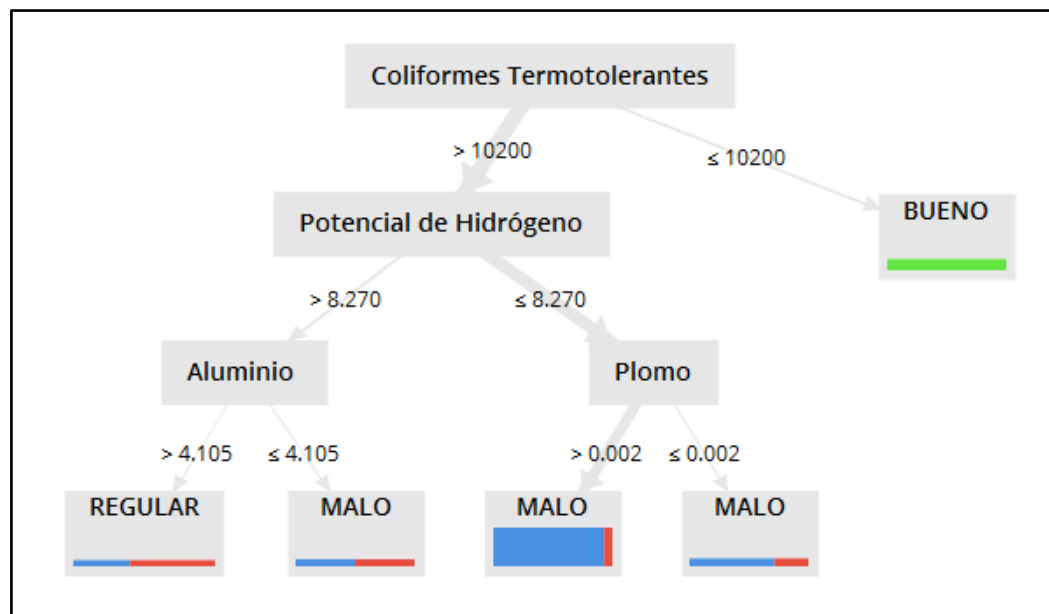
- De acuerdo a la figura 40, el nodo principal es la variable Coliformes Termotolerantes, de manera que, si los Coliformes Termotolerantes son menores o iguales a 10200, la calidad ambiental del agua será buena. Por otro lado, si los resultados de un mismo análisis indican que los Coliformes Termotolerantes son mayores a 10200, el Potencial de Hidrógeno es menor o igual a 8.400 y el Aluminio es mayor a 0.172, la calidad ambiental del agua será mala.



**Figura 41. Coliformes Termotolerantes – Árbol de decisión 9**  
Fuente: Elaboración propia.

- De acuerdo a la figura 41, el nodo principal es la variable Coliformes Termotolerantes, de manera que, si los Coliformes Termotolerantes son menores o iguales a 10200, la calidad ambiental del agua será buena. Por otro lado, si los resultados de un mismo análisis indican que los Coliformes Termotolerantes son mayores a 10200, el Potencial de Hidrógeno es menor o igual a 8.400 y el Aluminio es menor o igual a 3.998, la calidad ambiental del agua será mala.

- De acuerdo a la figura 42, el nodo principal es la variable Coliformes Termotolerantes, de manera que, si los Coliformes Termotolerantes son menores o iguales a 10200, la calidad ambiental del agua será buena. Por otro lado, si los resultados de un mismo análisis indican que los Coliformes Termotolerantes son mayores a 10200, el Potencial de Hidrógeno es menor o igual a 8.270 y el Plomo es mayor a 0.002, la calidad ambiental del agua será mala.

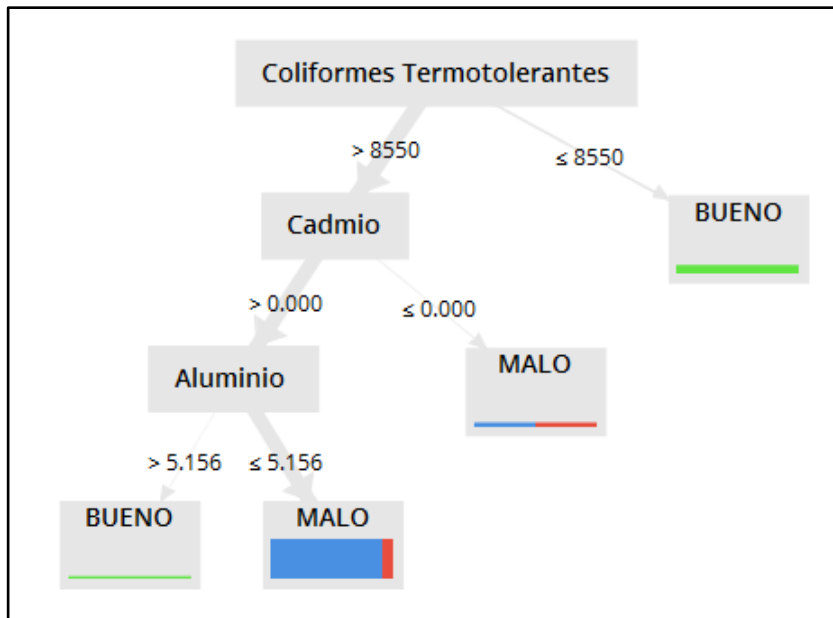


**Figura 42. Coliformes Termotolerantes – Árbol de decisión 10**

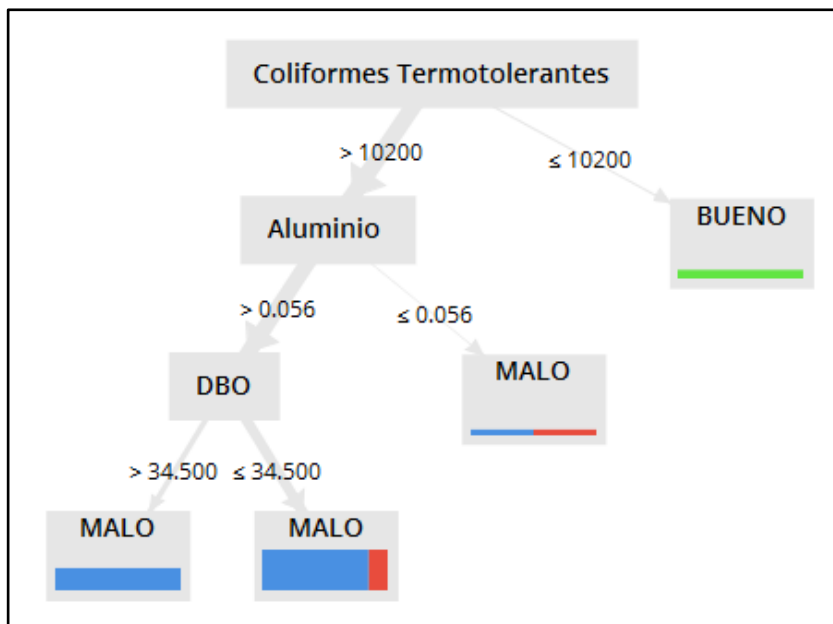
Fuente: Elaboración propia.

- De acuerdo a la figura 43, el nodo principal es la variable Coliformes Termotolerantes, de manera que, si los Coliformes Termotolerantes son menores o iguales a 8550, la calidad ambiental del agua será buena. Por otro lado, si los resultados de un mismo análisis indican que los Coliformes Termotolerantes son mayores a 8550 y el Aluminio es menor o igual a 5.156, la calidad ambiental del agua será mala.

El Cadmio no fue incluido en este árbol, debido a que la información ingresada no fue suficiente para medir la calidad ambiental del agua.



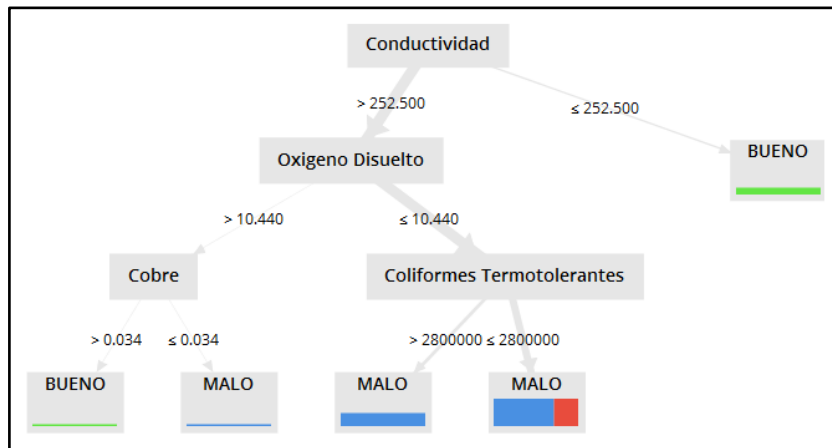
**Figura 43. Coliformes Termotolerantes – Árbol de decisión 11**  
**Fuente:** Elaboración propia.



**Figura 44. Coliformes Termotolerantes – Árbol de decisión 12**  
**Fuente:** Elaboración propia.

- De acuerdo a la figura 44, el nodo principal es la variable Coliformes Termotolerantes, de manera que, si los Coliformes Termotolerantes son menores o iguales a 10200, la calidad ambiental del agua será buena. Por otro lado, si los resultados de un mismo análisis indican que los Coliformes Termotolerantes son mayores a 10200, el Aluminio es mayor a 0.056 y

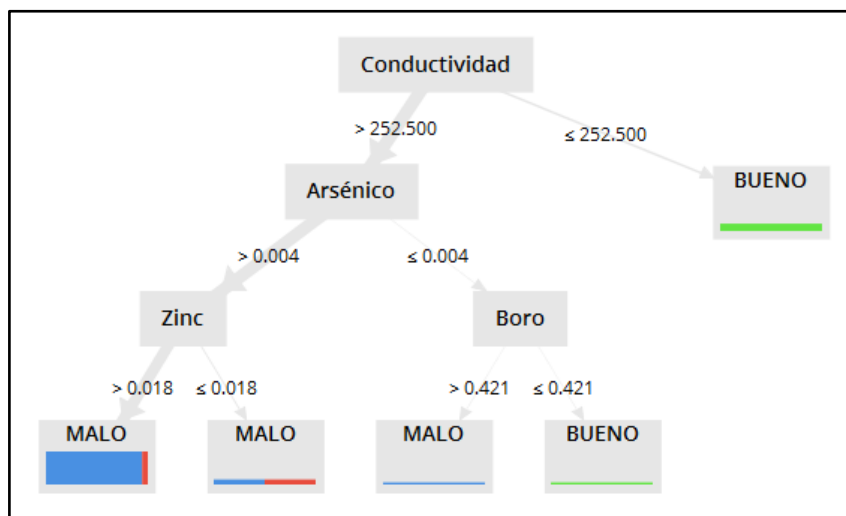
la Demanda Bioquímica Orgánica es menor o igual a 34.500, la calidad ambiental del agua será mala.



**Figura 45. Conductividad – Árbol de decisión 1**

Fuente: Elaboración propia.

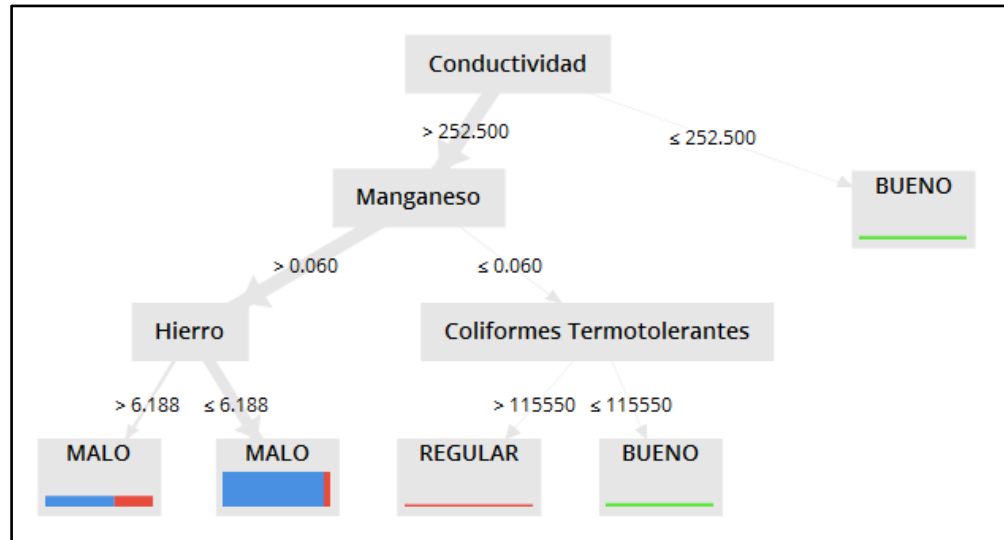
- De acuerdo a la figura 45, el nodo principal es la variable Conductividad, de manera que, si la Conductividad es menor o igual a 252.500, la calidad ambiental del agua será buena. Por otro lado, si los resultados de un mismo análisis indican que la Conductividad es mayor a 252.500, el Oxígeno Disuelto es menor o igual a 10.440 y los Coliformes Termotolerantes son menores o iguales a 2800000, la calidad ambiental del agua será mala.



**Figura 46. Conductividad – Árbol de decisión 2**

Fuente: Elaboración propia.

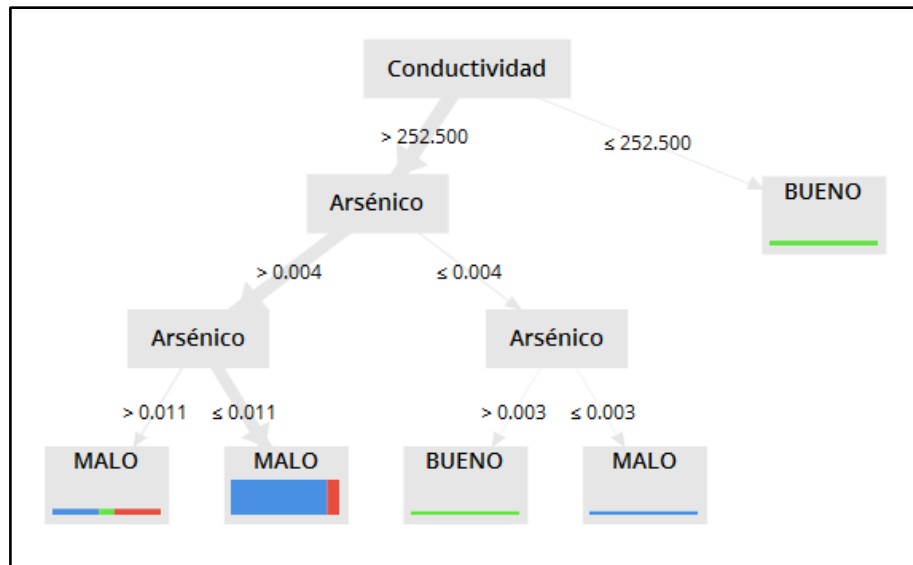
- De acuerdo a la figura 46, el nodo principal es la variable Conductividad, de manera que, si la Conductividad es menor o igual a 252.500, la calidad ambiental del agua será buena. Por otro lado, si los resultados de un mismo análisis indican que la Conductividad es mayor a 252.500, el Arsénico es mayor a 0.004 y el Zinc es mayor a 0.018, la calidad ambiental del agua será mala.



