



UNIVERSIDAD DE CUENCA

Facultad de Ciencias Químicas
Carrera de Ingeniería Ambiental

Evaluación de la condición del río Migüir mediante el desarrollo de un
índice de calidad de agua

Trabajo de titulación previo
a la obtención del título de
Ingeniero Ambiental

Autores:

David Antonio Pacheco Fajardo

CI: 0105477533

da20pafa@hotmail.com

John Daniel Quiroz Quiroz

CI: 0107051625

jdzzyo@gmail.com

Tutora:

Ing. Diana Lucia Moscoso Vanegas, PhD

CI: 0102339454

Cuenca, Ecuador

5 de mayo del 2021



RESUMEN

El río Migüir está ubicado en el Parque Nacional Cajas en la provincia del Azuay a 30 minutos de la ciudad de Cuenca, a lo largo de esta se encuentran diferentes comunidades como la de Molleturo y Migüir. La ejecución del estudio comenzó con la selección de diferentes profesionales con conocimientos en el tema de recursos hídricos y dispuestos a colaborar, de todos los postulantes se tomó en cuenta a 20 participantes. Se aplicó dos encuestas a los voluntarios, los resultados de dichas encuestas fueron útiles para el cálculo de los pesos y parámetros de calidad necesarios para el índice. De las encuestas se estimó los 16 parámetros que entran en la investigación de acuerdo a criterios de usos de agua que son: agrícola, pecuaria y recreativa. Una vez analizados los parámetros en el Laboratorio de Análisis de Agua y Suelos de la Universidad de Cuenca se procedió a desarrollar el Índice de Calidad del agua (ICA), posteriormente se validó con el ICA NSF mediante correlaciones de Pearson y por último se comparó con la normativa legal vigente, para ello se realizó cinco campañas de muestreo en tres puntos específicos tratando de abarcar los 7 km de la zona de estudio y además estaciones secas y lluviosas, durante los meses de octubre, noviembre y diciembre del 2020.

Los resultados al aplicar los ICA's demuestran que la calidad del agua del río Migüir está entre Buena a Excelente, por otra parte, se tuvo una correlación positiva y fuerte entre el ICA Desarrollado y el ICA NSF considerándolo válido, por último, ningún parámetro está por encima de los límites permisibles de la normativa.

Palabras clave: ICA. NSF. Correlación. Criterios. Encuesta.



ABSTRACT

The Miguir River is located in the mountains of the Cajas National Park. This is 30 minutes from the Cuenca city belonging to the province of Azuay. Around this beautiful place are different communities; such as: Molleturo and Miguir. The study of my project began with the collection of information from different professionals who have knowledge on the subject of water resources and are willing to collaborate. Once the 20 participating experts were known, two surveys were carried out. These results will help to calculate the weights and quality subscripts necessary for the formulation of the aforementioned river index. From the surveys, the 16 parameters that enter the research were estimated according to criteria of water uses that are: agricultural, livestock and recreational. Once the parameters had been analyzed in the Soil and Water Analysis Laboratory of the University of Cuenca, the water quality index (ICA) was elaborated. Subsequently, it was validated with the ICA NSF using Pearsons correlations and finally it was compared with current legal regulations. For this, five sampling campaigns were carried out at three specific points. During the months of October, November and December 2020, we tried to cover the 7 km of the study area and with it also the dry and rainy seasons. The results show that the water quality of the Miguir River is between Good and Excellent. Furthermore, there is a positive and strong correlation between the ICA Developed and the ICA NSF and thus considering it valid. Finally, it should be mentioned that no parameter is above the permissible limits of the regulation.

Keywords: ICA. NSF. Correlation. Criteria. Survey.



INDICE DE CONTENIDO

RESUMEN..... 2

ABSTRACT 3

INDICE DE CONTENIDO 4

ÍNDICE DE TABLAS 6

INDICE DE FIGURAS..... 8

ÍNDICE DE ANEXOS..... 10

AGRADECIMIENTOS..... 15

DEDICATORIA 16

1. INTRODUCCIÓN..... 17

2. OBJETIVOS..... 19

 2.1. Objetivo general..... 19

 2.2. Objetivos específicos..... 19

3. MARCO TEÓRICO..... 20

 3.1 Medio ambiente 20

 3.2 Contaminación ambiental 20

 3.3 Contaminación del agua 20

 3.4 Índice de calidad 20

 3.5 Parámetros físicos 20

 3.5.1 Turbiedad 21

 3.5.2 Conductividad..... 21

 3.5.3 Temperatura..... 21

 3.5.4 Sólidos disueltos totales..... 21

 3.6 Parámetros químicos 21

 3.6.1 Oxígeno disuelto..... 21

 3.6.2 Alcalinidad 22

 3.6.3 pH..... 22

 3.6.4 Demanda Bioquímica de Oxígeno en 5 días (DBO₅)..... 22

 3.6.5 Nitratos..... 22

 3.6.6 Fosfatos 22

 3.6.7 Mercurio..... 23

 3.6.8 Parámetros microbiológicos..... 23

 3.6.9 Coliformes fecales..... 23



3.7	Método DELPHI.....	23
3.8	Índices de calidad del agua.....	23
3.9	ICA NSF.....	25
3.10	Legislación aplicable.....	25
3.10.1	Constitución de la República del Ecuador.....	25
3.10.2	TULSMA	26
3.10.2.1	Criterios de calidad	26
4.	METODOLOGÍA.....	27
4.1	Área de estudio	27
4.1.1	Ubicación y climatología.....	27
4.1.2	Actividades productivas en la zona de estudio.....	29
4.1.3	Uso de suelo.....	29
4.1.4	Flora.....	31
4.1.5	Fauna.....	31
4.2	Muestreo.....	32
4.2.1	Puntos de muestreo.....	32
4.2.2	Justificación de la selección de los puntos de muestreo.....	34
4.2.3	Etapas de muestreo.....	35
4.2.4	Toma de muestras	35
4.3	Medición del caudal	37
4.4	Equipos y materiales	38
4.5	Metodología para la determinación del ICA	40
4.5.1	Procedimiento para el desarrollo del ICA.....	40
4.5.2	Realización de la Encuesta 1.....	41
4.5.3	Realización de la Encuesta 2.....	41
4.5.4	Formulación del ICA.....	42
4.6	Metodología para la obtención del ICA-NSF.....	43
4.7	Validación del ICA Desarrollado.....	44
4.8	Comparación con la normativa vigente.....	44
5	RESULTADOS	45
5.1	Encuestas 1	45
5.2	Encuesta 2.....	50
5.3	Comparación de Caudales.....	67



5.4	Resultados de los parámetros analizados	68
5.5	Comparación de los resultados obtenidos en los muestreos.	72
5.6	Desarrollo del Índice de calidad.....	86
5.6.1	Obtención de los pesos	86
5.6.2	Determinación de los subíndices de calidad.....	87
5.6.3	Cálculo del ICA	89
5.7	Cálculo del ICA-NSF.....	105
5.8	Correlación entre el ICA desarrollado y el ICA-NSF.....	116
5.9	Correlación entre el ICA desarrollado y el caudal.....	118
5.10	Correlación entre el ICA NSF y el caudal.....	120
5.11	Comparación de resultados con la normativa.....	122
6	DISCUSIÓN.....	128
7	CONCLUSIONES	131
8	RECOMENDACIONES	132
	BIBLIOGRAFÍA	133
	ANEXOS	137

ÍNDICE DE TABLAS

<i>Tabla 1. Índices de calidad del agua con sus respectivas variables.</i>	<i>24</i>
<i>Continuación Tabla 1. Índices de calidad del agua con sus respectivas variables.</i>	<i>25</i>
<i>Tabla 2. Área y porcentaje de uso de suelo.....</i>	<i>30</i>
<i>Tabla 3. Ubicación de los puntos de muestreo.</i>	<i>33</i>
<i>Tabla 4. Fechas de muestreo</i>	<i>35</i>
<i>Tabla 5. Equipos y materiales usados para la toma de muestras.</i>	<i>38</i>
<i>Tabla 6. Equipos y materiales usados en el laboratorio.</i>	<i>39</i>
<i>Tabla 7. Valores del índice de calidad del agua.....</i>	<i>42</i>
<i>Tabla 8. Pesos de los parámetros ICA-NSF.....</i>	<i>43</i>
<i>Tabla 9. Respuestas de profesionales a primera encuesta</i>	<i>45</i>
<i>Tabla 10. Parámetros obtenidos por criterio de eliminación: Promedio menos desviación estándar.....</i>	<i>48</i>
<i>Tabla 11. Parámetros obtenidos por criterio de eliminación: Promedio más desviación estándar.....</i>	<i>49</i>
<i>Tabla 12. Parámetros obtenidos por criterio de eliminación: Promedio.....</i>	<i>49</i>
<i>Tabla 13 Parámetros seleccionados para el desarrollo de ICA.</i>	<i>50</i>



<i>Tabla 14. Resultados de la Encuesta 2: Coliformes fecales.....</i>	<i>51</i>
<i>Tabla 15. Resultados de la Encuesta 2: Oxígeno Disuelto.....</i>	<i>52</i>
<i>Tabla 16. Resultados de la Encuesta 2: pH.....</i>	<i>53</i>
<i>Tabla 17. Resultados de la Encuesta 2: pH.....</i>	<i>54</i>
<i>Tabla 18. Resultados de la Encuesta 2: Turbiedad.....</i>	<i>55</i>
<i>Tabla 19. Resultados de la Encuesta 2: Nitratos.....</i>	<i>56</i>
<i>Tabla 20. Resultados de la Encuesta 2: Sólidos disueltos.....</i>	<i>57</i>
<i>Tabla 21. Resultados de la Encuesta 2: Fosfatos.....</i>	<i>58</i>
<i>Tabla 22. Resultados de la Encuesta 2: Temperatura.....</i>	<i>60</i>
<i>Tabla 23. Resultados de la Encuesta 2: Temperatura.....</i>	<i>61</i>
<i>Tabla 24. Resultados de la Encuesta 2: Mercurio.....</i>	<i>62</i>
<i>Tabla 25. Resultados de la Encuesta 2: Conductividad.....</i>	<i>63</i>
<i>Tabla 26. Resultados de la Encuesta 2: Alcalinidad.....</i>	<i>64</i>
<i>Tabla 27. Resultados de la Encuesta 2: Zinc.....</i>	<i>65</i>
<i>Tabla 28. Resultados de la Encuesta 2: Cobre.....</i>	<i>66</i>
<i>Tabla 29. Valores de los parámetros obtenidos en el primer muestreo.....</i>	<i>68</i>
<i>Tabla 30. Valores de los parámetros obtenidos en el segundo muestreo.....</i>	<i>69</i>
<i>Tabla 31. Valores de los parámetros obtenidos en el tercer muestreo.....</i>	<i>70</i>
<i>Tabla 32. Valores de los parámetros obtenidos en el cuarto muestreo.....</i>	<i>71</i>
<i>Tabla 33. Valores de los parámetros obtenidos en el quinto muestreo.....</i>	<i>72</i>
<i>Tabla 34. Determinación de los pesos para cada variable.....</i>	<i>87</i>
<i>Tabla 35. Cálculo del ICA desarrollado para el Muestreo 1.....</i>	<i>90</i>
<i>Tabla 36. Cálculo del ICA desarrollado para el Muestreo 2.....</i>	<i>93</i>
<i>Tabla 37. Cálculo del ICA desarrollado para el Muestreo 3.....</i>	<i>96</i>
<i>Tabla 38. Cálculo del ICA desarrollado para el Muestreo 4.....</i>	<i>99</i>
<i>Tabla 39. Cálculo del ICA desarrollado para el Muestreo 5.....</i>	<i>102</i>
<i>Tabla 40. Cálculo del ICA NSF para el Muestreo 1.....</i>	<i>106</i>
<i>Tabla 41. Cálculo del ICA NSF para el Muestreo 2.....</i>	<i>108</i>
<i>Tabla 42. Cálculo del ICA NSF para el Muestreo 3.....</i>	<i>110</i>
<i>Tabla 43. Cálculo del ICA NSF para el Muestreo 4.....</i>	<i>112</i>
<i>Tabla 44. Cálculo del ICA NSF para el Muestreo 5.....</i>	<i>114</i>
<i>Tabla 45. Comparación de los resultados del Muestreo 1 con la normativa.....</i>	<i>123</i>
<i>Tabla 46. Comparación de los resultados del Muestreo 2 con la normativa.....</i>	<i>124</i>
<i>Tabla 47. Comparación de los resultados del Muestreo 3 con la normativa.....</i>	<i>125</i>



<i>Tabla 48. Comparación de los resultados del Muestreo 4 con la normativa</i>	<i>126</i>
<i>Tabla 49. Comparación de los resultados del Muestreo 5 con la normativa</i>	<i>127</i>
<i>Tabla 50. ICA desarrollados alrededor del mundo</i>	<i>125</i>

INDICE DE FIGURAS

<i>Figura 1. Ubicación de la zona de estudio en el Ecuador.....</i>	<i>27</i>
<i>Figura 2. Ubicación de la zona de estudio en el cantón Cuenca.....</i>	<i>28</i>
<i>Figura 3. Ubicación del Río Migüir</i>	<i>28</i>
<i>Figura 4. Mapa de suelo dentro de la cuenca.</i>	<i>29</i>
<i>Figura 5. Porcentaje de suelo de suelo dentro de la cuenca</i>	<i>30</i>
<i>Figura 6. Área de uso de suelo dentro de la cuenca.</i>	<i>30</i>
<i>Figura 7. Punto de muestreo 1.....</i>	<i>33</i>
<i>Figura 8. Punto de muestreo 2.....</i>	<i>33</i>
<i>Figura 9. Punto de Muestreo 3.....</i>	<i>33</i>
<i>Figura 10. Ubicación de los puntos de muestreo.....</i>	<i>34</i>
<i>Figura 11. Toma de muestras punto 1</i>	<i>36</i>
<i>Figura 12. Toma de muestras punto 2</i>	<i>36</i>
<i>Figura 13. Toma de muestras punto 3</i>	<i>36</i>
<i>Figura 14. Medición de caudales punto 1.....</i>	<i>37</i>
<i>Figura 15. Medición de caudales punto 2.....</i>	<i>37</i>
<i>Figura 16. Medición de caudales punto 3.....</i>	<i>37</i>
<i>Figura 17 Subíndice para los coliformes fecales.....</i>	<i>51</i>
<i>Figura 18. Subíndice para el oxígeno disuelto</i>	<i>52</i>
<i>Figura 19 Subíndice para el pH.</i>	<i>54</i>
<i>Figura 20. Subíndice para el DBO5</i>	<i>55</i>
<i>Figura 21. Subíndice para la turbiedad.....</i>	<i>56</i>
<i>Figura 22.. Subíndice para los Nitratos.....</i>	<i>57</i>
<i>Figura 23 Subíndice para sólidos disueltos</i>	<i>58</i>
<i>Figura 24. Subíndice para los fosfatos</i>	<i>59</i>
<i>Figura 25. Subíndice para la Temperatura.....</i>	<i>60</i>
<i>Figura 26. Subíndice para sólidos suspendidos</i>	<i>61</i>
<i>Figura 27. Subíndice para el mercurio.....</i>	<i>62</i>
<i>Figura 28. Subíndice para la conductividad.....</i>	<i>63</i>
<i>Figura 29. Subíndice para la alcalinidad</i>	<i>64</i>



<i>Figura 30. Subíndice para el Zinc</i>	65
<i>Figura 31. Subíndice para el Cobre</i>	66
<i>Figura 32 Comparación de caudales</i>	67
<i>Figura 33. Comparación del pH</i>	73
<i>Figura 34. Comparación de la Temperatura</i>	74
<i>Figura 35. Comparación oxígeno disuelto</i>	75
<i>Figura 36. Comparación de sólidos disueltos</i>	76
<i>Figura 37. Comparación de Conductividad</i>	77
<i>Figura 38. Comparación de nitratos</i>	78
<i>Figura 39. Comparación de Fosfatos</i>	79
<i>Figura 40. Comparación de Alcalinidad</i>	80
<i>Figura 41. Comparación de DBO5</i>	81
<i>Figura 42. Comparación de Coliformes Totales</i>	82
<i>Figura 43. Comparación de Coliformes Fecales</i>	83
<i>Figura 44. Comparación de Zinc</i>	84
<i>Figura 45. Comparación en valores de Cobre</i>	85
<i>Figura 46. Comparación en valores de turbiedad</i>	86
<i>Figura 47. Curva funcional para el parámetro de turbiedad</i>	88
<i>Figura 48. Valor de calidad obtenido en función de la turbiedad</i>	89
<i>Figura 49 Comparación de los valores obtenidos del ICA desarrollado</i>	105
<i>Figura 50 Comparación de los valores de calidad del ICA-NSF</i>	116
<i>Figura 51 Correlación de Pearson del ICA NSF y el ICA Desarrollado para el Punto 1</i>	117
<i>Figura 52. Correlación de Pearson del ICA NSF y el ICA Desarrollado para el Punto 2</i>	117
<i>Figura 53 Correlación de Pearson del ICA NSF y el ICA Desarrollado para el Punto 3</i>	118
<i>Figura 54 Correlación de Pearson entre el caudal y el ICA desarrollado en el punto 1</i>	119
<i>Figura 55. Correlación de Pearson entre el caudal y el ICA desarrollado en el punto 2</i>	119
<i>Figura 56. Correlación de Pearson entre el caudal y el ICA desarrollado en el punto 3</i>	120
<i>Figura 57 Correlación de Pearson entre el caudal y el ICA NSF en el punto 1</i>	121



Figura 58. Correlación de Pearson entre el caudal y el ICA NSF en el punto 2 121

Figura 59 Correlación de Pearson entre el caudal y el ICA NSF en el punto 3 122

ÍNDICE DE ANEXOS

<i>Anexo 1. Encuesta 1</i>	<i>137</i>
<i>Anexo 2. Encuesta 2</i>	<i>139</i>
<i>Anexo 3. Evidencia de muestreos</i>	<i>148</i>
<i>Anexo 4. Ecuaciones y coeficientes de determinación de cada subíndice de calidad. 150</i>	
<i>Anexo 5. Curvas estadísticas para el cálculo de subíndice por cada parámetro.....</i>	<i>151</i>
<i>Anexo 6. Tabla 6 del TULSMA (Criterios de calidad admisibles para aguas de uso agrícola).....</i>	<i>166</i>
<i>Anexo 7. Tabla 8 del TULSMA (Criterios de calidad para aguas de uso pecuario) ..</i>	<i>167</i>
<i>Anexo 8. Tabla 9 del TULSMA (Criterios de calidad para aguas destinadas para fines recreativos).....</i>	<i>168</i>



Cláusula de Propiedad Intelectual

David Antonio Pacheco Fajardo autor/a del trabajo de titulación "Evaluación de la condición del río Migüir mediante el desarrollo de un índice de calidad de agua", certifico que todas las ideas, opiniones y contenidos expuestos en la presente investigación son de exclusiva responsabilidad de su autor/a.

Cuenca, 5 de mayo del 2021

David Antonio Pacheco Fajardo

C.I: 0105477533



Cláusula de Propiedad Intelectual

Jhon Daniel Quiroz Quiroz autor/a del trabajo de titulación "Evaluación de la condición del río Miguir mediante el desarrollo de un índice de calidad de agua", certifico que todas las ideas, opiniones y contenidos expuestos en la presente investigación son de exclusiva responsabilidad de su autor/a.

Cuenca, 5 de mayo del 2021

Jhon Daniel Quiroz Quiroz

C.I: 0107051625



Cláusula de licencia y autorización para publicación en el Repositorio
Institucional

David Antonio Pacheco Fajardo en calidad de autor/a y titular de los derechos morales y patrimoniales del trabajo de titulación "Evaluación de la condición del río Migüir mediante el desarrollo de un índice de calidad de agua", de conformidad con el Art. 114 del CÓDIGO ORGÁNICO DE LA ECONOMÍA SOCIAL DE LOS CONOCIMIENTOS, CREATIVIDAD E INNOVACIÓN reconozco a favor de la Universidad de Cuenca una licencia gratuita, intransferible y no exclusiva para el uso no comercial de la obra, con fines estrictamente académicos.

Asimismo, autorizo a la Universidad de Cuenca para que realice la publicación de este trabajo de titulación en el repositorio institucional, de conformidad a lo dispuesto en el Art. 144 de la Ley Orgánica de Educación Superior.

Cuenca, 5 de mayo del 2021

David Antonio Pacheco Fajardo

C.I.: 0105477533



Cláusula de licencia y autorización para publicación en el Repositorio
Institucional

Jhon Daniel Quiroz Quiroz Fajardo en calidad de autor/a y titular de los derechos morales y patrimoniales del trabajo de titulación "Evaluación de la condición del río Migüir mediante el desarrollo de un índice de calidad de agua", de conformidad con el Art. 114 del CÓDIGO ORGÁNICO DE LA ECONOMÍA SOCIAL DE LOS CONOCIMIENTOS, CREATIVIDAD E INNOVACIÓN reconozco a favor de la Universidad de Cuenca una licencia gratuita, intransferible y no exclusiva para el uso no comercial de la obra, con fines estrictamente académicos.

Asimismo, autorizo a la Universidad de Cuenca para que realice la publicación de este trabajo de titulación en el repositorio institucional, de conformidad a lo dispuesto en el Art. 144 de la Ley Orgánica de Educación Superior.

Cuenca, 5 de mayo del 2021

Jhon Daniel Quiroz Quiroz

C.I: 0107051625



AGRADECIMIENTOS

En primer lugar, queremos dar las gracias a Dios por darnos la sabiduría y fortaleza esencial para culminar con éxito el presente estudio.

Agradecemos a la Ing. Diana Moscoso por dar apertura a nuestro estudio y ser nuestra tutora, además de todo el apoyo, consejos e información brindada a lo largo del desarrollo de la tesis.

Al Doctor Geovanni Larriva, que a pesar de la pandemia por el COVID-21 nos abrió las puertas del laboratorio de la universidad para realizar los análisis de las muestras de agua. Agradecimiento mutuo por la amistad brindada en todo el transcurso universitario, por todos los buenos y malos momentos compartidos y sobre todo por el apoyo incondicional. Finalmente agradecer a todos los docentes que formaron parte de nuestra vida universitaria, por brindarnos sus conocimientos, experiencias e inculcar en nosotros honradez, responsabilidad y pulcritud en cualquier labor que se vaya a desempeñar.



DEDICATORIA

Primeramente, este trabajo va para Dios por darme esas fuerzas necesarias en mi vida para seguir continuando hacia adelante, siempre mirando hacia el frente. También quiero dedicar a mis padres Manuel Pacheco y Mersy Fajardo dos pilares fundamentales en mi existencia, gracias por darme la vida, su amor, apoyo incondicional y encaminarme por el camino del bien. Por último, a mis hermanos Josué, Matías y en particular a Juan Diego por impartir sus conocimientos, por ser un consejero y sobre todo inculcar el respeto en mí. A mi abuelita Malena por ser tan cariñosa conmigo y siempre quererme. En una mención muy especial quiero agradecer a mi querida esposa Kely y a mi hija Amelia por darme ese empujón final para el culmino de esta tesis, por su comprensión, paciencia y por todas las alegrías dadas y por las venideras.

David Antonio Pacheco Fajardo

El presente trabajo va dedicado principalmente a Dios y a mis padres Juan y Geni que siempre me han brindado su apoyo y lo necesario para lograr esta meta en mi vida, también a mis hermanas menores Heidy y Annie por siempre estar a mi lado y ser un motivo para no rendirme, a mi abuelita Teresa que, si bien ya no está con nosotros, siempre llevaré sus consejos y enseñanzas en mi corazón. A mis abuelitos Sara y Oswaldo que estuvieron a mi lado todo el tiempo. Y en general a toda mi familia y amigos cercanos que convivieron conmigo en este trayecto ya que todos hicieron posible que llegué hasta aquí.

John Daniel Quiroz Quiroz



1. INTRODUCCIÓN

A lo largo de los últimos años la actividad humana ha influenciado significativamente en la calidad de los recursos hídricos en las zonas andinas especialmente en los que hace unas décadas eran considerados vírgenes, las concentraciones poblacionales, actividades productivas y lugares turísticos han afectado fuertemente a estos. La intensidad con la que ocurren estas irregularidades ha provocado que se lleven a cabo nuevos estudios técnicos e investigativos para tratar de solventar esta problemática, un claro ejemplo son los indicadores de calidad de agua, que han ayudado a predecir cómo afectan dichas actividades al estado natural de los cuerpos de agua (Caho & López, 2017).

Hoy en día se han realizado varios índices de calidad de agua, con diversas metodologías para su cálculo, entre ellos tenemos el Índice de Calidad del Agua (ICA) Dinius que es considerado como el más completo debido a que abarca diferentes usos como: agrícola, consumo humano, pesca, industrial y recreativo, está constituido por 12 variables entre fisicoquímicas y microbiológicas; pero el ICA creado por la Fundación Nacional de Saneamiento (NSF) de los Estados Unidos es el más utilizado por los investigadores, está conformado por 8 parámetros fisicoquímicos y un microbiológico cuyo enfoque principal es para aguas de consumo humano (Pérez et al., 2018).

A pesar que existen diferentes ICA's surge la necesidad de los investigadores de tener un índice que sea específico para una zona de estudio y un uso en concreto (Torres et al., 2008). Existen diferentes métodos para desarrollar índices de calidad, uno de ellos es a través de encuestas que se realizan a expertos que tengan conocimientos o estén familiarizados con el tema, de los resultados se obtienen pesos y subíndices que serán utilizados en la formulación del ICA, esta metodología es denominada DELPHI (Mancera, 2016).

El presente estudio tiene como objetivo principal evaluar la calidad del agua del Río Migüir, para lo cual se desarrolló un índice de calidad, el cual fue comparado con el ICA de la Fundación Nacional de Saneamiento de los Estados Unidos (NSF), además, se verificó si los resultados obtenidos cumplen con los valores de los criterios de calidad de agua para uso agrícola, pecuario y recreativo establecidos en el libro 6 del Texto Unificado de Legislación Secundaria Medio Ambiental (TULSMA, 2017) que representa la normativa legal vigente. El estudio se llevó a cabo a lo largo de 7 km del cauce del río, para dar inicio con la investigación se aplicó las dos encuestas mediante la metodología DELPHI, a partir de estas calcularon los pesos y los subíndices necesarios para el



desarrollo del ICA, se continuó con un reconocimiento del territorio a través de recorridos de campo y un levantamiento topográfico para establecer los puntos de muestreo, estos iniciaron en donde nace el río y culminaron 7km aguas abajo, en dichos recorridos se pudo reconocer: actividades antrópicas, zonas pobladas y la zona donde la contaminación al río se reduce .

El muestreo se efectuó en 3 puntos de medición, las ubicaciones de estos fueron: en el inicio del río, punto cercano al caserío y por ultimo aguas abajo de la comunidad donde ya no existe contaminación representativa, la selección de los puntos se realizó considerando que el caserío es el mayor foco de contaminación. En cada punto se tomaron 5 muestreos en un periodo de 3 meses (octubre, noviembre y diciembre del 2020), las muestras tomadas fueron transportadas al Laboratorio de Análisis de Calidad de Agua y Suelos de la Universidad de Cuenca en el cual se analizaron parámetros físicos, químicos y biológicos. Con los datos obtenidos del laboratorio se realizó el cálculo del ICA Desarrollado, se aplicó el índice NSF y se comparó con el resultado del índice elaborado. Lo que se espera como resultados es determinar cuál es el estado de la calidad del Río Migüir, comprobar si cumple con la normativa regulatoria y la validación del índice propuesto. El estudio servirá como línea base para aplicar prácticas de manejo en la microcuenca de esta manera ayudar a las personas que tienen al río como medio de subsistencia y como referencia para futuras investigaciones en la zona. El proyecto se llevó a cabo en equipo debido a la dificultad y el tiempo en la toma de muestras, ya que los caminos hacia las zonas de muestreo son pendientes pronunciadas y de difícil acceso.



2. OBJETIVOS

2.1. Objetivo general

Desarrollar un índice de calidad del agua para evaluar el estado del río Migüir

2.2. Objetivos específicos

1. Desarrollar el índice de calidad de agua a partir de parámetros representativos para la zona de estudio.
2. Validar el índice desarrollado con el índice NSF
3. Comparar los resultados obtenidos con la normativa legal vigente.



3. MARCO TEÓRICO

3.1 Medio ambiente

Conjunto de sistemas conformados por elementos tanto naturales como artificiales de carácter físico, químico o biológico que interactúan entre sí y están en permanente cambio por la intervención del hombre (Galdamez, 2020). Por otra parte, se puede afirmar que es todo aquello que nos rodea sea o no natural y en el caso del ser humano el medio ambiente integra consigo lo social y cultural (Schteingart, 2004).

3.2 Contaminación ambiental

Es la presencia de cualquier agente físico, químico, biológico o una mezcla de entre estos en el ambiente, en diferentes formas, concentraciones y lugares, de tal manera que atente en contra de la salud humana o que afecte al medio ambiente (García, 2004).

3.3 Contaminación del agua

La Organización Mundial de la Salud (OMS), considera un cuerpo de agua como contaminado cuando su composición en estado natural ha sido afectada de manera que debido al cambio de sus propiedades físicas, químicas y biológicas, pierde su utilidad para los fines que estaba destinada inicialmente (García, 2004).

3.4 Índice de calidad

Es una herramienta que tiene el fin de evaluar el estado de un recurso, con respecto a la calidad natural tomando en cuenta aspectos químicos, físicos y biológicos. Su uso es importante ya que reduce una gran cantidad de parámetros a una sola expresión de fácil comprensión para personal técnico y para el público en general. En resumen, un índice de calidad es un número, señal o color que califica la situación de un recurso integrando las mediciones de diferentes parámetros que repercuten en el estado natural del mismo (Torres et al., 2008).

3.5 Parámetros físicos

Los parámetros o propiedades físicas son características de la materia que se pueden observar sin que cambie su identidad química como tal, por ejemplo, punto de ebullición



color, densidad, conductividad. Estas propiedades pueden variar sin que se vea afectada la composición química por lo que son considerados físicos (Domínguez, 2008)

3.5.1 Turbiedad

La turbiedad es el efecto óptico que se da por la interferencia de partículas suspendidas (minerales u orgánicas) que evitan el paso de rayos de luz en una muestra de agua, estas partículas pueden ser arcilla, arena u otros materiales (Pérez & Rodríguez, 2007).

3.5.2 Conductividad

Capacidad de una solución para conducir electricidad. Está relacionado directamente con la cantidad de iones, los cuales son aportados por las sales o ácidos presentes en la solución por lo que mientras mayor concentración exista de estos mayores será la conductividad (Rodríguez, 2009).

3.5.3 Temperatura

Constante física que determina el estado térmico de un cuerpo o sustancia. Es de gran importancia para diversos procesos físicos (solubilidad del oxígeno) y biológicos que se dan en los cuerpos de agua (Rodríguez, 2009).

3.5.4 Sólidos disueltos totales

Medida que cuantifica las partículas, más pequeñas a 2 μm que no son solubles y que no pueden ser removidos por un filtro convencional. Se encuentra directamente ligado con la turbiedad, color y sabor del agua (Laureano et al., 2016).

3.6 Parámetros químicos

Los parámetros químicos para el estudio de la calidad del agua pueden dividirse en dos clases: los indicadores (pH, acidez, alcalinidad, conductividad, etc.) y las sustancias químicas (grasas, detergentes, metales pesados, demanda química de oxígeno (DQO), demanda bioquímica de oxígeno (DBO) (Sierra, 2011).

3.6.1 Oxígeno disuelto

El oxígeno disuelto (OD) hace referencia a la cantidad de oxígeno que está presente en el agua; que se logra gracias a la presencia de aire en el entorno, turbulencia del cauce y



como consecuencia de la fotosíntesis. La presencia de oxígeno en el agua está delimitada por factores como la solubilidad, presión, pureza y temperatura (Espinoza, 2020).

3.6.2 Alcalinidad

Es la capacidad del agua para neutralizar ácidos y se expresa como miligramos de carbonato de calcio por litro (mg CaCO_3 /l). Se determina por medio del volumen de un ácido requerido para titular una muestra a un pH establecido; se realiza a una temperatura ambiente con un titulador automático o por medio de indicadores que dan diversidad de colores (Pérez, 2016).

3.6.3 pH

El pH o potencial hidrógeno es la presencia de iones hidrógeno en el agua. Para su medición se utilizan pH-metros, mismos que nos reportan valores de 0 a 14, siendo 0 extremadamente ácido, 14 extremadamente básico y un valor intermedio o de 7 significa que el agua o sustancia es estable o neutra (Espinoza, 2020).

3.6.4 Demanda Bioquímica de Oxígeno en 5 días (DBO_5).

Cantidad de oxígeno que necesitan las bacterias para oxidar la materia orgánica en el agua, se lo realiza bajo condiciones controladas a temperatura constante de 20 °C por un periodo de 5 días (Farias & Guazhambo, 2015).

3.6.5 Nitratos

Compuesto inorgánico que se encuentra formado por un átomo de nitrógeno y tres átomos de oxígeno (NO_3). Normalmente son ésteres o sales derivadas del ácido nítrico (HNO_3) (Domínguez, 2008).

3.6.6 Fosfatos

Son esenciales para el crecimiento de plantas y animales en el agua, son compuestos conformados por fósforo y oxígeno. Dependiendo de la cantidad de fosfatos presentes en el agua puede ocurrir la eutrofización (Pérez & Rodríguez, 2007).



3.6.7 Mercurio

Elemento que pertenece a los metales de transición, puede formar sales inorgánicas o compuestos orgánicos como el metilmercurio. Puede ser arrastrado hacia un cuerpo de agua por medio de escorrentía (Domínguez, 2008).

3.6.8 Parámetros microbiológicos

Son propiedades del agua con las que se califica la presencia, ausencia, tipo y cantidad de microorganismos dentro de un cuerpo de agua, entre los factores más representativos de este tipo se encuentran: Coliformes totales, Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO_5), indicadores bacterianos (Jiménez & Colmenares, 2009).

3.6.9 Coliformes fecales

Dentro del subgrupo de las bacterias fecales se encuentran las bacterias coliformes confirmadas, de las cuales la más estudiada es la *Escherichia coli*, cuya característica principal al analizarla es detectar si existe heces fecales en el agua. Son capaces de resistir altas temperaturas y provocar enfermedades en el ser humano; siendo sus principales fuentes la ganadería, agricultura, industrias y asentamientos humanos (Carrillo & Urgilés, 2016).

3.7 Método DELPHI

Se basa en la opinión de un grupo de expertos previamente seleccionado en el cual se les realiza preguntas relacionadas a eventos futuros en rondas anónimas, hasta llegar a un consenso sin perder la autonomía individual de las respuestas de los expertos. Por lo tanto, la efectividad de la predicción del método se basa principalmente en el juicio intuitivo y crítico de los expertos (Astigarraga, 2003).

3.8 Índices de calidad del agua

Hoy en día existen varios ICA que se diferencian entre sí por sus variables que se analizan y la forma de estimación. En la Tabla 1 se presentan algunos índices de calidad:



Tabla 1. Índices de calidad del agua con sus respectivas variables.

ICA	Variabes	Estimación
NSF (1970) Estados Unidos	Temperatura, pH, OD, DBO, SDT, turbiedad, coliformes fecales, fosfatos y nitratos	Promedio ponderado - Curvas
Dinius (1972) Estados Unidos	Temperatura pH, OD, DBO, color, conductividad, NO ₃ -N, alcalinidad, dureza, cloruros, coliformes totales y fecales	Media geométrica ponderada - Ecuación
Agua de Oregon OWQI (1980) Estados Unidos	Temperatura, pH, OD, DBO, ST, NO ₂ -N, NO ₃ -N, NH ₄ -N, fosfatos totales y coliformes fecales	Cuadrado de la media armónica - Ecuación
Idaho (1995) Estados Unidos	OD, turbidez, fosfatos totales, coliformes fecales y conductividad	Proporción logarítmica - Ecuación
Montoya (1997) México	Conductividad, pH, OD, DBO ₅ , ST, SST, NO ₂ -N, NO ₃ -N, NH ₄ -N, Turbiedad, color, alcalinidad, dureza, cloruros, grasas y aceites, fosfatos, detergentes, coliformes totales y fecales	Promedio Ponderado - Ecuación
León (1998) México	Diferencia de Temperatura, pH, OD, DBO ₅ , DQO, SST, NO ₃ -N, NH ₄ -N, fosfatos, alcalinidad, dureza, fenoles, cloruros, coliformes totales y fecales	Promedio geométrico ponderado - Fórmulas
Calidad general ICG (1981) España	Considera 23 parámetros, 9 Básicos (coliformes totales, OD, DQO, DBO ₅ , conductividad, fosfatos totales, SST, NO ₃ -N, y pH) y 14 complementarios	Promedio aritmético ponderado - Curvas

*Continuación Tabla 1. Índices de calidad del agua con sus respectivas variables.*

ICA	Variables	Estimación
UWQI (2007) Comunidad Europea	Cadmio, cianuro, mercurio, selenio, arsénico, fluoruro, NO ₃ , N, OD, DBO ₅ , fósforo total, pH y coliformes totales	Promedio aritmético ponderado - Ecuación
Rojas (1991) Colombia	pH, OD, DBO ponderado 5, ST, turbiedad y coliformes fecales	Promedio ponderado - Curvas

Fuente:(Flórez & Paternina, 2016)

3.9 ICA NSF

El índice de la Fundación Nacional de Saneamiento (NSF) fue desarrollado en los Estados Unidos, propuesta por McClelland, Deininger y Tozer en 1970 con el propósito de obtener un valor que proporcione información acerca del estado y permita clasificar de manera correcta agua de diferentes fuentes. Fue creado siguiendo la metodología DELPHI eliminando la subjetividad a la hora de escoger los parámetros para los cuales se tomó como base el índice de Horton de 1965 (Carrillo & Urgilés, 2016).

3.10 Legislación aplicable

3.10.1 Constitución de la República del Ecuador

Para la ejecución del estudio se encontraron los siguientes artículos relacionados:

El Art. 3 de la Constitución ecuatoriana menciona que es un deber principal del Estado “Garantizar sin discriminación alguna el efectivo goce de los derechos establecidos en la Constitución y en los instrumentos internacionales en particular la educación, la salud, la alimentación, la seguridad social y el agua” (*Constitución de la República del Ecuador*, 2008).

El Art. 12 reconoce al agua como un derecho humano fundamental e irrenunciable, forma parte del patrimonio nacional estratégico de uso público y esencial para la vida.

Se garantiza el acceso al agua a todas las personas en el Art. 66 y en el 264 se otorga a los gobiernos municipales la competencia para prestar el servicio de agua potable.

El acaparamiento y la privatización del agua y sus fuentes están prohibido según el Art. 282 y además se menciona que el Estado regulará el uso y manejo de agua de riego para



la producción de alimentos, bajo los principios de equidad, eficiencia y sostenibilidad ambiental.

En el Art. 411 garantiza el manejo, conservación y recuperación del recurso agua, cauces hidrográficos y ecológicos que tengan que ver con el ciclo hidrológico, siendo de primer orden la sustentabilidad de los ecosistemas y el consumo humano.

3.10.2 TULSMA

En el Anexo 1 del libro VI perteneciente al Texto Unificado de Legislación Secundaria del Medio Ambiente (TULSMA), se especifica:

- Disposiciones, límites permisibles y prohibiciones para descargas en cuerpos de agua o de alcantarillado
- Los criterios de calidad distintos usos y
- Métodos y procedimientos para determinar contaminantes en el agua.

3.10.2.1 Criterios de calidad

En este libro se menciona una breve clasificación de calidad del agua de acuerdo a sus usos, para objetos de nuestra investigación y de acuerdo a los usos actuales de la fuente hídrica en la zona de estudio se tomarán en cuenta los usos más afines y estos son:

- Uso agrícola o de riego
- Uso pecuario
- Uso recreativo.

Los parámetros de calidad para los usos antes mencionados se encuentran en las tablas 6, 8 y 9 del Anexo 1 del libro VI del TULSMA (Anexos 6,7 y 8)

4. METODOLOGÍA

4.1 Área de estudio

4.1.1 Ubicación y climatología.

El parque Nacional Cajas forma parte de la cordillera de los Andes, ubicado al sur de Ecuador en la provincia del Azuay, aproximadamente a 33 kilómetros al noroccidente de la ciudad de Cuenca. La altura oscila entre los 3 152 msnm y 4 445 msnm. Al ser páramo el clima es tropical, teniendo precipitaciones muy variadas (la precipitación media anual puede variar de 700 a 3000 mm) (Córdova et al., 2016). La reserva conecta la Sierra con la Costa, por medio de la vía Cuenca-Molleturo-Naranjal, además cuenta con una inmensa riqueza de biodiversidad, lagunas y ríos. Alrededor de cuatro ríos Tomebamba, Mazán, Yanuncay y Migüir, nacen en el parque. Dentro del parque nacional el río de estudio es el Migüir, que nace de la laguna Luspa, pertenece a la vertiente del Pacífico y en su recorrido pasa por la comunidad Migüir de ahí su nombre. El estudio se llevará a cabo a lo largo de 7 kilómetros del río como se muestra en las Figuras 1, 2 y 3.