**Figura 47. Conductividad – Árbol de decisión 3**

Fuente: Elaboración propia.

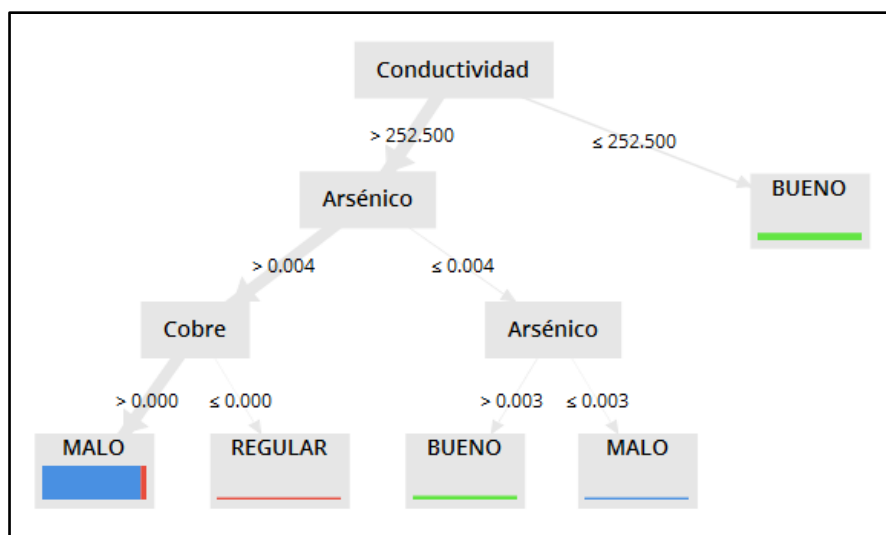
- De acuerdo a la figura 47, el nodo principal es la variable Conductividad, de manera que, si la Conductividad es menor o igual a 252.500, la calidad ambiental del agua será buena. Por otro lado, si los resultados de un mismo análisis indican que la Conductividad es mayor a 252.500, el Manganeseo es mayor a 0.060 y el Hierro es menor o igual a 6.188, la calidad ambiental del agua será mala.
- De acuerdo a la figura 48, el nodo principal es la variable Conductividad, de manera que, si la Conductividad es menor o igual a 252.500, la calidad ambiental del agua será buena. Por otro lado, si los resultados de un mismo análisis indican que la Conductividad es mayor a 252.500, el Arsénico es mayor a 0.004 y menor o igual a 0.011, la calidad ambiental del agua será mala.



**Figura 48. Conductividad – Árbol de decisión 4**

Fuente: Elaboración propia.

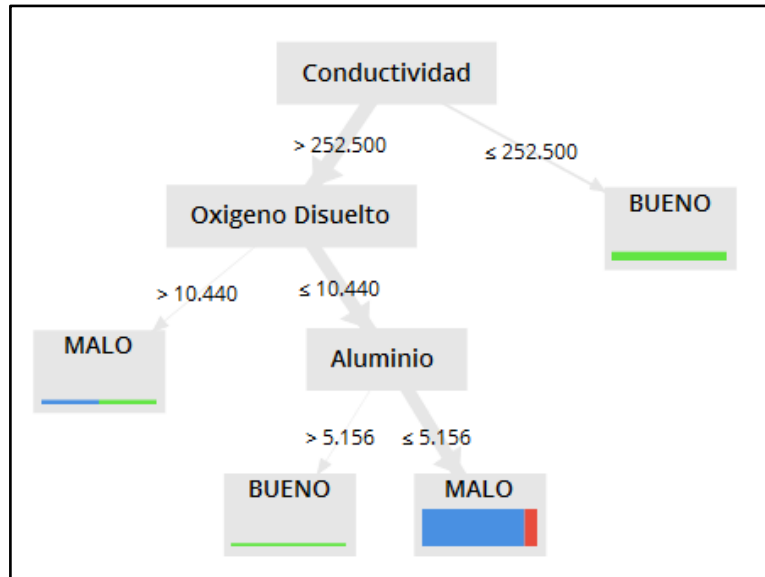
- De acuerdo a la figura 49, el nodo principal es la variable Conductividad, de manera que, si la Conductividad es menor o igual a 252.500, la calidad ambiental del agua será buena. Por otro lado, si los resultados de un mismo análisis indican que la Conductividad es mayor a 252.500, el Arsénico es mayor a 0.004, la calidad ambiental del agua será mala. El Cobre no fue incluido en este árbol, debido a que la información ingresada no fue suficiente para medir la calidad ambiental del agua.



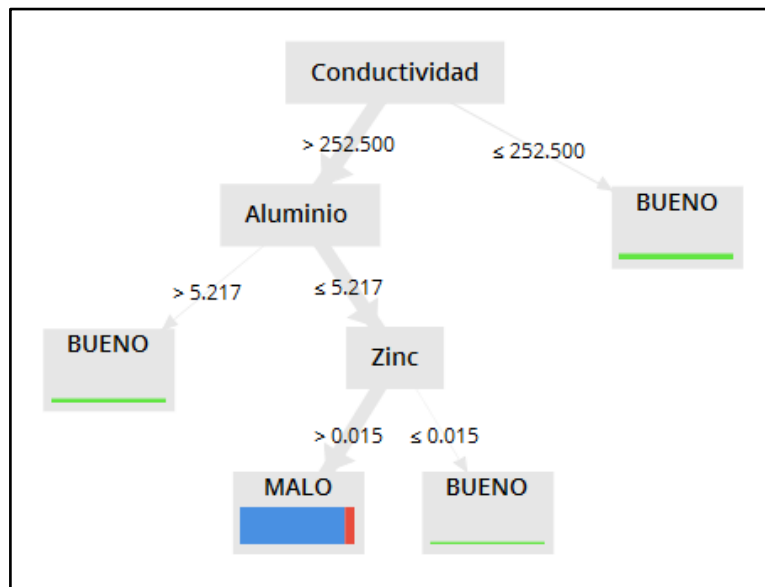
**Figura 49. Conductividad – Árbol de decisión 5**

Fuente: Elaboración propia.

- De acuerdo a la figura 50, el nodo principal es la variable Conductividad, de manera que, si la Conductividad es menor o igual a 252.500, la calidad ambiental del agua será buena. Por otro lado, si los resultados de un mismo análisis indican que la Conductividad es mayor a 252.500, el Oxígeno Disuelto es menor o igual a 10.440 y el Aluminio es menor o igual a 5.156, la calidad ambiental del agua será mala.

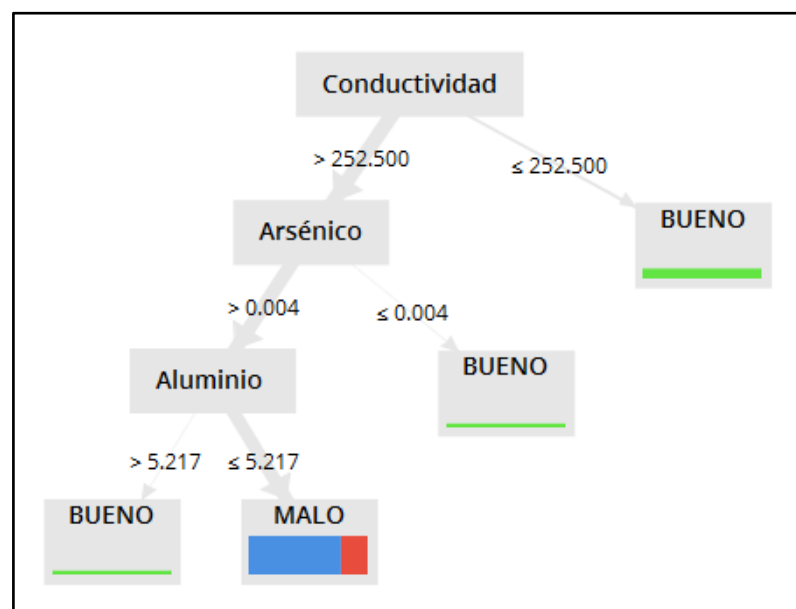


**Figura 50. Conductividad – Árbol de decisión 6**  
Fuente: Elaboración propia.



**Figura 51. Conductividad – Árbol de decisión 7**  
Fuente: Elaboración propia.

- De acuerdo a la figura 51, el nodo principal es la variable Conductividad, de manera que, si la Conductividad es menor o igual a 252.500, la calidad ambiental del agua será buena. Por otro lado, si los resultados de un mismo análisis indican que la Conductividad es mayor a 252.500, el Aluminio es menor o igual a 5.217 y el Zinc es mayor a 0.015, la calidad ambiental del agua será mala.
- De acuerdo a la figura 52, el nodo principal es la variable Conductividad, de manera que, si la Conductividad es menor o igual a 252.500, la calidad ambiental del agua será buena. Por otro lado, si los resultados de un mismo análisis indican que la Conductividad es mayor a 252.500, el Arsénico es mayor a 0.004 y el Aluminio es menor o igual a 5.217, la calidad ambiental del agua será mala.



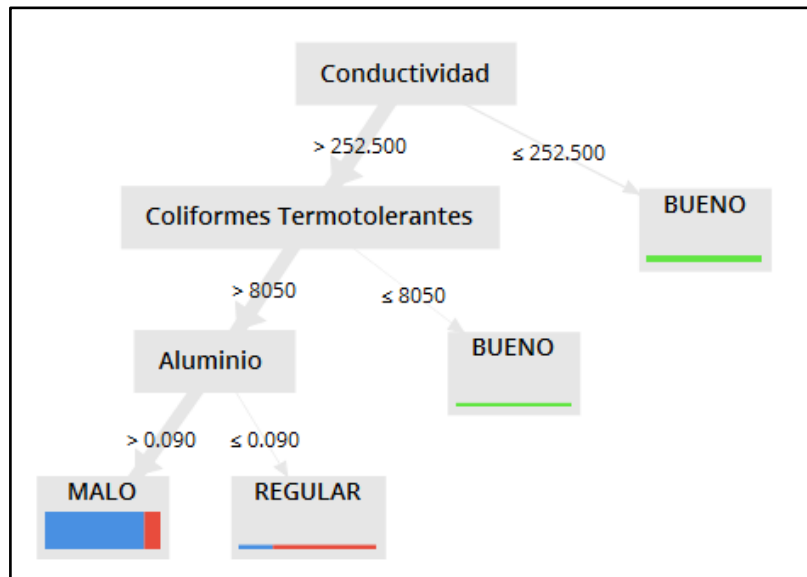
**Figura 52. Conductividad – Árbol de decisión 8**

Fuente: Elaboración propia.

- De acuerdo a la figura 53, el nodo principal es la variable Conductividad, de manera que, si la Conductividad es menor o igual a 252.500, la calidad ambiental del agua será buena. Por otro lado, si los resultados de un mismo análisis indican que la Conductividad es mayor



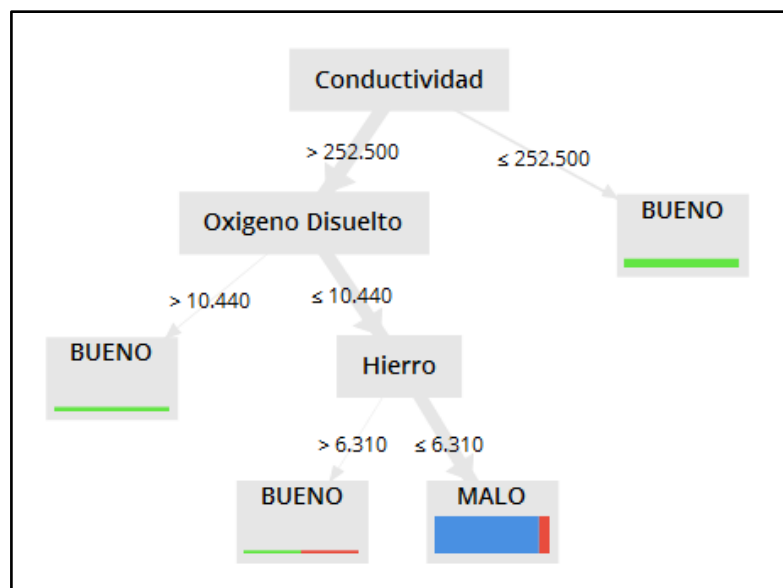
a 252.500, los Coliformes Termotolerantes son mayores a 8050 y el Aluminio es mayor a 0.090, la calidad ambiental del agua será mala.



**Figura 53. Conductividad – Árbol de decisión 9**

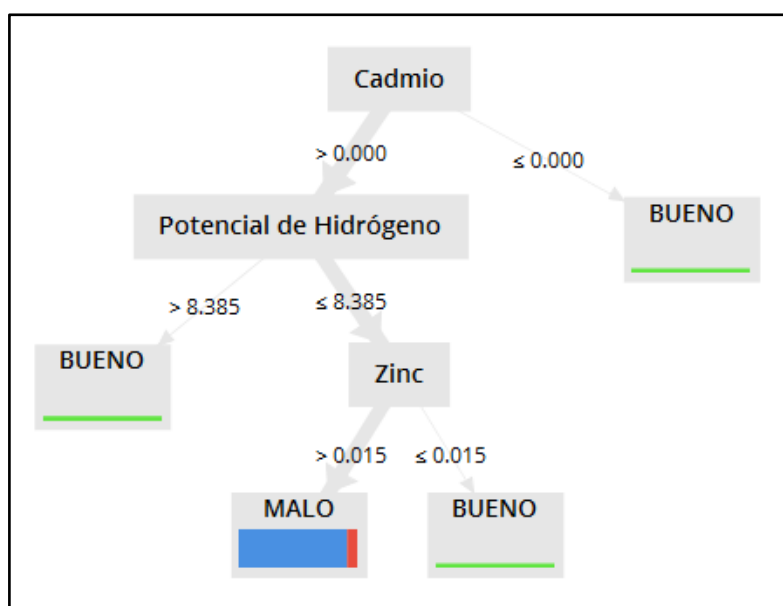
Fuente: Elaboración propia.

- De acuerdo a la figura 54, el nodo principal es la variable Conductividad, de manera que, si la Conductividad es menor o igual a 252.500, la calidad ambiental del agua será buena. Por otro lado, si los resultados de un mismo análisis indican que la Conductividad es mayor a 252.500, el Oxígeno Disuelto es menor o igual a 10.440 y el Hierro es menor o igual a 6.310, la calidad ambiental del agua será mala.



**Figura 54. Conductividad – Árbol de decisión 10**

Fuente: Elaboración propia.