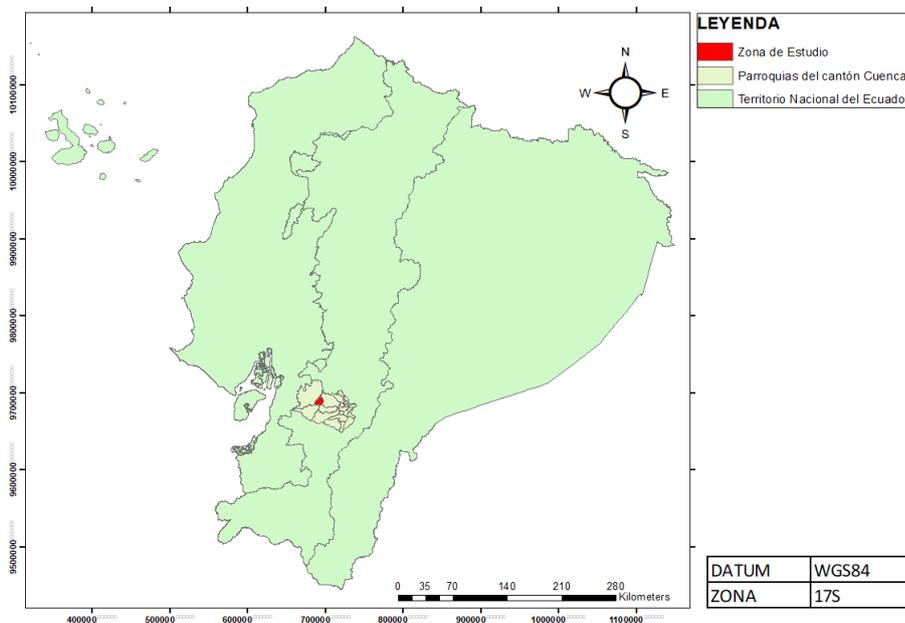


Figura 1. Ubicación de la zona de estudio en el Ecuador

Fuente: IGM,

Elaboración: Autores

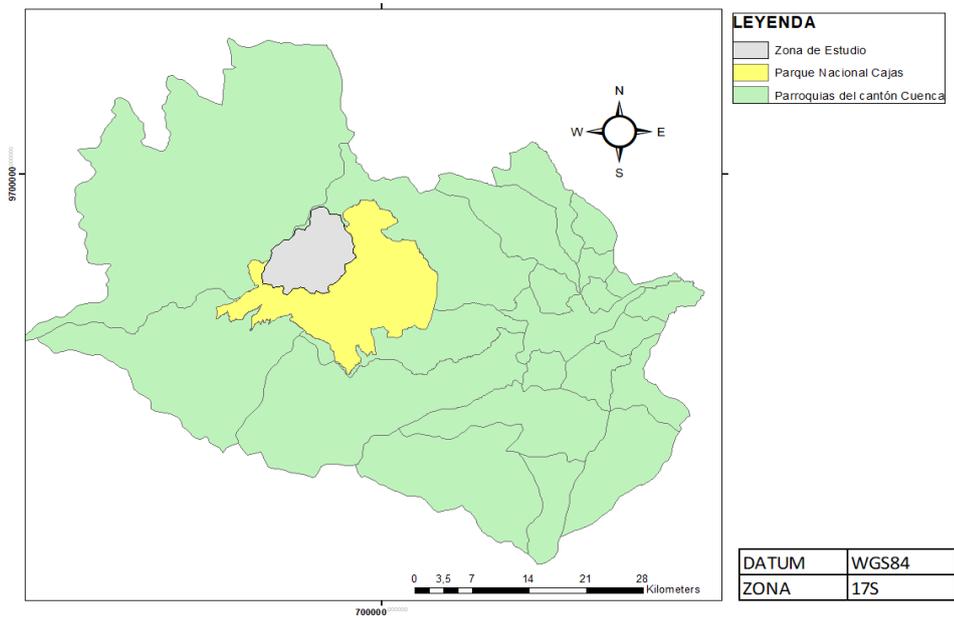
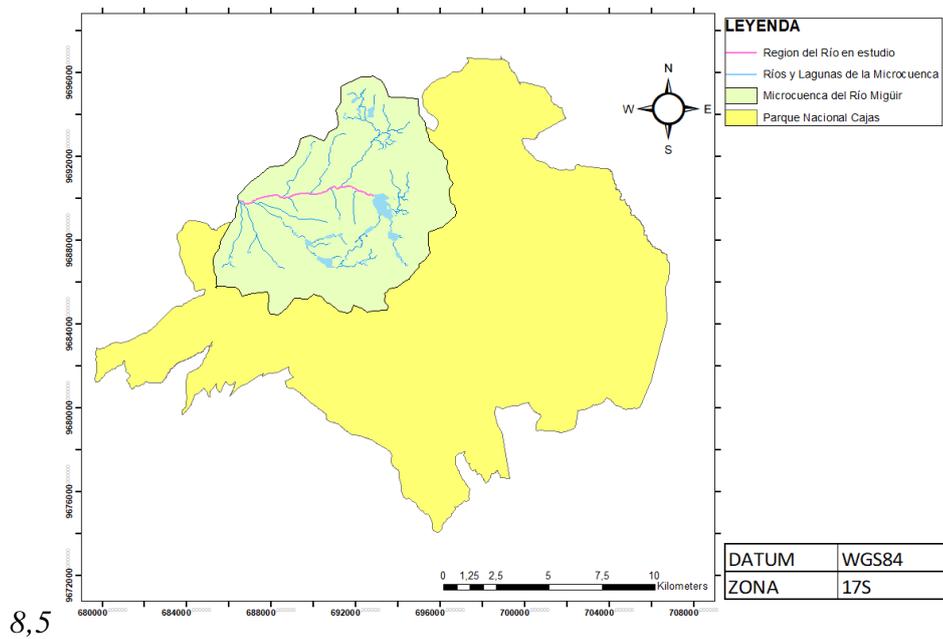


Figura 2. Ubicación de la zona de estudio en el cantón Cuenca

Fuente: IGM,

Elaboración. Autores



8,5

Figura 3. Ubicación del Río Miguir

Fuente: IGM,

Elaboración: Autores

4.1.2 Actividades productivas en la zona de estudio

Las principales actividades productivas que se practican en la zona de estudio se encuentran relacionadas con el turismo y recreación, sin embargo, existe la presencia de actividades ganaderas de pequeña escala.

Entre las actividades turísticas y recreativas cercanas al río encontramos 7 restaurantes de los cuales 2 incluyen pesca deportiva como uno de sus servicios. Existe la presencia de dos pisciculturas que se dedican a la crianza de trucha arcoíris (*Oncorhynchus mykiss*) cada una con una producción aproximada de 100000 peces al año.

En cuanto a las actividades ganaderas se puede encontrar 3 propiedades que se dedican a la producción de leche con aproximadamente 15 cabezas de ganado cada una; también se puede constatar que hay personas que no se dedican a la crianza de ganado como actividad económica principal, pero poseen alrededor de 4 a 6 animales dentro de sus propiedades.

4.1.3 Uso de suelo

Para estimar el uso de suelo se realizó un análisis tomando imágenes del 27 de agosto del 2020 del satélite LANDSAT, esto debido a que la información con respecto a este tema y en el lugar específico de la cuenca es muy limitado. La Figura 4 es el resultante del análisis del uso de suelo.

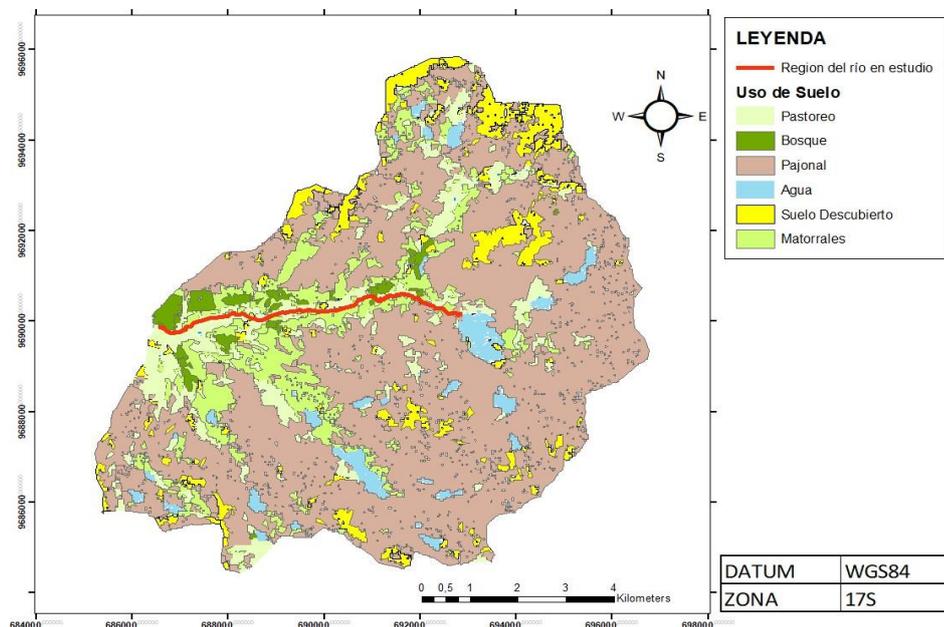


Figura 4. Mapa de suelo dentro de la cuenca.

Fuente: Landsat 8

Elaboración. Autores.

Los resultados estadísticos se expresan en la Tabla 2 y las Figuras 5 y 6:

Tabla 2. Área y porcentaje de uso de suelo.

Uso de suelo	Área (Has)	Porcentaje
Pastoreo	605,10	8,87
Bosque	139,29	2,04
Pajonal	4451,48	65,28
Cuerpos de agua	240,53	3,53
Suelo Descubierta	592,13	8,68
Matorrales	790,75	11,60
Área Total	6819,28	100,00

Elaboración. Autores

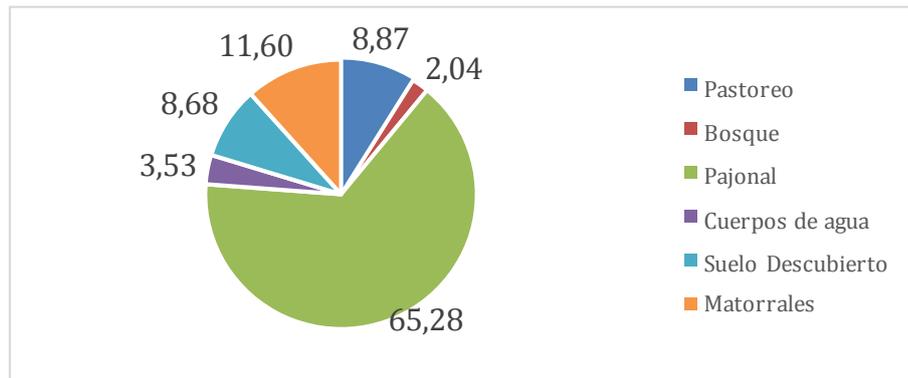


Figura 5. Porcentaje de suelo de suelo dentro de la cuenca

Elaboración. Autores.

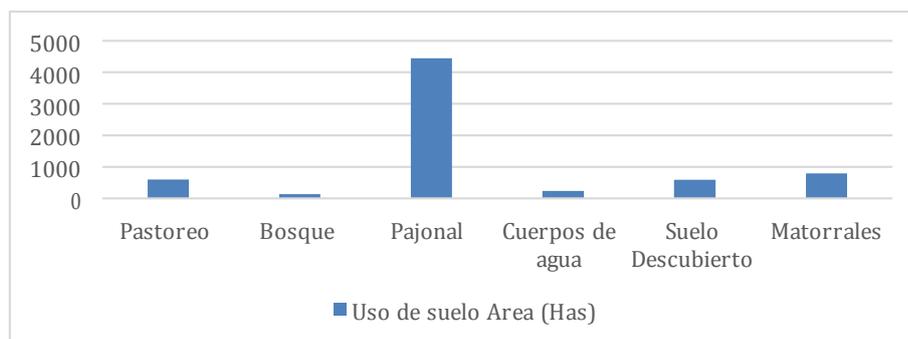


Figura 6. Área de uso de suelo dentro de la cuenca.

Elaboración. Autores



4.1.4 Flora

La flora del sector es abundante, para facilitar la descripción se ha considerado dividirla en dos secciones una de plantas pequeñas en las que se presentarán hierbas y arbustos; y la segunda donde se expondrán árboles de tamaño mayor debido a la gran cantidad se mencionará únicamente las más representativas de la región.

Entre las plantas pequeñas más importantes están: Cola de caballo (*Equisetum bogotense*), Cacho de venado (*Huperzia crassa*), nigua (*Pernettya prostrata*), Valeriana varias especies (*Valeriana cernua*), (*Valeriana microphylla*), (*Valeriana plantaginea*), (*Valeriana secunda*), (*Valeriana henrici*), (*Valeriana rigida*), Achicorea (*Werneria nubigena*), tres filos (*Baccharis genistellodes*), Sacha oca (*Oxalis phaeotricha*), Quillu Caspi (*Berberis lutea*) Romerillo (*Calceolaria rosmarinifolia*), Tucshi (*Gyboxys cuicochensis*) Tañig (*Hypochaeris sessiliflora*) Globito (*Gentianella hirculus*) Chuquiragua (*Chuquiraga jussieui*), Rabo de ratón (*Paperomia graveolens*), Mortiño (*Vaccinium floribundum*), Gullán (*Passiflora cumbalensis*), Agujilla (*Geranium multipartitum*), tipo (*Clinopodium nubigenum*), Genciana (*Gentianella rapunculoides*), Igüila (*Monnina crassifolia*), Achupilla (*Puya clava-herculis*), Lancetilla (*Castilleja fassifolia*), Orejuelas (*Lachermilla orbiculata*), Llantén (*Plantago australis*), Grama (*Paspalum bonplandianum*), Paja (*Calamagrostis intermedia*). (Ulloa et al., 2012).

Entre los árboles que conforman pequeños bosques podemos encontrar la Quinoa o Árbol de papel (*Polylepis reticulata*), que es emblemático del sector, también se encuentran otras especies como: Guabisay (*Podocarpus oleifolius*), Gañal (*Oreocallis grandiflora*), Quishuar (*Buddleja incana*), Chachacome (*Escalloria resinosa*), Guagual (*Myrcianthes discolor*), Zhiripe (*Myrsine dependen*), Pumamaqui (*Oreopanax anreanus*), Sarar (*Weinmannia fagaroides*), Pichul (*Vallea stipularis*), Pino (*Pinus sylvestris*) (Ulloa et al., 2012).

4.1.5 Fauna

La presencia de animales dentro de la cuenca del río Migüir es muy variada debido a que se encuentra en una posición muy cercana a un área protegida.

Los mamíferos que comúnmente se pueden encontrar dentro de la zona de estudio son: Ratón marsupial de Tatei (*Caenolestes tatei*), Ratón orejón de Haggard (*Phyllotis haggard*), Conejo silvestre (*Sylvilagus brasiliensis*), Raposo o Lobo de páramo (*Pseudalopex culpaeus*), Añas o Zorrillo (*Conepatus semistriatus*), Cuchucho o Coatí



andino (*Nasuella olivacea*), Puerco Espín Quichua (*Coendou quichua*), Guanta andina (*Cuniculus taczanowskii*), Venado colorado (*Cuniculus taczanowskii*), Venado de cola blanca (*Odocoileus peruvianus*), Zarigüeya andina de orejas blancas (*Didelphis pernigra*), Comadreja andina (*Mustela frenata*) (Sanchez & Carbone, 2012).

Por parte de los anfibios tenemos a: Jambato negro del Cajas (*Arelopus nanay*), Ucug (*Telmatobius niger*), Ranita venosa de los potreros (*Hyloxalus vertebralis*), Rana marsupial de los páramos (*Gastroheca pseustes*), Rana marsupial del Azuay (*Gastroheca litonedis*), Sapito del frío (*Pristimantis cryophilus*), Sapito de goma del Cajas (*Pristimantis philipi*), Sapito de goma espinoso (*Pristimantis vidua*), Lagartija Guagsa (*Stenocercus festae*) Cuylampalo (*Pholidobolus montium*) (Arbeláez & Vega, 2008).

El número de representantes para los peces es reducido, existiendo únicamente la Trucha arcoíris (*Oncorhynchus mykiss*) y la Trucha marrón (*Salmo trutta*). (Arbeláez & Vega, 2008)

Las especies de aves que se pueden apreciar en la zona son: Cóndor andino (*Vultur gryphus*), Curiquingue (*Phalcobenus carunculatus*), Quillillico (*Falco sparverius*), Gavilán cenizo (*Falco pregrinus*), Pituyo (*Gallinago jamesoni*), Golondrina (*Streptoprocne zonaris*), Mochuelo andino (*Glaucidium jardinii*), varias especies de colibríes (*Colibrí thalassinus*) (*Colibrí coruscans*), (*Aglaecactis cupripennis*), (*Pterophanes cyanopterus*), Carpintero (*Piculus rivolii*) Gorriones (*Cinclodes fuscus*) (*Schizoeaca griseomurina*) (*Scytalopus unicolor*), Chaupau (*Grallaria squamigera*), mirlo (*Turdus serranus*), Golondrinas (*Cinclus leucocephalus*) (Molina & Webster, 2012).

4.2 Muestreo

4.2.1 Puntos de muestreo

Se seleccionaron 3 puntos de muestreo a lo largo del trayecto de estudio, por cada punto se tomó una muestra compuesta (indica las variaciones promedio de la contaminación) de 2 litros (0,5 litros cada 10 minutos). La ubicación y coordenadas geográficas se detallan en la Tabla 3:

Tabla 3. Ubicación de los puntos de muestreo.

Punto	Código	Ubicación	Coordenadas geográficas	
			Latitud	Longitud
Punto 1 (Figura 7)	MG01	A 6 metros de la laguna Luspa	692874	9690169
Punto 2 (Figura 8)	MG02	En el caserío Migüir	688435	9690065
Punto 3 (Figura 9)	MG03	Zona denominada Huasihuaico	686587	9689853

Elaboración. Autores



Figura 7. Punto de muestreo 1

Fuente: Autores



Figura 8. Punto de muestreo 2

Fuente: Autores

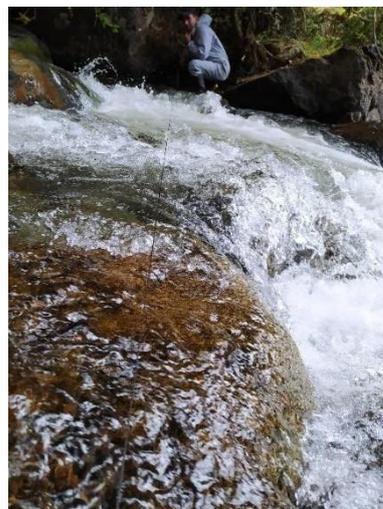


Figura 9. Punto de Muestreo 3

Fuente: Autores

4.2.2 Justificación de la selección de los puntos de muestreo

Para la selección del sitio se tomó en cuenta ciertos criterios como:

- **Accesibilidad:** el punto de muestreo deberá estar en un lugar de fácil acceso de tal manera que facilite la toma de muestras y transporte de las mismas, además del transporte de los equipos para el análisis in situ.
- **Representatividad:** el punto debe ser lo más representativo posible, de manera que contenga todas las características del cuerpo de agua, obteniendo una muestra homogénea.
- **Seguridad:** debe garantizar la salud de las personas que realizan el muestreo, de tal manera que no haya ningún riesgo y lesión.
- A partir de estos criterios se seleccionaron 3 puntos debido a que cubren en la totalidad el trayecto de estudio y al estar distribuidos de una manera equitativa no se va perder validez de los datos, por lo tanto, estos puntos de muestreo abarcan distintos focos de alteración de la calidad del agua en el sitio (Figura 10).

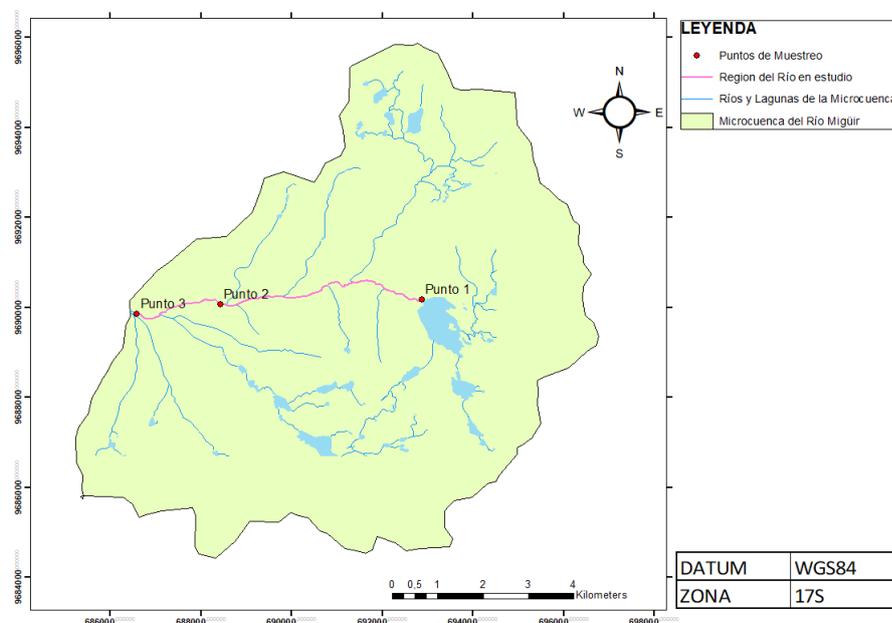


Figura 10. Ubicación de los puntos de muestreo.

Fuente: IGM,

Elaboración. Autores.

Punto 1: Se seleccionó este punto debido a que la laguna representa una de las fuentes más representativas para el río Migüir.



Punto 2: Este punto fue seleccionado debido a que abarca el caserío Migüir y actividades productivas de la zona las cuales son: pequeñas piscícolas, prácticas agropecuarias y comerciales (restaurantes).

Punto 3: Está ubicado a unos 6 metros antes de la unión con el río Atugyacu, en este punto se puede encontrar actividades agrícolas y ganaderas, así como también comerciales (restaurantes).

4.2.3 Etapas de muestreo

Se realizaron 5 etapas de muestreo durante los meses de octubre, noviembre y diciembre de 2020 cada una en un lapso de 15 días con el objetivo de cubrir las estaciones secas y lluviosas de la zona de estudio (Tabla 4). Para entender la variabilidad climática durante los meses de estudio se tiene las siguientes precipitaciones: en octubre 110mm, en noviembre 130mm y en diciembre 115mm.

Tabla 4. Fechas de muestreo

Muestreo	Fecha de muestreo
1	6 de octubre del 2020
2	20 de octubre del 2020
3	5 de noviembre del 2020
4	19 de noviembre del 2020
5	3 de diciembre del 2020

Elaboración. Autores

4.2.4 Toma de muestras

En cada punto se midió el caudal y se tomó una muestra compuesta (combinación de muestras puntuales tomadas en el mismo sitio durante un tiempo determinado) (Figuras 11, 12 y 13) se obtuvo durante un periodo de 40 minutos 4 muestras individuales de 0,5 litros, para posteriormente mezclarlas en una botella de 2 litros (Lituma, 2016).

Para el levantamiento de muestras se siguieron las normas NTE INEN 2176:1998 y NTE INEN 2169:98, que indican lo siguiente:

1. Se deberá preparar 1 botella de 2 litros y 1 botella de 1 litro bien lavadas, que sean preferiblemente de plástico.
2. Preparación de los equipos de campo para análisis “in situ”.

3. Rotular cada botella de forma clara y permanente con la fecha y el punto de muestreo.
4. Tomar las coordenadas del punto.
5. Llenar completamente los envases para evitar que exista aire en la muestra.
6. Transportar y llevar las muestras al laboratorio (NTE INEN 2176, 2013).



Figura 11. Toma de muestras punto 1 Figura 12. Toma de muestras punto 2

Fuente: Autores

Fuente: Autores.



Figura 13. Toma de muestras punto 3

Fuente: Autores

El análisis de las muestras se llevó a cabo en el laboratorio de Análisis de Calidad de Aguas y suelos, perteneciente a la Universidad de Cuenca, ubicado en la Quinta Balzay.

4.3 Medición del caudal

Para la medición de caudales se usó el método del flotador siguiendo las recomendaciones de la Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación (Figuras 14, 15 y 16).

El procedimiento a seguir fue el siguiente.

1. Preparación del Flotador: los flotadores son maderas de aproximadamente 30 cm de largo y deben flotar justo por arriba de la superficie del agua.
2. Se debe marcar dos secciones del río separadas por aproximadamente 10 m, cada una de las secciones debe ser medida en ancho y profundidad promedio, (5 profundidades por cada sección).
3. Determinar la velocidad del agua: Para averiguar la velocidad promedio del agua se debe lanzar el flotador en la sección tomada aguas arriba y tomar el tiempo que tarda en llegar a la sección aguas abajo, para aumentar la precisión se debe realizar por lo menos 5 repeticiones, de esta manera con el espacio y el tiempo se puede calcular la velocidad.
4. Finalmente, para la estimación del caudal se va multiplicar la velocidad media del agua por la sección media, el resultado estará expresado en m^3/s . (Organización de las Naciones Unidas para la alimentación y la agricultura (FAO), 2016).



Figura 14. Medición de caudales punto 1
Fuente: Autores



Figura 15. Medición de caudales punto 2
Fuente: Autores

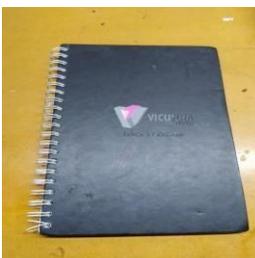


Figura 16. Medición de caudales punto 3
Fuente: Autores

4.4 Equipos y materiales

Para la toma de muestras se utilizaron los siguientes equipos y materiales detallados en la Tabla 5:

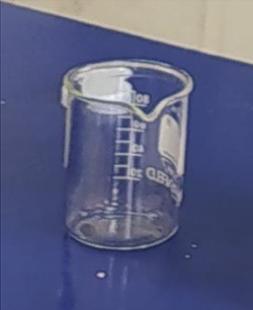
Tabla 5. Equipos y materiales usados para la toma de muestras.

Flexómetro		Esfero	
Hilo		Cáncamos	
Flotadores		Termómetro	
Cuaderno		Recipientes para las muestras	

Elaboración. Autores

El análisis de las muestras se realizó en el Laboratorio de Análisis de calidad de aguas y suelos de la Universidad de Cuenca, donde se utilizó los siguientes equipos y materiales detallados en la Tabla 6.

Tabla 6. Equipos y materiales usados en el laboratorio.

Tubos de ensayo		Espectrofotómetro	
Vasos de precipitación		Turbidímetro HACH 2199Q	
Bureta		Medidor de Oxígeno Disuelto	
pH- Metro		Medidor de Sólidos Totales Disueltos	

Elaboración. Autores



4.5 Metodología para la determinación del ICA

A continuación, se aborda el procedimiento a seguir para el cumplimiento de los objetivos establecidos anteriormente, los cuales están enfocados principalmente en desarrollar el índice de calidad del agua (ICA), validar los datos obtenidos con el ICA NSF y verificar con la normativa legal vigente.

4.5.1 Procedimiento para el desarrollo del ICA

De acuerdo con Landeta et. al. (2008) para que el método DELPHI funcione correctamente debe cumplir con ciertos requisitos:

- Es un proceso iterativo por lo que las consultas deben ser realizadas al menos dos veces, dando oportunidad a los expertos de reflexionar acerca de sus respuestas anteriores después de analizar las opiniones y resultados de otros participantes.
- Se debe mantener el anonimato entre participantes por lo menos hasta que expresen sus respuestas, de esta manera se eliminan influencias negativas o factores asociados a la personalidad que pueden incidir en los demás colaboradores.
- El intercambio de información entre los expertos no es libre y debe ser controlado por los líderes de la investigación.
- Las preguntas deben ser realizadas de manera cuantitativa, así al final del estudio pueden obtener un valor estadístico.

Los pasos a seguir con el fin de obtener resultados de calidad, son los siguientes:

Paso 1: Formulación del problema

Se debe precisar con exactitud el campo de investigación, por lo que es conveniente que todos los expertos encuestados tengan el mismo conocimiento sobre el tema a tratar. El cuestionario debe ser redactado de manera que sea fácil de comprender, con preguntas claras y cuantificables.

Paso 2: Elección de expertos

Es de vital importancia que el experto elegido tenga experiencia en el tema, independientemente de su nivel académico, función laboral o nivel jerárquico.

Paso 3: Desarrollo y envío de los cuestionarios

Las preguntas deben ser formuladas de manera que sea fácil de cuantificar y de ponderar. Generalmente se acude a respuesta como: "SI/NO", "INCLUIDO/NO INCLUIDO",



“POCO/ MUY POCO, MEDIO, ALTO y MUY ALTO”, para posteriormente tabular las respuestas y tratarlas en términos porcentuales.

Los cuestionarios son enviados a un número no inferior de 20 personas, acompañado de una presentación con la finalidad del mismo, así como unas pequeñas indicaciones para el desarrollo de la encuesta (Torres, 2009)

4.5.2 Realización de la Encuesta 1

La ejecución de la Encuesta 1 (Anexo 1), se realizó a 20 profesionales que tienen conocimientos referentes a calidad del agua o cuyo ámbito de trabajo esté relacionado con el mismo. La encuesta estuvo conformada por 41 parámetros, cada uno colocado indistintamente y clasificado como “incluido”, “no incluido” o “indeciso”, donde, se escogieron o incluyeron los más relevantes según su criterio profesional; cada parámetro incluido se evaluó en un rango de 1 (importancia relativamente baja) a 5 (importancia relativamente alta), dicha calificación posteriormente fue útil para obtener los pesos de cada parámetro (Torres, 2009).

Los encuestados fueron escogidos de acuerdo a los conocimientos del tema a tratar, teniendo:

- Profesionales en el área ambiental, biología, ecología, etc.
- Profesionales recientemente graduados de la Universidad de Cuenca cuyo tema de grado sea referente a calidad de agua
- Docentes de la facultad de Ciencias Químicas de la Universidad de Cuenca.

A partir de estas características se contó con:

- Biólogos encargados del Parque Nacional Cajas
- Docentes de la Carrera de Ingeniería Ambiental
- Graduados de Ingeniería Ambiental (entre 2015 y 2019)
- Profesionales del Ministerio del Medio Ambiente.
- Profesionales laborando en Gestión Ambiental
- Ingenieros Ambientales
- Profesionales que laboran en ETAPA EP

4.5.3 Realización de la Encuesta 2

En este cuestionario se presentó diferentes parámetros en los cuales el evaluador tendrá que ir calificando (de acuerdo a su experticia) cada valor presentado, el nivel de calidad



de agua (0 - 100%) según la clasificación dada de Excelente, Buena, Aceptable, Mala y Muy Mala. Además, se muestra referencias del Anexo 1 del libro 6 del TULSMA donde se da a conocer ciertos límites máximos permisibles que servirán de guía al momento de evaluar.

Se necesita un mínimo de 7 expertos para la validación de los resultados, debido a que el error disminuye por cada respuesta hasta llegar a los 7 expertos (Dalkey et al., 1969). Los resultados obtenidos de la encuesta 2 sirvieron para el cálculo de los subíndices necesarios para el desarrollo del ICA.

4.5.4 Formulación del ICA

La metodología planteada para el desarrollo del índice consiste en dos pasos, como primer paso se estimaron los parámetros tanto físicos, químicos y biológicos, mediante dos encuestas. La primera nos permitió obtener los pesos de cada uno de estos y la segunda arrojó los datos necesarios para determinar los subíndices de calidad para cada parámetro. Por último, el índice de calidad de agua, se formuló mediante la Ecuación (1):

$$ICA = \sum Wi * Pn$$

(1)

Donde:

- ICA: índice de calidad de agua
- Wi: Peso de cada parámetro
- Pn: Sub índice de cada parámetro (Normalizados)

Una vez obtenido el ICA se procedió a evaluar la calidad del agua de acuerdo con la Tabla 7.

Tabla 7. Valores del índice de calidad del agua

Valor ICA	Color	Calidad del agua
90 - 100	AZUL	Excelente
71 - 89	VERDE	Bueno
51 - 70	AMARILLO	Favorable
25 - 49	NARANJA	Regular
0 - 24	ROJO	Mala

Elaboración. Autores

Fuente: (Torres, 2009)



4.6 Metodología para la obtención del ICA-NSF

Los parámetros que se utiliza para la obtención del ICA-NSF son los siguientes:

- Temperatura (°C)
- Oxígeno disuelto, (% saturación)
- Turbiedad, (NTU)
- Nitratos, (mg/l)
- Fósforo total (mg/l)
- Sólidos totales (mg/l)
- pH
- Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO₅) (mg/l)
- Coliformes fecales (NMP/100ml).

El ICA-NSF utiliza pesos previamente especificados para cada parámetro presentados en la Tabla 8:

Tabla 8. Pesos de los parámetros ICA-NSF

Parámetro	Peso (%)
Coliformes fecales	16
DBO ₅	11
Fosfatos	10
Nitratos	10
Oxígeno disuelto	17
pH	11
Sólidos totales	7
Temperatura	10
Turbiedad	8

Elaboración. Autores

Fuente: (Coello et al., 2013)

Se usó la plataforma en línea creada por WATER RESEARCH CENTER para el cálculo del ICA, esta página web fue desarrollada en los Estados Unidos por el geólogo Brian Oram, la misma es utilizada ampliamente para evaluaciones de calidad del agua y programas de educación (Oram, 2014).

En la plataforma se ingresa el nombre, correo electrónico, Organización, Tipo (lago, río, estanque), hora, día, ubicación, latitud y longitud, y nos permite ingresar cada uno de los



9 parámetros en forma cuantitativa. Como resultado nos reporta los valores de los subíndices y el valor del ICA.

4.7 Validación del ICA Desarrollado

Para establecer si el ICA desarrollado es útil, se procedió a validarlo con el ICA creado por la Fundación Nacional de Saneamiento (NSF), dicha validación se realizó mediante la correlación de Pearson, este análisis estadístico nos permite estudiar la relación o correlación entre variables cuantitativas. La correlación puede ser positiva o negativa de acuerdo a su signo y puede expresarse de acuerdo a tres rangos (Calvo Brenes & Mora Molina, 2009):

- Débil $\pm 0 - 0,29$
- Moderada $\pm 0,3 - 0,69$
- Fuerte $\pm 0,7 - 1$

4.8 Comparación con la normativa vigente

Una vez obtenidos los resultados de los parámetros en cada muestreo, se procedió a comparar con los límites máximos permisibles de la normativa vigente (anexo 1 del libro 6 TULSMA). En esta se especifican las características que deben cumplir de acuerdo a la clasificación que en este caso corresponde a uso agrícola, recreativo y pecuario.



5 RESULTADOS

5.1 Encuestas 1

La primera encuesta (Anexo 1) se realizó a los 20 profesionales escogidos, se tuvo respuesta de la totalidad de los mismos, o bteniendo los resultados que se muestran en la Tabla 9.

Tabla 9. Respuestas de profesionales a primera encuesta

Parámetros	N° Repeticiones	Encuestados																				Promedio	Desviación estándar	Valor máximo	Valor mínimo
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20				
Alcalinidad	10	3	2	3	3	5	0	4	0	3	0	3	2	0	2	0	0	0	0	0	0	1,5	1,67	5	0
Aluminio	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0,0	0,00	0	0
Amoniaco	5	0	0	0	0	3	0	0	4	4	0	0	0	4	0	0	0	0	0	0	4	1,0	1,70	4	0
Arsénico	2	0	0	0	0	0	5	0	0	0	0	3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0,4	1,27	5	0
Bario	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0,0	0,00	0	0
Bicarbonatos	2	0	0	0	0	3	5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0,4	1,27	5	0
Boro	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0,0	0,00	0	0
Cadmio	2	0	0	0	0	0	0	3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	4	0	0	0	0,4	1,09	4	0
Carbón Orgánico Total	2	0	0	0	0	0	0	0	0	5	0	0	0	5	0	0	0	0	0	0	0	0,5	1,54	5	0
Carbonatos	2	4	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	5	0	0,5	1,39	5	0
Cianuro	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	2	0	0	0	0	0	5	0	0,4	1,18	5	0
Cloro	4	0	3	0	2	0	0	0	3	0	0	5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0,7	1,42	5	0
Cobre	3	0	0	0	0	5	0	3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	4	0	0	0	0,55	1,50	5	0



Continuación Tabla 9. Respuestas de profesionales a primera encuesta

Parámetros	N° Repeticiones	Encuestados																				Promedio	Desviación estándar	Valor máximo	Valor mínimo
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20				
Coliformes Fecales	20	5	5	5	4	4	5	5	4	5	5	5	5	4	5	5	5	5	5	5	4,8	0,41	5	4	
Conductividad	8	3	0	0	0	2	5	4	0	0	0	4	5	0	0	0	3	0	0	5	1,6	2,06	5	0	
Cromo Total	1	0	0	0	0	0	0	3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0,2	0,67	3	0	
Demanda Bioquímica de Oxígeno	18	3	5	5	5	4	5	5	5	0	5	5	5	5	0	3	3	4	5	5	4	4,1	1,57	5	0
Coliformes totales	10	0	3	0	0	0	5	5	3	5	0	5	5	0	0	0	3	0	0	5	5	2,2	2,35	5	0
Fosfatos	13	4	0	0	0	2	5	3	0	5	0	5	0	5	2	3	5	0	5	4	5	2,7	2,21	5	0
Fósforo	11	0	3	0	3	2	0	3	3	4	0	5	0	5	0	0	3	0	2	0	5	1,9	1,94	5	0
Fósforo Total	14	0	3	0	0	4	5	3	3	0	0	5	2	5	3	0	3	3	5	5	5	2,7	2,03	5	0
Herbicidas	9	0	2	4	4	0	0	0	0	5	0	2	1	0	0	0	4	5	5	0	1,6	2,06	5	0	
Magnesio	1	0	0	0	0	0	0	5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0,3	1,12	5	0	
Manganeso	3	0	0	0	0	4	0	3	0	0	0	0	0	0	0	0	4	0	0	0	0,6	1,36	4	0	
Mercurio	9	0	4	3	3	4	0	3	0	5	0	0	0	3	0	0	4	0	5	0	1,7	2,00	5	0	
Nitratos	18	4	4	3	3	4	5	4	4	5	5	5	2	5	0	4	4	4	5	0	5	3,8	1,52	5	0
Nitrógeno Orgánico	8	0	2	0	0	2	0	3	3	0	0	0	0	0	2	0	3	0	0	5	5	1,3	1,74	5	0



Continuación Tabla 9. Respuestas de profesionales a primera encuesta

Parámetros	N° Repeticiones	Encuestados																				Promedio	Desviación estándar	Valor máximo	Valor mínimo
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20				
Oxígeno Disuelto	19	4	5	5	5	5	5	5	3	5	5	5	5	5	0	5	4	5	5	5	3	4,5	1,23	5	0
Pesticidas	9	0	2	4	4	0	0	0	0	5	0	2	2	0	0	0	0	4	5	5	0	1,7	2,06	5	0
pH	19	3	5	5	4	0	5	5	4	5	5	5	5	5	5	5	4	5	3	5	3	4,3	1,26	5	0
Plomo	4	0	0	0	0	4	0	4	0	0	0	0	0	0	0	0	0	4	0	5	0	0,9	1,76	5	0
Potasio	2	0	0	0	0	0	0	0	3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	5	0	0,4	1,27	5	0
Radioactividad	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0,0	0,00	0	0
Selenio	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0,0	0,00	0	0
Silicatos	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0,0	0,00	0	0
Sodio	3	0	0	0	0	4	0	3	3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0,5	1,24	3	0
Sólidos disueltos	15	4	3	3	3	0	0	5	4	0	5	5	1	4	0	3	3	3	0	5	5	2,8	1,94	5	0
Sólidos Suspendidos	12	0	0	0	3	0	0	5	3	3	5	5	1	4	0	3	0	3	0	5	5	2,3	2,12	5	0
Temperatura	15	2	2	2	2	0	5	3	3	0	5	5	5	0	1	0	3	3	3	3	0	2,4	1,79	5	0
Turbiedad	19	3	4	5	5	3	5	5	0	5	5	5	4	4	3	4	3	4	3	5	5	4,0	1,26	5	0
Zinc	3	0	0	0	0	5	0	3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	4	0	0	0	0,6	1,50	5	0
Promedio Total																				1.45	0,685				

Elaboración. Autores



Al analizar la primera encuesta se pudo observar: que los Coliformes Fecales fue el parámetro escogido por todos los encuestados; 19 encuestados seleccionaron la Turbiedad, el Oxígeno Disuelto y el pH; 18 eligieron Nitratos y la Demanda Bioquímica de Oxígeno; 15 optaron por Sólidos Disueltos y la Temperatura; 14 Fósforo total; 13 Fosfatos; 12 Sólidos Suspendidos; 11 Fósforo; 10 Alcalinidad y Coliformes totales; 9 Pesticidas, Mercurio y Herbicidas; 8 Conductividad y Nitrógeno Orgánico; 5 Amoniac; 4 Cloro y Plomo; 3 Zinc, Sodio, Manganeso y Cobre; 2 Arsénico, Bicarbonatos, Cadmio, Carbón Orgánico Total, Carbonatos, Cianuro y Potasio; 1 Cromo Total y por último ningún experto seleccionó Aluminio, Bario, Boro, Radioactividad, Selenio y Silicatos. Se obtuvo un promedio total de los parámetros de 1,45 y una desviación estándar de 0,685.

Para seleccionar los parámetros con los que se trabajó se consideró tres criterios de eliminación:

1. Promedio menos desviación estándar
2. Promedio más desviación estándar
3. Promedio total.

Utilizando el primer criterio de promedio menos desviación estándar los valores que promediaron un valor mayor a 0,77 fueron los siguientes Tabla 10:

Tabla 10. Parámetros obtenidos por criterio de eliminación: Promedio menos desviación estándar

Parámetro	Promedio	Parámetro	Promedio
Coliformes Fecales	4,80	Sólidos Suspendidos	2,25
Oxígeno Disuelto	4,45	Coliformes totales	2,20
pH	4,30	Fósforo	1,90
DBO ₅	4,05	Mercurio	1,70
Turbiedad	4,00	Pesticidas	1,65
Nitratos	3,75	Herbicidas	1,60
Sólidos disueltos	2,80	Conductividad	1,55
Fósforo Total	2,70	Alcalinidad	1,50
Fosfatos	2,65	Nitrógeno Orgánico	1,25
Temperatura	2,35	Amoniac	0,95

Elaboración. Autores



Aplicando el segundo criterio de eliminación, promedio más desviación estándar, los parámetros que promedian un valor mayor a 2,13 son los presentados en la Tabla 11:

Tabla 11. Parámetros obtenidos por criterio de eliminación: Promedio más desviación estándar.