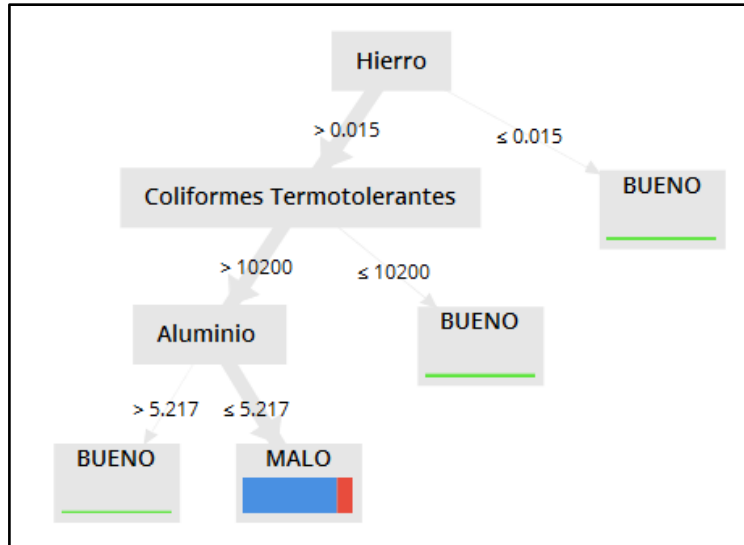


**Figura 55. Potencial de Hidrógeno – Árbol de decisión 1**

Fuente: Elaboración propia.

- De acuerdo a la figura 55, el nodo principal es el Potencial de Hidrógeno, de manera que, si los resultados de un mismo análisis indican que el Potencial de Hidrogeno es menor o igual a 8.385 y el Zinc es mayor a 0.015, la calidad ambiental del agua es mala.

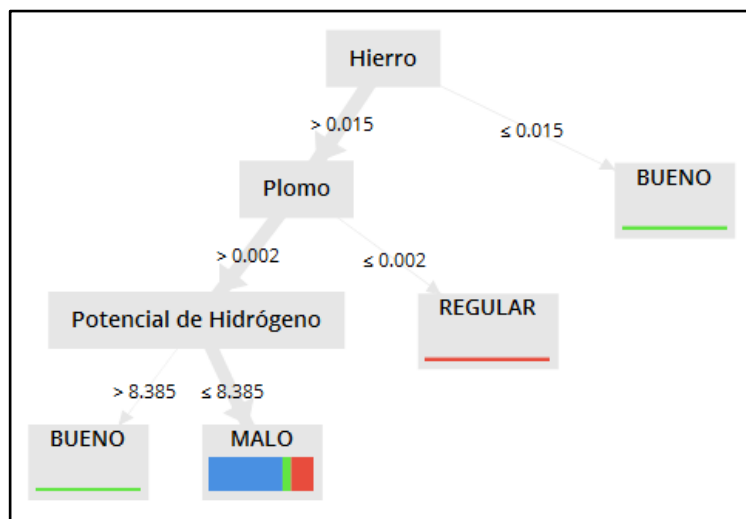
El Cadmio no fue incluido en este árbol, debido a que la información ingresada no fue suficiente para medir la calidad ambiental del agua.



**Figura 56. Hierro – Árbol de decisión 2**

Fuente: Elaboración propia.

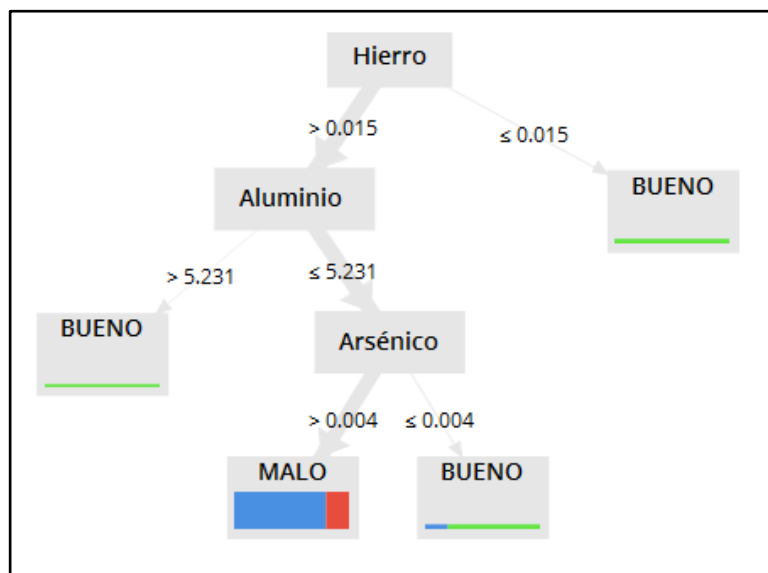
- De acuerdo a la figura 56, el nodo principal es la variable Hierro, de manera que, si el Hierro es menor o igual a 0.015, la calidad ambiental del agua será buena. Por otro lado, si los resultados de un mismo análisis indican que el Hierro es mayor a 0.015, los Coliformes Termotolerantes es mayor a 10200 y el Aluminio es menor o igual a 5.217, la calidad ambiental del agua será mala.



**Figura 57. Hierro – Árbol de decisión 3**

Fuente: Elaboración propia.

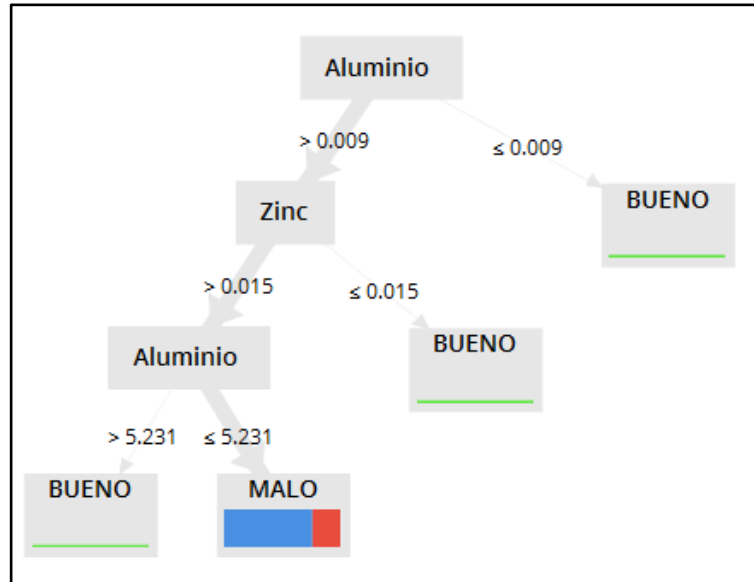
- De acuerdo a la figura 57, el nodo principal es la variable Hierro, de manera que, si el Hierro es menor o igual a 0.015, la calidad ambiental del agua será buena. Por otro lado, si los resultados de un mismo análisis indican que el Hierro es mayor a 0.015, el Plomo es mayor a 0.002 y el Potencial de Hidrógeno es menor o igual a 8.385, la calidad ambiental del agua será mala.
- De acuerdo a la figura 58, el nodo principal es la variable Hierro, de manera que, si el Hierro es menor o igual a 0.015, la calidad ambiental del agua será buena. Por otro lado, si los resultados de un mismo análisis indican que el Hierro es mayor a 0.015, el Aluminio es menor o igual a 5.231 y el Arsénico es mayor a 0.004, la calidad ambiental del agua será mala.



**Figura 58. Hierro – Árbol de decisión 4**  
Fuente: Elaboración propia.

- De acuerdo a la figura 59, el nodo principal es la variable Aluminio, de manera que, si el Aluminio es menor o igual a 0.009, la calidad ambiental del agua será buena. Por otro lado, si los resultados de un mismo análisis indican que el Aluminio es mayor a 0.009, el Zinc

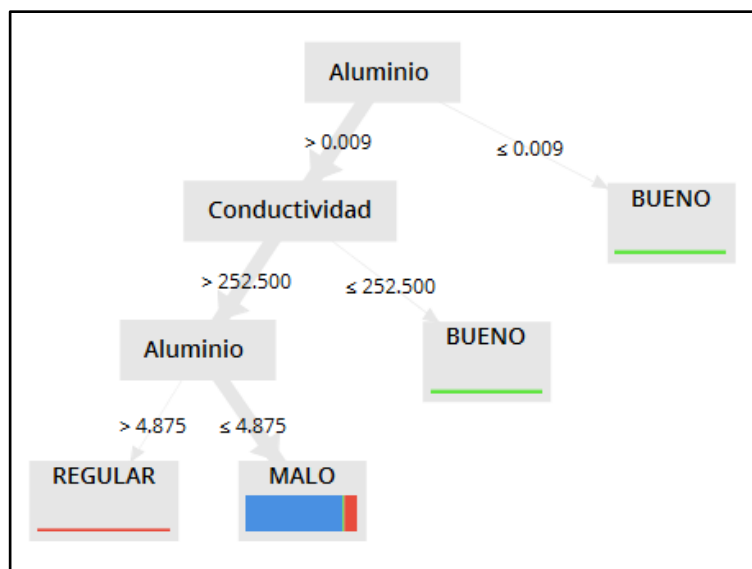
es mayor a 0.015 y el Aluminio es menor o igual a 5.231, la calidad ambiental del agua será mala.



**Figura 59. Aluminio – Árbol de decisión 1**

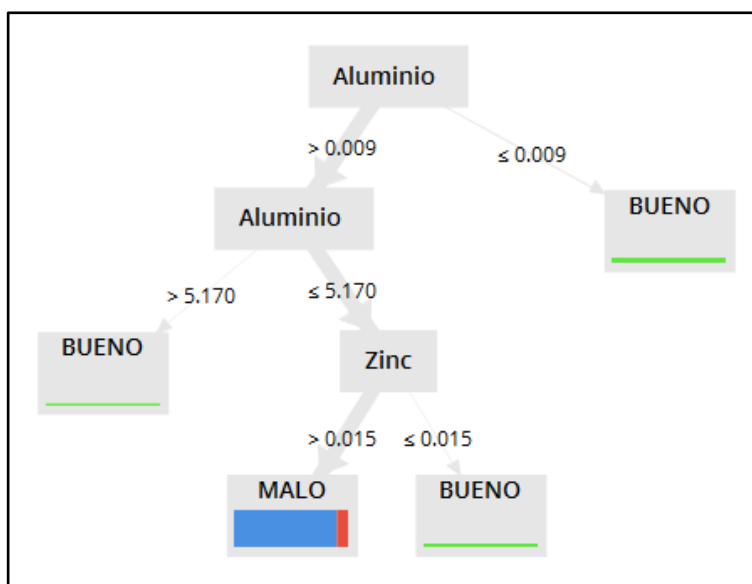
Fuente: Elaboración propia.

- De acuerdo a la figura 60, el nodo principal es la variable Aluminio, de manera que, si el Aluminio es menor o igual a 0.009, la calidad ambiental del agua será buena. Por otro lado, si los resultados de un mismo análisis indican que el Aluminio es mayor a 0.009, la Conductividad es mayor a 252.500 y el Aluminio es menor o igual a 4.875, la calidad ambiental del agua será mala.



**Figura 60. Aluminio – Árbol de decisión 2**

Fuente: Elaboración propia.

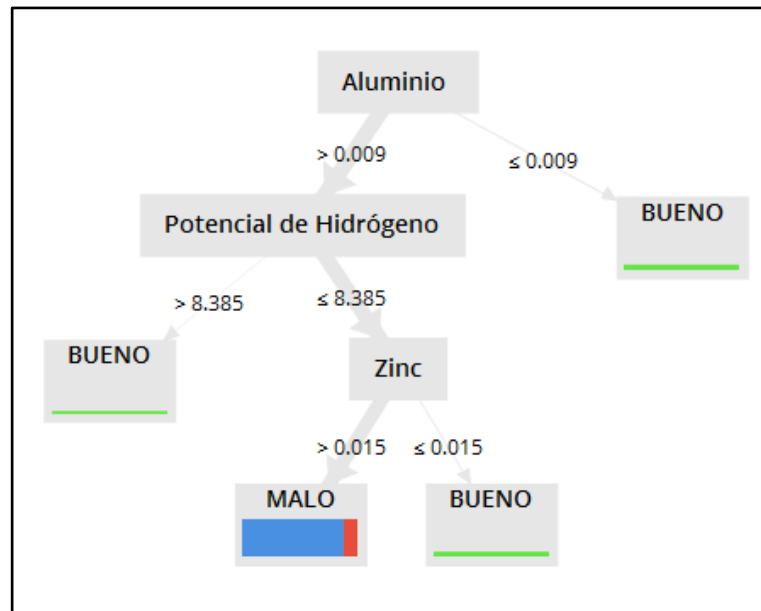


**Figura 61. Aluminio – Árbol de decisión 3**

Fuente: Elaboración propia.

- De acuerdo a la figura 61, el nodo principal es la variable Aluminio, de manera que, si el Aluminio es menor o igual a 0.009, la calidad ambiental del agua será buena. Por otro lado, si los resultados de un mismo análisis indican que el Aluminio es mayor a 0.009 y menor o igual a 5.170; y el Zinc es mayor a 0.015, la calidad ambiental del agua será mala.

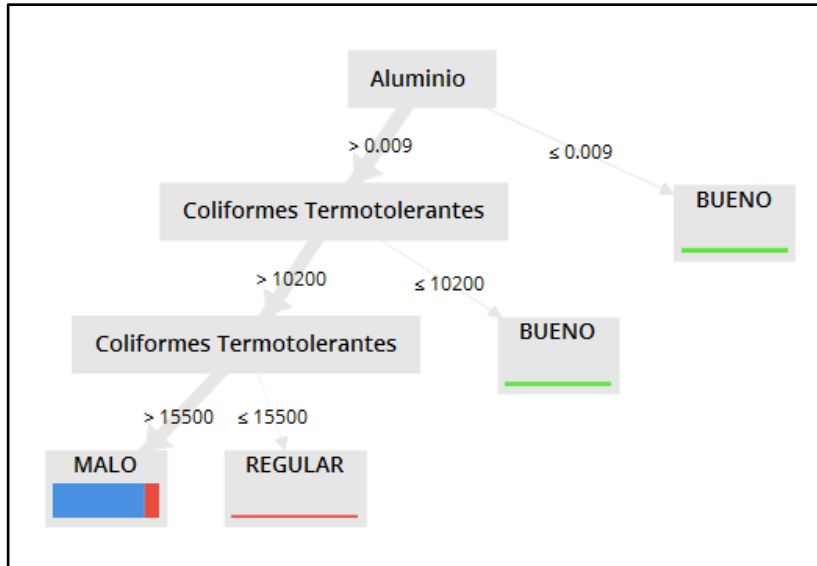
- De acuerdo a la figura 62, el nodo principal es la variable Aluminio, de manera que, si el Aluminio es menor o igual a 0.009, la calidad ambiental del agua será buena. Por otro lado, si los resultados de un mismo análisis indican que el Aluminio es mayor a 0.009, el Potencial de Hidrógeno es menor o igual a 8.385 y el Zinc es mayor a 0.015, la calidad ambiental del agua será mala.



**Figura 62. Aluminio – Árbol de decisión 4**

Fuente: Elaboración propia.