Parámetro	Promedio	Parámetro	Promedio
Coliformes Fecales	4,80	Sólidos disueltos	2,80
Oxígeno Disuelto	4,45	Fosforo Total	2,70
pH	4,30	Fosfatos	2,65
Demanda Bioquímica de Oxígeno	4,05	Temperatura	2,35
Turbiedad	4,00	Sólidos Suspendidos	2,25
Nitratos	3,75	Coliformes totales	2,20

Elaboración. Autores

Por último, al usar el tercer criterio de eliminación del promedio total los valores que promedian un valor mayor a 1,45 son los que se muestran en la Tabla 12:

Tabla 12. Parámetros obtenidos por criterio de eliminación: Promedio

Parámetro	Promedio	Parámetro	Promedio
Coliformes Fecales	4,80	Temperatura	2,35
Oxígeno Disuelto	4,45	Sólidos Suspendidos	2,25
pH	4,30	Coliformes totales	2,20
DBO ₅	4,05	Fosforo	1,90
Turbiedad	4,00	Mercurio	1,70
Nitratos	3,75	Pesticidas	1,65
Sólidos disueltos	2,80	Herbicidas	1,60
Fosforo Total	2,70	Conductividad	1,55
Fosfatos	2,65	Alcalinidad	1,50

Elaboración. Autores



Para este estudio se utilizó el tercer criterio de eliminación teniendo un total de 18 parámetros. Se realizó una evaluación para determinar qué variables son redundantes (fósforo total y fosfatos) y aquellos cuyos análisis representaron una complicación mayor para el avance del trabajo (Pesticidas y Herbicidas); además, por sugerencia de los encuestados se incluyó el Zinc y el Cobre. Considerando estas últimas evaluaciones, en la Tabla 13 se muestra los constituyentes a utilizar en el desarrollo del ICA

Tabla 13. Parámetros seleccionados para el desarrollo de ICA.

Parámetro	Promedio	Parámetro	Promedio
Coliformes Fecales	4,80	Sólidos Suspendidos	2,25
Oxígeno Disuelto	4,45	Coliformes totales	2,20
pH	4,30	Mercurio	1,70
DBO ₅	4,05	Conductividad	1,55
Turbiedad	4,00	Alcalinidad	1,50
Nitratos	3,75	Zinc	0,6
Sólidos disueltos	2,80	Cobre	0,55

Elaboración. Autores

5.2 Encuesta 2

Se tuvo respuesta de 8 encuestados de los 20, es decir se contó con el 40 % del total de los profesionales, teniendo los siguientes resultados de la encuesta 2 (Anexo 2) que ayudó para el cálculo de los subíndices de cada uno de los parámetros de estudio:

- Los coliformes fecales son utilizados frecuentemente por lo que son indicadores de contaminación de patógenos. En la Tabla 14 se detalla las respuestas de los 8 expertos, además, en la Figura 17 se observa gráficamente los resultados con un coeficiente de determinación de 0,967.

Tabla 14. Resultados de la Encuesta 2: Coliformes fecales

Parámetro	Nivel calidad del agua (0-100%)								Datos de los Expertos	Valor máximo	Valor Mínimo
	Coliformes fecales (nmp/100ml)	E1	E2	E3	E4	E5	E6	E7			
0	100	100	100	95	90	95	100	100	98	100	90
10	100	70	95	70	80	90	90	95	86	100	70
50	90	60	90	50	70	75	80	50	71	90	50
100	50	50	85	40	60	50	50	45	54	85	40
500	50	40	70	25	50	40	40	30	43	70	25
1000	25	35	60	22	20	25	25	20	29	60	20
2000	10	30	50	15	10	15	10	15	19	50	10
5000	10	20	41	10	5	10	0	10	13	41	0

Elaboración. Autores

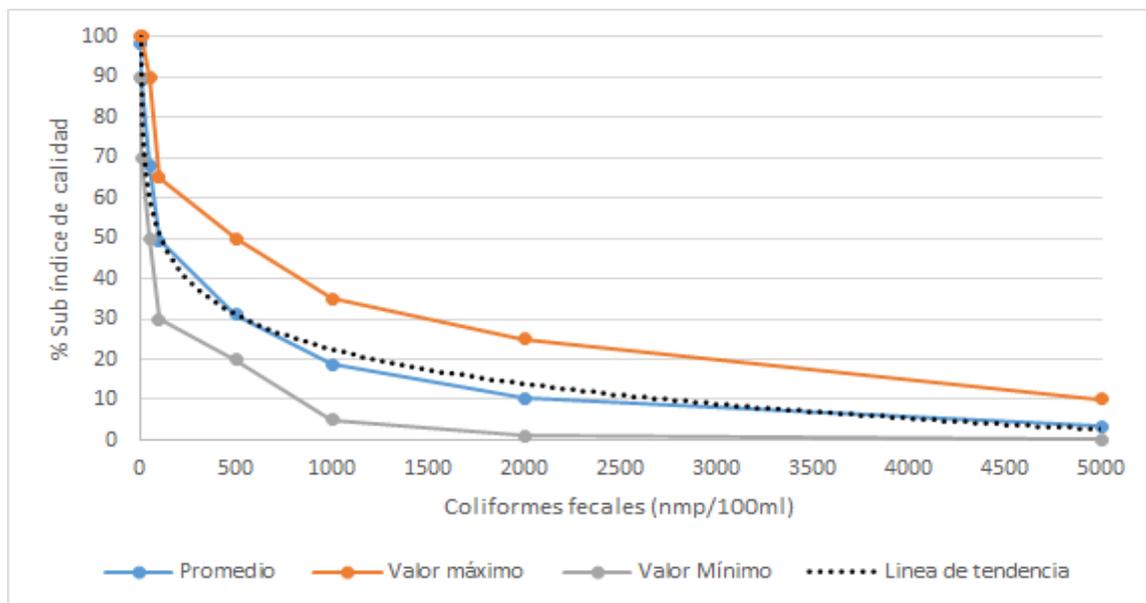


Figura 17 Subíndice para los coliformes fecales

Elaboración. Autores

- En la Tabla 15 se muestra los resultados del oxígeno disuelto de los expertos luego de la segunda encuesta. Por otra parte, en la Figura 18 se observa la gráfica del subíndice del oxígeno disuelto con un coeficiente de determinación de 0,984.

Tabla 15. Resultados de la Encuesta 2: Oxígeno Disuelto

Parámetro	Nivel calidad del agua (0-100%)								Datos de los Expertos	Valor máximo	Valor Mínimo
	Oxígeno Disuelto (mg/l)	E1	E2	E3	E4	E5	E6	E7			
0	10	5	40	2	1	5	0	0	8	40	0
5	50	10	45	18	15	10	20	40	26	50	10
6	50	40	50	45	30	20	50	50	42	50	20
7	50	50	65	62	40	30	60	70	53	70	30
8	50	65	71	85	75	50	80	75	69	85	50
9	90	90	90	100	80	70	95	90	88	100	70
10	90	100	100	90	95	80	100	100	94	100	80

Elaboración. Autores

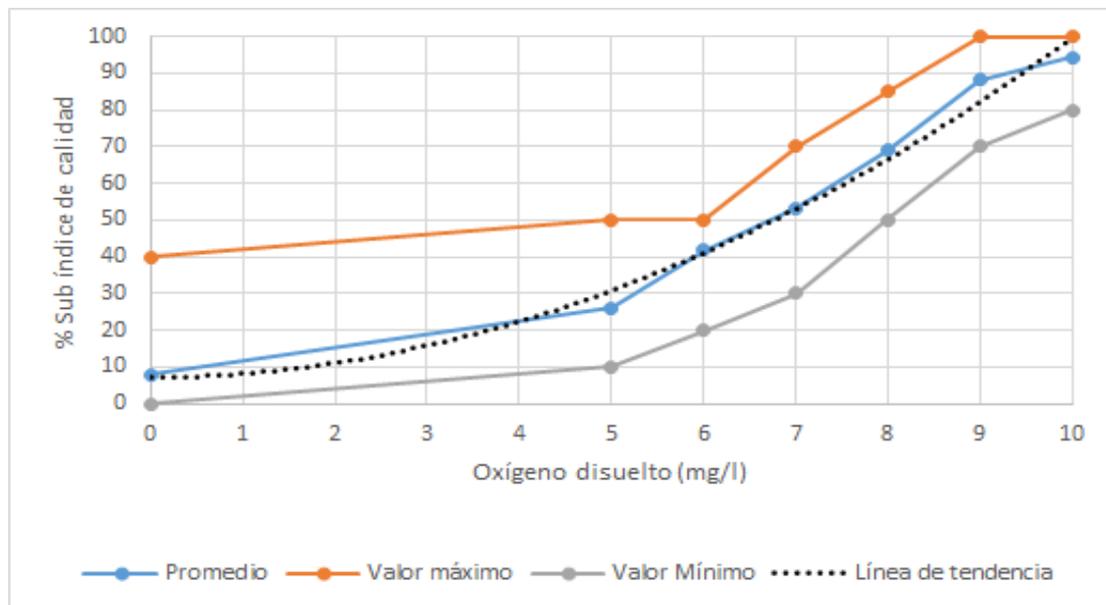


Figura 18. Subíndice para el oxígeno disuelto

Elaboración. Autores

- Los resultados pH (potencial hidrógeno) expuestos en la Tabla 16, muestra un valor máximo cuyas características representan una óptima calidad de agua siendo un valor de 7. En la Figura 19 se presenta gráficamente los resultados que posteriormente



servieron para determinar el subíndice del pH, teniendo un coeficiente de determinación de 0,941.

Tabla 16. Resultados de la Encuesta 2: pH

Parámetro	Nivel calidad del agua (0-100%)								Datos de los Expertos	Valor máximo	Valor Mínimo
	pH	E1	E2	E3	E4	E5	E6	E7			
1	15	10	0	2	0	0	0	0	3	15	0
2	15	10	1	2	1	2	20	5	7	20	1
3	15	20	21	2	5	5	30	25	15	30	2
4	15	45	30	2	10	15	50	40	26	50	2
5	25	50	41	30	20	30	60	75	41	75	20
6	75	90	71	65	50	60	90	85	73	90	50
7	75	100	100	95	90	100	100	100	95	100	75
8	75	90	71	65	80	95	90	85	81	95	65
9	80	90	65	50	70	60	70	70	69	90	50
10	40	50	50	2	40	30	60	50	40	60	2
11	20	45	41	2	30	10	35	30	27	45	2
12	15	20	40	2	10	5	25	10	16	40	2
13	10	10	21	2	1	2	10	5	8	21	1
14	5	10	1	2	0	1	0	0	2	10	0

Elaboración. Autores

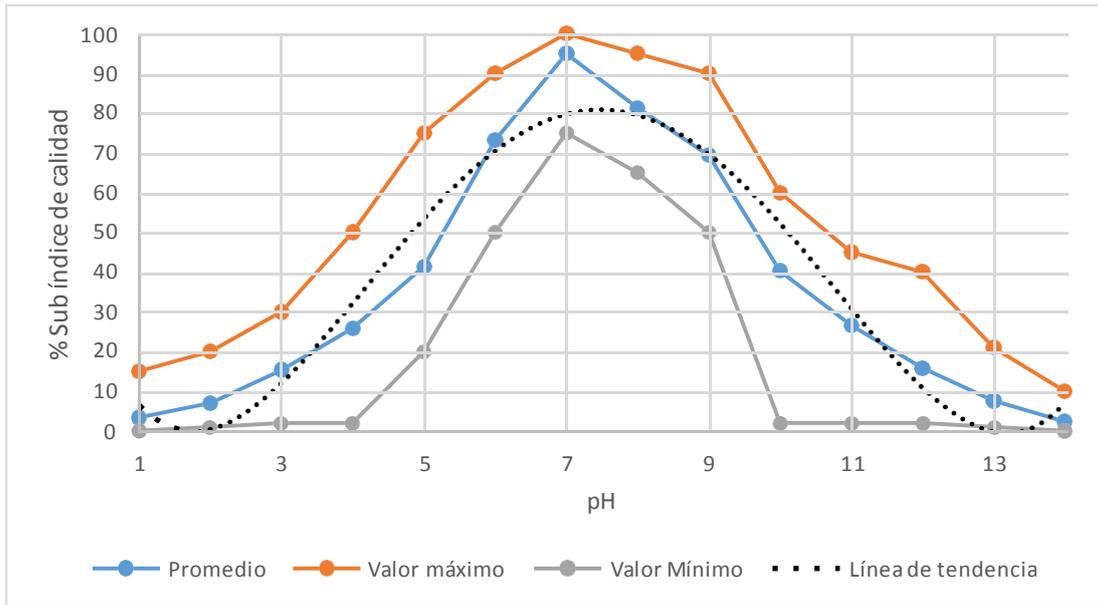


Figura 19 Subíndice para el pH.

Elaboración. Autores

- En la Tabla 17 se presentan los resultados de los expertos de la Demanda Bioquímica de Oxígeno en 5 días. Así mismo, en la Figura 20 se observa la gráfica para el cálculo del subíndice con un coeficiente de determinación de 0,9805.

Tabla 17. Resultados de la Encuesta 2: pH

Parámetro DBO5 (mg/l)	Nivel calidad del agua (0-100%)								Datos de los Expertos	Valor máximo	Valor Mínimo
	E1	E2	E3	E4	E5	E6	E7	E8			
0	100	100	100	100	95	90	100	100	98	100	90
20	85	45	41	10	90	80	80	80	64	90	10
40	85	30	50	5	70	75	75	70	58	85	5
60	40	20	70	5	50	40	60	50	42	70	5
80	25	20	40	5	20	25	30	35	25	40	5
100	15	20	5	5	10	15	25	25	15	25	5
120	10	10	5	1	5	1	20	10	8	20	1

Elaboración. Autores

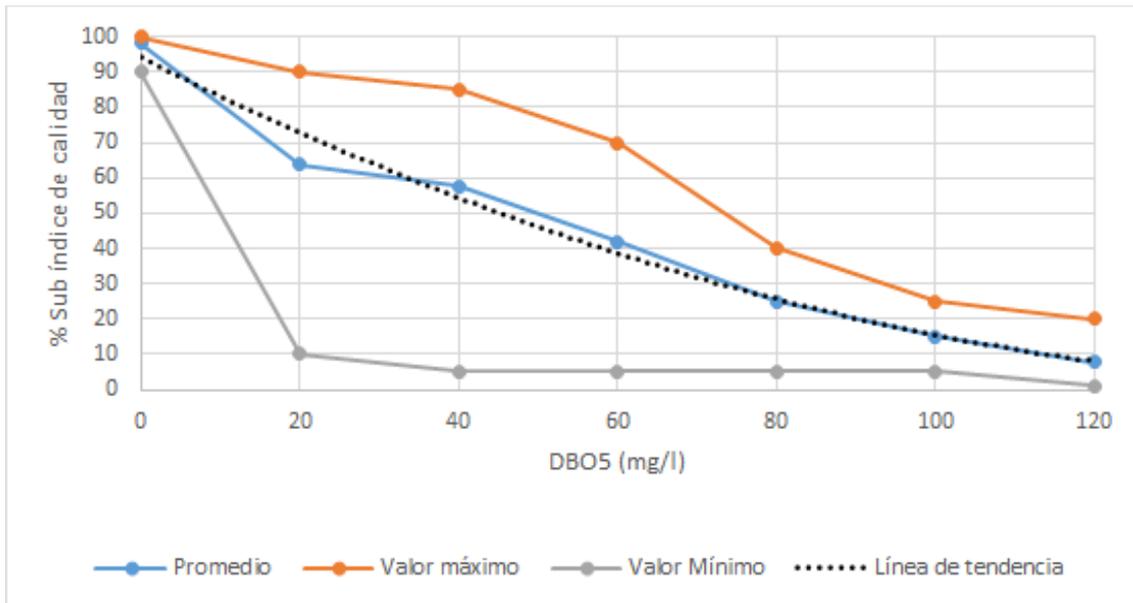


Figura 20. Subíndice para el DBO5

Elaboración. Autores

- La Tabla 18 muestra los resultados de la Turbiedad, por otra parte, en la Figura 21 se los representa gráficamente con un coeficiente de determinación de 0,9942.

Tabla 18. Resultados de la Encuesta 2: Turbiedad

Parámetro	Nivel calidad del agua (0-100%)								Datos de los Expertos	Valor máximo	Valor Mínimo
	Turbiedad (NTU)	E1	E2	E3	E4	E5	E6	E7			
0	100	100	100	100	95	100	100	100	99	100	95
1-3	90	95	98	98	90	90	90	95	93	98	90
3-5	90	90	95	92	85	80	80	90	88	95	80
5-10	90	90	91	75	80	70	70	65	79	91	65
10-20	45	80	90	65	75	60	50	60	66	90	45
20-50	45	70	70	40	50	40	20	15	44	70	15
50-100	45	65	41	30	20	15	5	10	29	65	5
>100	25	40	5	15	10	5	0	0	13	40	0

Elaboración. Autores

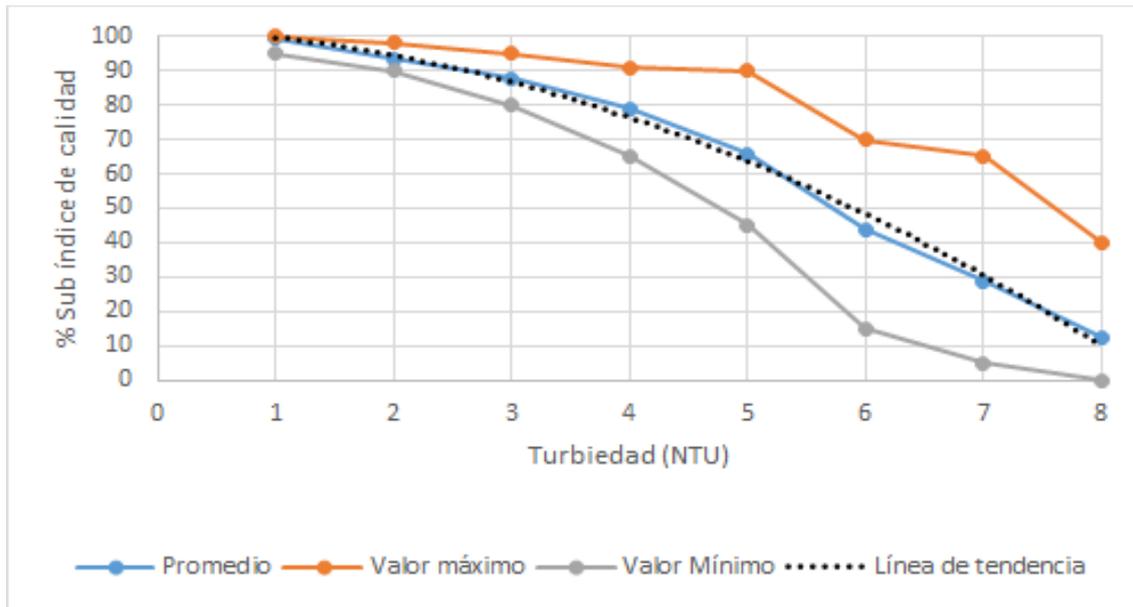


Figura 21. Subíndice para la turbiedad

Elaboración. Autores

- En la Tabla 19 se puede observar los resultados de los expertos y en la Figura 22 su representación con un coeficiente de determinación de 0,9897.

Tabla 19. Resultados de la Encuesta 2: Nitratos

Parámetro	Nivel calidad del agua (0-100%)								Datos de los Expertos	Valor máximo	Valor Mínimo
	E1	E2	E3	E4	E5	E6	E7	E8			
Nitratos (mg/l)											
0-5	100	100	100	100	95	90	99	100	98	100	90
5-10	95	90	100	70	80	85	90	90	88	100	70
10-20	45	70	70	45	75	65	50	70	61	75	45
20-30	45	60	60	25	35	35	30	40	41	60	25
30-40	25	50	21	10	15	15	10	30	22	50	10
40-50	25	30	5	2	1	5	5	10	10	30	1

Elaboración. Autores

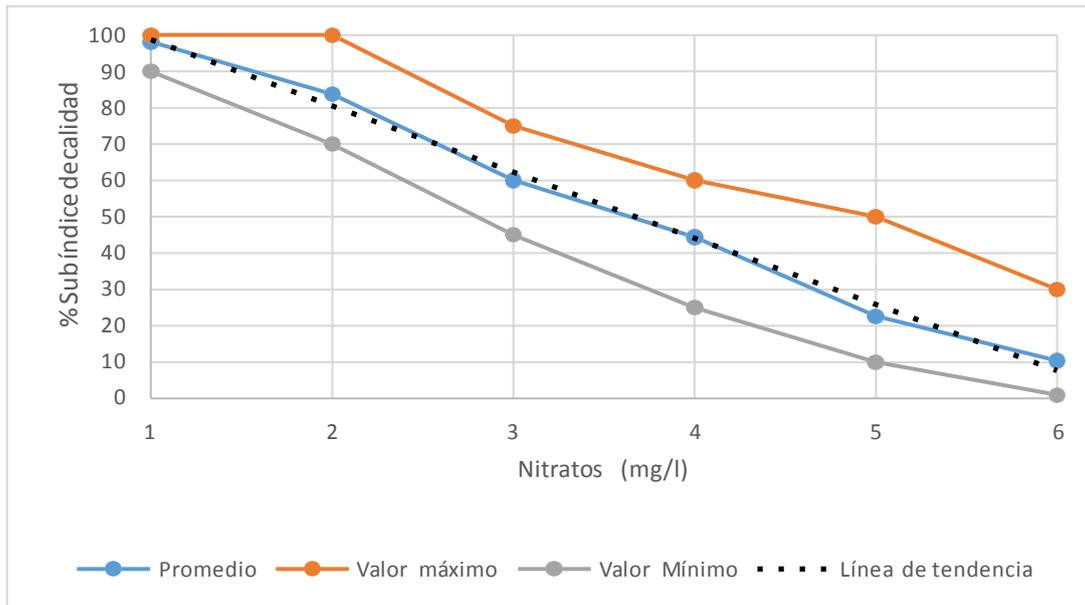


Figura 22.. Subíndice para los Nitratos

Elaboración. Autores

- La Tabla 20 detalla los resultados obtenidos para dicho parámetro y en la Figura 23 se los representa de una manera gráfica con 0,9978 de coeficiente de determinación.

Tabla 20. Resultados de la Encuesta 2: Sólidos disueltos

Parámetro	Nivel calidad del agua (0-100%)								Datos de los Expertos	Valor máximo	Valor Mínimo
	E1	E2	E3	E4	E5	E6	E7	E8			
Sólidos disueltos (mg/l)											
0	95	100	100	80	95	90	100	100	95	100	80
100	75	100	90	85	85	80	95	80	86	100	75
200	75	90	80	70	70	75	85	75	78	90	70
400	45	80	50	50	45	60	80	70	60	80	45
600	45	70	35	40	30	50	50	40	45	70	30
1000	45	60	20	30	25	35	25	35	34	60	20
3000	45	50	15	25	10	20	20	25	26	50	10
5000	10	25	1	5	5	10	15	10	10	25	1

Elaboración. Autores

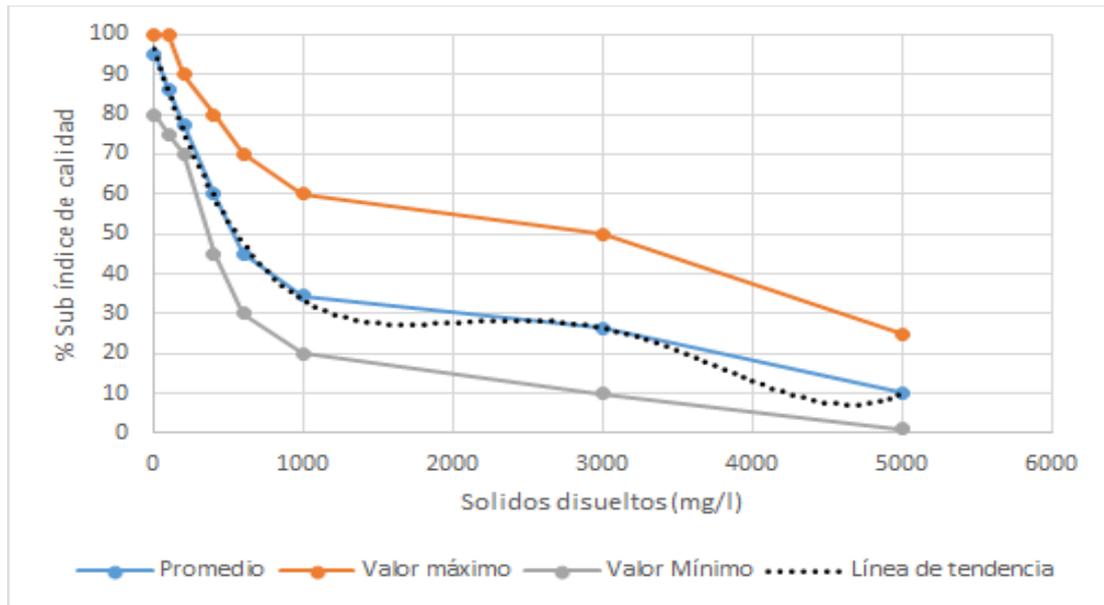


Figura 23 Subíndice para sólidos disueltos

Elaboración. Autores

- Los resultados obtenidos para los fosfatos se los indica en la Tabla 21, así como su representación en la Figura 24 con un coeficiente de determinación de 0,9959.

Tabla 21. Resultados de la Encuesta 2: Fosfatos

Parámetro	Nivel calidad del agua (0-100%)								Datos de los Expertos	Valor máximo	Valor Mínimo
	Fosfatos (mg/l)	E1	E2	E3	E4	E5	E6	E7			
0-5	91	100	100	100	98	95	95	90	96	100	90
5-10	75	90	98	55	90	80	60	50	75	98	50
10-20	75	80	95	10	80	75	30	25	59	95	10
20-30	45	70	90	5	50	60	20	15	44	90	5
30-50	45	40	70	2	30	30	10	10	30	70	2
>50	25	20	10	1	20	5	5	0	11	25	0

Elaboración. Autores

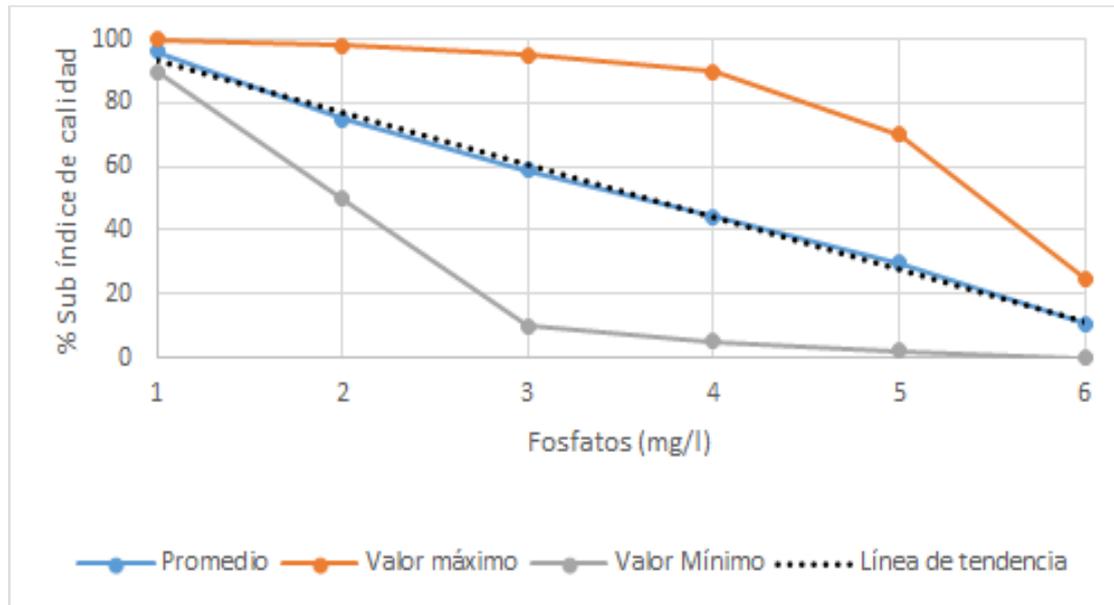


Figura 24. Subíndice para los fosfatos

Elaboración. Autores

- Las respuestas obtenidas de la segunda encuesta de la temperatura se las muestra en la Tabla 22. En la Figura 25 se muestra la gráfica para determinar el subíndice de la temperatura, con un coeficiente de determinación de 0,9959.



Tabla 22. Resultados de la Encuesta 2: Temperatura

Parámetro	Nivel calidad del agua (0-100%)								Datos de los Expertos	Valor máximo	Valor Mínimo
	E1	E2	E3	E4	E5	E6	E7	E8			
Temperatura (Temperatura ambiente T°+ °C)											
T°-5°C	15	20	30	60	40	30	25	30	31	60	15
T°-4°C	20	40	40	80	50	45	50	45	46	80	20
T°-3°C	25	60	50	90	60	65	60	65	59	90	25
T°-2°C	50	80	60	95	80	70	75	82	74	95	50
T°-1°C	60	90	80	95	95	90	98	90	87	98	60
T°-0°C	100	95	90	95	100	98	100	95	97	100	90
T°+1°C	90	100	95	92	95	95	98	92	95	100	90
T°+2°C	80	80	85	88	80	75	80	80	81	88	75
T°+3°C	75	70	65	82	60	60	70	50	67	82	50
T°+4°C	40	60	50	79	50	40	50	40	51	79	40
T°+5°C	20	50	40	75	40	35	30	25	39	75	20

Elaboración. Autores

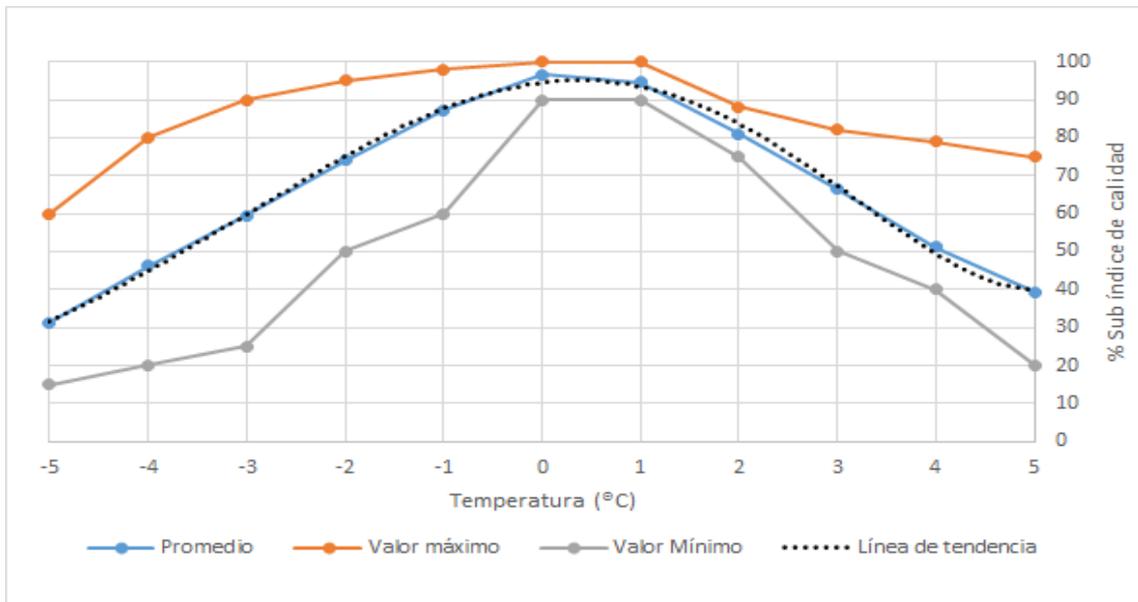


Figura 25. Subíndice para la Temperatura

Elaboración. Autores

- En la Tabla 23 y Figura 26 se detallan los resultados de la segunda encuesta para los sólidos suspendidos con un coeficiente de determinación de 0,9906.

Tabla 23. Resultados de la Encuesta 2: Temperatura

Parámetro	Nivel calidad del agua (0-100%)								Datos de los Expertos	Valor máximo	Valor Mínimo
	Sólidos suspendidos (mg/l)	E1	E2	E3	E4	E5	E6	E7			
10	95	90	100	95	90	100	100	100	96	100	90
40	85	80	90	80	85	90	95	90	87	95	80
60	80	70	80	75	75	80	80	75	77	80	70
80	75	70	60	65	70	70	50	60	65	75	50
100	75	60	55	50	60	50	40	50	55	75	40
120	75	60	50	40	50	30	30	40	47	75	30
140	45	40	30	35	35	20	20	30	32	45	20
160	45	40	20	10	15	10	15	10	21	45	10

Elaboración. Autores

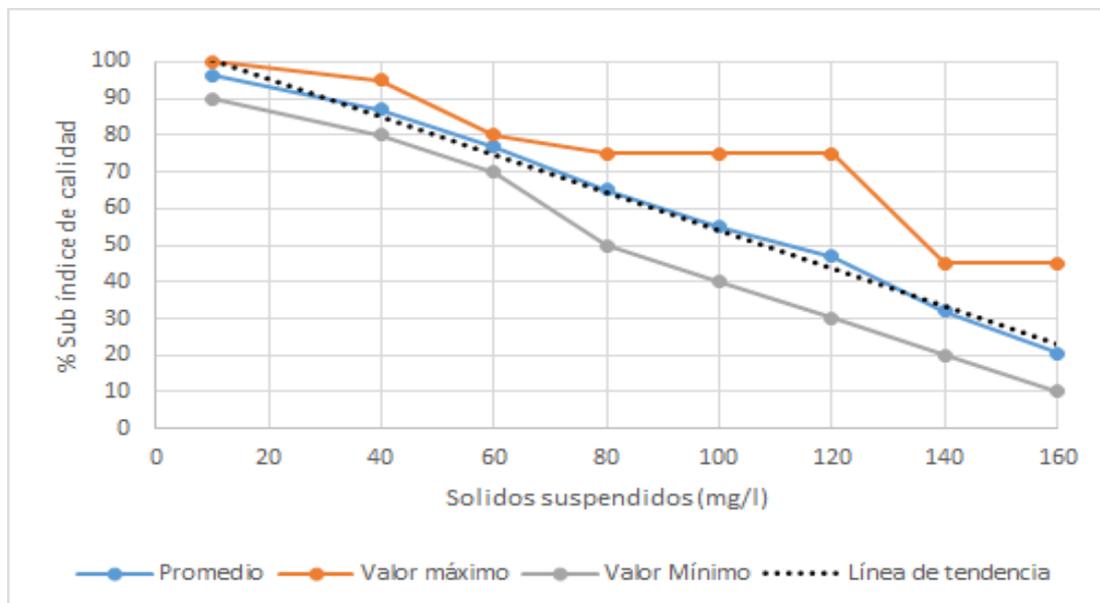


Figura 26. Subíndice para sólidos suspendidos

Elaboración. Autores

- Si se encontrara presencia de mercurio (alto contenido) en el agua esto podría causar serios daños en la salud. En la Tabla 24 se expresa los resultados de la encuesta 2 y en la Figura 27 se lo demuestra gráficamente con un coeficiente de determinación de 0,9927.

Tabla 24. Resultados de la Encuesta 2: Mercurio

Parámetro Mercurio (mg/l)	Nivel calidad del agua (0-100%)								Datos de los Expertos	Valor máximo	Valor Mínimo
	E1	E2	E3	E4	E5	E6	E7	E8			
0	95	100	90	100	99	100	100	90	97	100	90
20	50	25	70	80	90	88	70	80	69	90	25
40	30	20	25	20	35	30	50	70	35	70	20
60	20	15	15	10	25	20	25	35	21	35	10
80	10	10	13	8	15	5	10	15	11	15	5
100	5	7	8	5	7	3	5	8	6	8	3
120	1	5	0	2	5	0	0	0	2	5	0

Elaboración. Autores

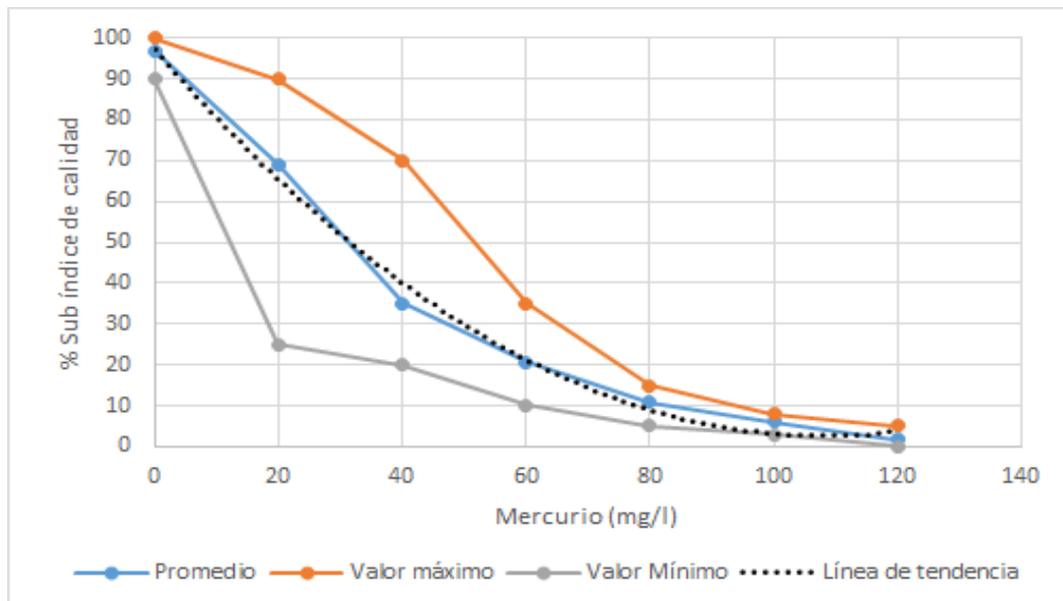


Figura 27. Subíndice para el mercurio

Elaboración. Autores

- En la Tabla 25 y Figura 28 se muestra los resultados de la segunda encuesta para la conductividad, el coeficiente de determinación para el ajuste de curva en este caso fue de 0,8518.

Tabla 25. Resultados de la Encuesta 2: Conductividad

Parámetro Conductividad (S/cm)	Nivel calidad del agua (0-100%)								Datos de los Expertos	Valor máximo	Valor Mínimo
	E1	E2	E3	E4	E5	E6	E7	E8			
5,00E-06	100	100	95	100	100	100	100	90	98,13	100	90
1,00E-03	90	95	85	90	88	99	95	80	90,25	99	80
5,00E-03	80	70	70	85	80	85	85	75	78,75	85	70
5,00E-02	50	65	55	80	70	80	75	50	65,63	80	50
0.5	30	50	35	30	50	40	20	30	35,63	50	20
5	5	10	10	0	10	5	0	10	6,25	10	0

Elaboración. Autores

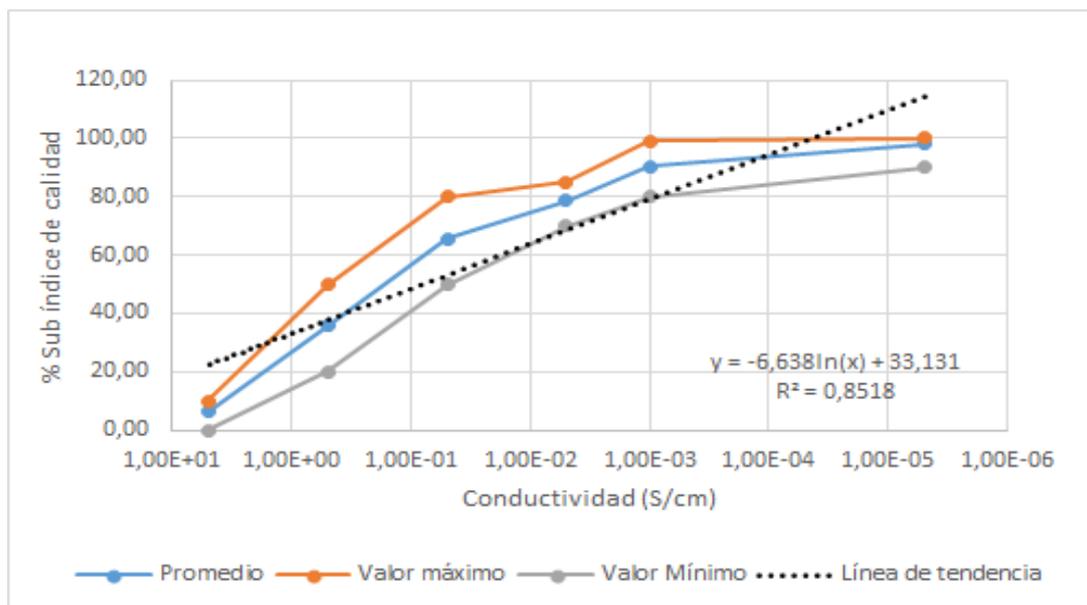


Figura 28. Subíndice para la conductividad

Elaboración. Autores



- En la Tabla 26 y Figura 29 se presentan los resultados de la alcalinidad luego de la realización de la segunda encuesta a los expertos.

Tabla 26. Resultados de la Encuesta 2: Alcalinidad

Parámetro	Nivel calidad del agua (0-100%)								Datos de los Expertos	Valor máximo	Valor Mínimo	
	E1	E2	E3	E4	E5	E6	E7	E8				
Alcalinidad (mg/l CaCO ₃)												
0	0	10	1	0	0	0	0	5	2,00	10	0	
10	5	15	7	10	5	1	10	10	7,88	15	1	
25	30	25	35	20	35	25	20	15	25,63	35	15	
50	70	50	60	45	50	35	40	35	48,13	70	35	
75	100	90	95	100	95	70	65	95	88,75	100	65	
100	90	98	80	60	71	100	90	65	81,75	100	60	
125	70	80	75	40	60	80	60	50	64,38	80	40	
150	35	65	40	15	30	25	50	35	36,88	65	15	
175	10	5	15	1	20	10	30	25	14,50	30	1	

Elaboración. Autores

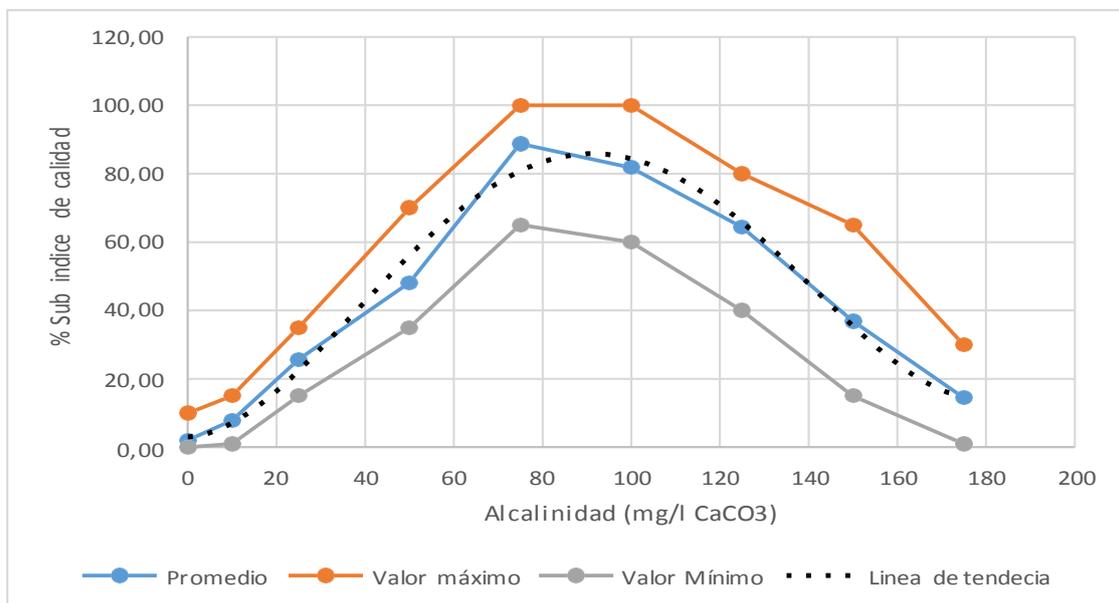


Figura 29. Subíndice para la alcalinidad

Elaboración. Autores

- En la Tabla 27 se detalla los resultados de la encuesta 2 y en la Figura 30 se los muestra gráficamente, teniendo un coeficiente de determinación de 0,9987.

Tabla 27. Resultados de la Encuesta 2: Zinc

Parámetro Zinc (mg/l)	Nivel calidad del agua (0-100%)								Datos de los Expertos	Valor máximo	Valor Mínimo
	E1	E2	E3	E4	E5	E6	E7	E8			
0	99	100	100	75	90	100	100	100	95,50	100	75
10	50	80	60	60	70	80	90	80	71,25	90	50
20	10	50	30	30	30	40	55	50	36,88	55	10
40	5	20	15	25	20	30	25	30	21,25	30	5
60	2	10	10	15	10	20	10	15	11,50	20	2
80	1	5	8	10	5	10	5	10	6,75	10	1
100	0	1	5	2	0	5	0	0	1,63	5	0

Elaboración. Autores

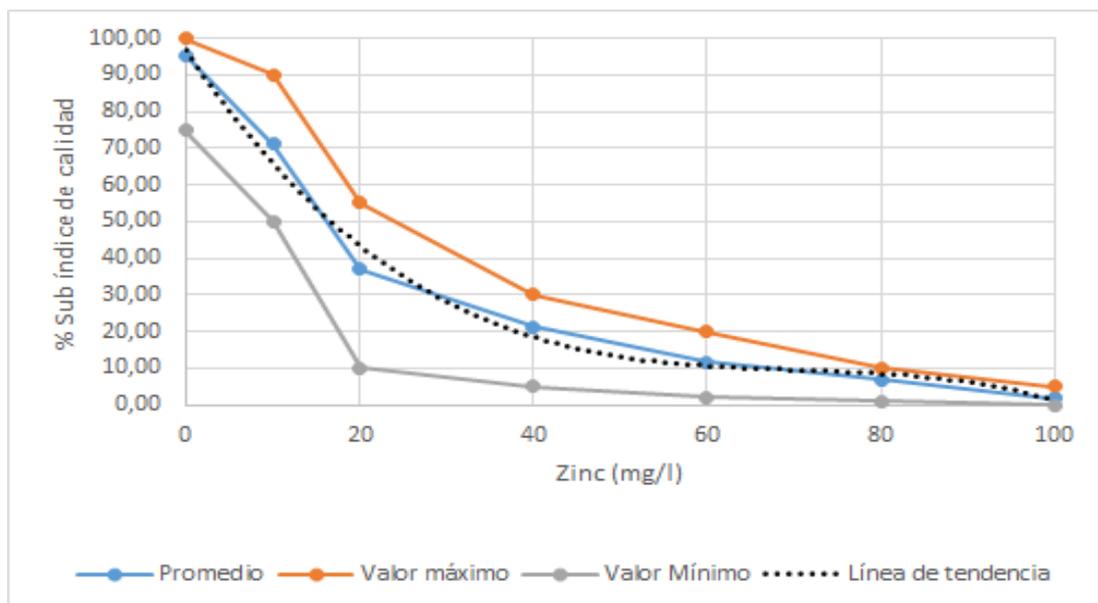


Figura 30. Subíndice para el Zinc

Elaboración. Autores



- En la Tabla 28 y Figura 31 se muestran los resultados de la segunda encuesta del cobre con un coeficiente de determinación de 0,993. Tiene un valor máximo de 97,88 % que representa 0 mg/l.

Tabla 28. Resultados de la Encuesta 2: Cobre

Parámetro Cobre (mg/l)	Nivel calidad del agua (0-100%)								Datos de los Expertos	Valor máximo	Valor Mínimo
	E1	E2	E3	E4	E5	E6	E7	E8			
0	100	98	100	95	100	90	100	100	97,88	100	90
10	90	10	50	60	80	70	50	40	56,25	90	10
20	40	5	10	20	20	25	25	20	20,63	40	5
40	30	1	3	10	15	15	10	10	11,75	30	1
60	10	0	2	8	10	10	5	8	6,63	10	0
80	5	0	1	2	5	5	1	5	3,00	5	0
100	1	0	0	1	0	1	0	0	0,38	1	0

Elaboración. Autores

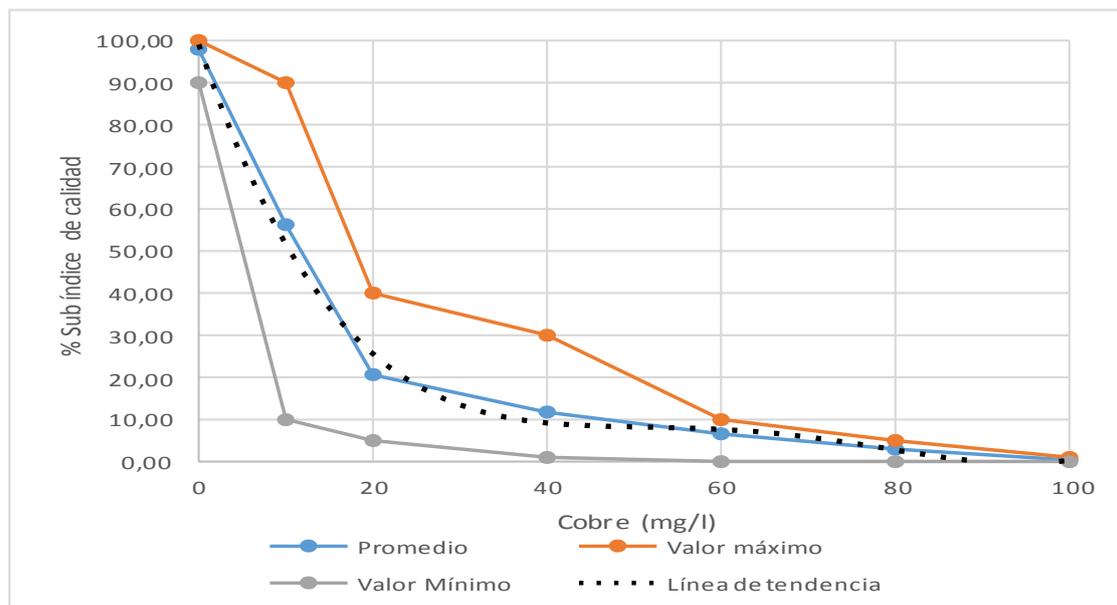


Figura 31. Subíndice para el Cobre.

Elaboración. Autores

5.3 Comparación de Caudales

Los caudales obtenidos demuestran cambios importantes dependiendo de la estación en la que se encuentre y del punto en que se tome. La medición en cada muestreo es una pieza clave para el estudio debido a que esto permitirá realizar una correlación entre el ICA desarrollado y el caudal.

Durante los muestreos se pudo constatar cambios de estación muy evidentes en la zona de estudio; en los meses de octubre e inicios de noviembre se tuvo una estación seca que se vio reflejada en la disminución del caudal, mientras que a finales del mes de noviembre e inicios de diciembre se observó estaciones lluviosas notorias por el aumento del caudal del río.

Los valores más altos obtenidos durante los muestreos se dieron en la quinta y última campaña teniendo en los 3 puntos de muestreo resultados superiores con respecto a las otras campañas, siendo el valor más alto de 2,31 m³/s en la zona denominada Huasihuaico. Por otra parte, el valor más bajo se dio en la campaña tres con un caudal de 0,54 m³/s en el punto uno a seis metros de la laguna Luspa. Con respecto al aumento y descenso del caudal se puede evidenciar claramente su comportamiento en la Figura 32, inició con picos altos y según avanzaba el estudio fueron bajando (estación seca), para culminar con picos altos (presencia de precipitación).

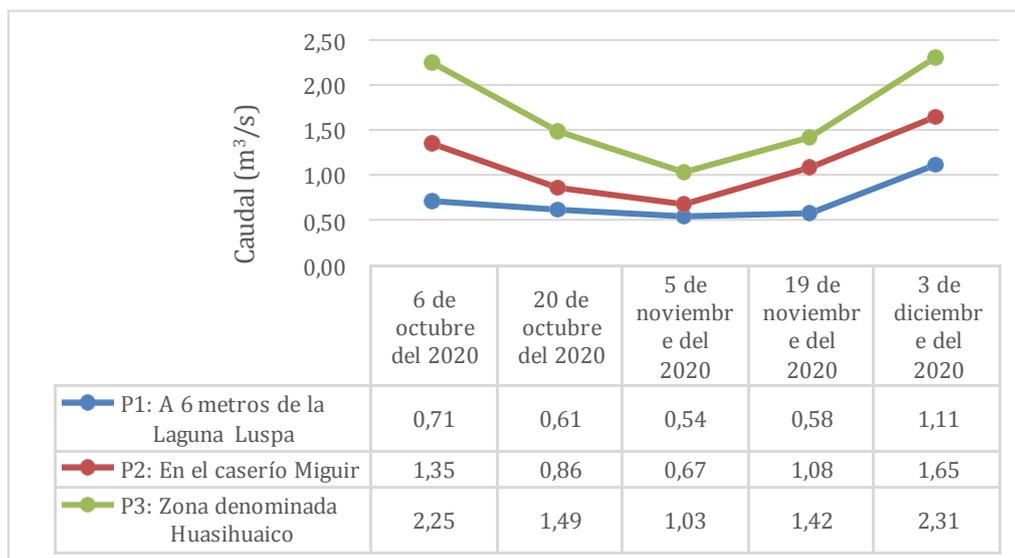


Figura 32 Comparación de caudales.

Elaboración. Autores



5.4 Resultados de los parámetros analizados

Una vez realizada cada campaña se llevó las muestras al Laboratorio de Calidad de Agua y Suelos de la Universidad de Cuenca en su campus de Balzay para su respectivo análisis, los resultados obtenidos en cada uno de los cinco muestreos se detallan a continuación:

En la Tabla 29 se muestra los resultados del primer muestreo, la toma de muestras se lo realizó el 6 de octubre del 2020 y su posterior análisis el 7 de octubre del 2020:

Tabla 29. Valores de los parámetros obtenidos en el primer muestreo.

Parámetro	Punto 1	Punto 2	Punto 3	Unidad
Alcalinidad	42	45	44	mg/l CaCO ₃
Cobre	0,001	0	0,001	mg/l
Coliformes totales	Negativo	Negativo	Negativo	NMP/100ml
Coliformes Totales	0	19	23	NMP/100ml
Conductividad	90	154	96	μS/cm
DBO ₅	3,84	0,9	1,5	mg/l O ₂ ²⁻
Fosfatos	0,03	0,06	0,01	mg/l PO ₄ ³⁺
Mercurio	0	0	0	mg/l
Nitratos	1,7	0	0	mg/l NO ₃ ⁻
Oxígeno Disuelto	8,5	8,88	9,96	mg/l O ₂ ²⁻
pH	7,89	7,65	8,03	
Sólidos Disueltos	43	76	48	ppm
Sólidos Suspendidos	0	0	0	mg/l
Temperatura	7,4	10,6	10,3	°C
Turbiedad	2,29	2	2,42	NTU
Zinc	0	0	0	mg/l

Elaboración. Autores

En la Tabla 30 se detalla los resultados de la segunda campaña, las muestras se las tomó el 20 de octubre y un día después su análisis en el laboratorio:

*Tabla 30. Valores de los parámetros obtenidos en el segundo muestreo.*

Parámetro	Punto 1	Punto 2	Punto 3	Unidad
Alcalinidad	30	40	20	mg/l CaCO ₃
Cobre	0,03	0	0,04	mg/l
Coliformes totales	Negativo	Negativo	Negativo	NMP/100ml
Coliformes Totales	0	4	4	NMP/100ml
Conductividad	110	120	82	uS/cm
DBO ₅	5,28	5,1	4,8	mg/l O ₂ ²⁻
Fosfatos	0,87	0,31	0,23	mg/l PO ₄ ³⁺
Mercurio	0	0	0	mg/l
Nitratos	0,3	0	0,5	mg/l NO ₃ ⁻
Oxígeno Disuelto	8,16	8,74	9,86	mg/l O ₂ ²⁻
pH	6,73	6,87	6,97	.
Sólidos Disueltos	38	56	51	ppm
Sólidos Suspendidos	0	0	0	mg/l
Temperatura	9,8	11,3	10,1	°C
Turbiedad	0,52	2,14	2,11	NTU
Zinc	0,15	0,06	0,02	mg/l

Elaboración. Autores

El tercer muestreo se lo realizó el 5 de noviembre del 2020 y su análisis el 6 de noviembre del 2020, los resultados se detallan a continuación en la Tabla 31:

*Tabla 31. Valores de los parámetros obtenidos en el tercer muestreo*

Parámetro	Punto 1	Punto 2	Punto 3	Unidad
Alcalinidad	30	50	40	mg/l CaCO ₃
Cobre	0,08	0	0	mg/l
Coliformes totales	Negativo	Negativo	Negativo	NMP/100ml
Coliformes Totales	6	65	17	NMP/100ml
Conductividad	58	102	94	uS/cm
DBO ₅	0,06	0,9	11,76	mg/l O ₂ ²⁻
Fosfatos	0,58	0,13	0,52	mg/l PO ₄ ³⁺
Mercurio	0	0	0	mg/l
Nitratos	0	3,7	0,2	mg/l NO ₃ ⁻
Oxígeno Disuelto	12,74	14,6	14,1	mg/l O ₂ ²⁻
pH	7,4	7,35	7,48	.
Sólidos Disueltos	29	53	50	ppm
Sólidos Suspendidos	0	0	0	mg/l
Temperatura	11	9,8	9,4	°C
Turbiedad	0,54	3,19	2,94	NTU
Zinc	0,14	0,06	0,04	mg/l

Elaboración. Autores

En la Tabla 32 se puede observar los resultados de la cuarta campaña de muestreo, que se realizó el 19 de noviembre del 2020 y su análisis un día después:

*Tabla 32. Valores de los parámetros obtenidos en el cuarto muestreo.*

Parámetro	Punto 1	Punto 2	Punto 3	Unidad
Alcalinidad	20	25	20	mg/l CaCO ₃
Cobre	0	0,04	0	mg/l
Coliformes totales	Negativo	Negativo	Negativo	NMP/100ml
Coliformes Totales	4	150	20	NMP/100ml
Conductividad	68	110	96	uS/cm
DBO ₅	6,36	4,62	7,98	mg/l O ₂ ²⁻
Fosfatos	0,88	1,2	0,22	mg/l PO ₄ ³⁺
Mercurio	0	0	0	mg/l
Nitratos	0,22	0,55	0,4	mg/l NO ₃ ⁻
Oxígeno Disuelto	9,2	10,7	12,23	mg/l O ₂ ²⁻
pH	7,34	6,95	6,62	.
Sólidos Disueltos	33	56	48	ppm
Sólidos Suspendidos	0	0	0	mg/l
Temperatura	8,7	7,8	7,6	°C
Turbiedad	0,73	3,87	3,59	NTU
Zinc	0,03	0,11	0,22	mg/l

Elaboración. Autores

El quinto muestreo se llevó a cabo el 3 de diciembre del 2020 y el análisis en laboratorio el 4 de diciembre del 2020. En la Tabla 33 se muestra los resultados de dicho muestreo:



Tabla 33. Valores de los parámetros obtenidos en el quinto muestreo.

Parámetro	Punto 1	Punto 2	Punto 3	Unidad
Alcalinidad	30	30	30	mg/l CaCO ₃
Cobre	0	0,06	0,02	mg/l
Coliformes totales	Negativo	71	7	NMP/100ml
Coliformes Totales	0	460	43	NMP/100ml
Conductividad	72	90	88	uS/cm
DBO ₅	0,06	3,48	2,7	mg/l O ₂ ²⁻
Fosfatos	0,61	0,24	0,85	mg/l PO ₄ ³⁺
Mercurio	0	0	0	mg/l
Nitratos	0,2	0,1	0,1	mg/l NO ₃ ⁻
Oxígeno Disuelto	8,93	10,01	9,44	mg/l O ₂ ²⁻
pH	6,8	6,9	7,05	.
Sólidos Disueltos	35	45	44	ppm
Sólidos Suspendedos	0	0	0	mg/l
Temperatura	9,7	9,9	11,1	°C
Turbiedad	0,68	5,34	5,49	NTU
Zinc	0,05	0,02	0,02	mg/l

Elaboración. Autores

5.5 Comparación de los resultados obtenidos entre los diferentes puntos de muestreo.

Durante el proceso de toma de muestras se tuvo presencia de sequías en los meses de octubre y mediados de noviembre, por otra parte, los a finales de noviembre y comienzos de diciembre se tuvo cambios drásticos de clima teniendo lluvias intensas.

- pH

En el estudio los valores del pH oscilan entre 6 a 8 unidades, en la Figura 33 se puede observar que el pH más bajo se presentó en la cuarta campaña de muestreo, exactamente en el punto 3

(Zona denomina Huasihuaico) teniendo un pH de 6,62 y el valor más alto de potencial de hidrógeno se observó en la primera campaña en el mismo punto (Zona denomina Huasihuaico) con 8,03 unidades. La alteración de este parámetro se puede deber a la erosión de las rocas y desmineralización de metales presentes en la zona de estudio.

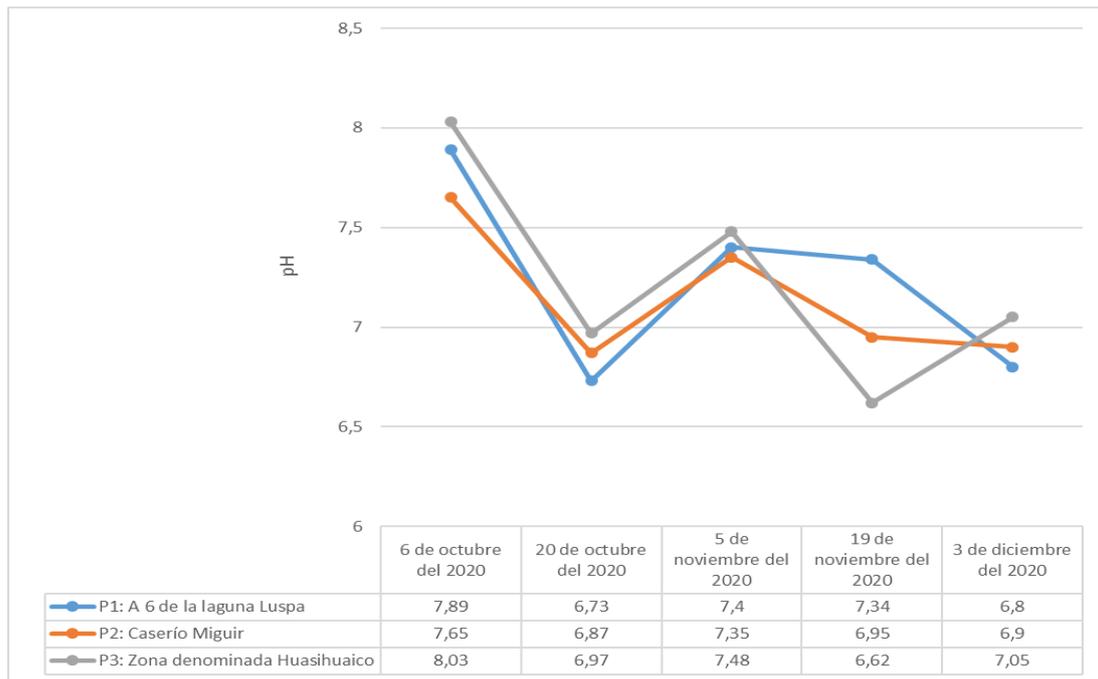


Figura 33. Comparación del pH

Elaboración. Autores

- Temperatura

La temperatura del agua en las diferentes campañas de muestreo se encontró 7,4 °C a 11,6 °C siendo la más baja en el primer muestreo en el punto 1 (A 6 metros de la laguna Luspa), mientras que la temperatura más alta se obtuvo en la segunda campaña de muestreo en el punto 2 (Caserío Miguir). Cabe mencionar que en ciertas campañas se tuvo como temperatura ambiente cercana a 5 °C, estas aumentaron según el paso del día y el punto donde se encuentre (debido a que el punto 2 y 3 la temperatura se eleva) (Figura 34).

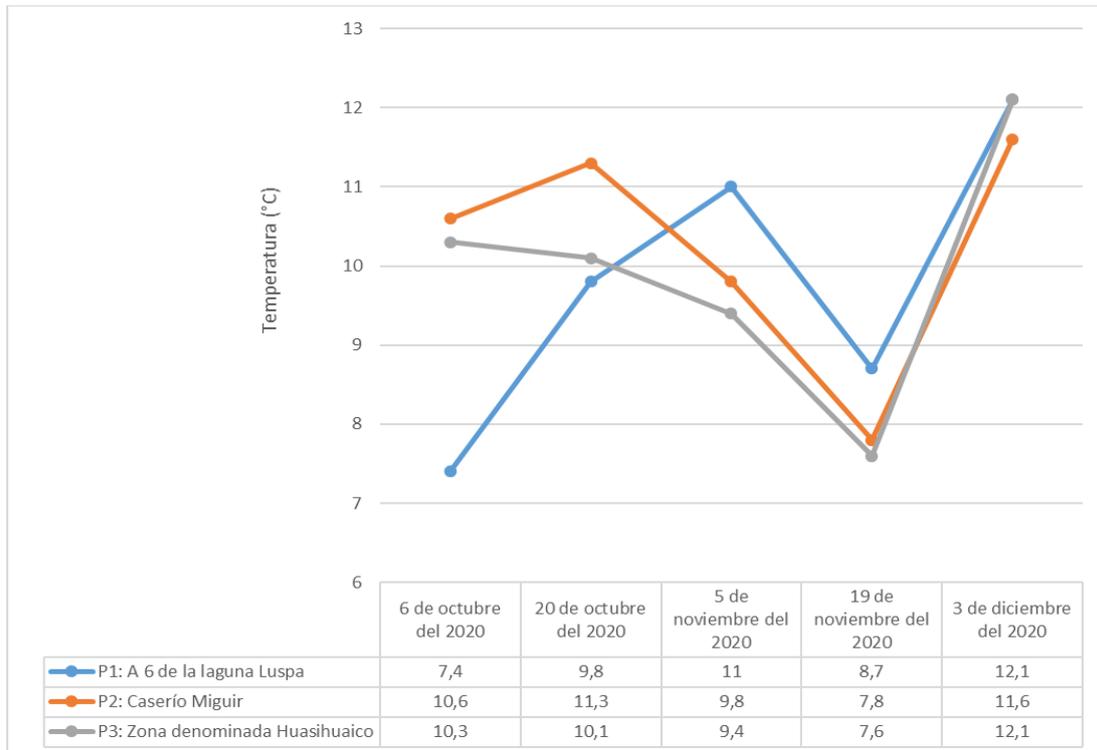


Figura 34. Comparación de la Temperatura

Elaboración. Autores

- Oxígeno Disuelto

El oxígeno disuelto en la zona de estudio se ve influenciado por las pendientes del terreno y las velocidades que esta le aporta, teniendo un valor menor a $8,5\text{mg/l O}_2^{2-}$ en la campaña de muestreo uno en el punto 1 (A 6 metros de la laguna Luspa) y un mayor oxígeno disuelto se observó en la campaña dos en el punto 2 (Caserío Miguir) con $14,6\text{ mg/l O}_2^{2-}$. Es importante mencionar que los resultados obtenidos del oxígeno disuelto son óptimos para el desarrollo de la vida acuática (Farias & Guazhambo, 2019). (Figura 35)

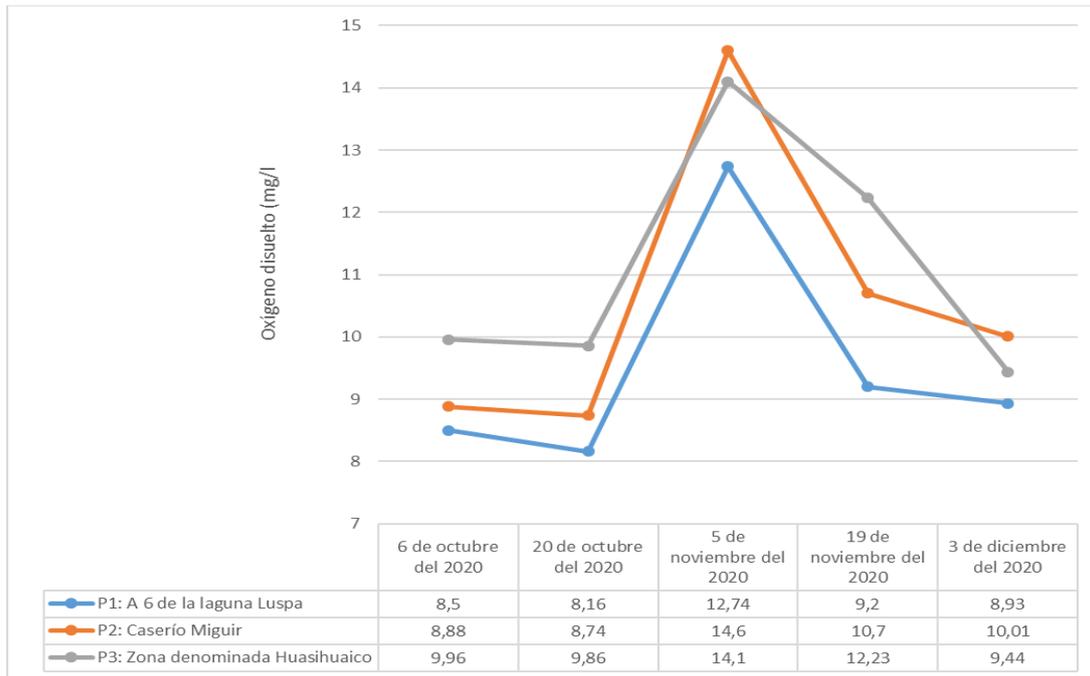


Figura 35. Comparación oxígeno disuelto

Elaboración. Autores\

- Sólidos Disueltos

La presencia de sólidos disueltos varió según el punto donde se mida, teniendo los valores más bajos en todas las campañas en donde nace el río (punto 1), por otra parte, los valores más altos en los muestreos se dieron en el punto 2 (Caserío Miguir) donde podría estar influenciado por la presencia de piscícolas. El valor mínimo de 29 ppm se presentó el 5 de noviembre en el Punto 1, mientras que el máximo de 76 ppm se observó el 6 de octubre en el punto 2. (Figura 36)

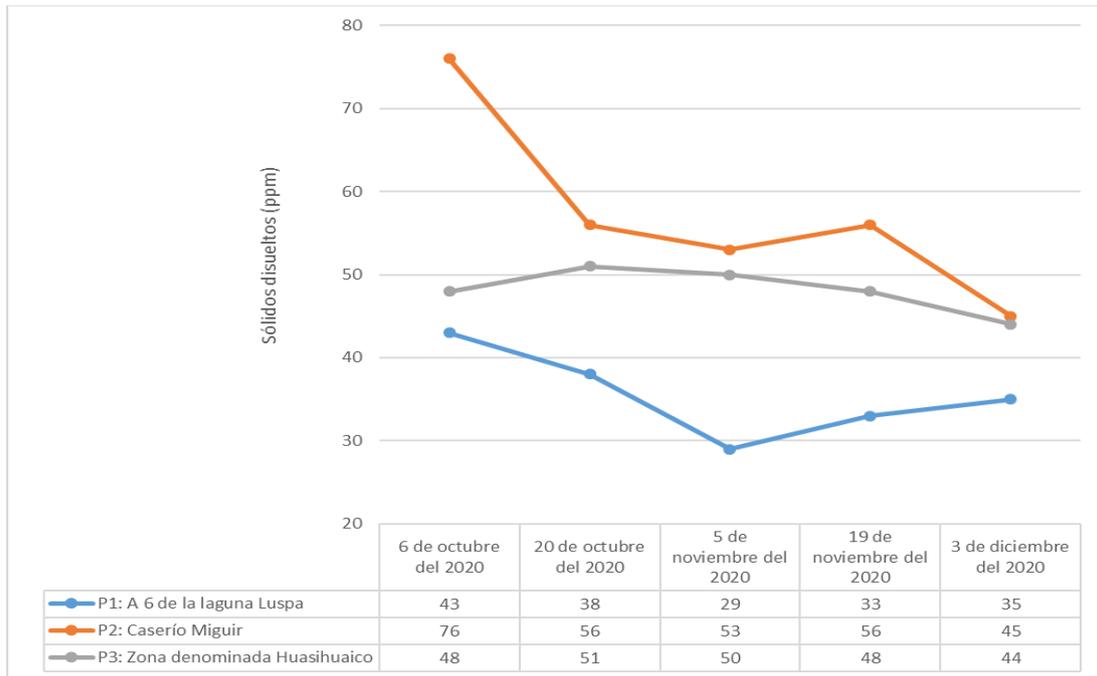


Figura 36. Comparación de sólidos disueltos.

Elaboración. Autores

- Conductividad

Los rangos de la conductividad en las campañas oscilan desde 58 $\mu\text{S}/\text{cm}$ en la campaña tres en el Punto 1 (A 6 metros de la laguna Luspa), hasta 154 $\mu\text{S}/\text{cm}$ en el muestreo uno encontrándose en el punto 2. Por otra parte, se observa valores máximos en todas las campañas de muestreo en el punto 2, esto está ligado directamente a la mayor presencia de sólidos disueltos, esta característica debe estar siendo afectada debido a la proximidad del caserío, que representa el mayor foco de contaminación. (Figura 37).

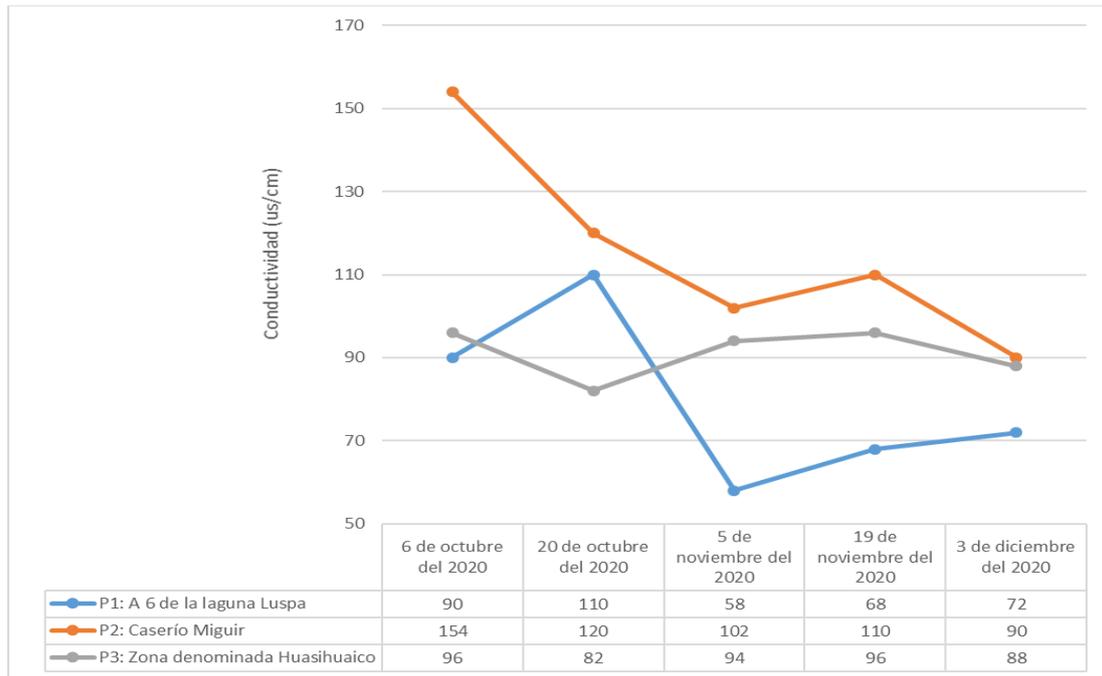


Figura 37. Comparación de Conductividad.

Elaboración. Autores

- Nitratos

En este parámetro se presentó una anomalía en los resultados, por la presencia fuera de contexto de un valor de 3,7 mg/l NO₃⁻ en la campaña tres exactamente en el punto 2, se cree que este cambio abrupto se debe a que arriba del Caserío se encuentran agricultores los mismos que utilizan abonos orgánicos al margen del río. No se tiene presencia de nitratos en diferentes campañas: 6 de octubre en el punto 2 y 3, 20 de octubre en el punto 2 y 5 de noviembre en el punto 1 (Figura 38).

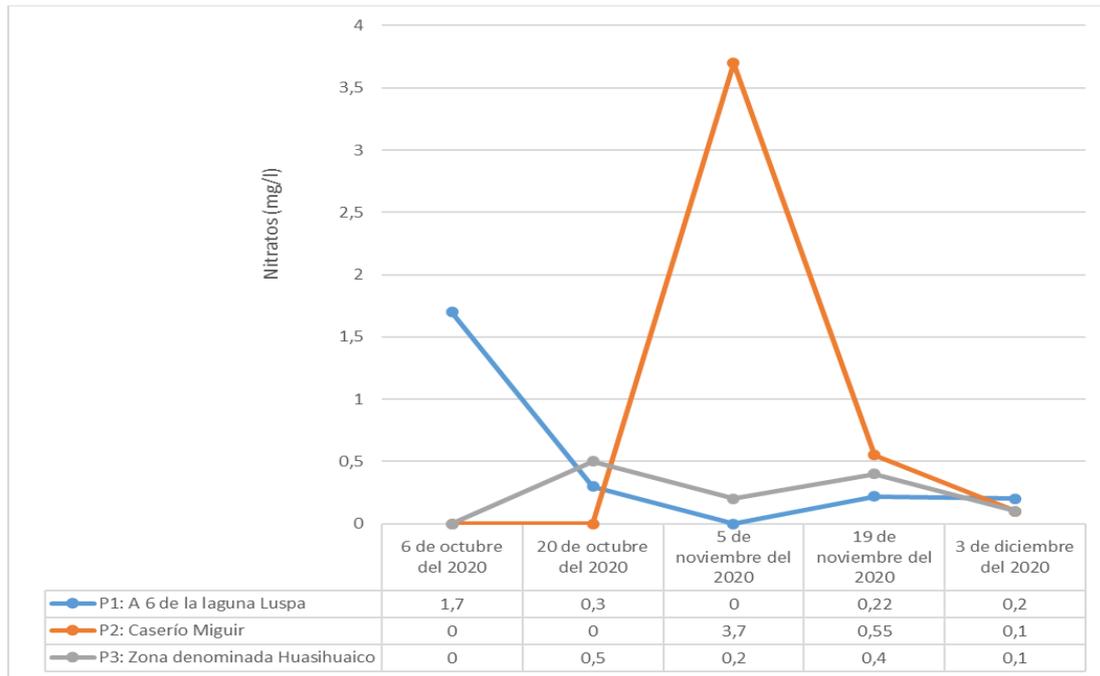


Figura 38. Comparación de nitratos.

Elaboración. Autores

- Fosfatos

La fluctuación en los resultados se presume que es debido a la presencia de ganadería, agricultura y uso de detergentes domésticos (Caserío Miguir) en los márgenes del río, los valores van desde 0,01 mg/l PO_4^3 como resultado mínimo a 1,2 mg/l PO_4^3 de valor máximo. Un elemento a considerar es que el aumento de fosfatos se puede dar en las estaciones secas, por lo que los fosfatos están en forma natural en el agua y en las sequías la erosión es un detonante para su aumento; de acuerdo a esta consideración se evidenció que en los meses donde se tuvo sequías los fosfatos aumentaron (20 de octubre, 5 de noviembre y 19 de noviembre). (Figura 39)

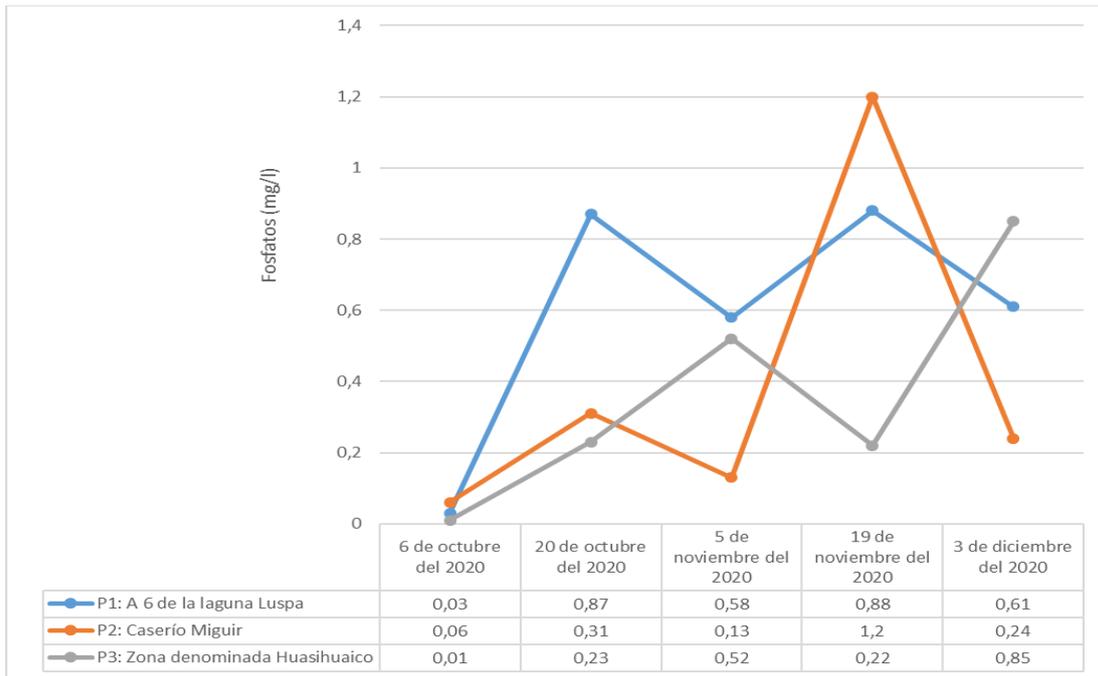


Figura 39. Comparación de Fosfatos

Elaboración. Autores

- Alcalinidad

Los valores de la alcalinidad varían entre 20 a 50 mg/l CaCO₃. En la campaña del 5 de noviembre se evidencia un aumento de valores en los puntos 2 y 3, los cuales tienen mayor cantidad de aportes por escorrentía, dado que esta época fue de escasas precipitaciones la alcalinidad natural del río tuvo menos afecciones. En la campaña del 3 de diciembre se obtuvo para los tres puntos una alcalinidad de 30 mg/l CaCO₃, estas muestras fueron tomadas durante tiempo de constante lluvia y por lo tanto altos niveles escorrentía, debido a estos aportes sumamente altos, pudieron llegar a normalizar la alcalinidad de todo el río en general. El mayor valor se presentó en el muestreo 3 exactamente en el punto 2 siendo de 50 mg/l CaCO₃ (Figura 40).