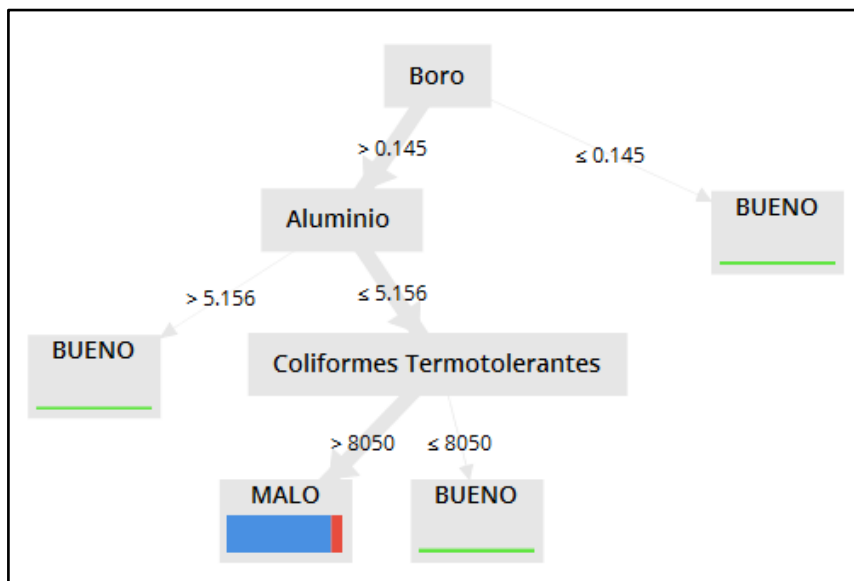
- De acuerdo a la figura 63, el nodo principal es la variable Aluminio, de manera que, si el Aluminio es menor o igual a 0.009, la calidad ambiental del agua será buena. Por otro lado, si los resultados de un mismo análisis indican que el Aluminio es mayor a 0.009, los Coliformes Termotolerantes es mayor a 10200 y mayor a 15500, la calidad ambiental del agua será mala.



**Figura 63. Aluminio – Árbol de decisión 5**

Fuente: Elaboración propia.

- De acuerdo a la figura 64, el nodo principal es la variable Boro, de manera que, si el Boro es menor o igual a 0.145, la calidad ambiental del agua será buena. Por otro lado, si los resultados de un mismo análisis indican que el Boro es mayor a 0.145, el Aluminio es menor o igual a 5.156 y los Coliformes Termotolerantes es mayor a 8050, la calidad ambiental del agua será mala.

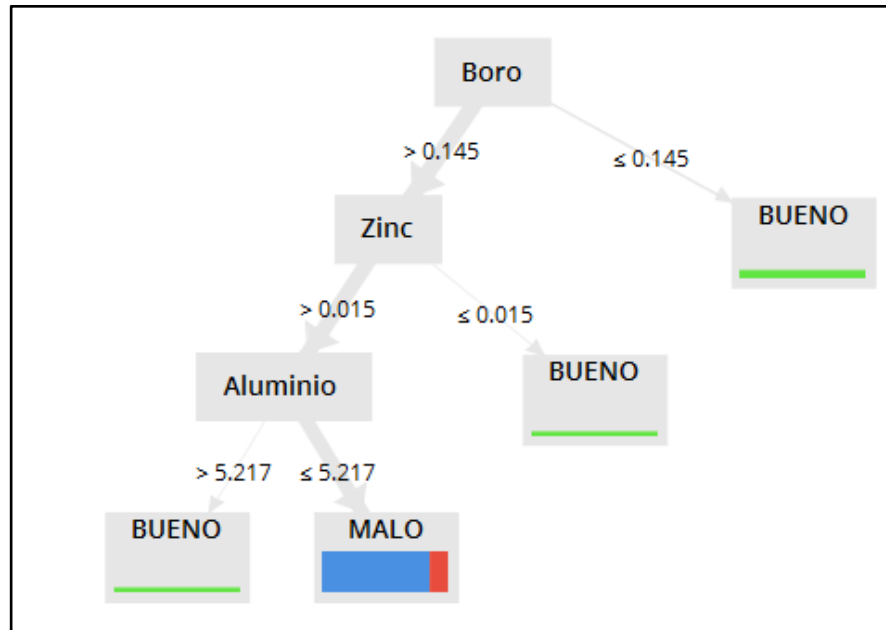


**Figura 64. Boro – Árbol de decisión 1**

Fuente: Elaboración propia.

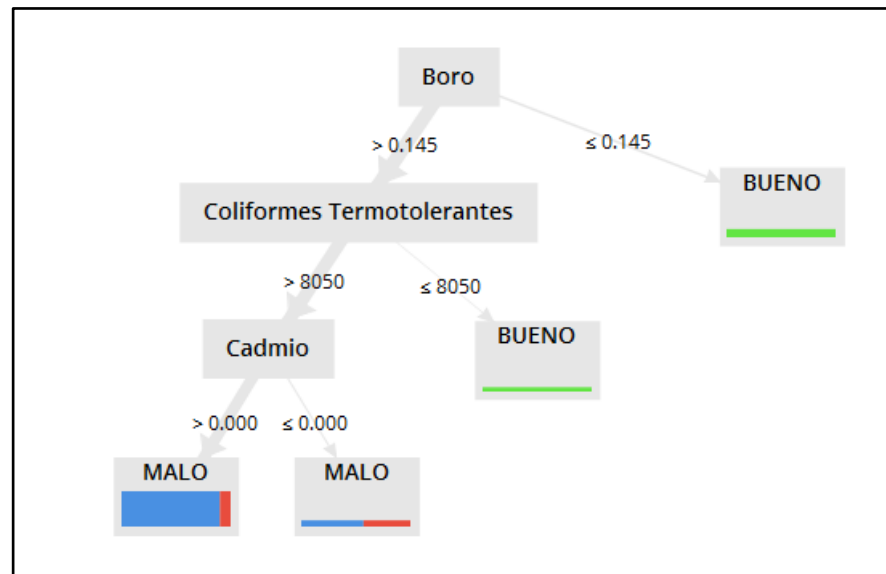


- De acuerdo a la figura 65, el nodo principal es la variable Boro, de manera que, si el Boro es menor o igual a 0.145, la calidad ambiental del agua será buena. Por otro lado, si los resultados de un mismo análisis indican que el Boro es mayor a 0.145, el Zinc es mayor a 0.015 y el Aluminio es menor o igual 5.217, la calidad ambiental del agua será mala.



**Figura 65. Boro – Árbol de decisión 2**

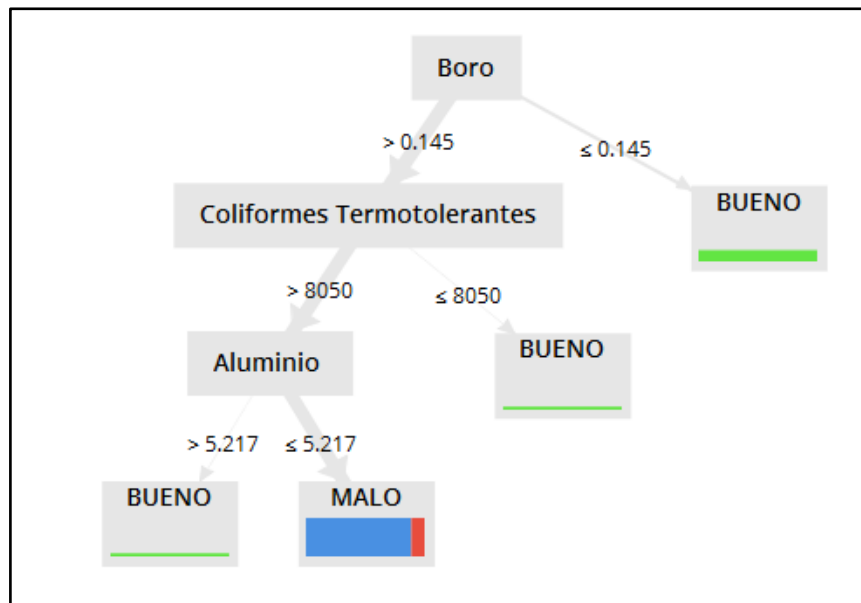
Fuente: Elaboración propia.



**Figura 66. Boro – Árbol de decisión 3**

Fuente: Elaboración propia.

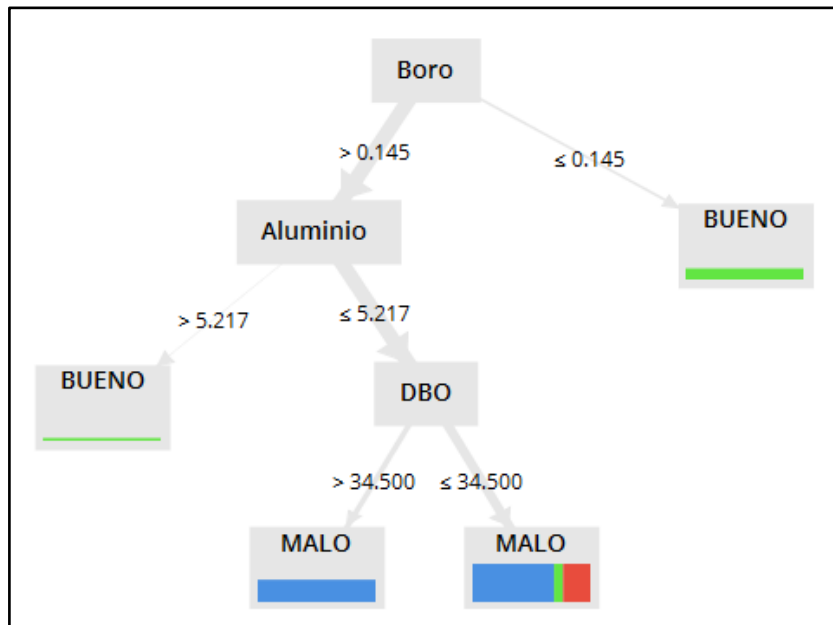
- De acuerdo a la figura 66, el nodo principal es la variable Boro, de manera que, si el Boro es menor o igual a 0.145, la calidad ambiental del agua será buena. Por otro lado, si los resultados de un mismo análisis indican que el Boro es mayor a 0.145, los Coliformes Termotolerantes es mayor a 8050, la calidad ambiental del agua será mala. El Cadmio no fue incluido en este árbol, debido a que la información ingresada no fue suficiente para medir la calidad ambiental del agua.
- De acuerdo a la figura 67, el nodo principal es la variable Boro, de manera que, si el Boro es menor o igual a 0.145, la calidad ambiental del agua será buena. Por otro lado, si los resultados de un mismo análisis indican que el Boro es mayor a 0.145, los Coliformes Termotolerantes es mayor a 8050 y el Aluminio es menor o igual a 5.217, la calidad ambiental del agua será mala.



**Figura 67. Boro – Árbol de decisión 4**  
Fuente: Elaboración propia.

- De acuerdo a la figura 68, el nodo principal es la variable Boro, de manera que, si el Boro es menor o igual a 0.145, la calidad ambiental del agua será buena. Por otro lado, si los resultados de un mismo análisis indican que el Boro es mayor a 0.145, el Aluminio es

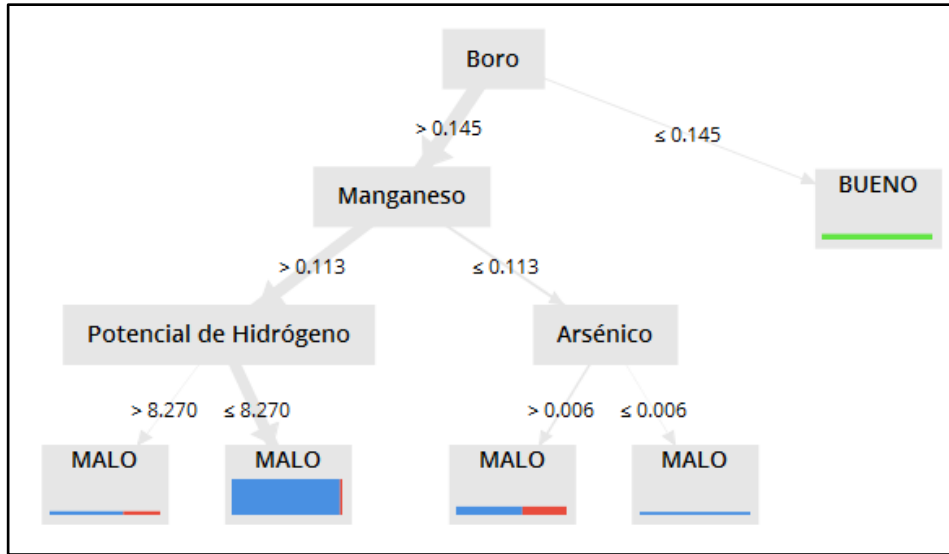
menor o igual a 5.217 y la Demanda Bioquímica Orgánica es menor o igual a 34.500, la calidad ambiental del agua será mala.



**Figura 68. Boro – Árbol de decisión 5**

Fuente: Elaboración propia.

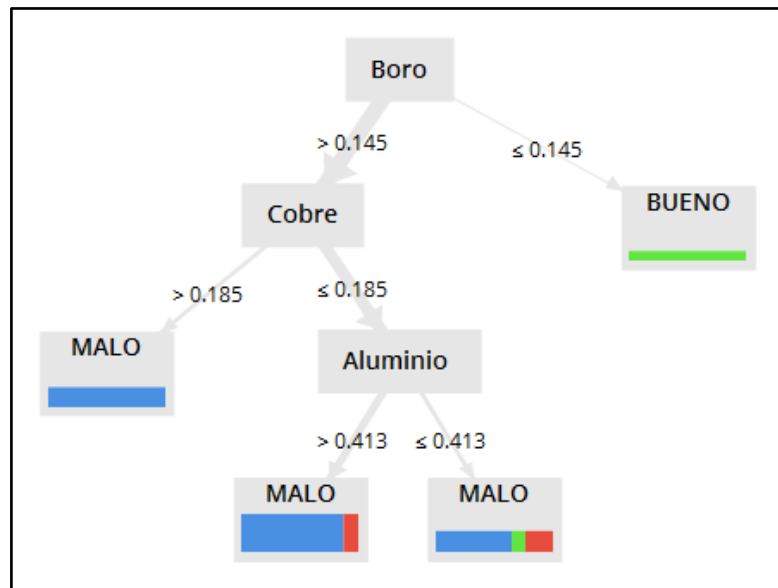
- De acuerdo a la figura 69, el nodo principal es la variable Boro, de manera que, si el Boro es menor o igual a 0.145, la calidad ambiental del agua será buena. Por otro lado, si los resultados de un mismo análisis indican que el Boro es mayor a 0.145, el Manganeseo es mayor a 0.113 y el Potencial de Hidrógeno es menor o igual a 8.270, la calidad ambiental del agua será mala.



**Figura 69. Boro – Árbol de decisión 6**

Fuente: Elaboración propia.

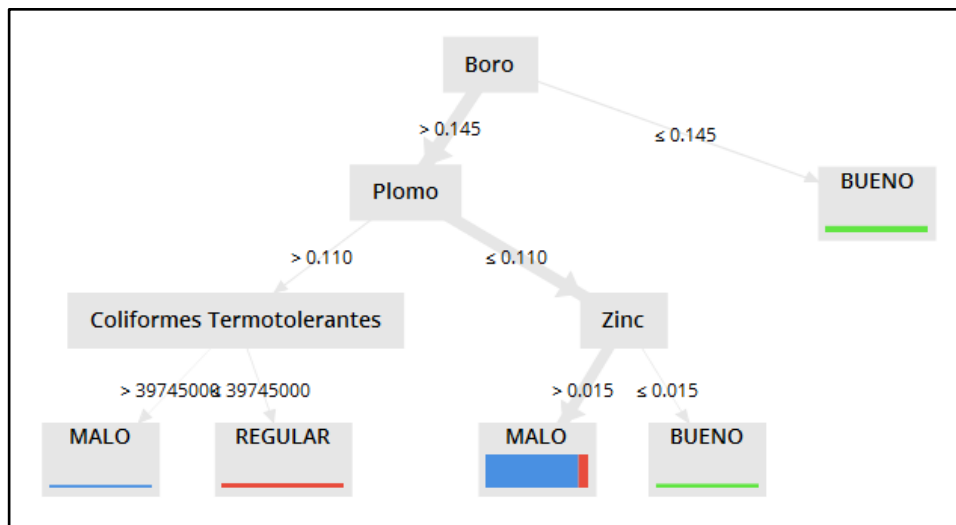
- De acuerdo a la figura 70, el nodo principal es la variable Boro, de manera que, si el Boro es menor o igual a 0.145, la calidad ambiental del agua será buena. Por otro lado, si los resultados de un mismo análisis indican que el Boro es mayor a 0.145, el Cobre es menor o igual a 0.185 y el Aluminio es mayor 0.413, la calidad ambiental del agua será mala.



**Figura 70. Boro – Árbol de decisión 7**

Fuente: Elaboración propia.

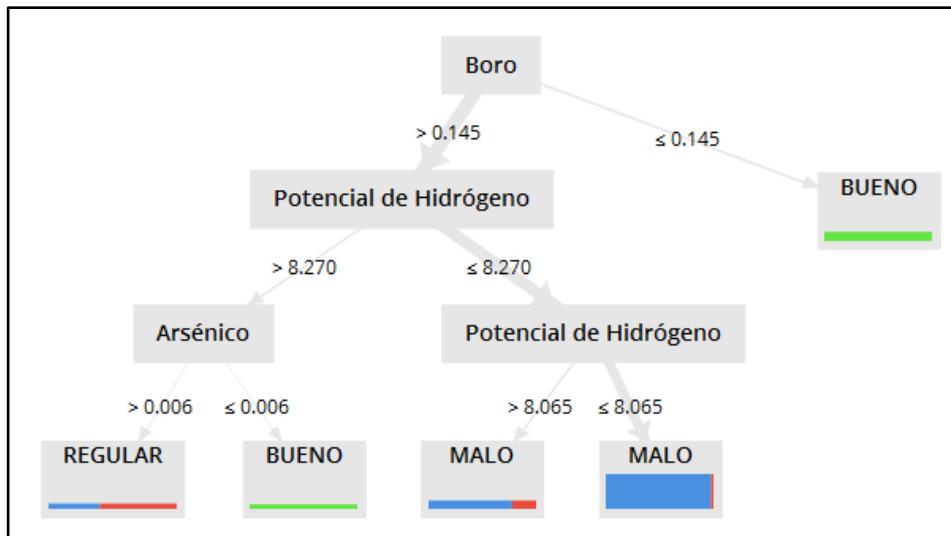
- De acuerdo a la figura 71, el nodo principal es la variable Boro, de manera que, si el Boro es menor o igual a 0.145, la calidad ambiental del agua será buena. Por otro lado, si los resultados de un mismo análisis indican que el Boro es mayor a 0.145, el Plomo es menor o igual a 0.110 y el Zinc es mayor a 0.015, la calidad ambiental del agua será mala.



**Figura 71. Boro – Árbol de decisión 8**

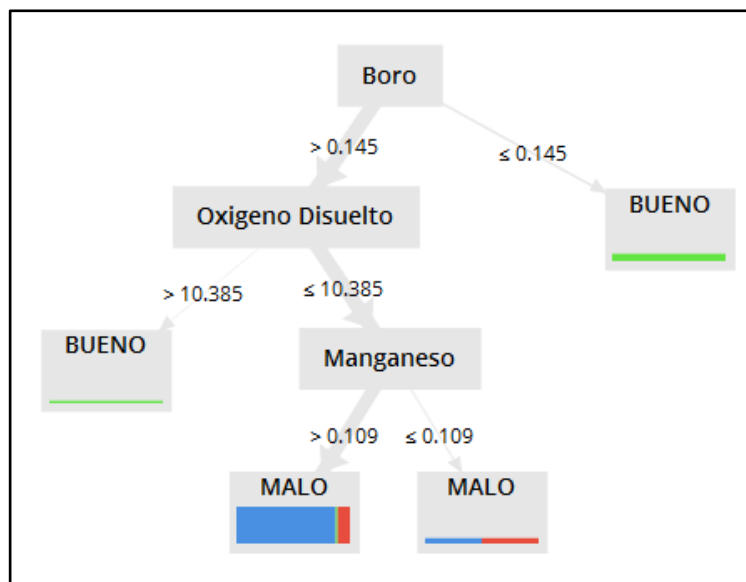
Fuente: Elaboración propia.

- De acuerdo a la figura 72, el nodo principal es la variable Boro, de manera que, si el Boro es menor o igual a 0.145, la calidad ambiental del agua será buena. Por otro lado, si los resultados de un mismo análisis indican que el Boro es mayor a 0.145, el Potencial de Hidrógeno es menor o igual a 8.270 y es menor o igual a 8.065, la calidad ambiental del agua será mala.



**Figura 72. Boro – Árbol de decisión 9**

Fuente: Elaboración propia.

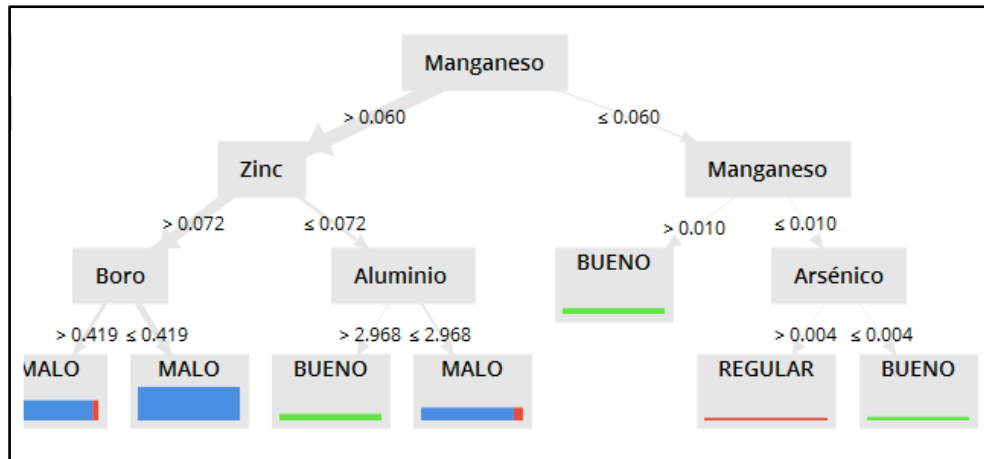


**Figura 73. Boro – Árbol de decisión 10**

Fuente: Elaboración propia.

- De acuerdo a la figura 73, el nodo principal es la variable Boro, de manera que, si el Boro es menor o igual a 0.145, la calidad ambiental del agua será buena. Por otro lado, si los resultados de un mismo análisis indican que el Boro es mayor a 0.145, el Oxígeno Disuelto es menor o igual a 10.385 y el Manganeso es mayor a 0.109, la calidad ambiental del agua será mala.

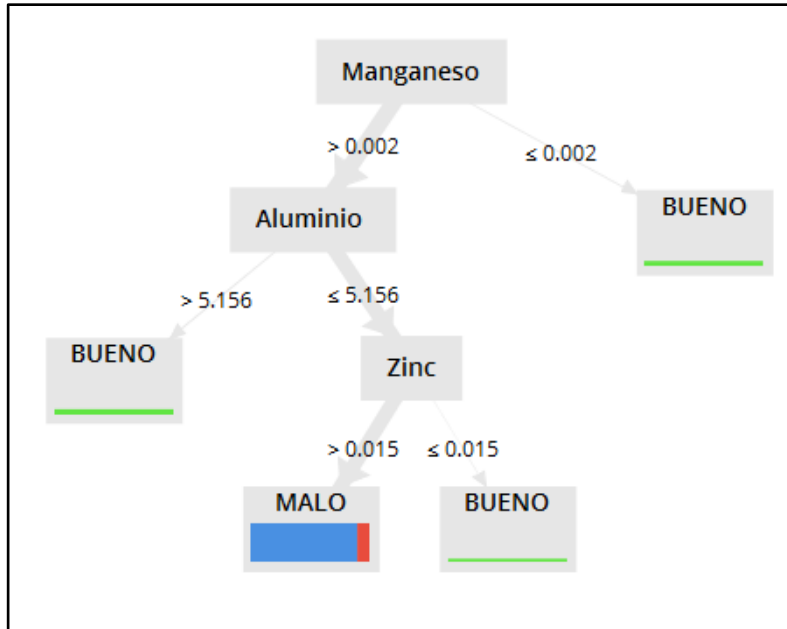
- De acuerdo a la figura 74, el nodo principal es la variable Manganeseo, de manera que, si los resultados de un mismo análisis indican que el Manganeseo es mayor a 0.060, el Zinc es mayor a 0.072 y el Boro es menor o igual a 0.419, la calidad ambiental del agua será mala.



**Figura 74. Manganeseo – Árbol de decisión 1**

Fuente: Elaboración propia.

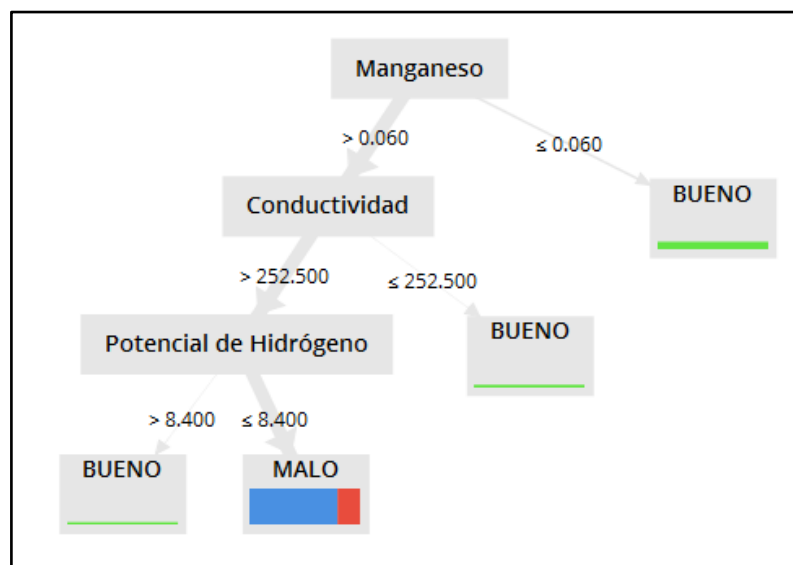
- De acuerdo a la figura 75, el nodo principal es la variable Manganeseo, de manera que, si el Manganeseo es menor o igual a 0.002, la calidad ambiental del agua será buena. Por otro lado, si los resultados de un mismo análisis indican que el Manganeseo es mayor a 0.002, el Aluminio es menor o igual a 5.156 y el Zinc es mayor a 0.015, la calidad ambiental del agua será mala.



**Figura 75. Manganeso – Árbol de decisión 2**

Fuente: Elaboración propia.

- De acuerdo a la figura 76, el nodo principal es la variable Manganeso, de manera que, si el Manganeso es menor o igual a 0.060, la calidad ambiental del agua será buena. Por otro lado, si los resultados de un mismo análisis indican que el Manganeso es mayor a 0.060, la Conductividad es mayor a 252.500 y el Potencial de Hidrógeno es menor o igual a 8.400, la calidad ambiental del agua será mala.

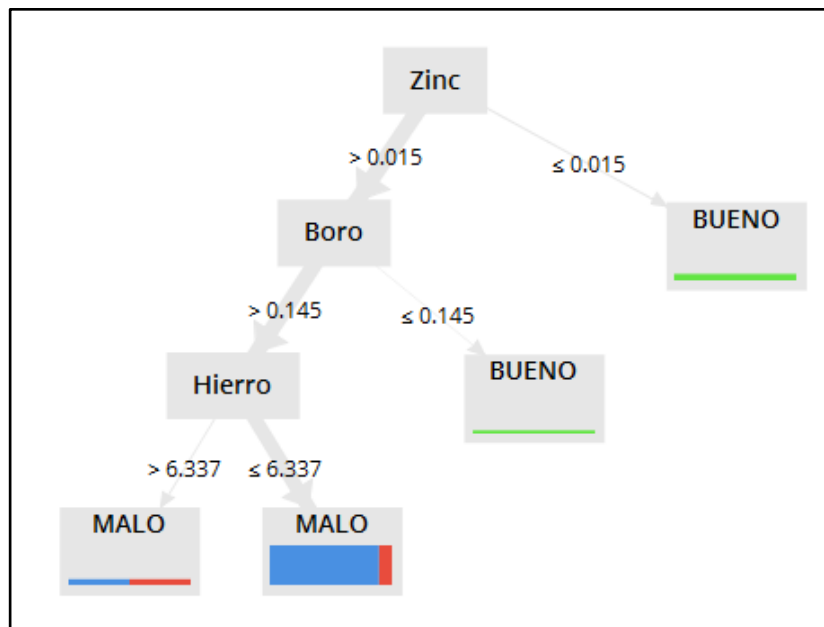


**Figura 76. Manganeso – Árbol de decisión 3**

Fuente: Elaboración propia.