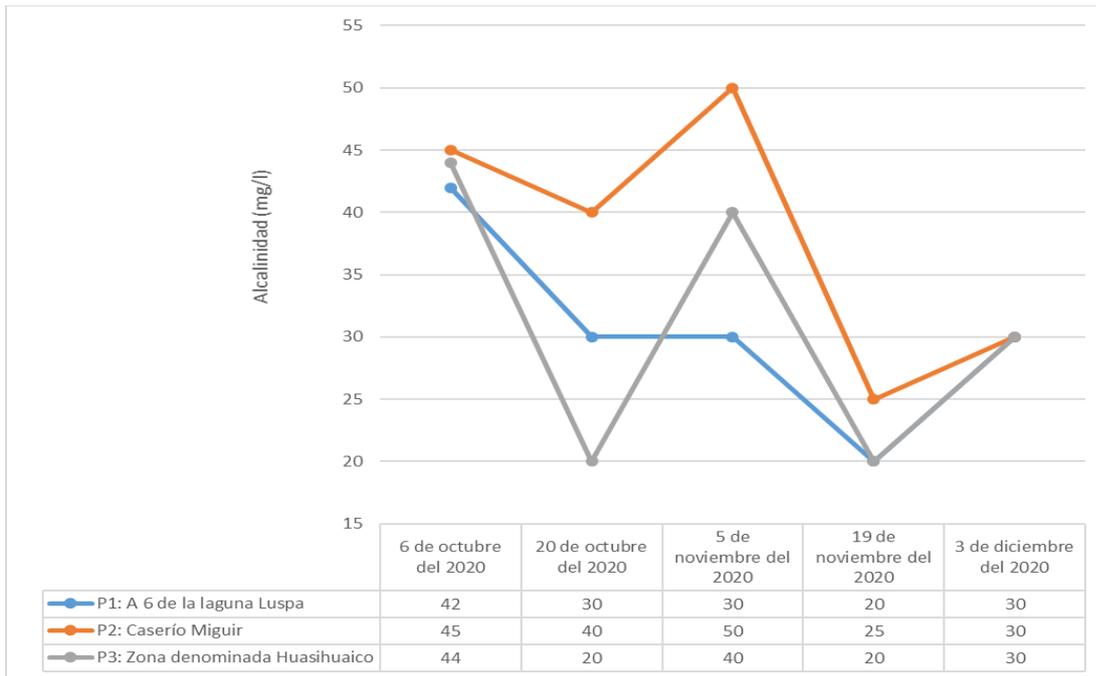


Figura 40. Comparación de Alcalinidad

Elaboración. Autores

- DBO₅

Los resultados obtenidos demuestran cambios en las diferentes campañas, teniendo una gran variación en el tercer muestreo en el punto 3 (Zona denominada Huasihuico) donde se tiene un valor atípico de 11,76 mg/l O₂²⁻ (valor máximo) que se atribuye a la carga orgánica presente aguas arriba. Se alcanzó valores mínimos de 0,06 mg/l O₂²⁻ en dos campañas de muestreo, el 5 de noviembre y el 3 de diciembre ambos en el punto 1 (A 6 metros de la laguna Luspa) (Figura 41).

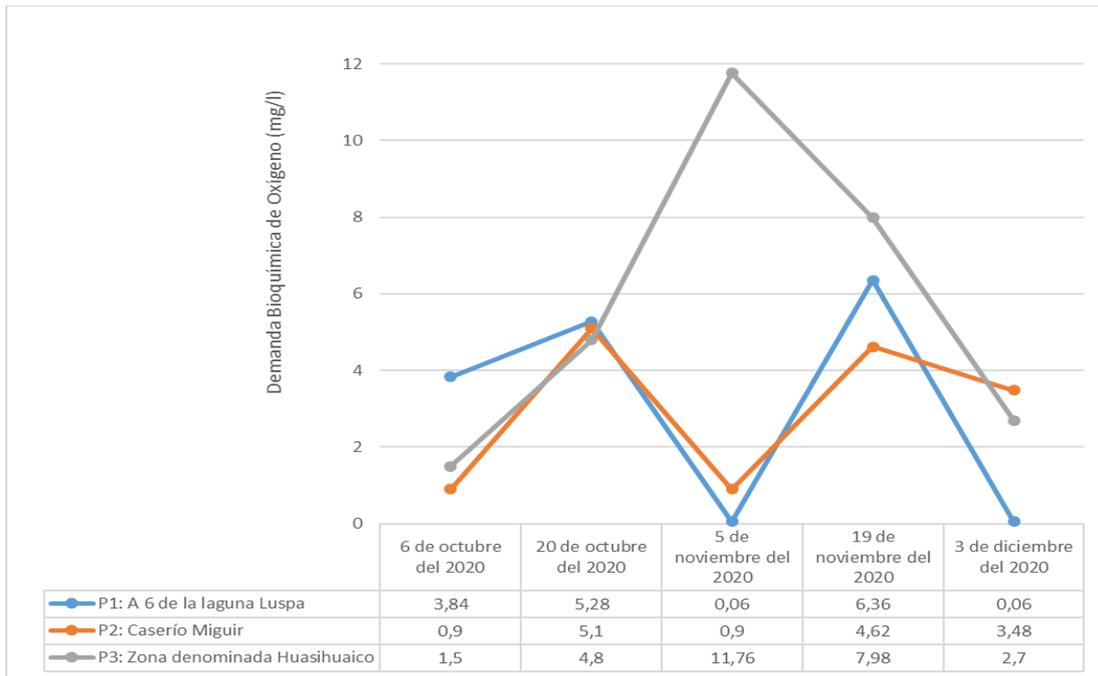


Figura 41. Comparación de DBOs

Elaboración. Autores

- Coliformes Totales

La presencia de coliformes totales no es tan notoria debido a que hay casos donde se obtuvo valores negativos y, por otra parte, cuando se reportó respuestas positivas estas fueron casi insignificantes (4 NMP/100ml y 6 NMP/100ml). El 3 de diciembre se presentó un valor atípico con respecto a los otros resultados de 460 NMP/100ml, este valor se puede atribuir a la presencia de lluvias que por escorrentía arrastraron desechos orgánicos (Figura 42).

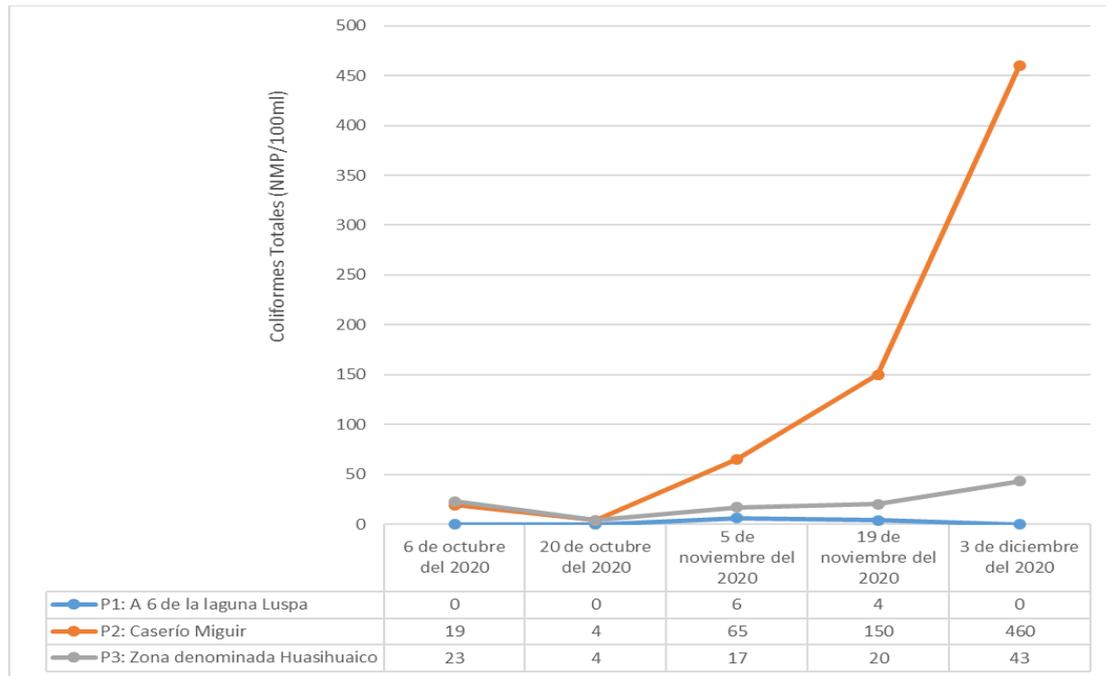


Figura 42. Comparación de Coliformes Totales

Elaboración. Autores

- Coliformes Fecales

Los resultados de los coliformes fecales demuestran que en las cuatro campañas de muestreo 6 de octubre, 20 de octubre, 5 de noviembre y 19 de noviembre hay ausencia de los mismos. En la última campaña el 3 de diciembre en el punto 1 (A 6 metros de la laguna Luspa) el resultado fue negativo, mientras que en los dos siguientes puntos hay evidencia de coliformes, teniendo 71 NMP/100ml en el punto 2 (Caserío Miguir) y 7 NMP/100ml en el punto 3 (Zona denominada Huasihuico), se cree que son casos fortuitos que por las lluvias traen consigo desechos fecales por escorrentía (Figura 43).

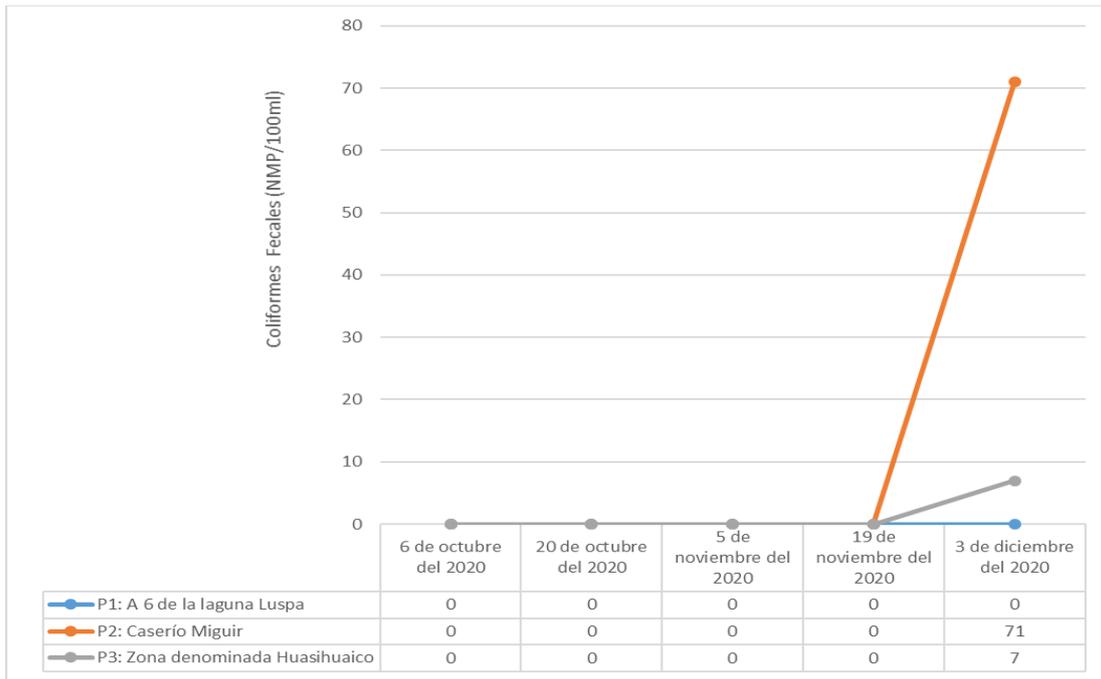


Figura 43. Comparación de Coliformes Fecales

Elaboración. Autores

- Zinc

La presencia de Zinc es notoria en las campañas de muestreo a excepción de la primera (6 de octubre) cuyos resultados fueron negativos. Los valores de Zinc fluctúan entre 0,02 mg/l en dos campañas de muestreo el 20 de octubre (punto 3) y el 3 de diciembre (punto 2 y 3) y 0,22 mg/l en el cuarto muestreo exactamente en el punto 3. Los resultados como se pueden evidenciar en la Figura 44 son variados en cada campaña y del punto que se encuentre.

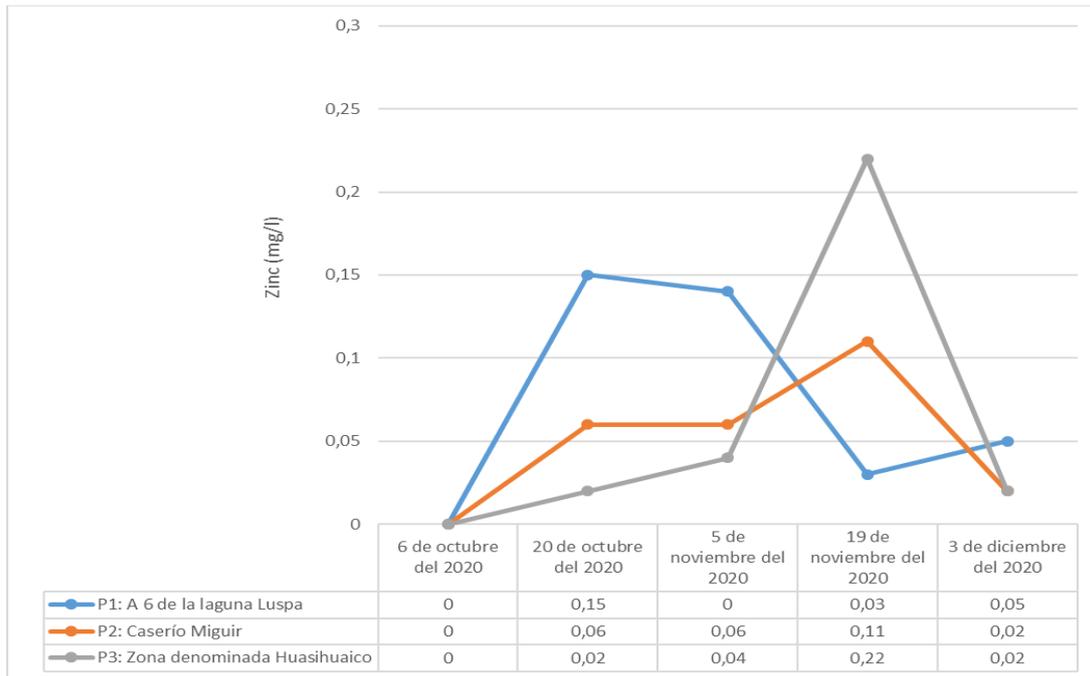


Figura 44. Comparación de Zinc

Elaboración. Autores

- Cobre

De acuerdo a los resultados obtenidos se puede constatar que en todas las campañas hay valores negativos en uno o varios puntos de muestreo, por tanto, el 6 de octubre en el punto 2, el 20 de octubre en el punto 2, el 5 de noviembre en el punto 2, 3 y en 3 de diciembre en el punto 1 los valores son cero. El valor máximo es de 0,08 mg/l presente en la campaña 3 en el punto 1. Cabe mencionar que a pesar de contar con resultados positivos estos no exceden los límites máximos permisibles según el Anexo 1 del libro 6 del TULSMA para uso de agua (Figura 45).

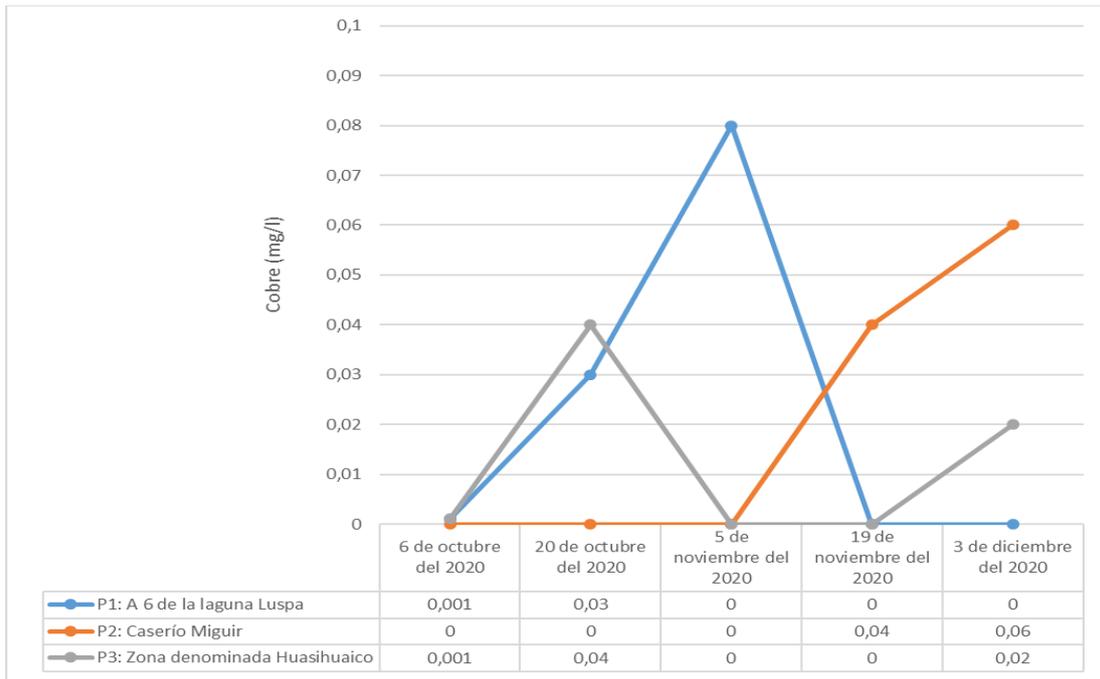


Figura 45. Comparación en valores de Cobre

Elaboración. Autores

- Turbiedad

Los valores más bajos de turbiedad se pueden evidenciar en el punto 1 en todas las campañas de muestreo, debido a que es donde yace el río Miguir de la laguna Luspa y se tiene agua transparente y pocas partículas en suspensión. Como valor mínimo se tiene 0,52 NTU en la campaña dos en el punto 2 (Caserío Miguir) y como máximo 5,49 NTU en el muestreo cinco en el punto 3 (Zona denominada Huasihuaico). Se pudo corroborar que el aumento de la turbiedad se vio influenciado por el aumento del caudal provocado por las precipitaciones o por actividades antrópicas del hombre (Figura 46).

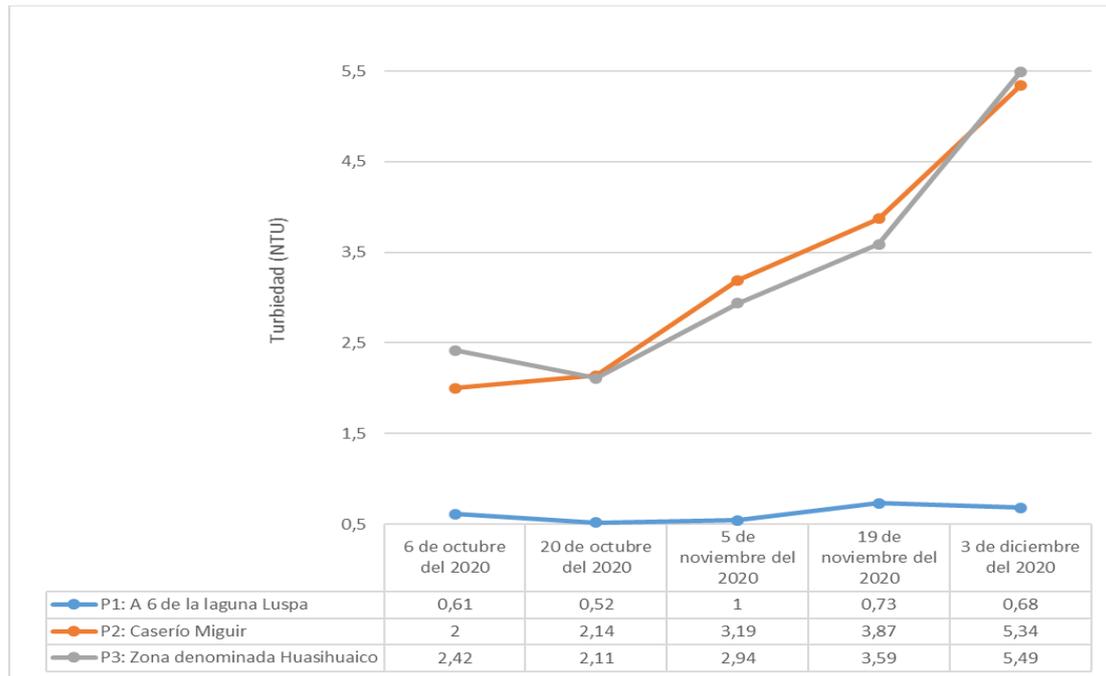


Figura 46. Comparación en valores de turbiedad.

Elaboración. Autores

5.6 Desarrollo del Índice de calidad

5.6.1 Obtención de los pesos

Al momento de realizar la encuesta 1 se pidió a los encuestados dar un valor de 1 a 5 a cada parámetro a su experticia, siendo 1 una baja importancia y 5 lo más alto. Una vez determinado los parámetros con los cuales se va a trabajar se puede estimar los pesos de cada uno; de tal manera se procedió a sumar los resultados dando un valor total, y posteriormente se normaliza para obtener un porcentaje de peso de cada variable (Mancera, 2016) como se puede observar en la Tabla 34.

Tabla 34. Determinación de los pesos para cada variable.

Parámetro	Promedio resultados	Peso 0 – 100 %	Peso 0 – 1
Alcalinidad	1,5	3,45	0,0345
Cobre	0,55	1,26	0,0126
Coliformes Fecales	4,8	11,03	0,1103
Coliformes totales	2,2	5,06	0,0506
Conductividad	1,55	3,56	0,0356
Demanda Bioquímica de Oxígeno	4,05	9,31	0,0931
Fosfatos	2,65	6,09	0,0609
Mercurio	1,7	3,91	0,0391
Nitratos	3,75	8,62	0,0862
Oxígeno Disuelto	4,45	10,23	0,1023
pH	4,3	9,89	0,0989
Sólidos disueltos	2,8	6,44	0,0644
Sólidos Suspendidos	2,25	5,17	0,0517
Temperatura	2,35	5,40	0,0540
Turbiedad	4	9,20	0,0920
Zinc	0,6	1,38	0,0138
SUMA	43,5	100,00	1

Elaboración. Autores

5.6.2 Determinación de los subíndices de calidad

Para obtener los subíndices de calidad de cada parámetro se usó la curva generada por los valores promedios obtenidos en la encuesta 2 (anexo 2). El eje “X” del gráfico representa los valores obtenidos y en el eje “Y” se encuentran sus valores correspondientes en porcentaje de calidad. Luego de esto se obtuvo una curva que responde en función del valor del parámetro y como resultante obtenemos el subíndice individual. Para realizar este proceso se usó el software Microsoft Excel, escogiendo la opción de línea de tendencia, debido a que el programa tiene varias opciones en el ajuste de curvas, se tomó en cuenta la de mayor semejanza visual entre la curva generada por la función y la curva real, además, de considerar el valor del coeficiente de

determinación (R^2) sea en lo posible mayor a 0,9 garantizando de esta manera una alta afinidad a los datos reales. El ejemplo de los resultados de este proceso se muestra a continuación:

En el caso de la turbiedad (Figura 47) la fórmula que con mayor ajuste a los resultados obtenidos a partir de las opiniones de los expertos fue la Ecuación (2) esta ecuación obtuvo un $R^2 = 0,9942$ por lo que se consideró válido para nuestro estudio.

$$y = -1.2604x^2 - 1.4568x + 102.45$$

(2)

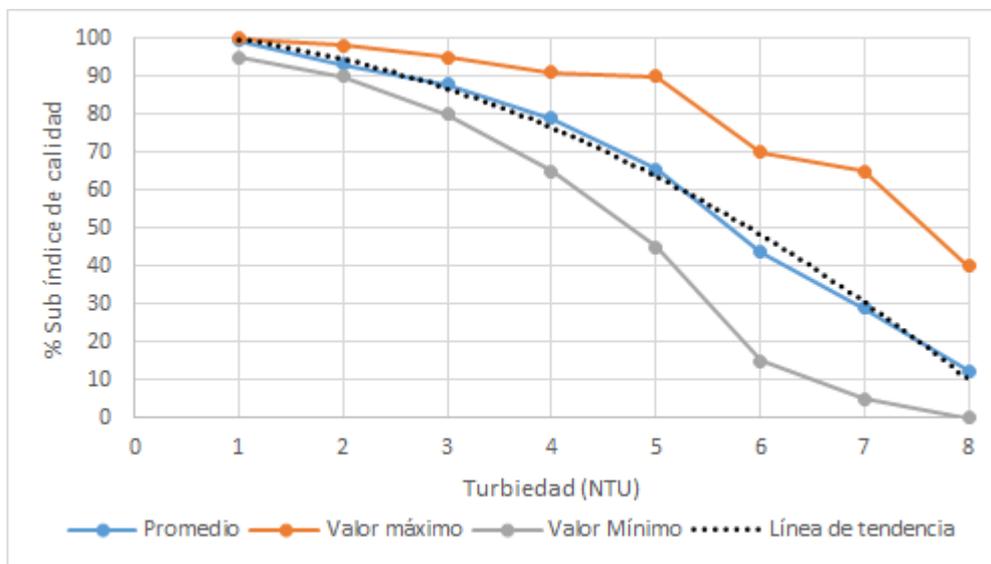


Figura 47. Curva funcional para el parámetro de turbiedad.

Elaboración. Autores

En el primer muestreo se obtuvo un valor de turbiedad 2,29 NTU este al ser introducido en la función obtenida previamente arrojó un valor del subíndice de 92,5 % gráficamente el resultado se representa en la Figura 48.

Las ecuaciones usadas y los gráficos generados para cada uno de los parámetros que forman parte del índice desarrollado se encuentran los Anexos 4 y 5 respectivamente.

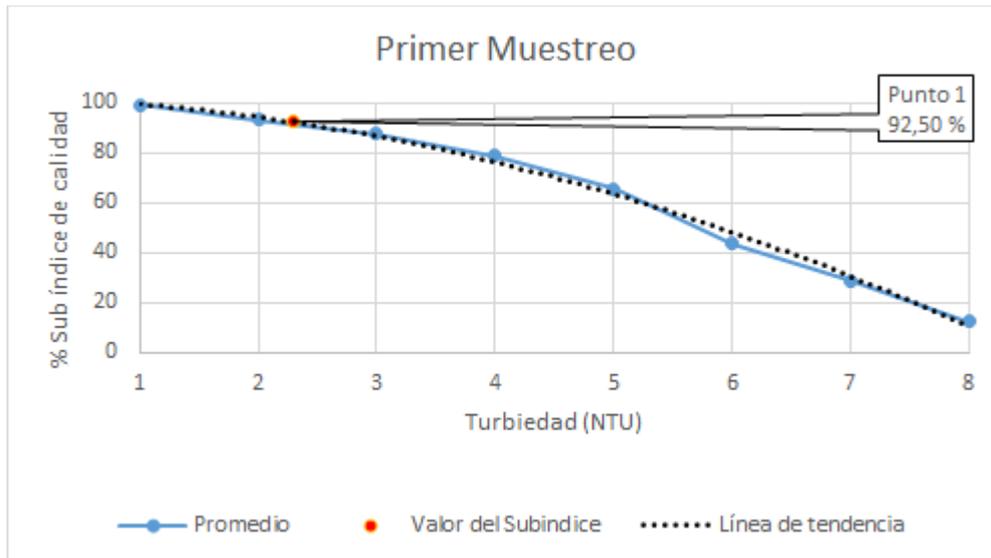


Figura 48. Valor de calidad obtenido en función de la turbiedad
Elaboración. Autores

5.6.3 Cálculo del ICA

Una vez obtenido los pesos y los subíndices para cada parámetro se realizó el cálculo del Índice de Calidad de Agua en los diferentes puntos para los cinco muestreos establecidos.



Tabla 35. Cálculo del ICA desarrollado para el Muestreo 1

Puntos	Parámetro	Valor	% Peso	Sub- índice	Peso* Sub- índice	Σ Total	Calidad del agua
Punto 1	Alcalinidad (mg/l CaCO ₃)	42	0,034	46,91	1,62	88,22	Bueno
	Cobre (mg/l)	0,001	0,013	99,11	1,25		
	Coliformes fecales (NMP/100ml)	0	0,110	100	11,03		
	Coliformes Totales (NMP/100ml)	0	0,051	100	5,06		
	Conductividad (μS/cm)	9,00E-05	0,036	94,97	3,38		
	DBO ₅ (mg/l O ₂ ²⁻)	3,84	0,093	89,7	8,35		
	Fosfatos (mg/l PO ₄ ³⁺)	0,03	0,061	100	6,09		
	Mercurio (mg/l)	0	0,039	97,17	3,80		
	Nitratos (mg/l NO ₃ ⁻)	1,7	0,086	86,84	7,49		
	Oxígeno Disuelto (mg/l O ₂ ²⁻)	8,5	0,102	74,31	7,60		
	pH	7,89	0,099	79,91	7,90		
	Sólidos Disueltos (ppm)	43	0,064	91,68	5,90		
	Sólidos Suspendidos (mg/l)	0	0,052	100	5,17		
	Temperatura (Δ°C)	-2,52	0,054	68,32	3,69		
	Turbiedad (NTU)	2,29	0,092	92,5	8,51		
Zinc (mg/l)	0	0,014	100	1,38			



Continuación Tabla 35. Cálculo del ICA desarrollado para el Muestreo 1

Puntos	Parámetro	Valor	% Peso	Sub- índice	Peso* Sub- índice	Σ Total	Calidad del agua
Punto 2	Alcalinidad (mg/l CaCO ₃)	45	0,034	51,31	1,77	89,29	Bueno
	Cobre (mg/l)	0	0,013	99,12	1,25		
	Coliformes fecales (NMP/100ml)	0	0,110	100	11,03		
	Coliformes Totales (NMP/100ml)	19	0,051	72,88	3,69		
	Conductividad (μS/cm)	1,54E-04	0,036	91,4	3,26		
	DBO ₅ (mg/l O ₂ ²⁻)	0,9	0,093	92,96	8,65		
	Fosfatos (mg/l PO ₄ ³⁺)	0,06	0,061	100	6,09		
	Mercurio (mg/l)	0	0,039	97,17	3,80		
	Nitratos (mg/l NO ₃ ⁻)	0	0,086	100	8,62		
	Oxígeno Disuelto (mg/l O ₂ ²⁻)	8,88	0,102	80,38	8,22		
	pH	7,65	0,099	80,65	7,97		
	Sólidos Disueltos (ppm)	76	0,064	88,02	5,67		
	Sólidos Suspendidos (mg/l)	0	0,052	100	5,17		
	Temperatura (Δ°C)	-2,12	0,054	74,55	4,03		
	Turbiedad (NTU)	2	0,092	94,49	8,69		
Zinc (mg/l)	0	0,014	100	1,38			



Continuación Tabla 35. Cálculo del ICA desarrollado para el Muestreo 1

Puntos	Parámetro	Valor	% Peso	Sub- índice	Peso* Sub- índice	Σ Total	Calidad del agua
Punto 3	Alcalinidad (mg/l CaCO ₃)	44	0,034	49,85	1,72	90,36	Excelente
	Cobre (mg/l)	0,001	0,013	99,11	1,25		
	Coliformes fecales (NMP/100ml)	0	0,110	100	11,03		
	Coliformes totales (NMP/100ml)	23	0,051	70,85	3,58		
	Conductividad (μS/cm)	9,60E-05	0,036	94,54	3,37		
	DBO ₅ (mg/l O ₂ ²⁻)	1,5	0,093	92,29	8,59		
	Fosfatos (mg/l PO ₄ ³⁺)	0,01	0,061	100	6,09		
	Mercurio (mg/l)	0	0,039	97,17	3,80		
	Nitratos (mg/l NO ₃ ⁻)	0	0,086	100	8,62		
	Oxígeno Disuelto (mg/l O ₂ ²⁻)	9,96	0,102	99,06	10,13		
	pH	8,03	0,099	79,24	7,83		
	Sólidos Disueltos (ppm)	48	0,064	91,11	5,86		
	Sólidos Suspendidos (mg/l)	0	0,052	100	5,17		
	Temperatura (Δ°C)	-2,7	0,054	64,89	3,51		
	Turbiedad (NTU)	2,42	0,092	91,54	8,42		
Zinc (mg/l)	0	0,014	100	1,38			

Elaboración. Autores

En el primer muestreo (Tabla 35) los valores del ICA desarrollado, presenta rangos entre Bueno y Excelente. El valor menor de calidad del agua se da en el punto 1 (Laguna Luspa) con 88,224 teniendo un criterio de calidad de Bueno, por otra parte, se tiene una Excelente calidad en el punto 3 (Zona denominada Huasihuico) con 90,367.



Tabla 36. Cálculo del ICA desarrollado para el Muestreo 2

Puntos	Parámetro	Valor	% Peso	Sub- índice	Peso* Sub- índice	Σ Total	Calidad del agua
Punto 1	Alcalinidad (mg/l CaCO ₃)	30	0,034	29,48	1,02	88,35	Bueno
	Cobre (mg/l)	0,03	0,013	98,94	1,25		
	Coliformes fecales (NMP/100ml)	0	0,110	100	11,03		
	Coliformes Totales (NMP/100ml)	0	0,051	100	5,06		
	Conductividad (μS/cm)	1,10E-04	0,036	93,64	3,34		
	DBO ₅ (mg/l O ₂ ²⁻)	5,28	0,093	88,13	8,21		
	Fosfatos (mg/l PO ₄ ³⁺)	0,87	0,061	95,72	5,83		
	Mercurio (mg/l)	0	0,039	97,17	3,80		
	Nitratos (mg/l NO ₃ ⁻)	0,3	0,086	100	8,62		
	Oxígeno Disuelto (mg/l O ₂ ²⁻)	8,16	0,102	69,1	7,07		
	pH	6,73	0,099	78,1	7,72		
	Sólidos Disueltos (ppm)	38	0,064	92,25	5,94		
	Sólidos Suspendidos (mg/l)	0	0,052	100	5,17		
	Temperatura (Δ°C)	-2,4	0,054	70,005	3,78		
	Turbiedad (NTU)	0,52	0,092	100	9,20		
Zinc (mg/l)	0,15	0,014	96,1	1,33			



Continuación Tabla 36. Cálculo del ICA desarrollado para el Muestreo 2

Puntos	Parámetro	Valor	% Peso	Sub- índice	Peso* Sub- índice	∑ Total	Calidad del agua
Punto 2	Alcalinidad (mg/l CaCO ₃)	40	0,034	43,97	1,52	90,10	Excelente
	Cobre (mg/l)	0	0,013	99,12	1,25		
	Coliformes fecales (NMP/100ml)	0	0,110	100	11,03		
	Coliformes Totales (NMP/100ml)	4	0,051	89,49	4,53		
	Conductividad (μS/cm)	1,20E-04	0,036	93,06	3,32		
	DBO ₅ (mg/l O ₂ ²⁻)	5,1	0,093	88,32	8,22		
	Fosfatos (mg/l PO ₄ ³⁺)	0,31	0,061	100	6,09		
	Mercurio (mg/l)	0	0,039	97,17	3,80		
	Nitratos (mg/l NO ₃ ⁻)	0	0,086	100	8,62		
	Oxígeno Disuelto (mg/l O ₂ ²⁻)	8,74	0,102	78,11	7,99		
	pH	6,87	0,099	79,01	7,81		
	Sólidos Disueltos (ppm)	56	0,064	90,22	5,81		
	Sólidos Suspendidos (mg/l)	0	0,052	100	5,17		
	Temperatura (Δ°C)	0,9	0,054	92,77	5,01		
	Turbiedad (NTU)	2,14	0,092	93,56	8,60		
Zinc (mg/l)	0,06	0,014	96,42	1,33			



Continuación Tabla 36. Cálculo del ICA desarrollado para el Muestreo 2

Puntos	Parámetro	Valor	% Peso	Sub- índice	Peso* Sub- índice	Σ Total	Calidad del agua
Punto 3	Alcalinidad (mg/l CaCO ₃)	20	0,034	49,85	1,72	91,10	Excelente
	Cobre (mg/l)	0,04	0,013	98,88	1,25		
	Coliformes fecales (NMP/100ml)	0	0,110	100	11,03		
	Coliformes Totales (NMP/100ml)	4	0,051	89,49	4,53		
	Conductividad (μS/cm)	8,20E-05	0,036	95,59	3,41		
	DBO ₅ (mg/l O ₂ ²⁻)	4,8	0,093	88,65	8,25		
	Fosfatos (mg/l PO ₄ ³⁺)	0,23	0,061	100	6,09		
	Mercurio (mg/l)	0	0,039	97,17	3,80		
	Nitratos (mg/l NO ₃ ⁻)	0,5	0,086	100	8,62		
	Oxígeno Disuelto (mg/l O ₂ ²⁻)	9,86	0,102	87,24	8,92		
	pH	6,97	0,099	79,55	7,86		
	Sólidos Disueltos (ppm)	51	0,064	90,78	5,84		
	Sólidos Suspendidos (mg/l)	0	0,052	100	5,17		
	Temperatura (Δ°C)	1,7	0,054	85,99	4,65		
	Turbiedad (NTU)	2.11	0,092	93,76	8,62		
Zinc (mg/l)	0,02	0,014	96,56	1,33			

Elaboración. Autores

En el punto 1 (Laguna Luspa) del segundo muestreo (Tabla 36) se tuvo la menor calidad del agua con 88,352 correspondiendo a un rango de Bueno, además, en el punto 2 y 3 se tiene una Excelente calidad mostrando ser un agua con casi nula contaminación.



Tabla 37. Cálculo del ICA desarrollado para el Muestreo 3

Puntos	Parámetro	Valor	% Peso	Sub- índice	Peso* Sub- índice	Σ Total	Calidad del agua
Punto 1	Alcalinidad (mg/l CaCO ₃)	30	0,034	29,48	1,02	93,36	Excelente
	Cobre (mg/l)	0,08	0,013	98,63	1,25		
	Coliformes fecales (NMP/100ml)	0	0,110	100	11,03		
	Coliformes Totales (NMP/100ml)	6	0,051	85,17	4,31		
	Conductividad (μS/cm)	5,80E-05	0,036	97,89	3,49		
	DBO ₅ (mg/l O ₂ ²⁻)	0,06	0,093	93,91	8,74		
	Fosfatos (mg/l PO ₄ ³⁺)	0,58	0,061	100	6,09		
	Mercurio (mg/l)	0	0,039	97,17	3,80		
	Nitratos (mg/l NO ₃ ⁻)	0	0,086	100	8,62		
	Oxígeno Disuelto (mg/l O ₂ ²⁻)	12,74	0,102	100	10,23		
	pH	7,4	0,099	80,76	7,98		
	Sólidos Disueltos (ppm)	29	0,064	93,28	6,00		
	Sólidos Suspendidos (mg/l)	0	0,052	100	5,17		
	Temperatura (Δ°C)	0	0,054	94,57	5,11		
	Turbiedad (NTU)	0,54	0,092	100	9,20		
Zinc (mg/l)	0,14	0,014	96,14	1,33			



Continuación Tabla 37. Cálculo del ICA desarrollado para el Muestreo 3

Puntos	Parámetro	Valor	% Peso	Sub- índice	Peso* Sub- índice	∑ Total	Calidad del agua
Punto 2	Alcalinidad (mg/l CaCO ₃)	50	0,034	58,49	2,02	85.506	Bueno
	Cobre (mg/l)	0	0,013	99,12	1,25		
	Coliformes fecales (NMP/100ml)	0	0,110	100	11,03		
	Coliformes Totales (NMP/100ml)	65	0,051	59,77	3,02		
	Conductividad (μS/cm)	1,02E-04	0,036	94,14	3,35		
	DBO ₅ (mg/l O ₂ ²⁻)	0,9	0,093	92,96	8,65		
	Fosfatos (mg/l PO ₄ ³⁺)	0,13	0,061	100	6,09		
	Mercurio (mg/l)	0	0,039	97,17	3,80		
	Nitratos (mg/l NO ₃ ⁻)	3,7	0,086	50,2	4,33		
	Oxígeno Disuelto (mg/l O ₂ ²⁻)	14,6	0,102	100	10,23		
	pH	7,35	0,099	80,72	7,98		
	Sólidos Disueltos (ppm)	53	0,064	90,55	5,83		
	Sólidos Suspendidos (mg/l)	0	0,052	100	5,17		
	Temperatura (Δ°C)	-2,6	0,054	66,61	3,60		
	Turbiedad (NTU)	3,19	0,092	84,98	7,81		
Zinc (mg/l)	0,06	0,014	96,42	1,33			



Continuación Tabla 37. Cálculo del ICA desarrollado para el Muestreo 3

Puntos	Parámetro	Valor	% Peso	Sub- índice	Peso* Sub- índice	∑ Total	Calidad del agua
Punto 3	Alcalinidad (mg/l CaCO ₃)	40	0,034	43,97	1,52	87,39	Bueno
	Cobre (mg/l)	0	0,013	99,12	1,25		
	Coliformes fecales (NMP/100ml)	0	0,110	100	11,03		
	Coliformes Totales (NMP/100ml)	17	0,051	74,07	3,75		
	Conductividad (μS/cm)	9,40E-05	0,036	94,68	3,37		
	DBO ₅ (mg/l O ₂ ²⁻)	11,76	0,093	81,76	7,61		
	Fosfatos (mg/l PO ₄ ³⁺)	0,52	0,061	100	6,09		
	Mercurio (mg/l)	0	0,039	97,17	3,80		
	Nitratos (mg/l NO ₃ ⁻)	0,2	0,086	100	8,62		
	Oxígeno Disuelto (mg/l O ₂ ²⁻)	14,1	0,102	100	10,23		
	pH	7,48	0,099	80,79	7,99		
	Sólidos Disueltos (ppm)	50	0,064	90,89	5,85		
	Sólidos Suspendidos (mg/l)	0	0,052	100	5,17		
	Temperatura (Δ°C)	-5,6	0,054	32,45	1,75		
	Turbiedad (NTU)	2,94	0,092	87,27	8,02		
Zinc (mg/l)	0,04	0,014	96,49	1,33			

Elaboración. Autores

Para el muestreo 3 (Tabla 37) se obtuvo una menor calidad en el Punto 2 (Caserío Migüir) con 85,506 estando en un rango de Buena, seguido del punto 2 con 87,393 y con una alta calidad el punto 1 con 93,367.