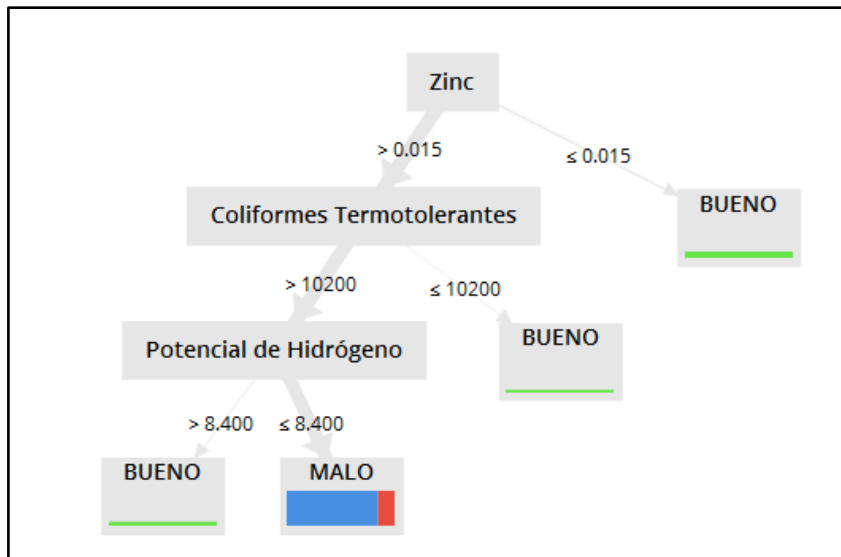
- De acuerdo a la figura 77, el nodo principal es la variable Zinc, de manera que, si el Zinc es menor o igual a 0.015, la calidad ambiental del agua será buena. Por otro lado, si los resultados de un mismo análisis indican que el Zinc es mayor a 0.015, el Boro es mayor 0.145 y el Hierro es menor o igual a 6.337, la calidad ambiental del agua será mala.



**Figura 77. Zinc – Árbol de decisión 1**

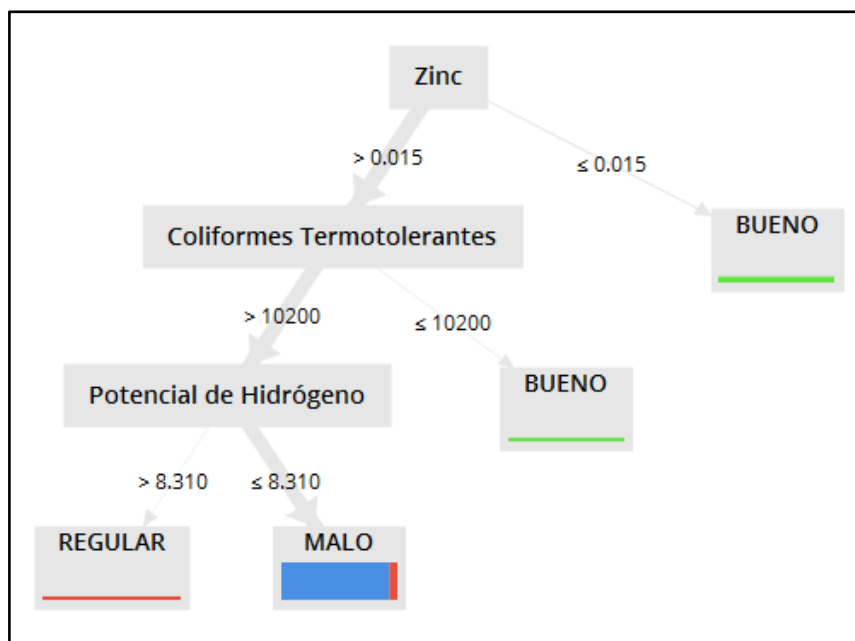
Fuente: Elaboración propia.

- De acuerdo a la figura 78, el nodo principal es la variable Zinc, de manera que, si el Zinc es menor o igual a 0.015, la calidad ambiental del agua será buena. Por otro lado, si los resultados de un mismo análisis indican que el Zinc es mayor a 0.015, los Coliformes Termotolerantes es mayor a 10200 y el Potencial de Hidrógeno es menor o igual a 8.400, la calidad ambiental del agua será mala.



**Figura 78. Zinc – Árbol de decisión 2**

Fuente: Elaboración propia.

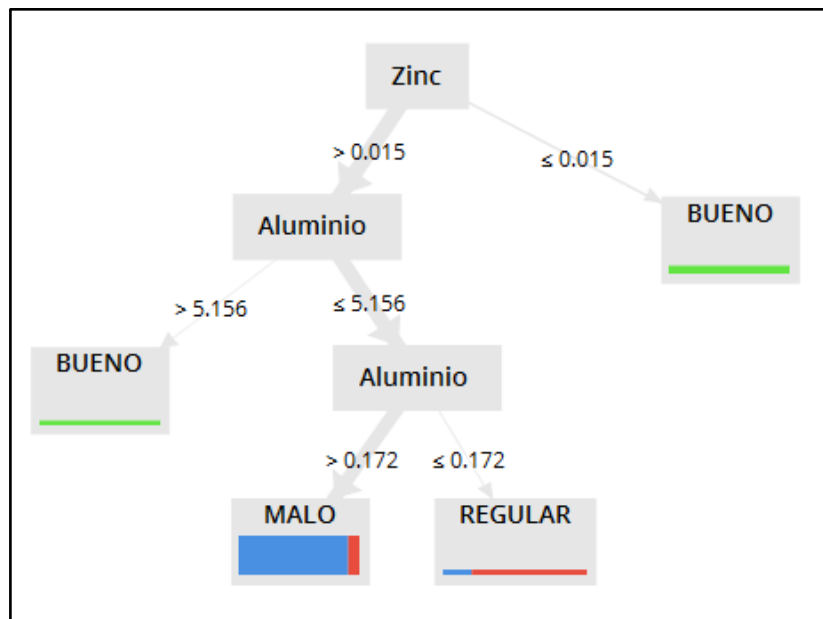


**Figura 79. Zinc – Árbol de decisión 3**

Fuente: Elaboración propia.

- De acuerdo a la figura 79, el nodo principal es la variable Zinc, de manera que, si el Zinc es menor o igual a 0.015, la calidad ambiental del agua será buena. Por otro lado, si los resultados de un mismo análisis indican que el Zinc es mayor a 0.015, los Coliformes Termotolerantes es mayor 10200 y el Potencial de Hidrógeno es menor o igual a 8.310, la calidad ambiental del agua será mala.

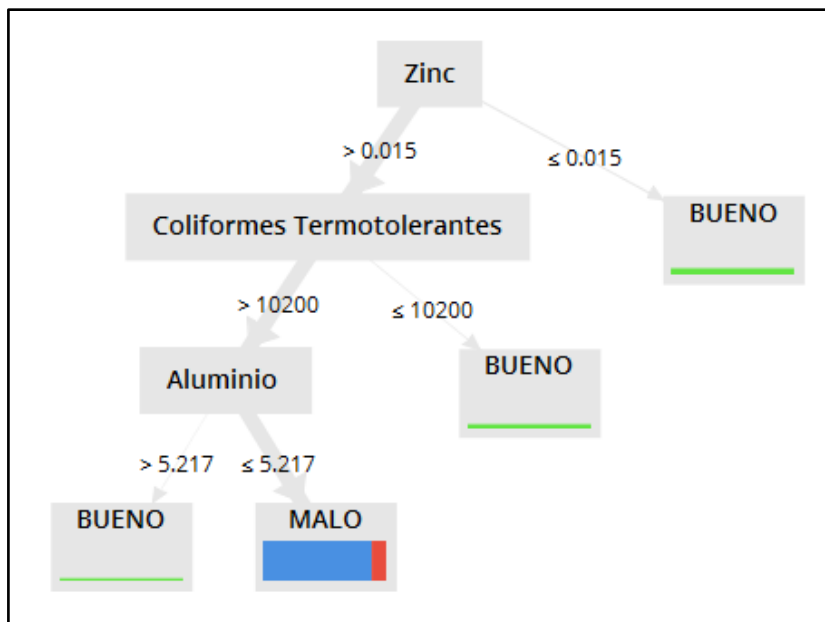
- De acuerdo a la figura 80, el nodo principal es la variable Zinc, de manera que, si el Zinc es menor o igual a 0.015, la calidad ambiental del agua será buena. Por otro lado, si los resultados de un mismo análisis indican que el Zinc es mayor a 0.015, el Aluminio es menor o igual a 5.156 y mayor a 0.172, la calidad ambiental del agua será mala.



**Figura 80. Zinc – Árbol de decisión 4**

Fuente: Elaboración propia.

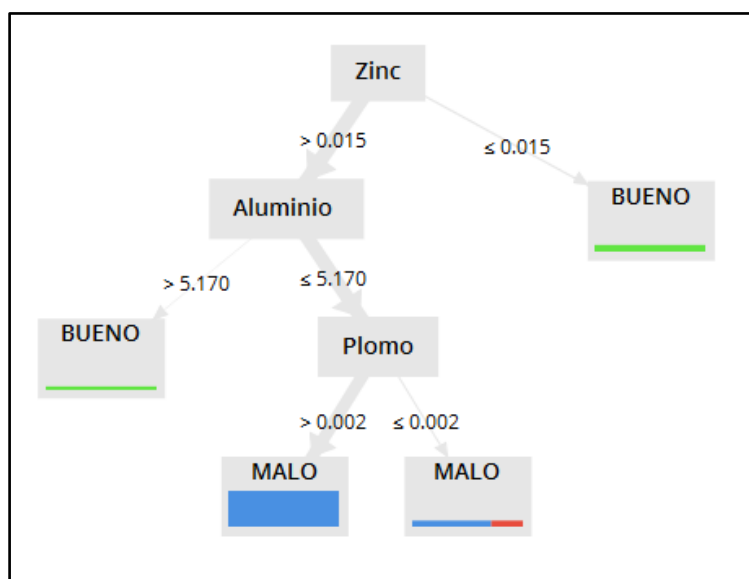
- De acuerdo a la figura 81, el nodo principal es la variable Zinc, de manera que, si el Zinc es menor o igual a 0.015, la calidad ambiental del agua será buena. Por otro lado, si los resultados de un mismo análisis indican que el Zinc es mayor a 0.015, los Coliformes Termotolerantes es mayor a 10200 y el Aluminio es menor o igual a 5.217, la calidad ambiental del agua será mala.



**Figura 81. Zinc – Árbol de decisión 5**

Fuente: Elaboración propia.

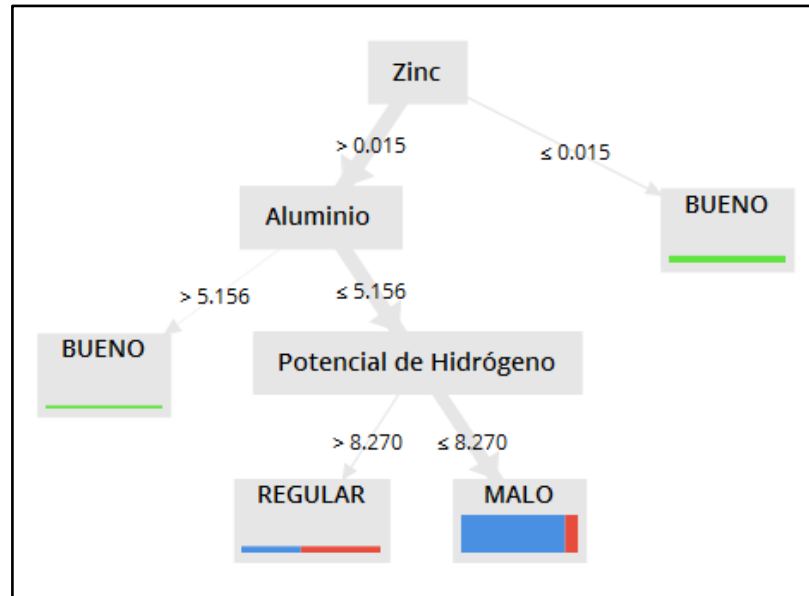
- De acuerdo a la figura 82, el nodo principal es la variable Zinc, de manera que, si el Zinc es menor o igual a 0.015, la calidad ambiental del agua será buena. Por otro lado, si los resultados de un mismo análisis indican que el Zinc es mayor a 0.015, el Aluminio es menor o igual a 5.170 y el Plomo es mayor a 0.002, la calidad ambiental del agua será mala.



**Figura 82. Zinc – Árbol de decisión 6**

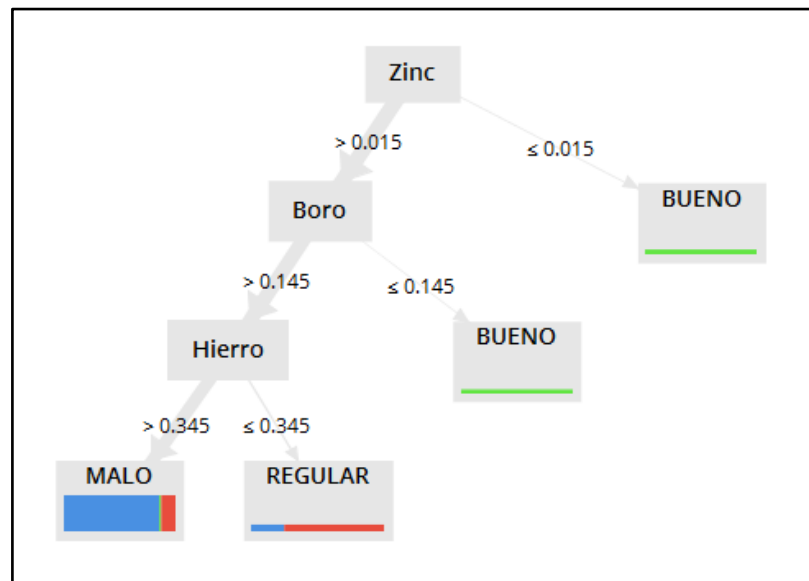
Fuente: Elaboración propia.

- De acuerdo a la figura 83, el nodo principal es la variable Zinc, de manera que, si el Zinc es menor o igual a 0.015, la calidad ambiental del agua será buena. Por otro lado, si los resultados de un mismo análisis indican que el Zinc es mayor a 0.015, el Aluminio es menor o igual a 5.156 y el Potencial de Hidrógeno es menor o igual a 8.270, la calidad ambiental del agua será mala.



**Figura 83. Zinc – Árbol de decisión 7**

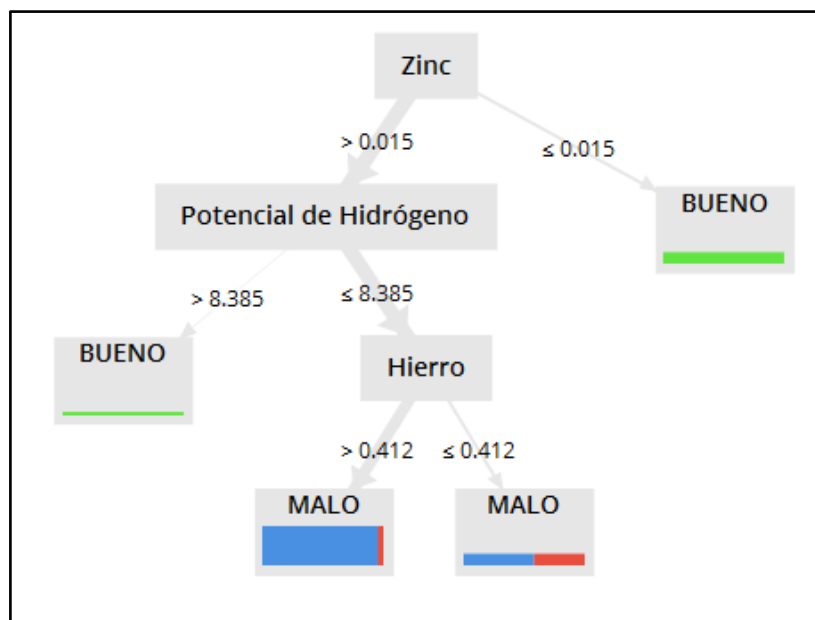
Fuente: Elaboración propia.