Tabla 38. Cálculo del ICA desarrollado para el Muestreo 4

Puntos	Parámetro	Valor	% Peso	Sub- índice	Peso* Sub- índice	∑ Total	Calidad del agua
Punto 1	Alcalinidad (mg/l CaCO ₃)	20	0,034	16,6	0,57	90,23	Excelente
	Cobre (mg/l)	0	0,013	99,12	1,25		
	Coliformes fecales (NMP/100ml)	0	0,110	100	11,03		
	Coliformes Totales (NMP/100ml)	4	0,051	89,49	4,53		
	Conductividad (μS/cm)	6,80E -05	0,036	96,83	3,45		
	DBO ₅ (mg/l O ₂ ²⁻)	6,36	0,093	86,95	8,10		
	Fosfatos (mg/l PO ₄ ³⁺)	0,88	0,061	95,56	5,82		
	Mercurio (mg/l)	0	0,039	97,17	3,80		
	Nitratos (mg/l NO ₃ ⁻)	0,22	0,086	100	8,62		
	Oxígeno Disuelto (mg/l O ₂ ²⁻)	9,2	0,102	85,69	8,77		
	pH	7,34	0,099	80,71	7,98		
	Sólidos Disueltos (ppm)	33	0,064	92,82	5,97		
	Sólidos Suspendidos (mg/l)	0	0,052	100	5,17		
	Temperatura (Δ°C)	1,7	0,054	85,99	4,65		
	Turbiedad (NTU)	0,73	0,092	100	9,20		
	Zinc (mg/l)	0,03	0,014	96,52	1,33		



Continuación Tabla 38. Cálculo del ICA desarrollado para el Muestreo 4

Puntos	Parámetro	Valor	% Peso	Sub- índice	Peso* Sub- índice	Σ Total	Calidad del agua
Punto 2	Alcalinidad (mg/l CaCO ₃)	25	0,034	22,73	0,78	87,42	Bueno
	Cobre (mg/l)	0,04	0,013	98,88	1,25		
	Coliformes fecales (NMP/100ml)	0	0,110	100	11,03		
	Coliformes Totales (NMP/100ml)	150	0,051	50,86	2,57		
	Conductividad (μS/cm)	1,10E- 04	0,036	93,64	3,34		
	DBO ₅ (mg/l O ₂ ²⁻)	4,62	0,093	88,85	8,27		
	Fosfatos (mg/l PO ₄ ³⁺)	1,2	0,061	90,29	5,50		
	Mercurio (mg/l)	0	0,039	97,17	3,80		
	Nitratos (mg/l NO ₃ ⁻)	0,5	0,086	100	8,62		
	Oxígeno disuelto (mg/l O ₂ ²⁻)	10,7	0,102	100	10,23		
	pH	6,95	0,099	79,45	7,85		
	Sólidos Disueltos (ppm)	56	0,064	90,22	5,81		
	Sólidos Suspendidos (mg/l)	0	0,052	100	5,17		
	Temperatura (Δ°C)	-1,2	0,054	86,94	4,70		
Turbiedad (NTU)	3,87	0,092	77,94	7,17			
Zinc (mg/l)	0,11	0,014	96,24	1,33			



Continuación Tabla 38. Cálculo del ICA desarrollado para el Muestreo 4

Puntos	Parámetro	Valor	% Peso	Sub- índice	Peso* Sub- índice	∑ Total	Calidad del agua
Punto 3	Alcalinidad (mg/l CaCO ₃)	20	0,034	16,6	0,57	87,66	Bueno
	Cobre (mg/l)	0	0,013	99,12	1,25		
	Coliformes fecales (NMP/100ml)	0	0,110	100	11,03		
	Coliformes Totales (NMP/100ml)	20	0,051	72,34	3,66		
	Conductividad (μS/cm)	9,60E-05	0,036	94,54	3,37		
	DBO ₅ (mg/l O ₂ ²⁻)	7,98	0,093	85,21	7,93		
	Fosfatos (mg/l PO ₄ ³⁺)	0,22	0,061	100	6,09		
	Mercurio (mg/l)	0	0,039	97,17	3,80		
	Nitratos (mg/l NO ₃ ⁻)	0,4	0,086	100	8,62		
	Oxígeno Disuelto (mg/l O ₂ ²⁻)	12,23	0,102	100	10,23		
	pH	6,62	0,099	77,25	7,64		
	Sólidos Disueltos (ppm)	48	0,064	91,11	5,86		
	Sólidos Suspendidos (mg/l)	0	0,052	100	5,17		
	Temperatura (Δ°C)	-2,53	0,054	67,81	3,66		
Turbiedad (NTU)	3,59	0,092	80,98	7,45			
Zinc (mg/l)	0,22	0,014	95,85	1,32			

Elaboración. Autores

De los valores del ICA desarrollado para el cuarto muestreo (Tabla 38), sobresale el primer punto (Laguna Luspa) teniendo una Excelente calidad del agua con 90,234 a consecuencia de una escasa contaminación en la zona. Además, en el punto dos y tres se tiene un ICA representativo de Bueno con 87,422 y 87,665.



Tabla 39. Cálculo del ICA desarrollado para el Muestreo 5

Puntos	Parámetro	Valor	% Peso	Sub- índice	Peso*Sub- índice	Σ Total	Calidad del agua
Punto 1	Alcalinidad (mg/l CaCO ₃)	30	0,034	29,48	1,02	91,23	Excelente
	Cobre (mg/l)	0	0,013	99,12	1,25		
	Coliformes fecales (NMP/100ml)	0	0,110	100	11,03		
	Coliformes Totales (NMP/100ml)	0	0,051	100	5,06		
	Conductividad (μS/cm)	7,20E-05	0,036	96,45	3,44		
	DBO ₅ (mg/l O ₂ ²⁻)	0,06	0,093	93,91	8,74		
	Fosfatos (mg/l PO ₄ ³⁺)	0,61	0,061	100	6,09		
	Mercurio (mg/l)	0	0,039	97,17	3,80		
	Nitratos (mg/l NO ₃ ⁻)	0,2	0,086	100	8,62		
	Oxígeno Disuelto (mg/l O ₂ ²⁻)	8,93	0,102	81,2	8,31		
	pH	6,8	0,099	78,58	7,77		
	Sólidos Disueltos (ppm)	35	0,064	92,59	5,96		
	Sólidos Suspendidos (mg/l)	0	0,052	100	5,17		
	Temperatura (Δ°C)	2	0,054	82,36	4,45		
Turbiedad (NTU)	0,68	0,092	100	9,20			
Zinc (mg/l)	0,05	0,014	96,45	1,33			



Continuación Tabla 39. Cálculo del ICA desarrollado para el Muestreo 5

Puntos	Parámetro	Valor	% Peso	Sub- índice	Peso* Sub- índice	Σ Total	Calidad del agua
Punto 2	Alcalinidad (mg/l CaCO ₃)	30	0,034	29,48	1,02	81,30	Bueno
	Cobre (mg/l)	0,06	0,013	98,76	1,25		
	Coliformes fecales (NMP/100ml)	71	0,110	58,83	6,49		
	Coliformes Totales (NMP/100ml)	460	0,051	38,91	1,97		
	Conductividad (μS/cm)	9,00E-05	0,036	94,97	3,38		
	DBO ₅ (mg/l O ₂ ²⁻)	3,48	0,093	90,1	8,39		
	Fosfatos (mg/l PO ₄ ³⁺)	0,24	0,061	100	6,09		
	Mercurio (mg/l)	0	0,039	97,17	3,80		
	Nitratos (mg/l NO ₃ ⁻)	0,1	0,086	100	8,62		
	Oxígeno Disuelto (mg/l O ₂ ²⁻)	10,01	0,102	99,97	10,23		
	pH	6,9	0,099	79,19	7,83		
	Sólidos Disueltos (ppm)	45	0,064	91,45	5,89		
	Sólidos Suspendidos (mg/l)	0	0,052	100	5,17		
	Temperatura (Δ°C)	2	0,054	82,36	4,45		
Turbiedad (NTU)	5,34	0,092	58,73	5,40			
Zinc (mg/l)	0,02	0,014	96,56	1,33			



Continuación Tabla 39. Cálculo del ICA desarrollado para el Muestreo 5

Puntos	Parámetro	Valor	% Peso	Sub- índice	Peso* Sub- índice	∑ Total	Calidad del agua
Punto 3	Alcalinidad (mg/l CaCO ₃)	30	0,034	29,48	1,02	83,97	Bueno
	Cobre (mg/l)	0,02	0,013	99	1,25		
	Coliformes fecales (NMP/100ml)	7	0,110	83,53	9,22		
	Coliformes Totales (NMP/100ml)	43	0,051	64,18	3,25		
	Conductividad (μS/cm)	8,80E-05	0,036	95,12	3,39		
	DBO ₅ (mg/l O ₂ ²⁻)	2,7	0,093	90,96	8,47		
	Fosfatos (mg/l PO ₄ ³⁺)	0,85	0,061	96,05	5,85		
	Mercurio (mg/l)	0	0,039	97,17	3,80		
	Nitratos (mg/l NO ₃ ⁻)	0,1	0,086	100	8,62		
	Oxígeno Disuelto (mg/l O ₂ ²⁻)	9,44	0,102	89,8	9,19		
	pH	7,05	0,099	79,92	7,90		
	Sólidos Disueltos (ppm)	44	0,064	91,56	5,89		
	Sólidos Suspendidos (mg/l)	0	0,052	100	5,17		
	Temperatura (Δ°C)	-1,6	0,054	82,12	4,44		
Turbiedad (NTU)	5,49	0,092	56,46	5,19			
Zinc (mg/l)	0,02	0,014	96,56	1,33			

Elaboración. Autores

Por último, en el muestreo cinco (Tabla 39), los rangos de calidad de agua están entre buena (puntos 2 y 3 con 81,302 y 83,971) a excelente (punto 1 con 91,233).

En la Figura 49 se puede observar los resultados de la calidad de agua en los diferentes muestreos y puntos de estudio. Como se muestra, el valor con mayor representatividad se presentó en el tercer muestreo exactamente en el punto 1 (Laguna Luspa) con 93,36 estando en el rango de excelente. Además, se da una caída de la calidad en el punto 2 (Caserío Migüir) del 19 de diciembre al 3 de diciembre pasando de 87,42 a 81,3.

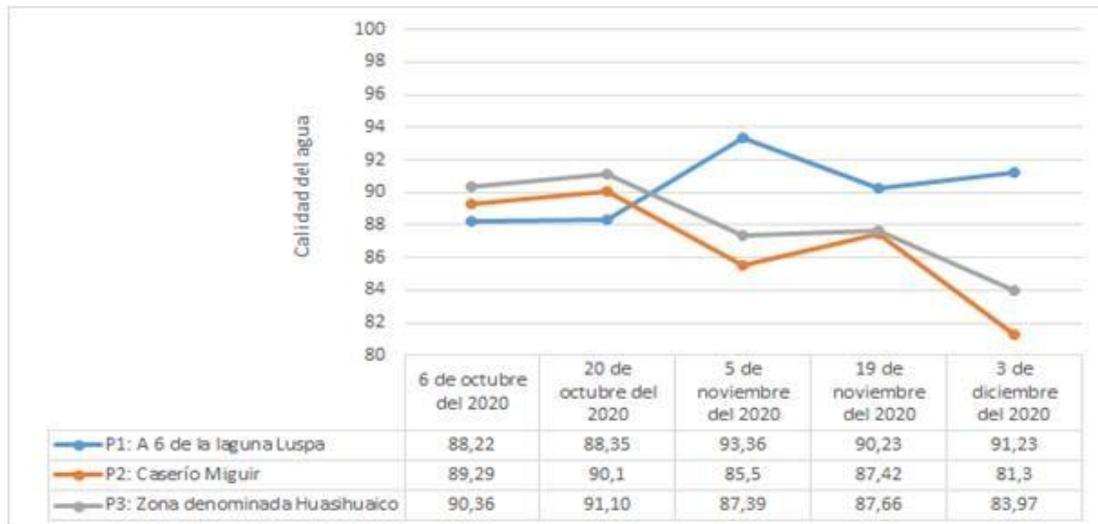


Figura 49 Comparación de los valores obtenidos del ICA desarrollado

Elaboración. Autores

5.7 Cálculo del ICA-NSF

Para el cálculo del Índice de Calidad NSF se utilizó el software en línea creado por WATER RESEARCH CENTER, arrojando los siguientes resultados para cada punto en los diferentes muestreos:



Tabla 40. Cálculo del ICA NSF para el Muestreo 1

Puntos	Parámetro	Unidad	Valor	Índice de calidad	Total	Calidad del agua
Punto 1	Oxígeno disuelto	% saturación	70,3	91	88	Buena
	Coliformes fecales	NMP/100ml	Negativo	100		
	pH		7,89	88		
	DBO5	mg/l	3,84	67		
	Temperatura	Δ°C	-2,52	85		
	Fosfatos	mg/l	0,03	100		
	Nitratos	mg/l	1,7	96		
	Turbiedad	NTU	0,61	93		
	Solidos totales	mg/l	43	86		
Punto 2	Oxígeno disuelto	% saturación	78,34	85	93	Excelente
	Coliformes fecales	NMP/100ml	Negativo	100		
	pH		7,65	88		
	DBO5	mg/l	0,9	100		
	Temperatura	Δ°C	-2,12	85		
	Fosfatos	mg/l	0,06	100		
	Nitratos	mg/l	0	97		
	Turbiedad	NTU	2	93		
	Solidos totales	mg/l	76	83		

*Continuación Tabla 40. Cálculo del ICA NSF para el Muestreo 1*

Puntos	Parámetro	Unidad	Valor	Índice de calidad	Total	Calidad del agua
Punto 3	Oxígeno disuelto	% saturación	87,22	99	93	Excelente
	Coliformes fecales	NMP/100ml	Negativo	100		
	pH		8,03	84		
	DBO5	mg/l	1,5	95		
	Temperatura	$\Delta^{\circ}\text{C}$	-2,7	85		
	Fosfatos	mg/l	0,01	100		
	Nitratos	mg/l	0	97		
	Turbiedad	NTU	2,42	93		
	Solidos totales	mg/l	48	84		

Elaboración. Autores

En el primer muestreo (Tabla 40), la calidad del agua es Excelente en los tres puntos de estudio; dando como resultado en el Punto 2 y 3 un valor de 93 y en el Punto 1 de 88. Al observar estos resultados se puede inferir que el agua está con baja contaminación.



Tabla 41. Cálculo del ICA NSF para el Muestreo 2

Puntos	Parámetro	Unidad	Valor	Índice de calidad	Total	Calidad del agua
Punto 1	Oxígeno disuelto	% saturación	70,67	88	83	Bueno
	Coliformes fecales	NMP/100ml	Negativo	100		
	pH		6,73	55		
	DBO5	mg/l	5,28	56		
	Temperatura	Δ°C	-2,4	50		
	Fosfatos	mg/l	0,87	100		
	Nitratos	mg/l	0,3	97		
	Turbiedad	NTU	0,52	99		
	Solidos totales	mg/l	38	88		
Punto 2	Oxígeno disuelto	% saturación	78,36	93	85	Bueno
	Coliformes fecales	NMP/100ml	Negativo	100		
	pH		6,87	55		
	DBO5	mg/l	5,1	56		
	Temperatura	Δ°C	0,9	93		
	Fosfatos	mg/l	0,31	100		
	Nitratos	mg/l	0	97		
	Turbiedad	NTU	2,14	93		
	Solidos totales	mg/l	56	87		

*Continuación Tabla 41. Cálculo del ICA NSF para el Muestreo 2*

Puntos	Parámetro	Unidad	Valor	Índice de calidad	Total	Calidad del agua
Punto 3	Oxígeno disuelto	% saturación	85,94	91	86	Bueno
	Coliformes fecales	NMP/100ml	Negativo	100		
	pH		6,97	55		
	DBO5	mg/l	4,8	61		
	Temperatura	Δ°C	1,7	89		
	Fosfatos	mg/l	0,23	100		
	Nitratos	mg/l	0,5	97		
	Turbiedad	NTU	2,11	93		
	Solidos totales	mg/l	51	87		

Elaboración. Autores

La calidad del agua aplicando el ICA NSF en el muestreo 2 es de Buena en los tres puntos de muestreo, siendo mayor en el Punto 3 con un valor de 86 y menor en el Punto 1 con 83 (Tabla 41). Al analizar los resultados se puede decir que son aguas con baja contaminación.



Tabla 42. Cálculo del ICA NSF para el Muestreo 3

Puntos	Parámetro	Unidad	Valor	Índice de calidad	Total	Calidad del agua
Punto 1	Oxígeno disuelto	% saturación	113,14	86	95	Excelente
	Coliformes fecales	NMP/100ml	Negativo	100		
	pH		7,4	88		
	DBO5	mg/l	0,06	100		
	Temperatura	Δ°C	0	93		
	Fosfatos	mg/l	0,58	100		
	Nitratos	mg/l	0	97		
	Turbiedad	NTU	0,54	99		
	Solidos totales	mg/l	29	84		
Punto 2	Oxígeno disuelto	% saturación	125,83	87	92	Excelente
	Coliformes fecales	NMP/100ml	Negativo	100		
	pH		7,35	88		
	DBO5	mg/l	0,9	100		
	Temperatura	Δ°C	-2,6	85		
	Fosfatos	mg/l	0,13	100		
	Nitratos	mg/l	3,7	90		
	Turbiedad	NTU	3,19	90		
	Solidos totales	mg/l	53	87		

*Continuación Tabla 42. Cálculo del ICA NSF para el Muestreo 3*

Puntos	Parámetro	Unidad	Valor	Índice de calidad	Total	Calidad del agua
Punto 3	Oxígeno disuelto	% saturación	120,44	87	85	Bueno
	Coliformes fecales	NMP/100ml	Negativo	100		
	pH		7,48	88		
	DBO5	mg/l	11,76	30		
	Temperatura	$\Delta^{\circ}\text{C}$	-5,7	85		
	Fosfatos	mg/l	0,52	100		
	Nitratos	mg/l	0,2	97		
	Turbiedad	NTU	2,94	93		
	Solidos totales	mg/l	50	87		

Elaboración. Autores

En el muestreo 3 la calidad del agua en los Puntos 1 y 2 es Excelente con un valor de 95 y 92, mientras que en el Punto 3 se obtuvo una calidad de Buena de 85 respectivamente; por lo tanto, se puede deducir que son aguas poco contaminadas (Tabla 42).



Tabla 43. Cálculo del ICA NSF para el Muestreo 4

Puntos	Parámetro	Unidad	Valor	Índice de calidad	Total	Calidad del agua
Punto 1	Oxígeno disuelto	% saturación	77,59	84	88	Bueno
	Coliformes fecales	NMP/100ml	Negativo	100		
	pH		7,34	88		
	DBO5	mg/l	6,36	51		
	Temperatura	Δ°C	1,7	89		
	Fosfatos	mg/l	0,88	100		
	Nitratos	mg/l	0,22	97		
	Turbiedad	NTU	0,73	99		
	Solidos totales	mg/l	33	85		
Punto 2	Oxígeno disuelto	% saturación	88,18	93	80	Bueno
	Coliformes fecales	NMP/100ml	Negativo	100		
	pH		6,95	55		
	DBO5	mg/l	4,62	61		
	Temperatura	Δ°C	-1,2	89		
	Fosfatos	mg/l	1,2	40		
	Nitratos	mg/l	0,55	97		
	Turbiedad	NTU	3,87	90		
	Solidos totales	mg/l	56	87		

*Continuación Tabla 43. Cálculo del ICA NSF para el Muestreo 4*

Puntos	Parámetro	Unidad	Valor	Índice de calidad	Total	Calidad del agua
Punto 3	Oxígeno disuelto	% saturación	100	99	85	Bueno
	Coliformes fecales	NMP/100ml	Negativo	100		
	pH		6,62	55		
	DBO5	mg/l	7,98	46		
	Temperatura	Δ°C	-2,53	85		
	Fosfatos	mg/l	0,22	100		
	Nitratos	mg/l	0,4	97		
	Turbiedad	NTU	3,59	90		
	Solidos totales	mg/l	48	86		

Elaboración. Autores

Para el cuarto muestreo se tiene los siguientes Índices de calidad del agua: en el Punto 1 la calidad es de Buena con un valor de 88, en el Punto 2 de 80 siendo Buena y por último en el Punto 3 de 85 estando en el rango de Buena. En los tres puntos de muestreo se puede deducir que no hay contaminación o si la hubiera es muy baja (Tabla 43).



Tabla 44. Cálculo del ICA NSF para el Muestreo 5

Puntos	Parámetro	Unidad	Valor	Índice de calidad	Total	Calidad del agua
Punto 1	Oxígeno disuelto	% saturación	81,52	88	90	Excelente
	Coliformes fecales	NMP/100ml	Negativo	100		
	pH		6,8	55		
	DBO5	mg/l	0,06	100		
	Temperatura	Δ°C	2	85		
	Fosfatos	mg/l	0,61	100		
	Nitratos	mg/l	0,2	97		
	Turbiedad	NTU	0,68	99		
	Sólidos totales	mg/l	35	85		
	Punto 2	Oxígeno disuelto	% saturación	90,31		
Coliformes fecales		NMP/100ml	71	48		
pH			6,9	55		
DBO5		mg/l	3,48	67		
Temperatura		Δ°C	2	40		
Fosfatos		mg/l	0,24	100		
Nitratos		mg/l	0,1	97		
Turbiedad		NTU	5,34	86		
Sólidos totales		mg/l	45	86		

*Continuación Tabla 44. Cálculo del ICA NSF para el Muestreo 5*

Puntos	Parámetro	Unidad	Valor	Índice de calidad	de Total	Calidad del agua
Punto 3	Oxígeno disuelto	% saturación	85,42	91	88	Bueno
	Coliformes fecales	NMP/100ml	7	76		
	pH		7,05	88		
	DBO5	mg/l	2,7	80		
	Temperatura	Δ°C	-1,6	89		
	Fosfatos	mg/l	0,85	100		
	Nitratos	mg/l	0,1	97		
	Turbiedad	NTU	5,49	86		
	Sólidos totales	mg/l	44	86		

Elaboración. Autores

Por último, en el quinto muestreo los resultados de calidad en los 3 puntos fueron: en el Punto 1 de Excelente con un valor de 90, en el Punto 2 de 78 considerándose Buena y en el Punto 3 de 88 estando en el rango de Buena; al analizar estos ICA se pudo afirmar que hay una baja e inclusive casi nula contaminación (Tabla 44).

En la Figura 50 se puede observar el comportamiento del ICA NSF en los tres puntos de los diferentes muestreos. Al analizar esta gráfica se puede notar que hay una disminución en la calidad del agua en el Punto 2 (Caserío Migüir), en el Punto 1 (a 6 m de la laguna Luspa) presenta variaciones del ICA y por último en el Punto 3 (Zona denominada Huasihuaico) se puede mencionar que hay un descenso significativo en el tercer muestreo de la calidad del agua.

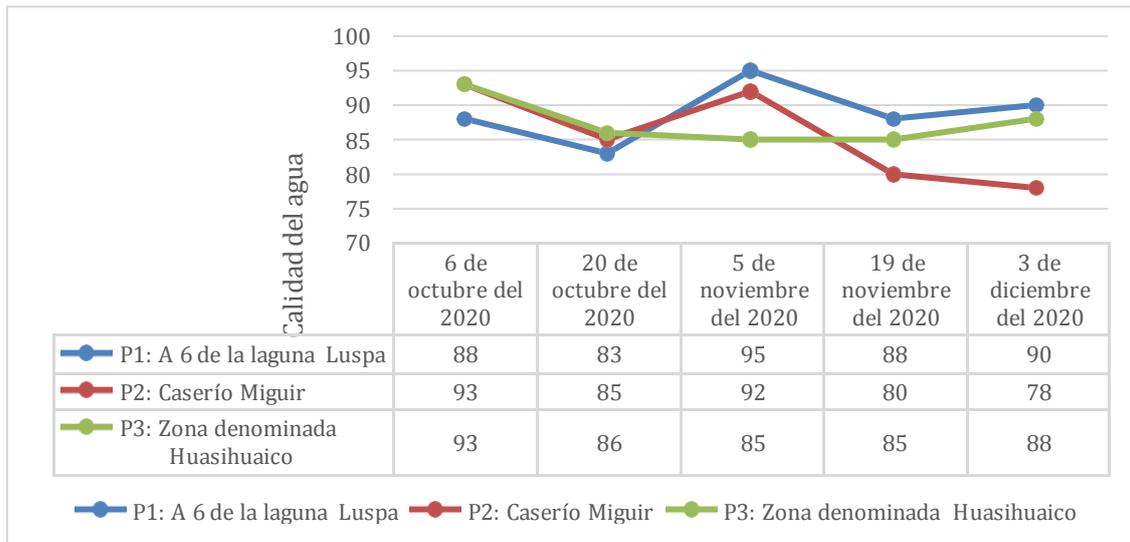


Figura 50 Comparación de los valores de calidad del ICA-NSF

Elaboración. Autores

5.8 Correlación entre el ICA desarrollado y el ICA-NSF

Para comprobar que el ICA desarrollado es válido y poder relacionarlo de manera fácil con el índice NSF se empleó el recurso estadístico denominado coeficiente de correlación de Pearson, comúnmente representado con la letra “r”, usando como variables los valores de calidad obtenidos con cada índice. Los resultados se muestran a continuación:

El valor de r en el primer punto fue de 0,8936 este valor se puede interpretar como una correlación fuerte debido a que se encuentra muy cercano a 1. En la Figura 51 se muestra la dispersión de las variables.

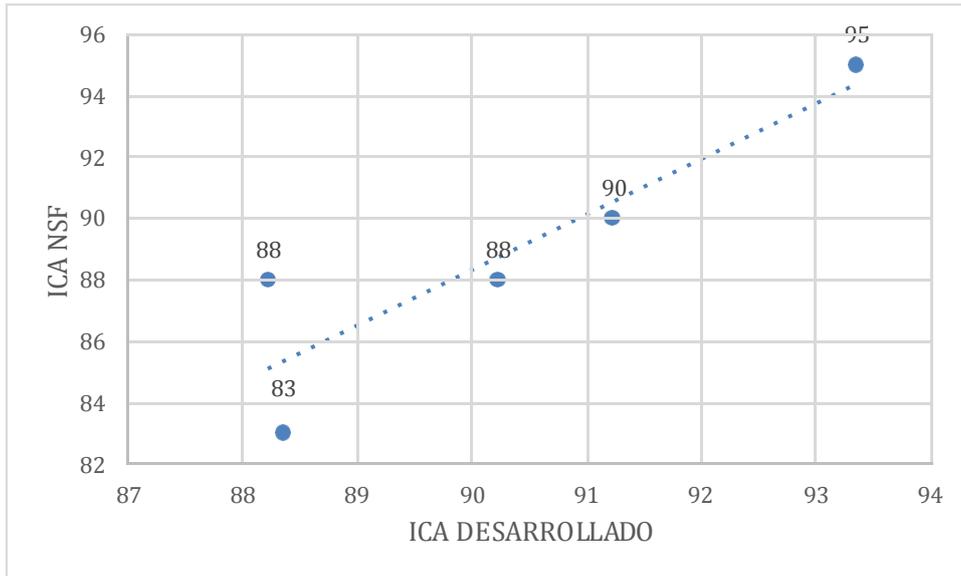


Figura 51 Correlación de Pearson del ICA NSF y el ICA Desarrollado para el Punto 1

Elaboración. Autores

En la Figura 52 se muestra la gráfica de dispersión de los puntos con los valores de calidad obtenidas en el segundo lugar de muestreo, el valor de r en este caso fue de 0,4857 lo cual nos indica una correlación moderada.

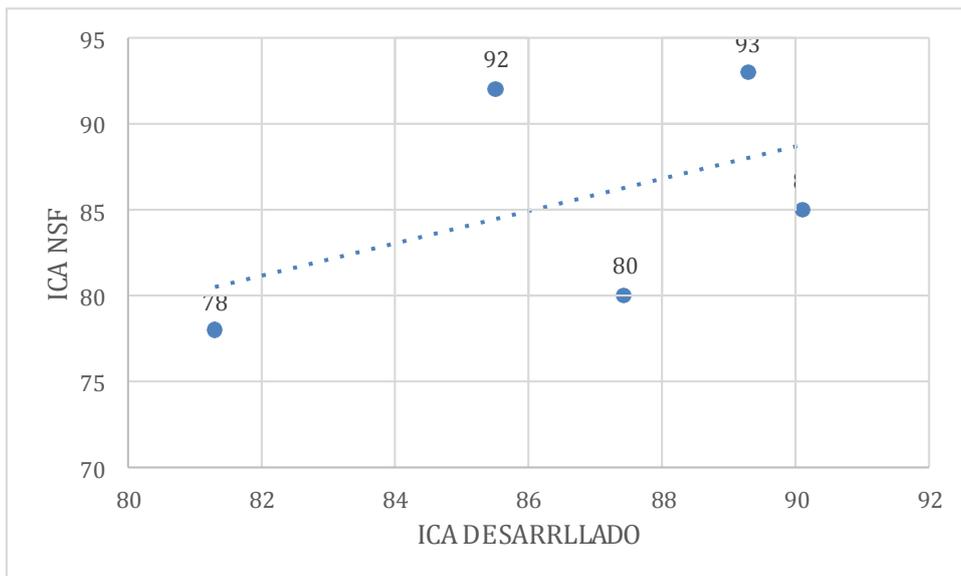


Figura 52. Correlación de Pearson del ICA NSF y el ICA Desarrollado para el Punto 2

Elaboración. Autores

El valor de r para el tercer punto de muestreo fue de 0,2302 esto significa una relación directa débil entre los valores obtenidos independientemente con cada índice de calidad. La dispersión de los datos obtenidos se presenta en la Figura 53.

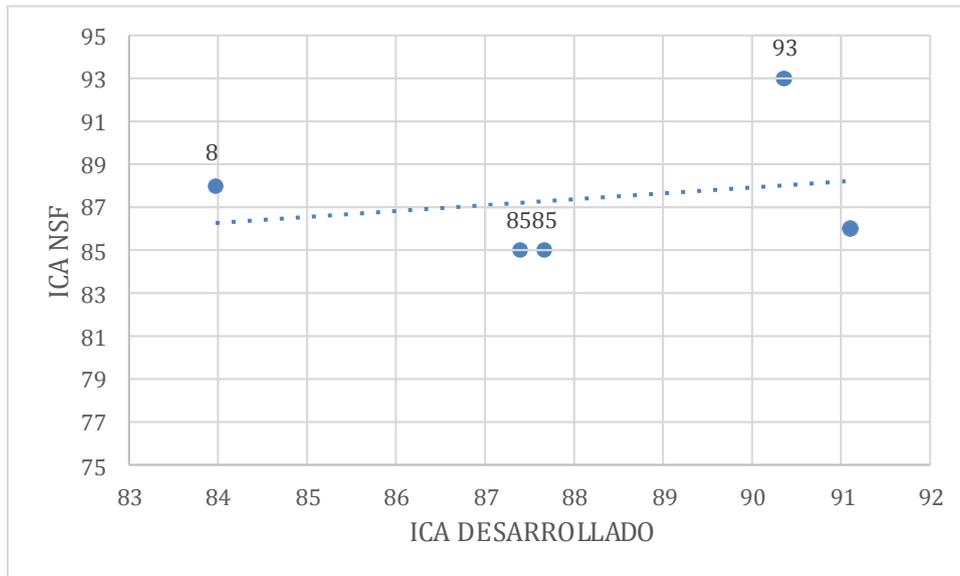


Figura 53 Correlación de Pearson del ICA NSF y el ICA Desarrollado para el Punto 3

Elaboración. Autores

5.9 Correlación entre el ICA desarrollado y el caudal

Por ser una situación similar a la anterior se consideró correcto repetir el uso del coeficiente de Pearson para establecer la correlación entre la calidad del agua obtenida a partir del índice desarrollado y el caudal.

En la Figura 54 se muestran los valores obtenidos para el punto 1, ubicado a 6 m de la desembocadura de la laguna Luspa el valor obtenido fue de $r = 0,026$ dado que el valor es cercano a 0 las variables tienen escasa o nula relación entre sí.

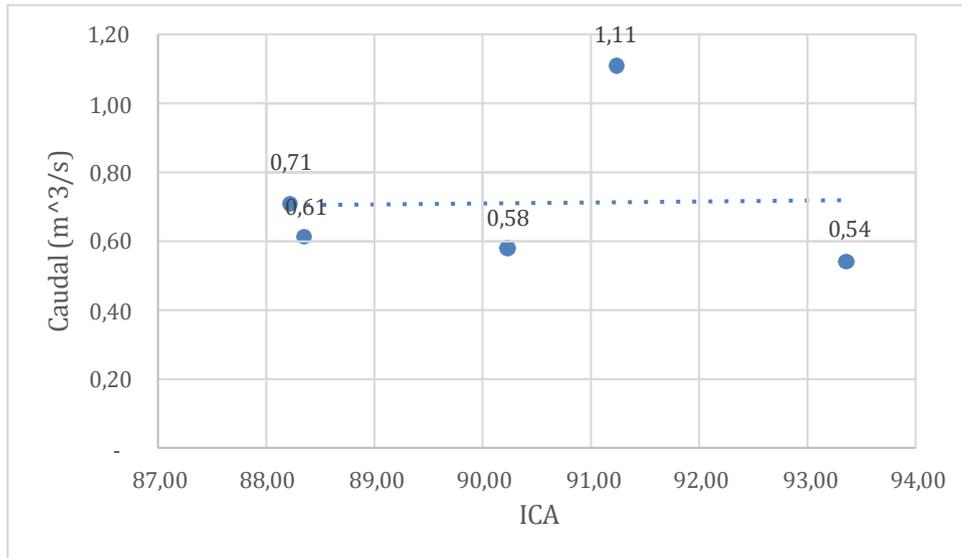


Figura 54 Correlación de Pearson entre el caudal y el ICA desarrollado en el punto 1
Elaboración. Autores

Los resultados del segundo punto de muestreo se pueden observar en la Figura 55 el valor de correlación fue $r = -0,489$ el signo negativo nos indica una relación inversa y el valor cercano a 0,5, señala una relación moderada entre variables.

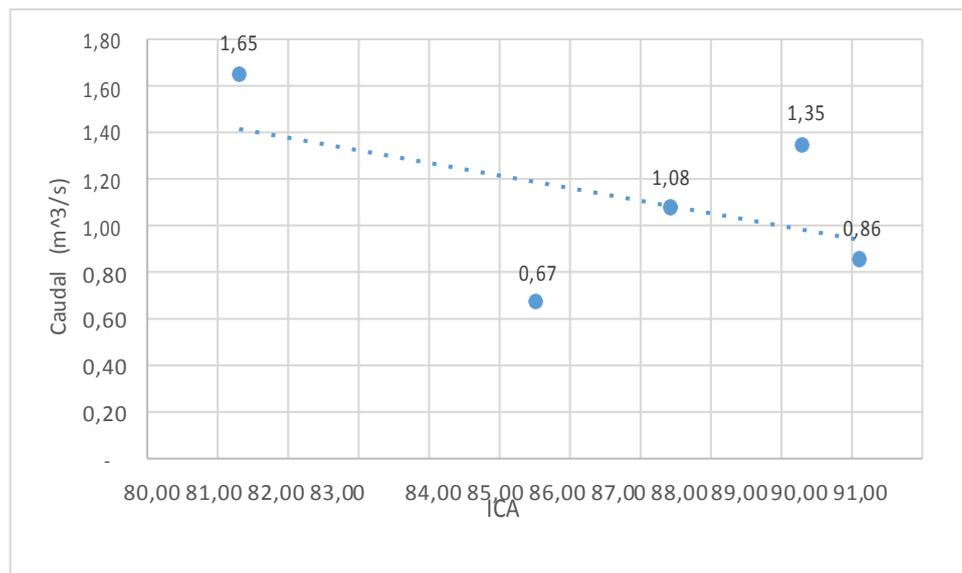


Figura 55. Correlación de Pearson entre el caudal y el ICA desarrollado en el punto 2
Elaboración. Autores



Por último, en el tercer punto de muestreo el valor de correlación fue $r = 0.628$, con esto se evidencia una relación moderada directa, teniendo una dependencia entre estas dos variables (Figura 56).

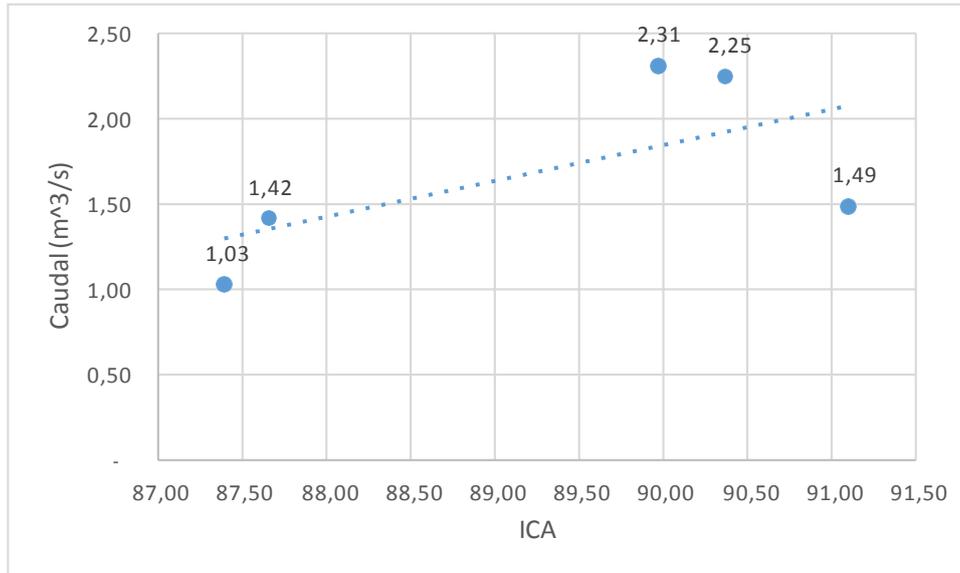


Figura 56. Correlación de Pearson entre el caudal y el ICA desarrollado en el punto 3

Elaboración. Autores

5.10 Correlación entre el ICA NSF y el caudal

Para determinar la correlación entre el ICA NSF y el caudal se utilizó el coeficiente de Pearson teniendo los siguientes resultados:

El en punto 1 se tiene una correlación de 0,022, teniendo una escasa relación entre estas dos variables (Figura 57).

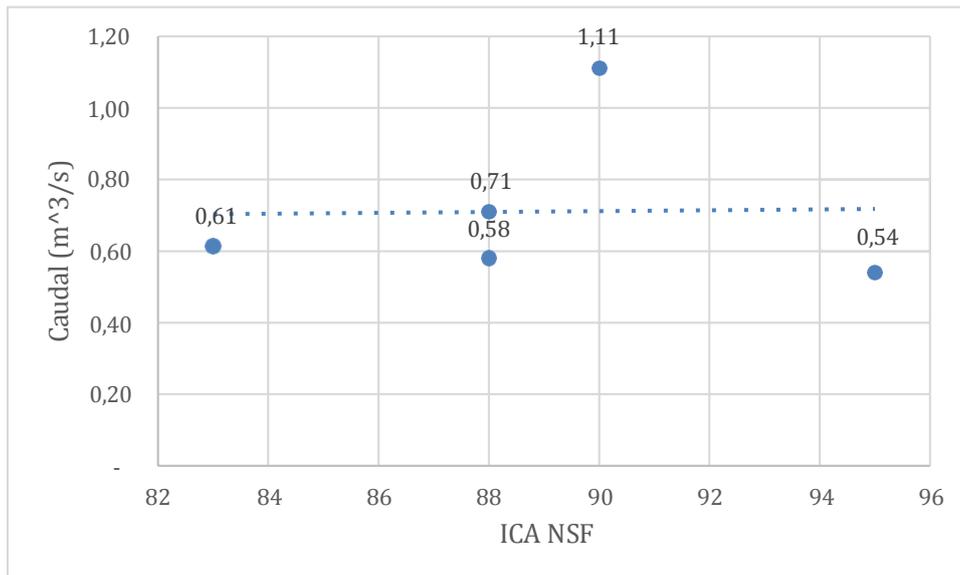


Figura 57 Correlación de Pearson entre el caudal y el ICA NSF en el punto 1.

Elaboración. Autores

Para el punto 2 se tiene una correlación de $-0,4569$; el signo negativo nos indica que existe una relación inversa y moderada entre el ICA NSF y el caudal (Figura 58).