**Figura 84. Zinc – Árbol de decisión 8**

Fuente: Elaboración propia.

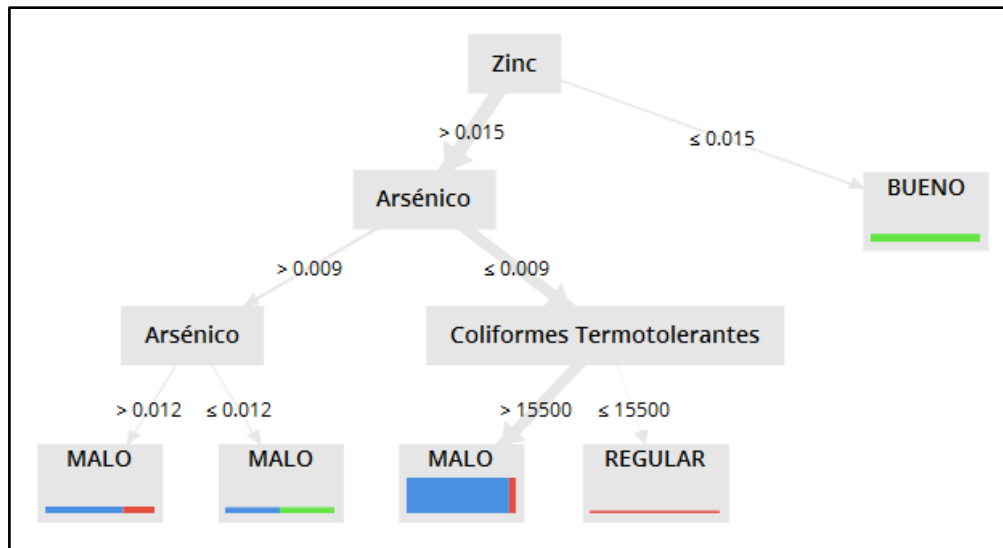
- De acuerdo a la figura 84, el nodo principal es la variable Zinc, de manera que, si el Zinc es menor o igual a 0.015, la calidad ambiental del agua será buena. Por otro lado, si los resultados de un mismo análisis indican que el Zinc es mayor a 0.015, el Boro es mayor a 0.145 y el Hierro es mayor a 0.345, la calidad ambiental del agua será mala.
- De acuerdo a la figura 85, el nodo principal es la variable Zinc, de manera que, si el Zinc es menor o igual a 0.015, la calidad ambiental del agua será buena. Por otro lado, si los resultados de un mismo análisis indican que el Zinc es mayor a 0.015, el Potencial de Hidrógeno es menor o igual a 8.385 y el Hierro es mayor a 0.412, la calidad ambiental del agua será mala.



**Figura 85. Zinc – Árbol de decisión 9**

Fuente: Elaboración propia.

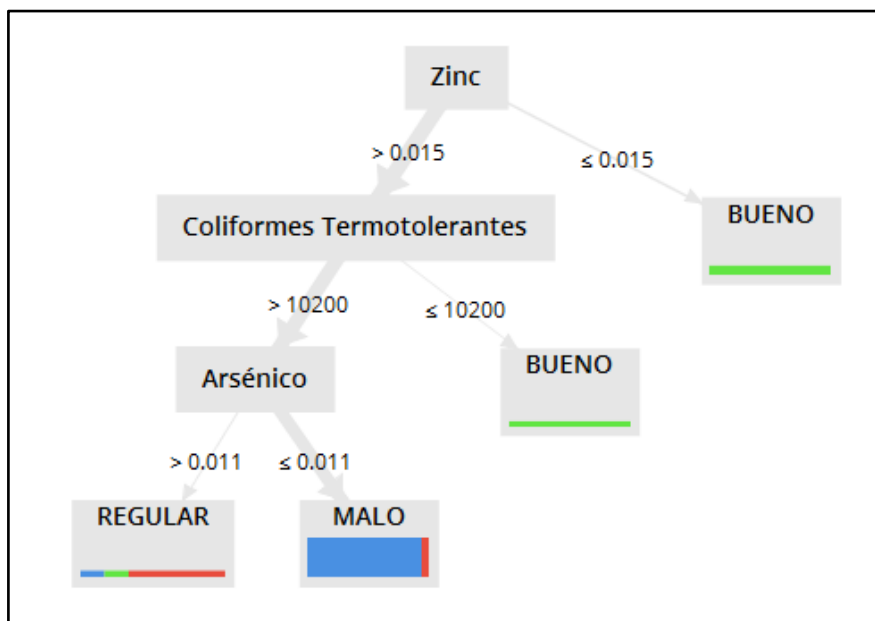
- De acuerdo a la figura 86, el nodo principal es la variable Zinc, de manera que, si el Zinc es menor o igual a 0.015, la calidad ambiental del agua será buena. Por otro lado, si los resultados de un mismo análisis indican que el Zinc es mayor a 0.015, el Arsénico es menor o igual a 0.009 y los Coliformes Termotolerantes son mayores a 15500, la calidad ambiental del agua será mala.



**Figura 86. Zinc – Árbol de decisión 10**

Fuente: Elaboración propia.

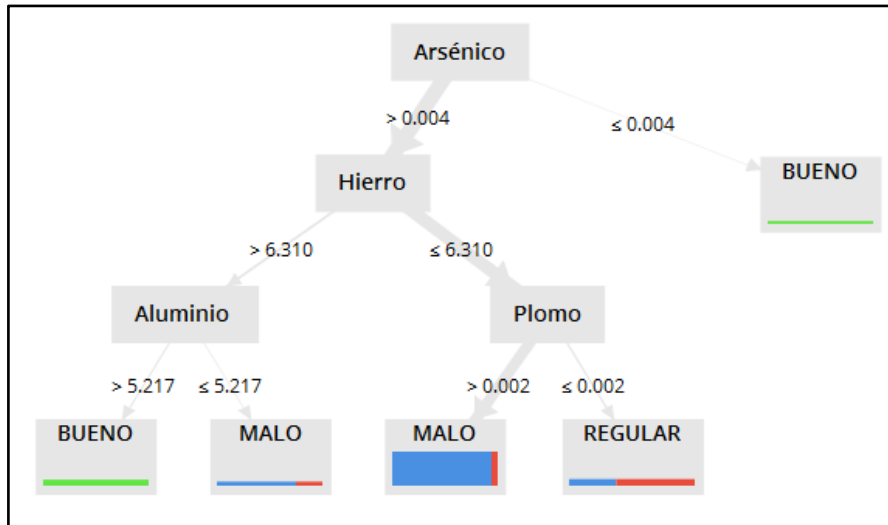
- De acuerdo a la figura 87, el nodo principal es la variable Zinc, de manera que, si el Zinc es menor o igual a 0.015, la calidad ambiental del agua será buena. Por otro lado, si los resultados de un mismo análisis indican que el Zinc es mayor a 0.015, los Coliformes Termotolerantes son mayores a 10200 y el Arsénico es menor o igual a 0.011, la calidad ambiental del agua será mala.



**Figura 87. Zinc – Árbol de decisión 11**

Fuente: Elaboración propia.

- De acuerdo a la figura 88, el nodo principal es la variable Arsénico, de manera que, si el Arsénico es menor o igual a 0.004, la calidad ambiental del agua será buena. Por otro lado, si los resultados de un mismo análisis indican que el Arsénico es mayor a 0.004, el Hierro es menor o igual a 6.310 y el Plomo es mayor a 0.002, la calidad ambiental del agua será mala.



**Figura 88. Arsénico – Árbol de decisión 1**

Fuente: Elaboración propia.

Para finalizar, se desarrolló una matriz de correlación para tener una observación cuantitativa de la influencia de las variables entre sí.

Como resultado de la acción de estos operadores, se obtuvo una relación clara entre todas las variables que son parte del presente estudio; sin embargo, aquí solo se revelará la correlación existente entre el ICA y las demás variables, por medio de la siguiente tabla.

En la tabla 36 se relacionan los diferentes atributos que componen la base de datos, en orden descendente. Esta relación está dada por un número entre -1 y 1, donde -1 denota la más baja correlación y 1 denota la más alta correlación.



**Tabla 36**  
**Correlaciones – ICA Variables**

| <i>Atributos</i>                  | <i>ICA</i> |
|-----------------------------------|------------|
| <i>Aluminio</i>                   | 0.406      |
| <i>Arsénico</i>                   | 0.372      |
| <i>Boro</i>                       | 0.331      |
| <i>Cadmio</i>                     | 0.324      |
| <i>Cobre</i>                      | 0.307      |
| <i>Coliformes Termotolerantes</i> | 0.307      |
| <i>Conductividad</i>              | 0.305      |
| <i>DBO</i>                        | 0.276      |
| <i>Hierro</i>                     | 0.276      |
| <i>Manganeso</i>                  | 0.272      |
| <i>Mercurio</i>                   | 0.209      |
| <i>Oxígeno Disuelto</i>           | 0.174      |
| <i>Plomo</i>                      | -0.025     |
| <i>Potencial de Hidrógeno</i>     | -0.048     |
| <i>Zinc</i>                       | -0.058     |

**Fuente:** Elaboración propia.

## V. Discusiones de resultados

1. A partir de los resultados obtenidos en el presente estudio se determinó que los Coliformes Termotolerantes y la Conductividad Eléctrica son las variables de mayor impacto en la calidad ambiental del agua de la cuenta baja del río Chillón, esto refiere a una alta concentración de materia orgánica como consecuencia de los vertimientos de efluentes domésticos e industriales, arrojamiento de residuos domésticos e industriales.

Estos resultados coinciden con las investigaciones elaboradas por el Instituto Geológico, Minero y Metalúrgico (2000) en el estudio “Sistema Natural – Físico de la cuenca Chillón”; Olarte Navarro (2007) en la “Evaluación preliminar con fines productivos en la cuenca del río Chillón”; Aliaga Martínez (2010) en la tesis “Situación Ambiental del Recurso Hídrico en la cuenca baja del río Chillón y su factibilidad de recuperación para el desarrollo sostenible” y Reyes Cubas (2012) en la tesis “Estudio de la Contaminación de las Aguas del Río Chillón”. Estos autores expresan en sus resultados a los Coliformes Termotolerantes como la variable que superan los estándares establecidos, además mencionan que la causa es la alta carga orgánica debido al excesivo arrojamiento de basura y la descarga directa de los desechos domésticos e industriales al cauce del río Chillón, en un sector donde la densidad poblacional es más alta.

Pero, en lo que no concuerda los estudios de los autores mencionados con los resultados del presente estudio es que no mencionan a la conductividad eléctrica como una variable que supere los estándares establecidos.

2. En referencia a la correlación de las variables analizadas respecto a Índice de Calidad ambiental del agua (ICA), el presente estudio determina correlaciones positivas y

negativas, estos datos se encuentran entre -0.02 y 0.4, esta correlación sería calificada como una correlación “débil” al encontrarse alejada del uno (1) y – uno (1).

A esa misma conclusión llegaron Castillo & Medina (2014) en su estudio evaluación espacio-temporal de la calidad ambiental del agua del río Rímac, ellas tomaron los resultados del monitoreo realizado por DIGESA en los meses enero, febrero, marzo, abril, mayo, junio y agosto del 2011, considerando solo tres estaciones. Para la evaluación espacial se aplicó el ICA de la Fundación Nacional de Sanidad de los Estados Unidos (WQI NSF) y el del consejo canadiense (CCME WQI) y para la evaluación temporal se aplicó métodos estadísticos utilizando el programa STATISTICA 10, que obtiene gráficos donde de acuerdo a los resultados de monitoreos, los contaminantes representan correlaciones positivas o negativas.

3. La aplicación del RapidMiner en el presente estudio a permitido sintetizar la los resultados de los monitoreos de la cuenca baja del río Chillón durante el periodo 2012-2016, el empleo de este instrumento estadístico concuerda con Pedraza *et al.* (2016), quienes realizaron un estudio donde se evaluaron las variables más influyentes en la calidad del río Bogotá usando también la metodología de minería de datos en el manejo de información correspondiente a parámetros relacionados con la calidad ambiental del agua, a través del uso de un software libre como lo es rapidminer, el cual facilitó el tratamiento de datos y los medios necesarios para el manejo adecuado de la base de datos correspondiente a las variables del agua del río Bogotá. Para la evaluación consideraron 48 estaciones de monitoreo, desde el 2008 al 2015. Como resultado se obtuvo que 13 variables (contaminantes) son relevantes, puesto que se evidencia una mayor influencia de estas sobre el mismo, dejando de lado la gran mayoría de datos expuestos.

Lo mismo sucede con Comas *et al.* (1998), en su estudio donde evaluaron la variabilidad espacio – temporal de la calidad ambiental del agua en el río Urola, durante el periodo 1986 – 1994, utilizaron el Análisis de Componentes Principales (ACP), mediante el programa estadístico SPSS V2. Los puntos de muestreo fueron 10, distribuidos en el río Urola. Las variables a analizar son: Conductividad, Sólidos en suspensión, Nitro, DBO, Turbidez, Temperatura, Amonio, DQO, PH, Oxígeno Disuelto, Fosforo disuelto, Fe y Zn. El estudio concluye en que la aplicación del ACP permitió resumir de forma objetiva y facilitar la interpretación de una importante cantidad de información y el análisis temporal determinó que los años 1986, 1987, 1989 y 1990 son muy contaminados; los años 1988,1991,1994 medianamente contaminados; y los años 1992 y 1993 reflejan contaminación muy baja.

## VI. Conclusiones

1. El software libre RapidMiner a través de los árboles de decisión obtuvieron como nodo principal a las variables: Coliformes Termotolerantes y Conductividad, lo que indica su mayor impacto en la calidad ambiental del agua de la cuenca del río Chillón. Además, el Zinc, Arsénico, Hierro, Manganeso y Boro, se encuentran presentes en los árboles de decisión por guardar relación con las variables de mayor impacto, según los resultados. De la observación de los árboles de decisión, se aprecia el impacto que tienen los coliformes termotolerantes y la conductividad, y se puede visualizar cómo no solamente son el nodo padre, sino que, también, forman parte de otras ramas, especificando en qué proporciones los coliformes termotolerantes y la conductividad afectan la calidad ambiental del agua. De esta forma con la medición de estas variables es posible descartar muchos otros árboles. Adicionalmente, se puede ver cómo las faltas de datos afectaron los resultados de este estudio, puesto que algunas ramas llegan a una conclusión de igual a cero (0); es decir, no se tienen suficientes datos para medir la calidad ambiental del agua.
2. Se analizaron las 15 variables, de las cuales la Conductividad Eléctrica, Oxígeno Disuelto (OD), Potencial de Hidrógeno (pH), Arsénico (As), Boro (B), Cadmio (Cd), Mercurio (Hg) y Zinc (Zn), no sobrepasan los Estándares de Calidad de Agua – ECA para agua- Categoría 3: Riego de vegetales y bebida de animales. Sin embargo el Plomo (Pb), Manganeso (Mn), Hierro (Fe), Cobre (Cu), Aluminio (Al), Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO) sobrepasan los Estándares de Calidad de Agua – ECA para agua- Categoría 3: Riego de vegetales y bebida de animales en algunas estaciones de monitoreo durante el periodo 2012-2016. En el caso de los Coliformes Termotolerantes sobrepasan los Estándares de

Calidad de Agua – ECA para agua- Categoría 3: Riego de vegetales y bebida de animales, en todas las estaciones de monitoreo durante el periodo 2012-2016.

3. Los Índices de Calidad ambiental del agua – ICA, siguiendo la metodología aprobada por la Autoridad Nacional del Agua - ANA, calificó la calidad ambiental del agua para cada estación de monitoreo de la cuenca baja del río Chillón, obteniendo lo siguiente: La calidad ambiental del agua de la estación PMA-01 es calificada como MALA, la calidad ambiental del agua de la estación PMA-02 es calificada como MALA, la calidad ambiental del agua de la estación PMA-03 es calificada como REGULAR y MALA, la calidad ambiental del agua de la estación PMA-04 es calificada como REGULAR y MALA, la calidad ambiental del agua de la estación PMA-05 es calificada como MALA y la calidad ambiental del agua de la estación PMA-06 es calificada como BUENA. Es importante mencionar que la estación PMA-06 no cuenta con información en los años 2014, 2015 y 2016.
4. Se puede observar que la mayoría de las variables presentes en el árbol de decisión tienen una correlación mayor a cero (0) respecto al Índice de Calidad ambiental del agua (ICA), los datos más altos varían entre 0.3 y 0.4 correspondientes al Aluminio, Arsénico, Boro, Cadmio, Cobre, Coliformes Termotolerantes y Conductividad Eléctrica, esta correlación sería calificada como una correlación “débil” al encontrarse alejada del uno (1).

## **VII. Recomendaciones**

1. Continuar avanzando en el estudio de variables de mayor impacto en la calidad ambiental del agua en las cuencas hidrográficas del Perú, para generar modelos óptimos que permitirán disminuir los costos, el tiempo en el monitoreo y elaborar proyectos de restauración.
2. Considerar conveniente en futuros estudios de este tipo, contar con la data completa, para hacer un tratamiento óptimo y así evitar la aparición de ramas con datos iguales a cero (0) o irrelevantes, en el software libre RapidMiner.

## VIII. Referencias

Alba, N.A. y Julio, C.S (2013). *Formulación de un Índice Global de Calidad de Aguas Residuales para Riego*. Medellín. Recuperado de <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=4685760>

Aliaga, M. P. (2010), *Situación Ambiental del Recurso Hídrico en la cuenca baja del río Chillón y su factibilidad de recuperación para el Desarrollo Sostenible*". Recuperado de [http://cybertesis.uni.edu.pe/bitstream/uni/645/1/aliaga\\_mm.pdf](http://cybertesis.uni.edu.pe/bitstream/uni/645/1/aliaga_mm.pdf)

Aluja, T. (2001). *La Minería de datos, entre la estadística y la inteligencia artificial*. Recuperado de <https://www.raco.cat/index.php/Questiio/article/viewFile/27009/26843>

Autoridad Nacional del Agua - ANA (junio, 2018). *La Clasificación de los Cuerpos de Aguas Continentales Superficiales*. Lima, Perú. Recuperado de [https://www.ana.gob.pe/sites/default/files/normatividad/files/clasificacion\\_de\\_cuerpos\\_de\\_agua\\_continental\\_parte\\_1.pdf](https://www.ana.gob.pe/sites/default/files/normatividad/files/clasificacion_de_cuerpos_de_agua_continental_parte_1.pdf)

Autoridad Nacional del Agua - ANA (mayo, 2018). *Metodología para la Determinación del Índice de Calidad ambiental del agua ICA – PE aplicado a los cuerpos de aguas continentales superficiales*. Lima, Perú. Recuperado de <http://repositorio.ana.gob.pe/handle/ANA/2440>

Autoridad Nacional del Agua - ANA (noviembre, 2012). *Gestión de la Calidad de los Recursos Hídricos en el Perú*. Lima, Perú. Recuperado de [http://www.ana.gob.pe/sites/default/files/normatividad/files/1\\_problematika\\_de\\_la\\_contaminacion\\_del\\_agua\\_en\\_el\\_peru\\_0.pdf](http://www.ana.gob.pe/sites/default/files/normatividad/files/1_problematika_de_la_contaminacion_del_agua_en_el_peru_0.pdf)

Autoridad Nacional del Agua (junio, 2016). *Priorización de Cuencas para la Gestión de los Recursos Hídricos*. Lima, Perú. Recuperado de



<http://repositorio.ana.gob.pe/handle/ANA/205>

Autoridad Nacional del Agua. (2011). *Protocolo Nacional de Monitoreo de la Calidad en cuerpos naturales de agua superficial*. Lima, Perú. Recuperado de

[https://www.ana.gob.pe/sites/default/files/publication/files/protocolo\\_nacional\\_para\\_el\\_monitoreo\\_de\\_la\\_calidad\\_de\\_los\\_recursos\\_hidricos\\_superficiales.pdf](https://www.ana.gob.pe/sites/default/files/publication/files/protocolo_nacional_para_el_monitoreo_de_la_calidad_de_los_recursos_hidricos_superficiales.pdf)

Beamonte, E. Casino, A. Veres, E. y Bermúdez, J (2004). *Un indicador global para la calidad ambiental del agua, Aplicación a las aguas superficiales de la Comunidad Valenciana*.

Recuperado de [file:///C:/Users/PC-CSA/Desktop/845\\_254\\_156\\_6.pdf](file:///C:/Users/PC-CSA/Desktop/845_254_156_6.pdf)

Castillo, Z. y Medina, V. (2014). *Evaluación Espacio-Temporal de la Calidad ambiental del agua del Río Rímac (riego), de Enero a Agosto del 2011, tres puntos de monitoreo*. Recuperado de

[http://repositorio.lamolina.edu.pe/bitstream/handle/UNALM/2434/T01-C38\\_T.pdf?sequence=1&isAllowed=y](http://repositorio.lamolina.edu.pe/bitstream/handle/UNALM/2434/T01-C38_T.pdf?sequence=1&isAllowed=y)

Chavez L. (2015). *Evaluación espacial y temporal del índice de calidad ambiental del agua del río Cazonas en Coatzintla, Veracruz*. Recuperado de

<https://www.uv.mx/pozarica/mca/files/2012/10/Tesis-Luz-Nalleli-Chavez-Martinez-1.pdf>

Clasificación de los Cuerpos de Agua Continentales Superficiales (Resolución Jefatural N°056-2018-ANA). Clasificación de los Cuerpos de Agua Continentales Superficiales, *R.J. N°056-2018-ANA, 2018, 21, febrero*.

Comas E., Armengol J., Sabater S. y Sabater F. (1998). *Variabilidad Espacial y Temporal de la Calidad ambiental del agua en el Río Urola (Guipuzkoa)*. Recuperado de

<http://www.ingenieriadelagua.com/2004/download/5-4%5Carticle3.pdf>

Estándares de Calidad Ambiental (ECA) para Agua y establecen disposiciones complementarias (Decreto Supremo N°004-2017-MINAM). *Estándares de Calidad Ambiental (ECA) para*

*Agua, D.S. N°004-2017-MINAM, 2017, 07, junio.*

Guerra R.A. Aguirre R. N. y Caicedo Q. O (2011). *Mapificación y Análisis de la distribución espacial de organismos indicadores de la calidad ambiental del agua.* Recuperado de <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=169422215004>

Guzmán, C. G, Thalasso, F. Ramírez – López, E.M. Rodríguez – Narciso, S. Guerrero – Barrera A. L y Avelar – González F.J. (2011). *Evaluación Espacio – Temporal de la Calidad ambiental del agua del río San Pedro en el Estado de Aguas Calientes.* Recuperado de [http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S0188-49992011000200001](http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0188-49992011000200001)

Guzmán–Colis, G, Thalasso, F, Ramírez–López, E.M. Rodríguez–Narciso, S, Alma Lilián Guerrero–Barrera, A.L. y Francisco Javier AVELAR–GONZÁLEZ (2011) Evaluación espacio–temporal de la calidad ambiental del agua del río San Pedro en el Estado de Aguascalientes, México. Recuperado de [http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S018849992011000200001](http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S018849992011000200001)

Instituto Geológico, Minero y Metalúrgico. (1979). *Estudio Geodinámico de la Cuenca del Río Chillón.* Recuperado de <http://repositorio.ingemmet.gob.pe/handle/ingemmet/249>.

Instituto Nacional de Estadística e Informática. (2007). Censos Nacionales 2007: XI de Población y VI de Vivienda. Recuperado de [https://www.inei.gob.pe/media/MenuRecursivo/publicaciones\\_digitales/Est/Lib1136/libro.pdf](https://www.inei.gob.pe/media/MenuRecursivo/publicaciones_digitales/Est/Lib1136/libro.pdf)

Instituto Nacional de Estadística e Informática. (2017). Provincia de Lima Compendio Estadístico. Recuperado de [https://www.inei.gob.pe/media/MenuRecursivo/publicaciones\\_digitales/Est/Lib1477/libro.pdf](https://www.inei.gob.pe/media/MenuRecursivo/publicaciones_digitales/Est/Lib1477/libro.pdf).

Instituto Nacional de Estadística e Informática. (2017). Provincia Constitucional del Callao Compendio Estadístico. Recuperado de [http://www2.congreso.gob.pe/sicr/cendocbib/con5\\_uibd.nsf/E690F4FDE91397520525824800735B43/\\$FILE/CompendioEstad%3%ADsticoProvinciaConstitucionalCallao2017.pdf](http://www2.congreso.gob.pe/sicr/cendocbib/con5_uibd.nsf/E690F4FDE91397520525824800735B43/$FILE/CompendioEstad%3%ADsticoProvinciaConstitucionalCallao2017.pdf)

Instituto Nacional de Recursos Naturales (1996), *Diagnostico de la Calidad ambiental del agua de la Vertiente del Pacífico*. Lima, Perú.

Instituto Nacional de Recursos Naturales (1996), *Estudio Integral de los Recursos Hídricos de la Cuenca del río Chillón*. Recuperado de [http://www.ana.gob.pe/media/296600/estudio\\_hidrologico\\_chillon.pdf](http://www.ana.gob.pe/media/296600/estudio_hidrologico_chillon.pdf)

Ley General del Ambiente (Ley N°28611) (2005). *Ley General del Ambiente, N°28611, 2005, 15, octubre*.

Metodología para la determinación del índice de calidad del agua ICA-PE, aplicando a los cuerpos de agua continentales superficiales (Resolución Jefatural N°068-2018-ANA). *Metodología para la determinación del índice de calidad del agua ICA-PE, aplicando a los cuerpos de agua continentales superficiales, R.J. N°068-2018-ANA, 2018, 21, febrero*.

Ministerio de Medio Ambiente. (2000). Libro Blanco del Agua en España. Recuperado de [http://www.cedex.es/CEDEX/LANG\\_CASTELLANO/ORGANISMO/CENTYLAB/CEH/Documentos\\_Descargas/LB\\_LibroBlancoAgua.htm](http://www.cedex.es/CEDEX/LANG_CASTELLANO/ORGANISMO/CENTYLAB/CEH/Documentos_Descargas/LB_LibroBlancoAgua.htm)

Olarte Navarro, Bertha (2012). *La cuenca del río Chillón: Problemática y potencial productivo*. Ingeniería Industrial, (25, 53-68, Lima, Perú. Recuperado de [http://fresno.ulima.edu.pe/sf%5Csf\\_bdfde.nsf/imagenes/9A5B9CD541FA1720052573540070AE16/\\$file/03-25-olarte.pdf](http://fresno.ulima.edu.pe/sf%5Csf_bdfde.nsf/imagenes/9A5B9CD541FA1720052573540070AE16/$file/03-25-olarte.pdf)

- Pedraza, E. Herrera, F. Díaz, D. Gaona, P. Montenegro, C y Castro, M (2016). *Variables más influyentes en la calidad ambiental del agua del río Bogotá mediante análisis de datos*. Bogotá, Colombia. Recuperado de <http://revistalogos.policia.edu.co/index.php/rlct/article/view/258/276>
- Protocolo Nacional para el Monitoreo de la Calidad de los Recursos Hídricos (Resolución Jefatural N°010-2016-ANA). *Protocolo Nacional para el Monitoreo de la Calidad de los Recursos Hídricos, R.J. N°010-2016-ANA, 2016, 11, enero*.
- RapidMiner. (2015). *RapidMiner Studio Manual*. Recuperado de <https://docs.rapidminer.com/downloads/RapidMiner-v6-user-manual.pdf>
- Reyes Cubas, Carmen Martha (2012), *Estudio de la Contaminación de las Aguas del Río Chillón*. Recuperado de [http://cybertesis.uni.edu.pe/bitstream/uni/1082/1/reyes\\_cc.pdf](http://cybertesis.uni.edu.pe/bitstream/uni/1082/1/reyes_cc.pdf)
- Riquelme, J.C. Ruiz, R. Gilbert, Karina (2006). Minería de datos: Conceptos y tendencias. *Revista Iberoamericana de Inteligencia Artificial*. Recuperado de <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=92502902>
- Sierra Ramírez, Carlos Alberto (2011). *Calidad ambiental del agua Evaluación del Diagnóstico*. Medellín, Colombia. Ediciones de la U.
- Terrones Gordillo, A. y Herrera León, C. (2015), *Calidad ambiental del agua en la Cuenca Baja del Río Chillón en época de estiaje y riesgo por el uso directo en riego agrícola*. Recuperado de <http://repositorio.unac.edu.pe/handle/UNAC/1480>
- Universidad Nacional Autónoma de México (2010). *Calidad de Agua. Un Enfoque Multidisciplinario*. Adaptado de <http://ru.iiec.unam.mx/65/1/CalidadAguaImpr.pdf>
- Valencia Delfa, J.L. (2007), *Estudio Estadístico de la Calidad de las Aguas en la Cuenca Hidrográfica del río Ebro*. Recuperado de

[http://oa.upm.es/454/1/JOSE\\_LUIS\\_VALENCIA\\_DELFA.pdf](http://oa.upm.es/454/1/JOSE_LUIS_VALENCIA_DELFA.pdf)

Valero, O. S. Salvador V.A y García A. M. *Minería de datos: predicción de la deserción escolar mediante el algoritmo de árboles de decisión y el algoritmo de los k vecinos más cercanos.*

Recuperado de <http://www.utim.edu.mx/~svalero/docs/e1.pdf>

## **ANEXOS**

**Anexo 01:**  
**Índices de Calidad del Agua-ICA.**

## **PLANOS**