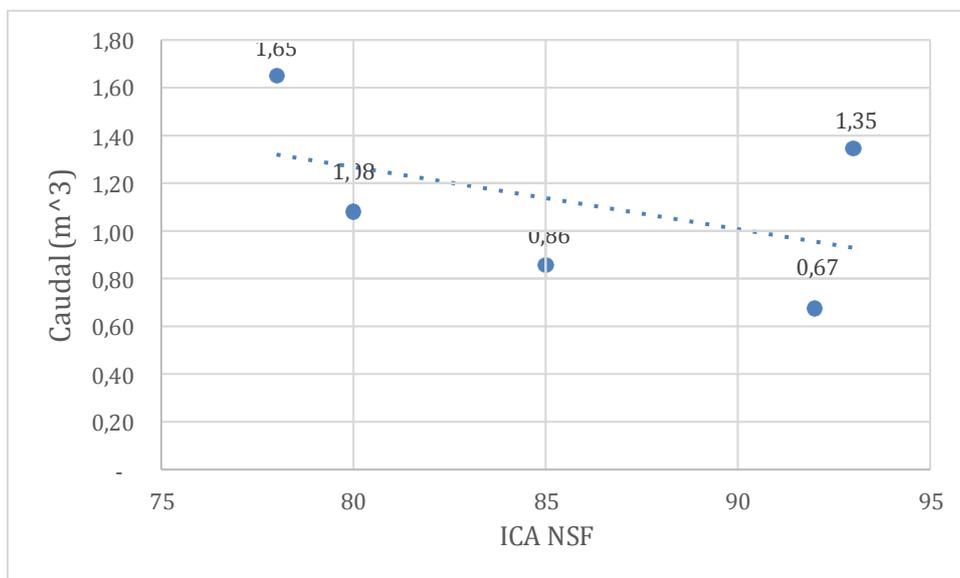


Figura 58. Correlación de Pearson entre el caudal y el ICA NSF en el punto 2

Elaboración. Autores

Por último, el resultado al realizar la correlación de Pearson entre el caudal y el ICA NSF nos indica que existe una fuerte relación entre estos, dando un valor de $0,8019$ (Figura 59).

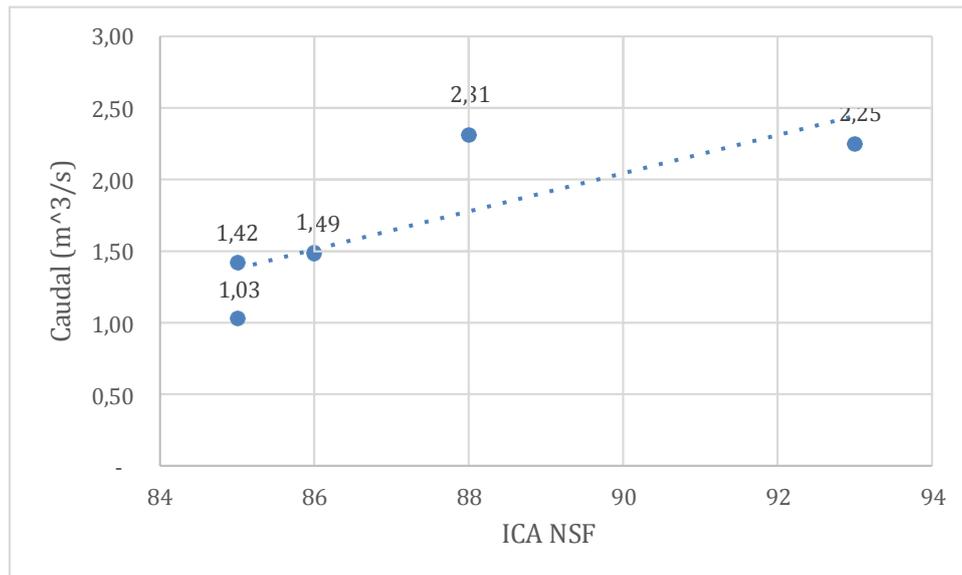


Figura 59 Correlación de Pearson entre el caudal y el ICA NSF en el punto 3

Elaboración. Autores

5.11 Comparación de resultados con la normativa

Se utilizó el Anexo 1 del Libro 6 del TULSMA para la comparación con la normativa, donde, se usó 3 criterios de calidad de agua que son: uso agrícola, pecuario y fines recreativos (Anexo 6,7 y 8). Por cada parámetro aplicable se procedió a comprarlos con la normativa y se constató si cumple o no con los límites permisibles.

En la Tabla 45 se demuestra los resultados de la campaña 1, donde se analiza cada uno de los parámetros con los criterios de calidad, dando como respuesta, que todos cumplen con los límites máximos permisibles estando muy lejos de superarlos.



Tabla 45. Comparación de los resultados del Muestreo 1 con la normativa

Parámetro	MG01	MG02	MG03	Criterios de calidad			Cumplimiento
				Uso agrícola	Uso pecuario	Uso recreativo	
Cobre (mg/l)	0,001	0	0,001	2	0,5	No aplica	Cumple
Coliformes fecales (NMP/100ml)	0	0	0	No aplica	<1000	200	Cumple
Coliformes Totales (NMP/100ml)	0	19	23	1000	5000 mensual	1000	Cumple
Mercurio (mg/l)	0	0	0	0,001	0,01	No aplica	Cumple
Nitratos (mg/l NO ₃ ⁻)	1,7	0	0	No aplica	10	No aplica	Cumple
Oxígeno Disuelto (mg/l O ₂ ²⁻)	8,5	8,88	9,96	No aplica	No aplica	6>	Cumple
pH	7,89	7,65	8,03	6 a 9	6 a 9	6,5 a 8,5	Cumple
Sólidos Disueltos (ppm)	43	76	48	3000	3000	No aplica	Cumple
Zinc (mg/l)	0	0	0	2	No aplica	No aplica	Cumple

Elaboración. Autores

Al analizar los resultados de la segunda campaña y compararlos con la normativa Tabla 46 se puede corroborar que todos los parámetros están lejos de sobrepasar los límites máximos permisibles con respecto a cada uno de los criterios de calidad de agua.

Tabla 46. Comparación de los resultados del Muestreo 2 con la normativa

Parámetro	MG01	MG02	MG03	Criterios de calidad			Cumplimiento
				Uso agrícola	Uso pecuario	Uso recreativo	
Cobre (mg/l)	0,03	0	0,04	2	0,5	No aplica	Cumple
Coliformes fecales (NMP/100ml)	0	0	0	No aplica	<1000	200	Cumple
Coliformes Totales (NMP/100ml)	0	4	4	1000	5000 mensual	1000	Cumple
Mercurio (mg/l)	0	0	0	0,001	0,01	No aplica	Cumple
Nitratos (mg/l NO ₃ ⁻)	0,3	0	0,5	No aplica	10	No aplica	Cumple
Oxígeno Disuelto (mg/l O ₂ ²⁻)	8,16	8,74	9,86	No aplica	No aplica	6>	Cumple
pH	6,73	6,87	6,97	6 a 9	6 a 9	6,5 a 8,5	Cumple
Sólidos Disueltos (ppm)	38	56	51	3000	3000	No aplica	Cumple
Zinc (mg/l)	0,15	0,06	0,02	2	No aplica	No aplica	Cumple

Elaboración. Autores

Con respecto al muestreo 3 los resultados obtenidos no sobrepasan los límites permisibles en cada uno de los criterios de calidad de agua, como se puede observar en la Tabla 47:



Tabla 47. Comparación de los resultados del Muestreo 3 con la normativa

Parámetro	MG01	MG02	MG03	Criterios de calidad			Cumplimiento
				Uso agrícola	Uso pecuario	Uso recreativo	
Cobre (mg/l)	0,08	0	0	2	0,5	No aplica	Cumple
Coliformes fecales (NMP/100ml)	0	0	N0	No aplica	<1000	200	Cumple
Coliformes Totales (NMP/100ml)	6	65	17	1000	5000 mensual	1000	Cumple
Mercurio (mg/l)	0	0	0	0,001	0,01	No aplica	Cumple
Nitratos (mg/l NO ₃ ⁻)	0	3,7	0,2	No aplica	10	No aplica	Cumple
Oxígeno Disuelto (mg/l O ₂ ²⁻)	12,7	14,6	14,1	No aplica	No aplica	6>	Cumple
pH	7,4	7,35	7,48	6 a 9	6 a 9	6,5 a 8,5	Cumple
Sólidos Disueltos (ppm)	29	53	50	3000	3000	No aplica	Cumple
Zinc (mg/l)	0,14	0,06	0,04	2	No aplica	No aplica	Cumple

Elaboración. Autores

En la campaña 4 todos los parámetros que están considerados en los diferentes criterios de calidad de agua cumplen con los límites máximos permisibles como se muestra en la Tabla 48.



Tabla 48. Comparación de los resultados del Muestreo 4 con la normativa

Parámetro	MG01	MG2	MG03	Criterios de calidad			Cumplimiento
				Uso agrícola	Uso pecuario	Uso recreativo	
Cobre (mg/l)	0	0,04	0	2	0,5	No aplica	Cumple
Coliformes fecales (NMP/100ml)	0	0	0	No aplica	<1000	200	Cumple
Coliformes Totales (NMP/100ml)	4	150	20	1000	5000 mensual	1000	Cumple
Mercurio (mg/l)	0	0	0	0,001	0,01	No aplica	Cumple
Nitratos (mg/l NO ₃ ⁻)	0,22	0,55	0,4	No aplica	10	No aplica	Cumple
Oxígeno Disuelto (mg/l O ₂ ²⁻)	9,2	10,7	12,23	No aplica	No aplica	6>	Cumple
pH	7,34	6,95	6,62	6 a 9	6 a 9	6,5 a 8,5	Cumple
Sólidos Disueltos (ppm)	33	56	48	3000	3000	No aplica	Cumple
Zinc (mg/l)	0,03	0,11	0,22	2	No aplica	No aplica	Cumple

Elaboración. Autores

Por último, al analizar los resultados del muestreo 5 con los criterios de calidad (Tabla 49), hay cumplimiento de todos los parámetros en cada punto de estudio con respecto a la normativa.



Tabla 49. Comparación de los resultados del Muestreo 5 con la normativa

Parámetro	MG01	MG2	MG03	Criterios de calidad			Cumplimiento
				Uso agrícola	Uso pecuario	Uso recreativo	
Cobre (mg/l)	0,6	0,6	0,6	2	0,5	No aplica	Cumple
Coliformes fecales (NMP/100ml)	0	71	7	No aplica	<1000	200	Cumple
Coliformes Totales (NMP/100ml)	0	460	43	1000	5000 mensual	1000	Cumple
Mercurio (mg/l)	0	0	0	0,001	0,01	No aplica	Cumple
Nitratos (mg/l NO ₃ ⁻)	0,2	0,1	0,1	No aplica	10	No aplica	Cumple
Oxígeno Disuelto (mg/l O ₂ ²⁻)	8,93	10,01	9,44	No aplica	No aplica	6>	Cumple
pH	6,8	6,9	7,05	6 a 9	6 a 9	6,5 a 8,5	Cumple
Sólidos Disueltos (ppm)	35	45	44	3000	3000	No aplica	Cumple
Zinc (mg/l)	0,05	0,02	0,02	2	No aplica	No aplica	Cumple

Elaboración. Autores



6 DISCUSIÓN

Se tuvo respuesta de ocho de veinte expertos en la segunda encuesta, representando un 40 % de la población encuestada; estudios realizados por “RAND Corporation” indica que se debe trabajar con un mínimo de siete colaboradores debido a que a un menor número a este el error disminuye y no más de treinta por lo que la mejora es pequeña (Torres-Vega, 2009).

Los coliformes fecales no se registraron en gran mayoría del estudio, sin embargo, estuvieron presentes únicamente en el quinto muestreo exactamente en los puntos 2 (Caserío Migüir) y 3 (Zona denominada Huasihuaico). La presencia de coliformes se podría deber a casos fortuitos, debido a que cuando se tomó las muestras eran periodo de lluvias y por escorrentía superficial estas pudieron ayudar al arrastre de heces de animales e inclusive de seres humanos. De acuerdo a Sullivan et al. (2007) las franjas de ribera entre 1 a 3 m pueden disminuir las manifestaciones de coliformes fecales que son atraídas por escorrentía hacia el cauce de un río. En cuanto al oxígeno disuelto aumento en el tercer muestreo en los tres puntos de análisis estando entre valores de 12,74 y 14,6 es la estación seca, mientras que en la temporada de lluvias se tiene rangos de 8,93 y 10,1. Estudios realizados por Muñoz et al. (2012) coinciden con este caso y menciona que el valor del oxígeno disuelto puede aumentar en las estaciones secas justo después de las lluvias.

Por otra parte, un parámetro que presentó un comportamiento inusual son los nitratos mismos que en el tercer muestreo concretamente en el punto 2 (Caserío Migüir) sufrieron un aumento abrupto con respecto a los otros resultados. Este cambio podría ser causado por fuentes puntuales de contaminación como es el uso de abonos utilizados en actividades agrícolas cercanas a las riberas del río y a su posterior arrastre (Palomares, 2015). Además, el aumento de nutrientes en el agua acarrea consigo un aumento de DBO5 (Jiménez et al., 2006) como acontece en el mismo punto y muestreo antes mencionado.

Se esperaba una correlación inversa entre el caudal y la calidad del agua sin embargo los resultados reportados por el coeficiente de Pearson muestran que esto solo se cumple en lugares donde existen fuentes de contaminación cercanas que en nuestro caso es el punto 2, este se encuentra junto al caserío Migüir donde la densidad de actividades productivas y de población es mayor. En el punto donde se forma el río y la contaminación es nula el caudal tiene relaciones muy bajas, es decir el aumento o disminución del caudal no influye en un cambio de la calidad del agua. En el tercer punto que está ubicado aguas abajo de la comunidad el valor de correlación se encontraba cercano a 0,5 con signo positivo lo que significa que mientras



aumenta el caudal mejora la calidad del agua, las posibles razones de este fenómeno son que en este punto no existen fuentes de contaminación representativas y el agua tiene suficiente recorrido para cumplir con su autodepuración, existen aportes hídricos de vertientes pequeñas las cuales no están expuestas a contaminación estas al mezclarse con la vertiente principal aportan sus propiedades de buena calidad.

Diversos investigadores alrededor del mundo se han planteado desarrollar índices de calidad de agua que sean propios y adaptables para cada ecosistema en estudio, a continuación, en la Tabla 50 se muestran diferentes trabajos donde se obtiene un ICA:

Tabla 50. ICA desarrollados alrededor del mundo.

País	Parámetros	Metodología y Resultados	Fuente
Colombia (Valle del cauca)	Sólidos suspendidos, DBO ₅ , DQO, Oxígeno disuelto, pH, conductividad, temperatura, dureza, fosforo total, grasas y aceites, acalinidad, sulfatos, nitratos, plomo, mercurio, peces, coliformes totales y fitoplancton.	Se utilizó la metodología Delphi donde se trabajó con un total de 15 expertos para el desarrollo del ICA en el río Magdalena. Para su cálculo se utilizó la media aritmética ponderada, dando como resultado aguas medianamente contaminadas debido al conflicto ganadero presente en la zona de estudio.	(Mancera, 2016)

*Continuación tabla 50. ICA desarrollados alrededor del mundo.*

Colombia (Bogotá)	DBO, DQO, nitrógeno total, fósforo total, la E. coli, conductividad, temperatura, pH, oxígeno disuelto y solidos suspendidos.	Para el cálculo del índice se utilizó la raíz cuadrada del promedio armónico no ponderado, las curvas de calidad fueron diseñadas a partir de normas internacionales y se ajustaron mediante el software Curve Expert v.1.4. Los resultados confirman una calidad de agua baja influenciadas por la presencia de aguas negras.	(Tambo, 2015)
Thailandia	Turbiedad, oxígeno disuelto, pH, nitratos, solidos disueltos, coliformes fecales, hierro, color, DBO, Mn, amoniaco, dureza, fosfatos.	Se trabajó con 24 expertos utilizando la metodología Delphi, para el cálculo del ICA se utilizó la agregación aditiva no ponderada. Los resultados demuestran que el agua del río estudiado es buena.	(Prakirake et al., 2009)

Elaboración. Autores

Por último, el resultado al aplicar el ICA desarrollado dio una calidad del agua entre buena a excelente, mismos que son corroborados en el estudio realizado por Cerón-Vivas et al. (2019), el cual analizó una zona parecida a la de la investigación dando una valoración de excelente, siendo un agua limpia y favorable para sostener la biodiversidad.



7 CONCLUSIONES

El presente estudio evaluó la calidad del agua del río Migüir mediante el desarrollo de un índice, los resultados obtenidos servirán al caserío Migüir para fomentar futuros proyectos hídricos para la gestión del recurso.

Al utilizar la metodología DELPHI para el desarrollo del ICA ayudó a determinar cuáles son los parámetros representativos para la zona de estudio siendo un total de 16: pH, temperatura, oxígeno disuelto, conductividad, sólidos disueltos, turbiedad, nitratos, fosfatos, alcalinidad, sólidos suspendidos, demanda bioquímica de oxígeno, coliformes totales, coliformes fecales, mercurio, zinc y cobre. Además, al aplicar las encuestas se pudo determinar los pesos y los subíndices necesarios para el cálculo del ICA.

La cantidad de agentes contaminantes sube sustancialmente con la época de lluvias y el aumento del caudal especialmente en puntos donde existe mayor intervención humana, no obstante, los valores de la calidad no llegan a niveles críticos por lo que el agua sigue siendo útil para los propósitos en los cuales se ha enfocado el estudio, incluso en condiciones de presencia de abundante lluvia donde se presentaron los valores más bajos de calidad. Cabe recalcar que no hubo presencia de Mercurio y Sólidos Suspendidos en los 3 puntos de muestreo en las diferentes campañas.

La calidad se presentó entre buena y excelente, estos resultados eran esperados especialmente en el punto 1 que está a seis metros de la laguna Luspa, ya que la zona de estudio se encuentra en un lugar cercano a la formación del río además no existen muchas fuentes contaminantes y la polución causada es de fácil remediación siendo depurada por el propio ecosistema sin mayor problema salvo ocasiones puntuales.

Los valores obtenidos al realizar la correlación de Pearson entre el ICA NSF y el ICA desarrollado fueron altos, con esto se demuestra una concordancia directa entre los resultados de calidad obtenidos de los diferentes índices, lo que indica ICA en desarrollo es apto para estimar la calidad de un río de similares características al del estudio.

Luego de cotejar los resultados con la normativa legal vigente se pudo constatar que todos los parámetros analizados están dentro de los límites permisibles e inclusive algunos están muy lejos de sobrepasarlos.



8 RECOMENDACIONES

Para futuras investigaciones se recomienda usar como referencia de validación otro índice diferente al NSF, dado que este cuantifica la calidad del agua de forma general sin enfocarse en los usos para los que el recurso sea dirigido, limitando así la capacidad de evaluación individual de cada fuente hídrica.

Se ha observado que el caudal es un buen predictor de un índice de calidad por lo que se recomienda correlacionar los índices desarrollados con este parámetro, de esta forma se puede obtener un acercamiento a la calidad simplemente con el cálculo de un parámetro.

El agua del estudio actual fue de muy buena calidad es decir muy poco contaminada, para estudios futuros se recomienda usar el ICA desarrollado en aguas con grandes diferencias de concentración contaminante de este modo se puede evaluar la sensibilidad del índice.

Para la selección de parámetros del índice se recomienda obviar y eliminar contaminantes que se haya comprobado previamente que no existan en la zona de estudio, con esto se evitara un gasto de recursos y tiempo excesivo

**BIBLIOGRAFÍA**

- Astigarraga, E. (2003). *El Método Delphi*. San Sebastián, Spain: Universidad de Deusto, 1–14.
- Arbeláez, E., & Vega, A. (2008). *Guía de anfibios, reptiles y peces del Parque Nacional Cajas*. Municipalidad de Cuenca, 164.
- Caho, C., & López, E. (2017). Determinación del Índice de Calidad de Agua para el sector occidental del humedal Torca-Guaymaral empleando las metodologías UWQI y CWQI. *Producción + Limpia*, 12(2), 35-49. <https://doi.org/10.22507/pml.v12n2a3>
- Calvo Brenes, G., & Mora Molina, J. (2009). Evaluación y clasificación preliminar de la calidad del agua de las Cuencas de los ríos Tárcoles y Reventazón.
- Carrillo, M., & Urgilés, P. (2016). Determinación Del Índice De Calidad De Agua Ica-Nsf De Los Ríos Mazar Y Pindilig. 126.
- Cerón-Vivas, A., Gamarra, Y., Villamizar, M., Restrepo, R., & Arenas, R. (2019). Water quality of Mamarramos stream. The sanctuary of fauna and Flora Iguaque, Colombia. *Tecnología y Ciencias Del Agua*, 10(6), 90–116. <https://doi.org/10.24850/j-tyca-2019-06-04>
- Coello, J. R., Ormaza, R. M., & Déley, Á. R. (2013). Aplicación del ICA-NSF para determinar la calidad del agua de los ríos Ozogoché, Pichahuiña y Pomacocho-Parque Nacional Sangay-Ecuador. In *Revista del Instituto de Investigación de la Facultad de Ingeniería Geológica, Minera, Metalúrgica y Geográfica* (Vol. 16, Issue 31). <https://doi.org/10.15381/iigeo.v16i31.11281>
- Constitución de la República del Ecuador, (2008) (testimony of Asamblea Constituyente del Ecuador). www.lexis.com.ec
- Córdova, M., Célleri, R., Shellito, C. J., Orellana-Alvear, J., abril, A., & Carrillo-Rojas, G. (2016). Near-surface air temperature lapse rate over complex terrain in the Southern Ecuadorian Andes: Implications for temperature mapping. *Arctic, Antarctic, and Alpine Research*, 48(4), 673–684. <https://doi.org/10.1657/AAAR0015-077>
- Dalkey, N. C., Brown, B. B., & Cochran, S. W. (1969). *The Delphi Method, III: Use of Self-Ratings To Improve Group Estimates*. RAND Corporation.
- Dominguez, M. (2008). *Química: La ciencia básica*. Paraninfo Cengage Learning.



- Espinoza, F. (2020). Evaluación de la calidad del agua en la quebrada El Salado mediante la aplicación del índice de calidad de agua (NSF) en la parroquia El Valle, cantón Cuenca. Universidad de Cuenca.
- Farias, B., & Guazhambo, S. (2019). Evaluación de la calidad de agua, mediante la aplicación del índice de calidad del agua NSF en la microcuenca del Guarango, parroquia Quingeo – Cuenca – Azuay. En *Artículo Ecuador* (Vol. 1, Número 5).
- Flórez, H., & Paternina, R. (2016, May). Environmental maturity as a strategy for SME competitiveness in the health sector. http://www.scielo.org.co/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0120-55522016000200007
- Galdamez, L. A. (2020). El Medio Ambiente en la jurisprudencia del Tribunal Constitucional de Chile. *Revista de la Facultad de Derecho*, 1, 1–34. <https://doi.org/10.22187/rfd2020n48a7>
- García, M. (2009). Biología y geología Profesores de Secundaria (Número December).
- García, S. (2004). Contaminación ambiental. ARTE Comunicación Visual.
- Jiménez, J., & Colmenares, S. (2009). MEDICIÓN DE PARAMETROS FÍSICO QUÍMICOS Y BIOLÓGICOS DEL AGUA SUBTERRÁNEA EN LA ZONA DE BUCARAMANGA. <https://doi.org/10.1017/CBO9781107415324.004>
- Jiménez, J., Marío, A., Vélez, O., Victoria, M. (2006). ANÁLISIS COMPARATIVO DE INDICADORES DE LA CALIDAD DE AGUA SUPERFICIAL. *Avances En Recursos Hidráulicos*, 53–69. <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=145020399004>
- Landeta, J., Matey, J., Ruíz, V., & Galter, J. (2008). Results of a Delphi survey in drawing up the input-output tables for Catalonia. *Technological Forecasting and Social Change*, 75(1), 32–56. <https://doi.org/10.1016/j.techfore.2007.01.005>
- Laureano, F. P., Condori, E., & Charca, M. (2016). Recarga Artificial de Acuíferos en Alta Montaña. Las Amunas de Santa Eulalia. http://repositorio.ingemmet.gob.pe/bitstream/ingemmet/1605/1/Peña-Recarga_artificial_de_acuiferos...Santa_Eulalia.pdf
- Mancera, P. (2016). OBTENCIÓN DE UN ÍNDICE DE CALIDAD DE AGUA (ICA) PARA LAS CIÉNAGAS QUE FORMAN PARTE DE LA ZONA INUNDABLE DEL RÍO MAGDALENA EN EL DEPARTAMENTO DEL ATLÁNTICO – COLOMBIA, A



TRAVÉS DE LA APLICACIÓN DEL MÉTODO DELPHI. Universidad Internacional de Andalucía.

- Molina, B., & Webster, P. (2012). Aves del Parque Nacional Cajas y sus alrededores. Parque Nacional Cajas, 62.
- Muñoz, H., Orozco, S., Vera, A., Suárez, J., García, E., Neria, M., & Jiménez, J. (2012). Water Quality Assessment of Jose Antonio Alzate Dam, the Lerma River and Its Tributaries in the State of Mexico, Mexico. *Journal of Environmental Protection*, 03(08), 878–888. <https://doi.org/10.4236/jep.2012.328103>
- NTE INEN 2176. (2013). Agua. Calidad del agua. Muestreo. Técnicas de muestreo. 2176, First Edit, 1–15. <https://bit.ly/2C5dMyv>
- Oram, B. (2014). Water Research Center - Water Quality Index Calculator. https://www.water-research.net/index.php/water-treatment/water-monitoring/monitoring-the-quality-of-surfacewaters?fbclid=IwAR3OM5beo33z1jMpHUYgsXzb0-qLsFR0GiZNeAsS4xTfMauL6R_7hZMkUnw
- Organización de las Naciones Unidas para la alimentación y la agricultura (FAO). (2016). Estimaciones del Caudal de Agua. Fao, 11. http://www.fao.org/tempref/FI/CDrom/FAO_Training/FAO_Training/General/x6705s/x6705s03.htm
- Palomares, A. (2015). Contaminación del agua por nitratos y técnicas para su tratamiento | Esfera del Agua. <https://www.esferadelagua.es/agua-y-tecnologia/contaminacion-del-agua-por-nitratos-y-tecnicas-para-su-tratamiento>
- Pérez, E. (2016). Control de calidad en aguas para consumo humano en la región occidental de Costa Rica. *Revista Tecnología en Marcha*, 29(3), 3. <https://doi.org/10.18845/tm.v29i3.2884>
- Perez, G., & Rodríguez, A. (2007). Índice fisicoquímico de la calidad de agua para el manejo de lagunas tropicales de inundación. *Revista de Biología Tropical*, 56(4). <https://doi.org/10.15517/rbt.v56i4.5769>
- Pérez, J. I., Nardini, A. G., & Galindo, A. A. (2018). Análisis Comparativo de Índices de Calidad del Agua Aplicados al Río Ranchería, La Guajira-Colombia Comparative Analysis of Water Quality Indices Applied to the Ranchería River, La Guajira-Colombia. *Información Tecnológica*, 29(3), 47–58. <https://doi.org/10.4067/S0718-07642018000300047>



- Prakirake, C., Chaiprasert, P., & Tripetchkul, S. (2009). Development of specific water quality index for water supply in Thailand. 15.
- Rodríguez, J. (2009). Parámetros fisicoquímicos de dureza total en calcio y magnesio, pH, conductividad y temperatura del agua potable analizados en conjunto con las Asociaciones Administradoras del Acueducto, (ASADAS), de cada distrito de Grecia, cantón de Alajuela, noviembre del 2008. 9(12), 10.
- Sanchez, F., & Carbone, M. (2012). MAMÍFEROS DEL PARQUE NACIONAL CAJAS. Gráficas Hernández Cuenca.
- Schteingart, M. (2004). La construcción social y política del medio ambiente. En ESTUDIOS DEMOGRÁFICOS Y URBANOS (Vol. 2, Número 59, pp. 395–401).
- Sierra, C. A. (2011). CALIDAD DEL AGUA EVALUACIÓN Y DIAGNOSTICO. En Leonardo David López Escobar (Ed.), Journal of Chemical Information and Modeling (Vol. 1). <https://doi.org/10.1017/CBO9781107415324.004>
- Sullivan, T. J., Moore, J. A., Thomas, D. R., Mallery, E., Snyder, K. U., Wustenberg, M., Wustenberg, J., Mackey, S. D., & Moore, D. L. (2007). Efficacy of vegetated buffers in preventing transport of fecal coliform bacteria from pasturelands. Environmental Management, 40(6), 958–965. <https://doi.org/10.1007/s00267-007-9012-3>
- Tambo, C. (2015). PROPUESTA DE UN ÍNDICE DE CALIDAD DEL AGUA COMO HERRAMIENTA DE GESTIÓN PARA LOS HUMEDALES CAPITALINOS. 83.
- Torres, F. (2009). Desarrollo y Aplicación de un Índice de Calidad de Agua para ríos en Puerto Rico [Tesis de grado]. Universidad de Puerto Rico.
- Torres, P., Cruz, C. H., & Patiño, P. J. (2008). Índices de calidad de agua en fuentes superficiales utilizadas en la producción de agua para consumo humano. Una revisión crítica. Revista Ingenierías de la Universidad de Medellín, 2018-Janua(13), 386–423. <https://doi.org/10.1039/9781788012669-00386>
- Torres-Vega, F. J. (2009). Desarrollo y aplicación de un índice de calidad de agua para ríos en Puerto Rico [Universidad de Mayagüez]. <https://scholar.uprm.edu/handle/20.500.11801/1753>
- Ulloa, C., Álvarez, S., Jorgensen, P., & Minga, D. (2012). Descripción de 100 plantas silvestres del páramo del Parque Nacional Cajas.



ANEXOS

Anexo 1. Encuesta 1

UNIVERSIDAD DE CUENCA FACULTAD DE CIENCIAS QUÍMICAS INGENIERÍA AMBIENTAL				
				
TRABAJO DE TITULACIÓN DE DAVID PACHECO Y DANIEL QUIROZ				
Tema: Evaluación de la condición del río Migüir mediante el desarrollo de un índice de calidad de agua				
La presente encuesta tiene como finalidad obtener parámetros para la estimación de la calidad del agua del río Migüir (zona de paramo). Tomando en cuenta que en la zona de estudio se realizan actividades ganaderas y productivas (piscicultura); a continuación, se mostrarán diferentes parámetros donde Usted tendrá que escoger los más relevantes para el desarrollo de un índice de calidad. Dar un valor entre 1 (importancia relativamente baja) a 5 (importancia relativamente alta) a los parámetros que Usted considere se deban incluir según su experticia.				
Parámetro	No Incluido	Incluido	Indeciso	Valor (1 - 5)
Coliformes Totales				
Turbiedad				
pH				
Oxígeno Disuelto				
Nitratos				
Demanda Bioquímica de Oxígeno				
Mercurio				
Nitrógeno Orgánico				
Fosforo				
Solidos Suspendidos				
Carbón Orgánico Total				
Plomo				



Alcalinidad				
Amoniaco				
Conductividad				
Temperatura				
Magnesio				
Fosfatos				
Pesticidas				
Herbicidas				
Manganeso				
Solidos Disueltos				
Arsénico				
Cadmio				
Zinc				
Cianuro				
Cobre				
Cloro				
Cromo Total				
Radioactividad				
Aluminio				
Carbonatos				
Silicatos				
Selenio				
Bario				
Boro				
Sodio				
Potasio				
Bicarbonatos				
Fosforo Total				
Coliformes Fecales				

Elaboración. Autores

Anexo 2. Encuesta 2

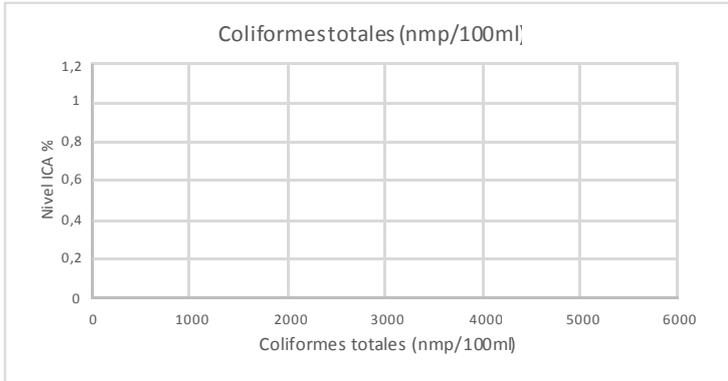
Indicaciones generales: A continuación se presentan diferentes parámetros en los cuales el evaluador tendrá que ir calificando cada valor en las celdas vacías el nivel de calidad de agua(0-100%) según la clasificación dada en el % ICA; además, por cada parámetro se presenta referencias del Anexo 1 del libro 6 TULSMA donde se da a conocer ciertos límites máximos permisibles de acuerdo al uso de agua, con el fin de servir de referencia al momento de evaluar.

COLIFORMESTOTALES

Coliformes totales (nmp/100ml)	Nivel calidad del agua (0-100%)
0	
10	
50	
100	
500	
1000	
2000	
5000	

Según el Anexo 1 del libro 6 del TULSMA de criterios de uso de agua tenemos:
 - para uso pecuario es de 5000 (nmp/100ml) (Tabla 8)
 Según esta referencia y tomando en cuenta la valoración del %ICA evalúe el nivel de calidad del agua de acuerdo a la concentración del contaminante.

Clasificación	% ICA
Excelente	91 - 100
Buena	71 - 90
Aceptable	41 - 70
Mala	21 - 40
Muy mala	0 - 20



Coliformes totales (nmp/100ml)

El gráfico muestra un eje vertical etiquetado como 'Nivel ICA %' con valores de 0, 0,2, 0,4, 0,6, 0,8, 1, y 1,2. El eje horizontal está etiquetado como 'Coliformes totales (nmp/100ml)' con valores de 0, 1000, 2000, 3000, 4000, 5000, y 6000. La cuadrícula del gráfico está vacía.

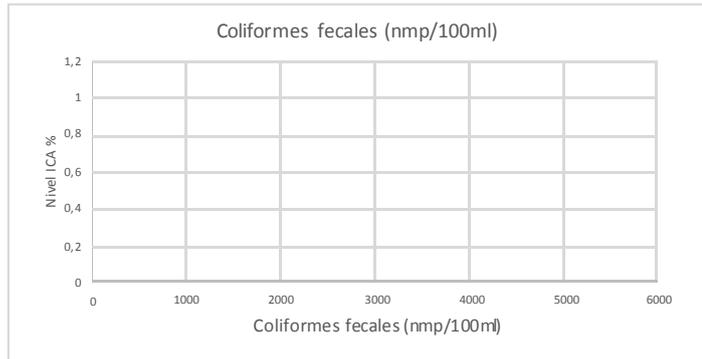


COLIFORMES FECALES

Coliformes fecales (nmp/100ml)	Nivel calidad del agua (0-100%)
0	
10	
50	
100	
500	
1000	
2000	
5000	

Clasificación	% ICA
Excelente	91 - 100
Buena	71 - 90
Aceptable	41 - 70
Mala	21 - 40
Muy mala	0 - 20

Según el Anexo 1 del libro 6 del TULSMA de criterios de uso de agua tenemos:
 - para uso agrícola los límites máximos permisibles para coliformes fecales (nmp/100ml) es de 1000 (Tabla 6)
 - para uso pecuario es de 5000 (nmp/100ml) (Tabla 8) y
 - para uso recreativo 200 (nmp/100ml) (Tabla 9).
 Según esta referencia y tomando en cuenta la valoración del %ICA evalúe el nivel de calidad del agua de acuerdo a la concentración del contaminante.

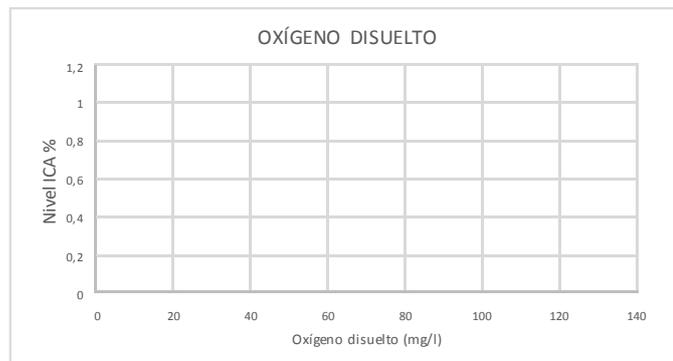


OXÍGENO DISUELTO

Oxígeno Disuelto (mg/l)	Nivel calidad del agua (0-100%)
0	
20	
40	
60	
80	
100	
120	

Clasificación	% ICA
Excelente	91 - 100
Buena	71 - 90
Aceptable	41 - 70
Mala	21 - 40
Muy mala	0 - 20

Según el Anexo 1 del libro 6 del TULSMA de criterios de uso de agua tenemos:
 - para uso recreativo los límites máximos permisibles para oxígeno disuelto no debe ser menor a 6mg/l (Tabla 9) y
 - para uso pecuario el valor mínimo es 3mg/l .
 Según a esta referencia y tomando en cuenta la valoración del %ICA evalúe el nivel de calidad del agua de acuerdo a la concentración del contaminante.

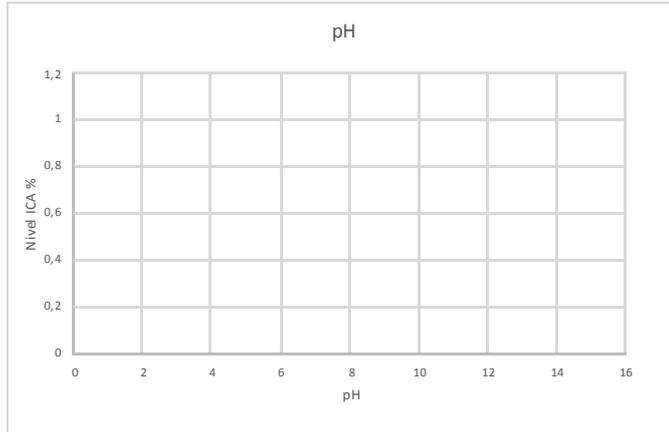


pH

pH	Nivel calidad del agua (0-100%)
1	
2	
3	
4	
5	
6	
7	
8	
9	
10	
11	
12	
13	
14	

Clasificación	% ICA
Excelente	91 - 100
Buena	71 - 90
Aceptable	41 - 70
Mala	21 - 40
Muy mala	0 - 20

Según el Anexo 1 del libro 6 del TULSMA de criterios de uso de agua tenemos:
 -para uso agrícola los límites máximos permisibles de pH en agua de uso agrícola y pecuario es de 6-9 (Tablas 6 y 8) y
 -para uso recreativo el rango de valores esta entre 6,5 - 8,5(Tabla 9) .
 Según a esta referencia y tomando en cuenta la valoración del %ICA evalúe el nivel de calidad del agua de acuerdo a la concentración del contaminante.

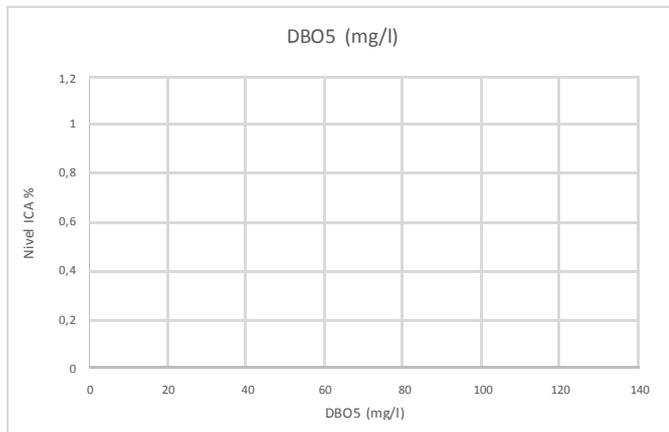


DBO5

DBO5 (mg/l)	Nivel calidad del agua (0-100%)
0	
20	
40	
60	
80	
100	
120	

Clasificación	% ICA
Excelente	91 - 100
Buena	71 - 90
Aceptable	41 - 70
Mala	21 - 40
Muy mala	0 - 20

En Anexo 1 del libro 6 del TULSMA no existe valores de DBO 5 para los usos objetivos de esta investigación que son: Agrícola, Pecuário y Recreativo. Por lo que se tomara como referencia las Tablas 1 y 2 las cuales indican que los valores máximos para agua de uso doméstico es de 2mg/l .
 Según a esta referencia y tomando en cuenta la valoración del %ICA evalúe el nivel de calidad del agua de acuerdo a la concentración del contaminante.

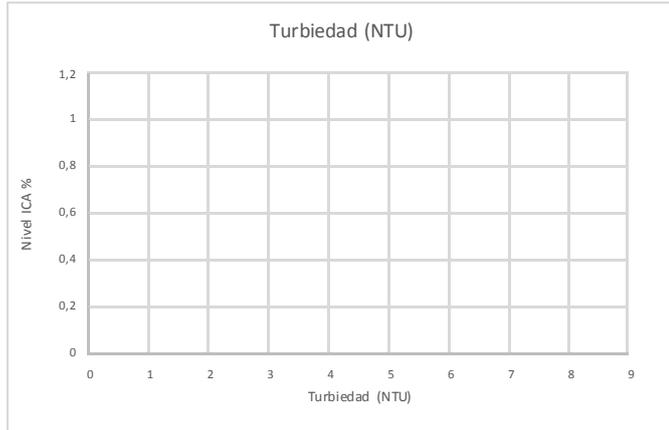


Turbiedad

Turbiedad (NTU)	Nivel calidad del agua (0-100%)
0	
1-3	
3-5	
5-10	
10-20	
20-50	
50-100	
>100	

En Anexo 1 del libro 6 del TULSMA no existe valores de turbidez para los usos objetivos de esta investigación que son: Agrícola, Pecuario y Recreativo. Por lo que se tomara como referencia la Tablas 1 y 2 las cuales indican que los valores máximos para agua de uso domestico es de 100 UNT en caso de que el agua vaya a tener un tratamiento convencional y de 10 UNT en aguas que solo se vayan a desinfectar para su posterior consumo o uso domestico . Segun a esta referencia y tomando en cuenta la valoración del %ICA evalúe el nivel de calidad del agua de acuerdo a la concentración del contaminante.

Clasificación	% ICA
Excelente	91 - 100
Buena	71 - 90
Aceptable	41 - 70
Mala	21 - 40
Muy mala	0 - 20

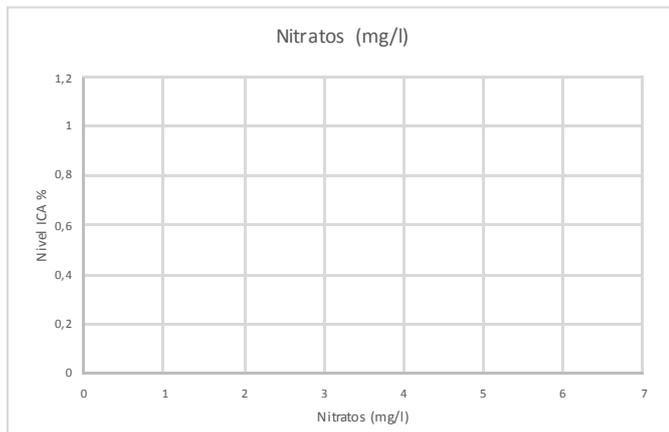


Nitratos

Nitratos (mg/l)	Nivel calidad del agua (0-100%)
0-5	
5-10	
10-20	
20-30	
30-40	
40-50	

Las tablas 1 y 2 del Anexo 1 del libro 6 del TULSMA indica los siguientes valores máximos permisibles para nitratos:
 -10 mg/l para uso domestico en aguas que requieran desinfección.
 -10mg/l para uso doméstico de aguas que no requieran desinfección.
 Según a esta referencia y tomando en cuenta la valoración del %ICA evalúe el nivel de calidad del agua de acuerdo a la concentración del contaminante

Clasificación	% ICA
Excelente	91 - 100
Buena	71 - 90
Aceptable	41 - 70
Mala	21 - 40
Muy mala	0 - 20

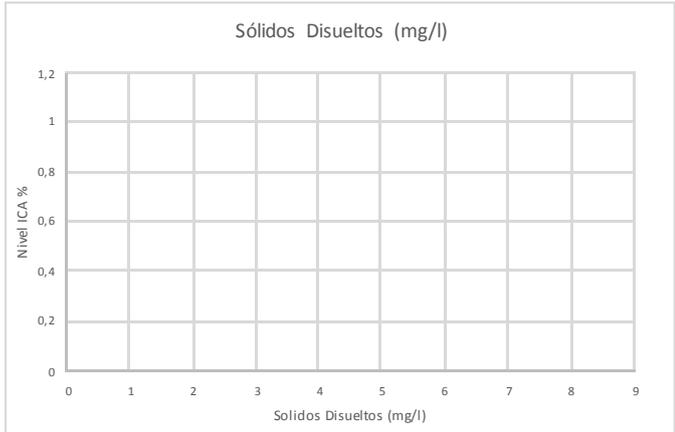


Sólidos Disueltos

Sólidos disueltos (mg/l)	Nivel calidad del agua (0-100%)
0	
100	
200	
400	
600	
1000	
3000	
5000	

En el Anexo 1 del libro 6 del TULSMA se indica que los valores máximos permisibles para uso agrícola y pecuario es de 3000 mg/l (Tabla 6 y 8).
Segun a esta referencia y tomando en cuenta la valoracion del %ICA evalúe el nivel de calidad del agua de acuerdo a la concentración del contaminante.

Clasificación	% ICA
Excelente	91 - 100
Buena	71 - 90
Aceptable	41 - 70
Mala	21 - 40
Muy mala	0 - 20

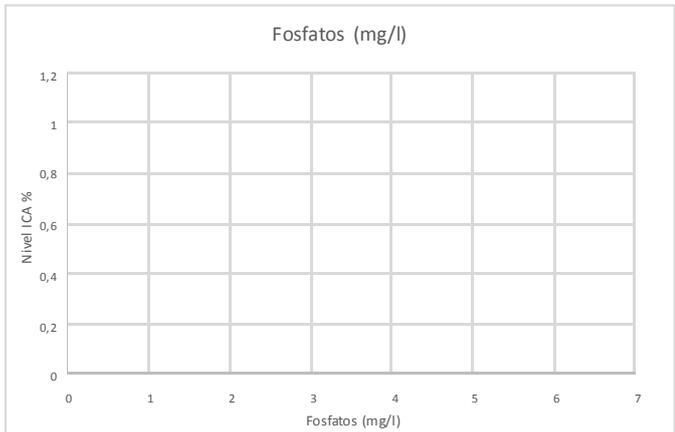


Fosfatos

Fosfatos (mg/l)	Nivel calidad del agua (0-100%)
0-5	
5-10	
10-20	
20-30	
30-50	
>50	

Se tomara como referencia 30,6 mg/l de fosfatos de límite máximo permisible. Según a esta referencia y tomando en cuenta la valoracion del %ICA evalúe el nivel de calidad del agua de acuerdo a la concentración del contaminante.

Clasificación	% ICA
Excelente	91 - 100
Buena	71 - 90
Aceptable	41 - 70
Mala	21 - 40
Muy mala	0 - 20

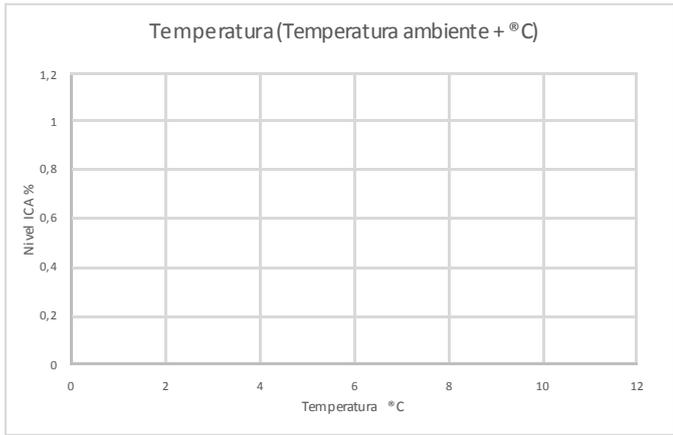


Temperatura

Temperatura (Temperatura ambiente + °C)	Nivel calidad del agua (0-100%)
T°-5°C	
T°-4°C	
T°-3°C	
T°-2°C	
T°-1°C	
T°-0°C	
T°+1°C	
T°+2°C	
T°+3°C	
T°+4°C	
T°+5°C	

Clasificación	% ICA
Excelente	91 - 100
Buena	71 - 90
Aceptable	41 - 70
Mala	21 - 40
Muy mala	0 - 20

En Anexo 1 del libro 6 del TULSMA no existe valores de temperatura para los usos objetivos de esta investigación que son: Agrícola, Pecuario y Recreativo. Por lo que se tomara como referencia el valor de la Tabla 3 la cual señala el valor máximo para la preservación de la flora y fauna en agua el valor señalado es de la temperatura ambiente + 3°C. Según a esta referencia y tomando en cuenta la valoración del %ICA evalúe el nivel de calidad del agua de acuerdo a la concentración del contaminante.



Sólidos Suspendedos

Sólidos suspendidos (mg/l)	Nivel calidad del agua (0-100%)
10	
40	
60	
80	
100	
120	
140	
160	

Clasificación	% ICA
Excelente	91 - 100
Buena	71 - 90
Aceptable	41 - 70
Mala	21 - 40
Muy mala	0 - 20

En Anexo 1 del libro 6 del TULSMA no existe valores de sólidos suspendidos para los usos objetivos de esta investigación que son: Agrícola, Pecuario y Recreativo. Por lo que se tomara como referencia la Tabla 12 de descarga agua dulce cuyo valor máximo permisible es 100mg/l. Según a esta referencia y tomando en cuenta la valoración del %ICA evalúe el nivel de calidad del agua de acuerdo a la concentración del contaminante.

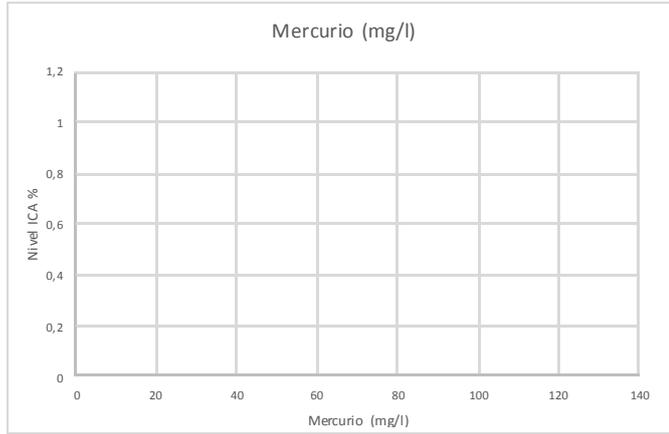


Mercurio

Mercurio (mg/l)	Nivel calidad del agua (0-100%)
0	
20	
40	
60	
80	
100	
120	

Según el Anexo 1 del libro 6 del TULSMA de criterios de uso de agua tenemos:
 - para uso agrícola los límites máximos permisibles para mercurio es de 0,001 mg/l (Tabla 6)
 - para uso pecuario es de 0,01 mg/l (Tabla 8).
 Según esta referencia y tomando en cuenta la valoración del %ICA evalúe el nivel de calidad del agua de acuerdo a la concentración del contaminante.

Clasificación	% ICA
Excelente	91 - 100
Buena	71 - 90
Aceptable	41 - 70
Mala	21 - 40
Muy mala	0 - 20

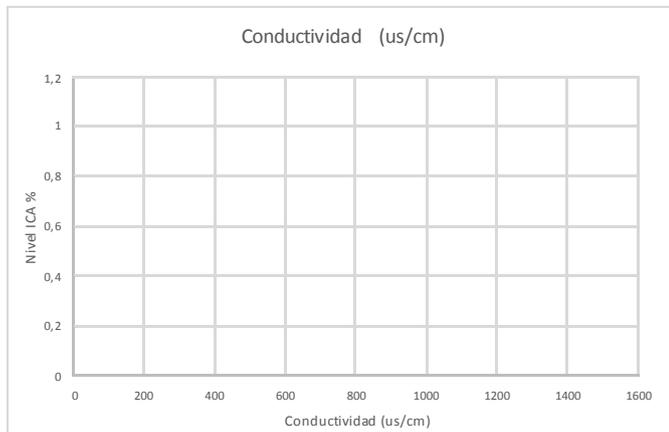


Conductividad

Conductividad (us/cm)	Nivel calidad del agua (0-100%)
0	
100	
300	
500	
700	
1000	
1200	
1400	

En Anexo 1 del libro 6 del TULSMA no existe valores de sólidos suspendidos para los usos objetivos de esta investigación que son: Agrícola, Pecuario y Recreativo. Por lo que se tomara como referencia 1000 us/cm para agua de riego.
 Según a esta referencia y tomando en cuenta la valoración del %ICA evalúe el nivel de calidad del agua de acuerdo a la concentración del contaminante.

Clasificación	% ICA
Excelente	91 - 100
Buena	71 - 90
Aceptable	41 - 70
Mala	21 - 40
Muy mala	0 - 20

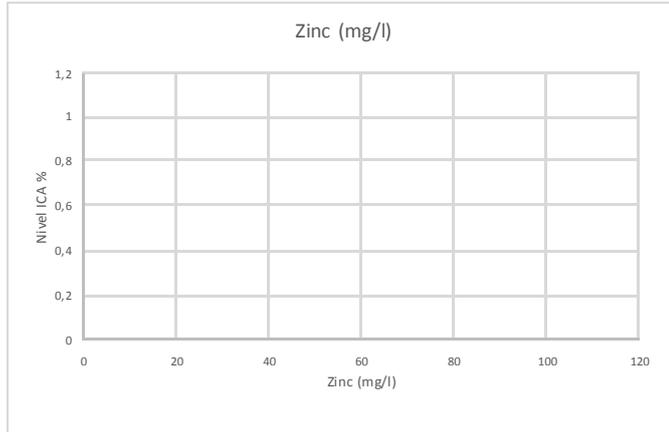


Zinc

Zinc (mg/l)	Nivel calidad del agua (0-100%)
0	
10	
20	
40	
60	
80	
100	

Según el Anexo 1 del libro 6 del TULSMA de criterios de uso de agua tenemos:
 - para uso agrícola los límites máximos permisibles para Zinc es de 2mg/l (Tabla 6)
 Según esta referencia y tomando en cuenta la valoración del %ICA evalúe el nivel de calidad del agua de acuerdo a la concentración del contaminante.

Clasificación	% ICA
Excelente	91 - 100
Buena	71 - 90
Aceptable	41 - 70
Mala	21 - 40
Muy mala	0 - 20

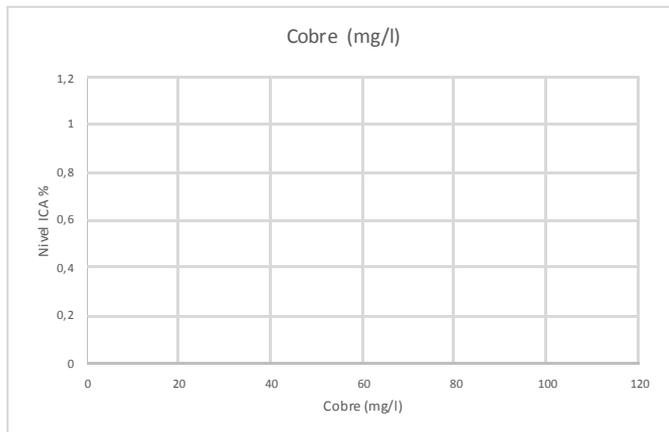


Cobre

Cobre (mg/l)	Nivel calidad del agua (0-100%)
0	
10	
20	
40	
60	
80	
100	

Según el Anexo 1 del libro 6 del TULSMA de criterios de uso de agua tenemos:
 - para uso recreativo los límites máximos permisibles para cobre no debe ser menor a 2mg/l (Tabla 9)y
 - para uso pecuario el valor mínimo es 0,5 mg/l (Tabla 8) .
 Según a esta referencia y tomando en cuenta la valoración del %ICA evalúe el nivel de calidad del agua de acuerdo a la concentración del contaminante.

Clasificación	% ICA
Excelente	91 - 100
Buena	71 - 90
Aceptable	41 - 70
Mala	21 - 40
Muy mala	0 - 20



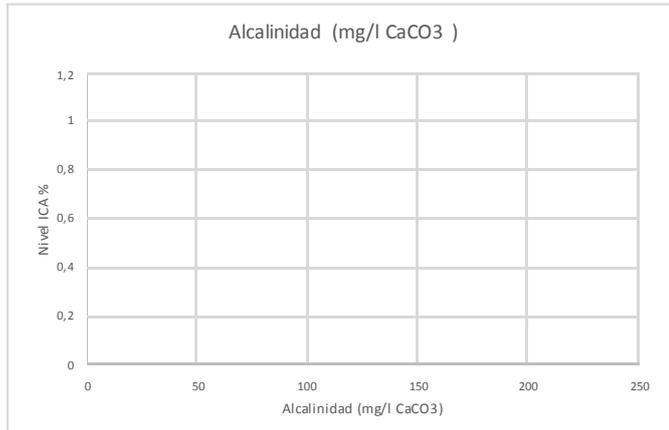


Alcalinidad

Alcalinidad (mg/l CaCO3)	Nivel calidad del agua (0-100%)
0	
25	
50	
75	
100	
125	
150	
175	
200	

Clasificación	% ICA
Excelente	91 - 100
Buena	71 - 90
Aceptable	41 - 70
Mala	21 - 40
Muy mala	0 - 20

En Anexo 1 del libro 6 del TULSMA no existe valores de solidos suspendidos para los usos objetivos de esta investigacion que son: Agrícola, Pecuario y Recreativo; por lo que se tomara como referencia límites permisibles de 50 a 100 mg/l CaCO3 en aguas de uso doméstico. Según a esta referencia y tomando en cuenta la valoración del %ICA evalúe el nivel de calidad del agua de acuerdo a la concentración del contaminante.



Anexo 3. Evidencia de muestreos



Materiales usados para realizar los muestreos.



Toma de muestras en el Punto 3 (Muestreo 2)



Medición del caudal en el punto 2 (Muestreo 3)



Punto 1 a 6 metros de la laguna Luspa (Muestreo 4)



. Temperatura Ambiente punto 1 (Muestreo 5)

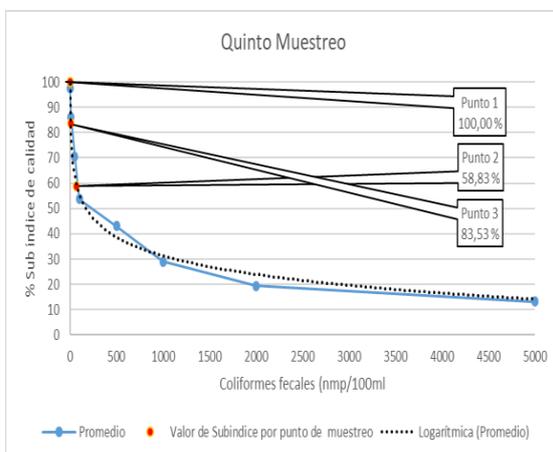
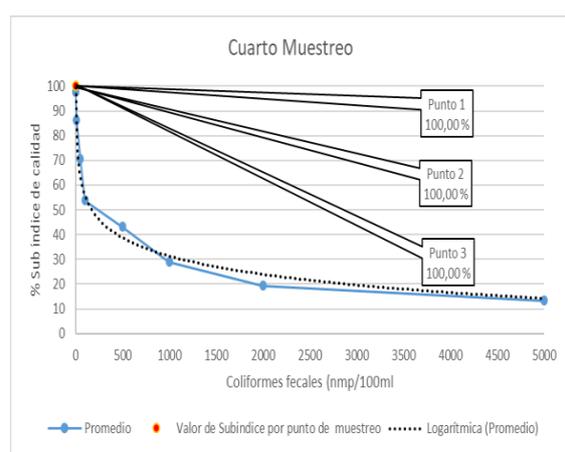
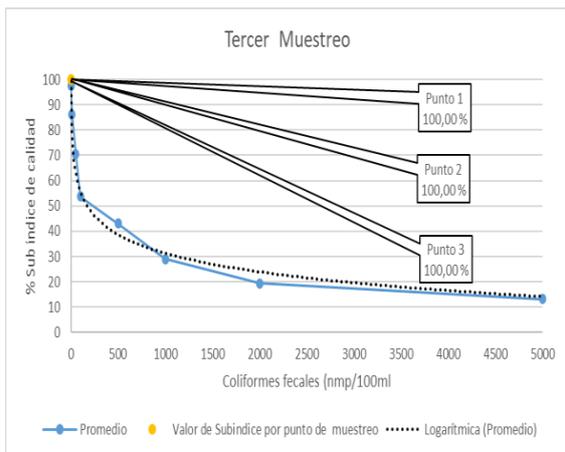
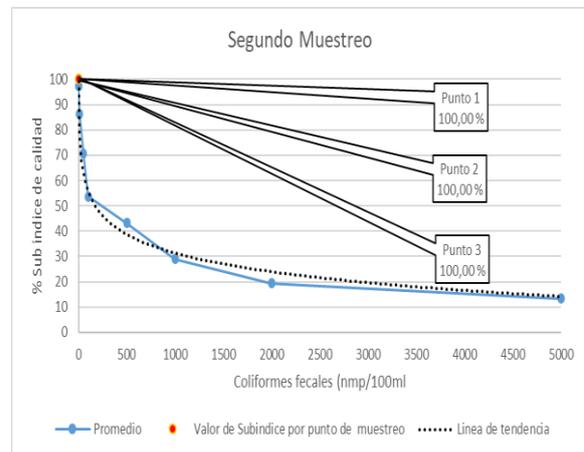
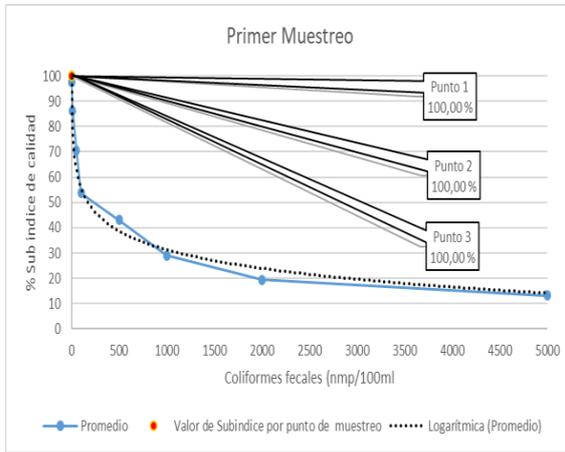


Anexo 4. Ecuaciones y coeficientes de determinación de cada subíndice de calidad.

Subíndice (Parámetro)	Ecuación	Coefficiente de determinación (R²)
Coliformes Fecales	$y = -10.66 \ln(x) + 104.97$	0.967
Oxígeno Disuelto	$y = -0.9068x^2 + 0.2087x + 7.0262$	0.984
pH	$y = 0.07459x^4 - 2.2694x^3 + 20.483x^2 - 52.6655x + 40.854$	0.9417
DBO ₅	$y = 0.0034x^2 - 1.1252x + 93.973$	0.9805
Turbiedad	$y = -1.2604x^2 - 1.4568x + 102.45$	0.9942
Nitratos	$y = 18.221x + 116.98$	0.9942
Sólidos disueltos	$y = 2E - 12x^4 - 2E - 08x^3 - 7E - 05x^2 + 0.1191 + 96.71$	0.9978
Fosfatos	$y = 16.475x + 110.06$	0.9959
Temperatura	$y = 0.0073x^5 + 0.0689x^4 - 0.271x^3 - 4.0717x^2 + 3.0395x + 94.567$	0.9959
Sólidos Suspendidos	$y = -0.5144x + 105.57$	0.9906
Mercurio	$y = 0.0081x^2 - 1.7502x + 97.167$	0.9927
Conductividad	$y = 6.638 \ln(x) + 33.131$	0.8518
Alcalinidad	$y = 7E - 09x^5 - 3E - 06x^4 + 0.0005x^3 - 0.0228x^2 + 0.5445x + 1.8767$	0.9969
Zinc	$y = -0.0002x^3 + 0.0491x^2 - 3.5445x + 96.636$	0.9887
Cobre	$y = 6E - 06x^4 - 0.0016x^3 + 0.1515x^2 - 6.1022x + 99.121$	0.993

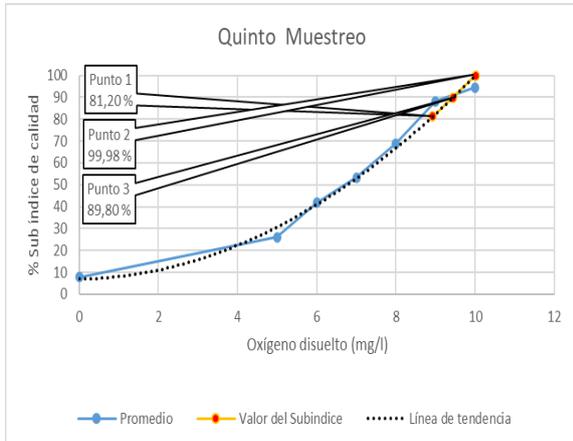
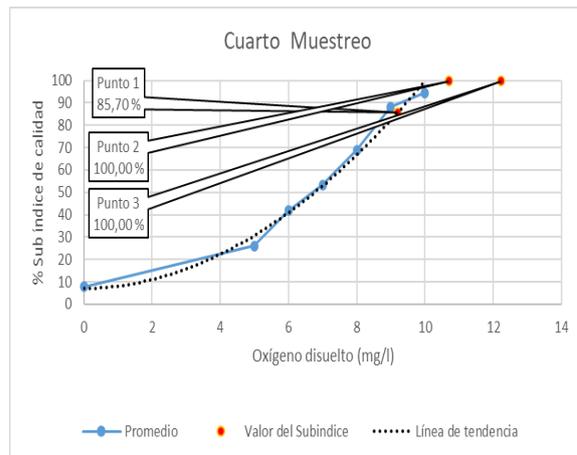
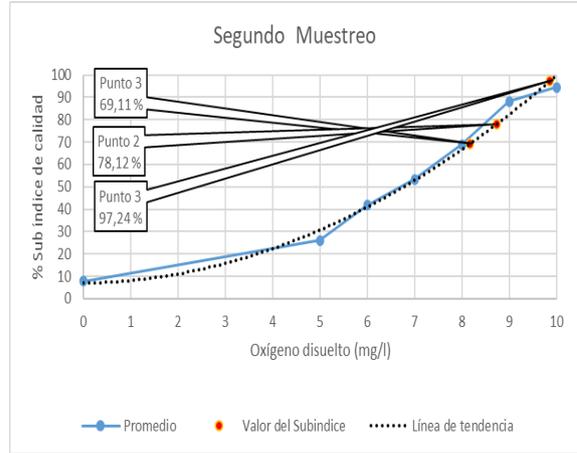
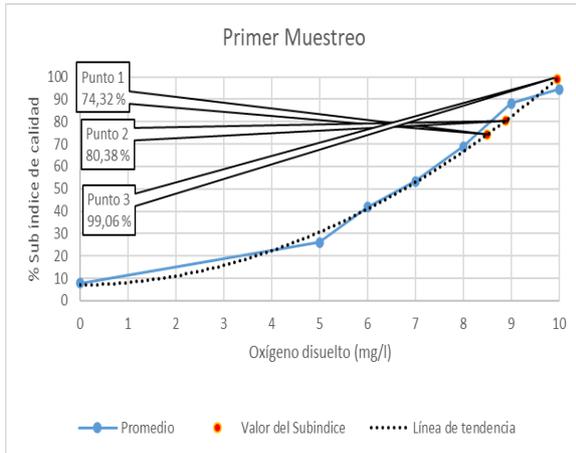
Anexo 5. Curvas estadísticas para el cálculo de subíndice por cada parámetro

Sub índices de calidad obtenido en cada punto de acuerdo a la concentración de Coliformes fecales

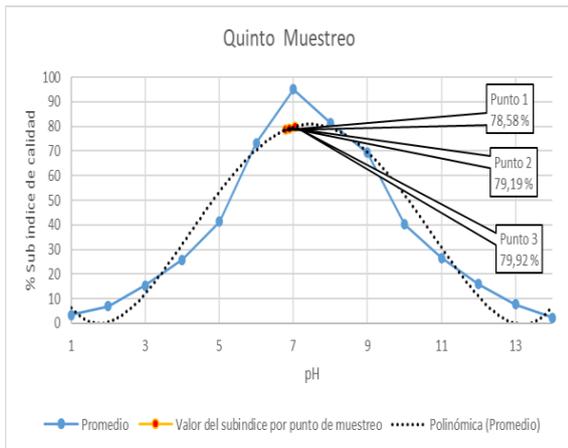
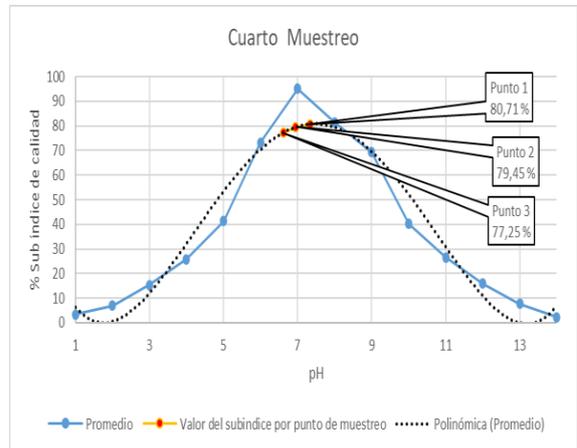
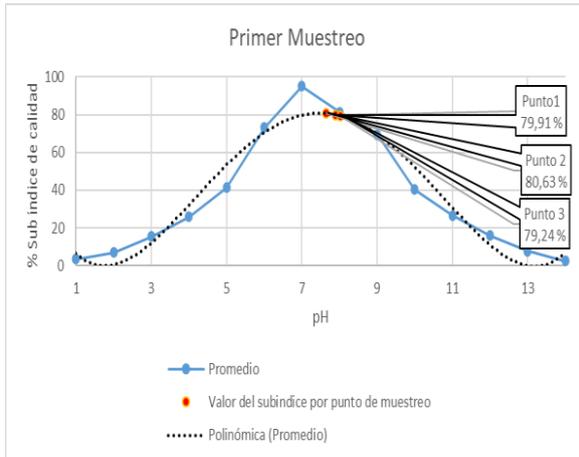




Sub índices de calidad obtenido en cada punto de acuerdo a la concentración de Oxígeno disuelto

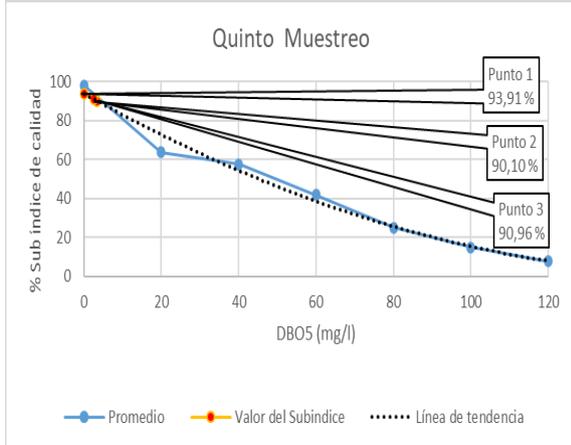
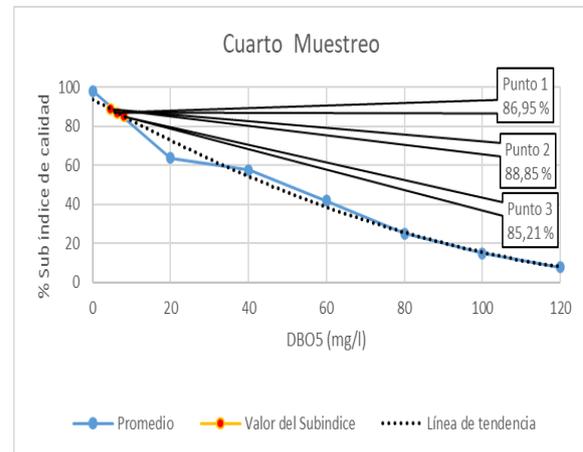
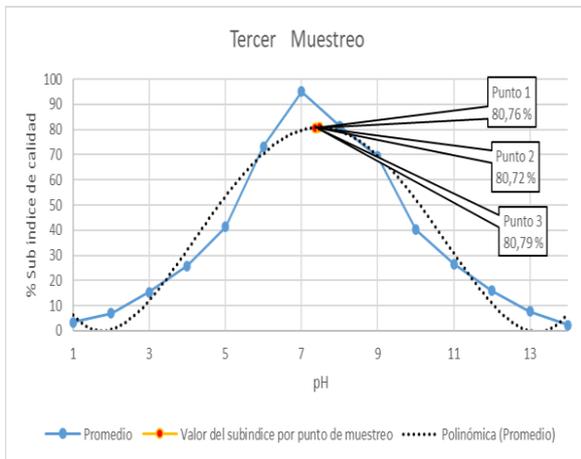
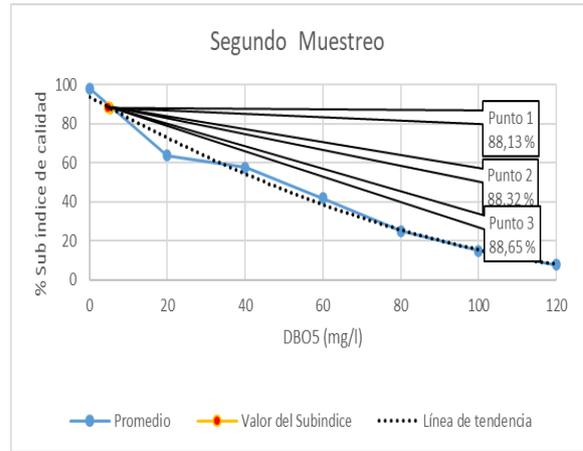
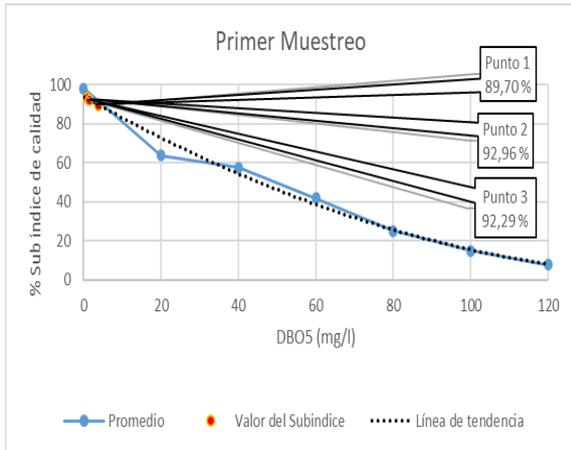


Sub índices de calidad obtenido en cada punto de acuerdo a la variación de pH

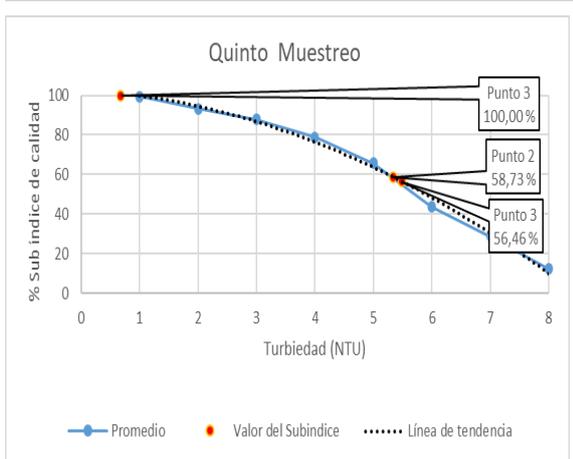
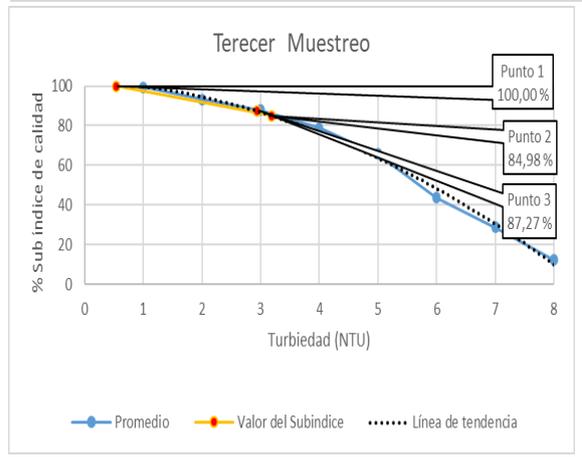
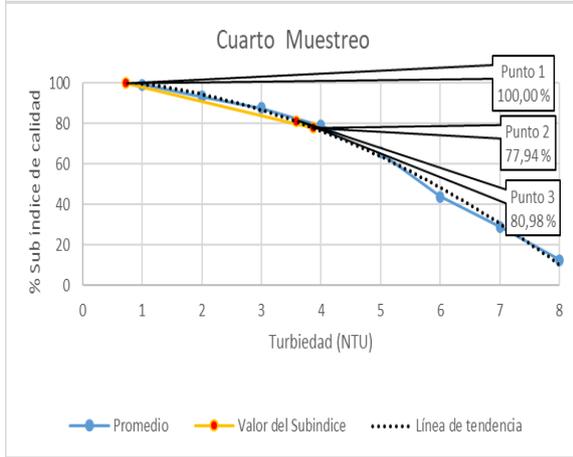
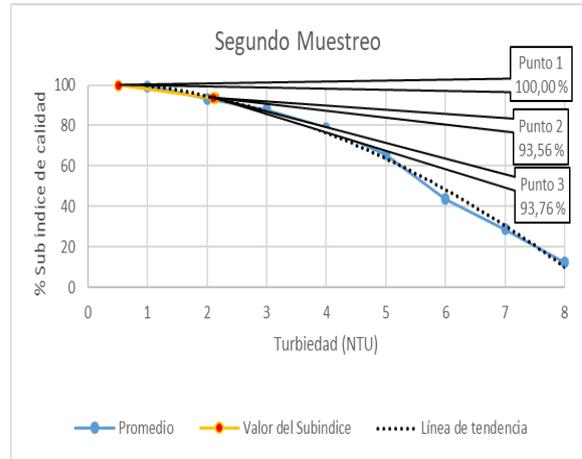
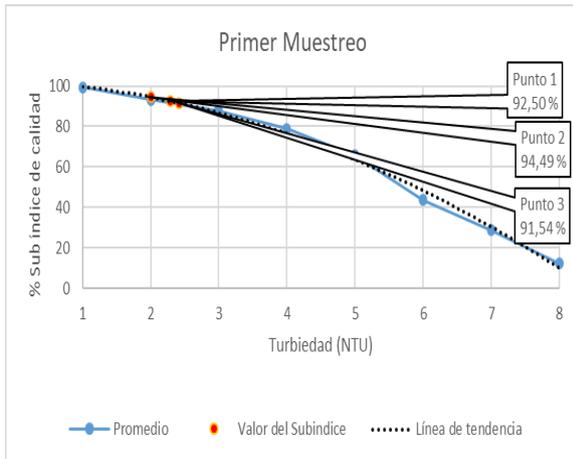




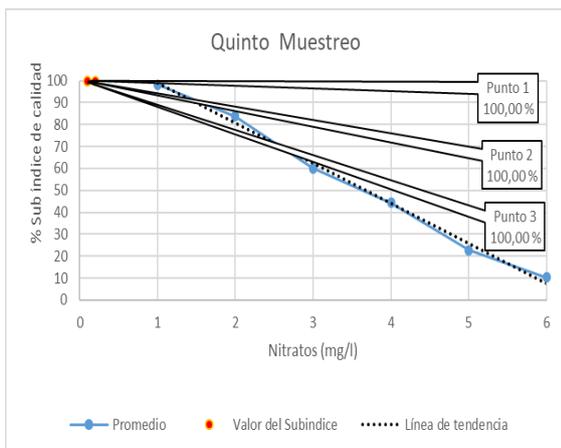
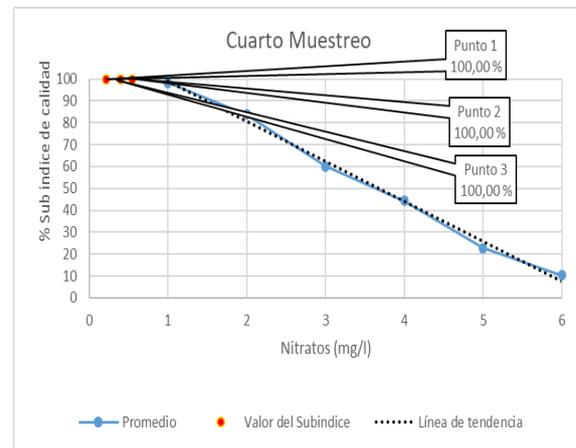
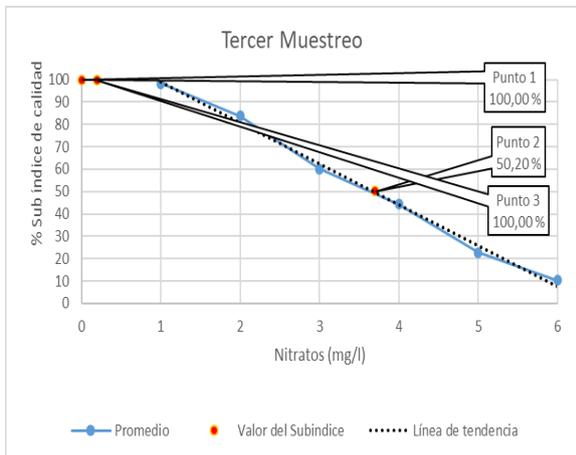
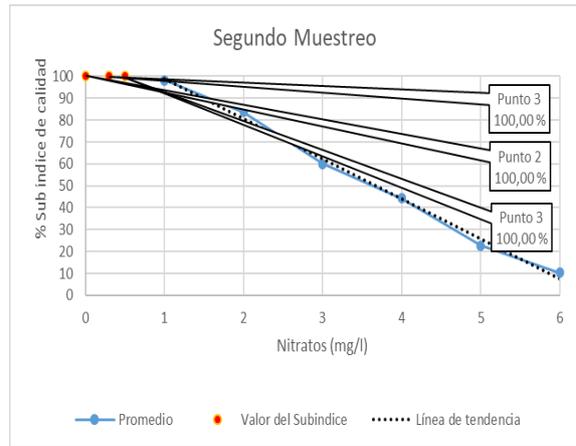
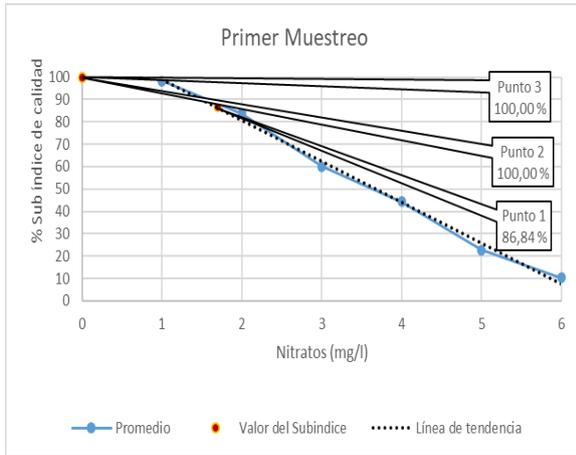
Sub índices de calidad obtenido en cada punto de acuerdo a los valores de DBO₅



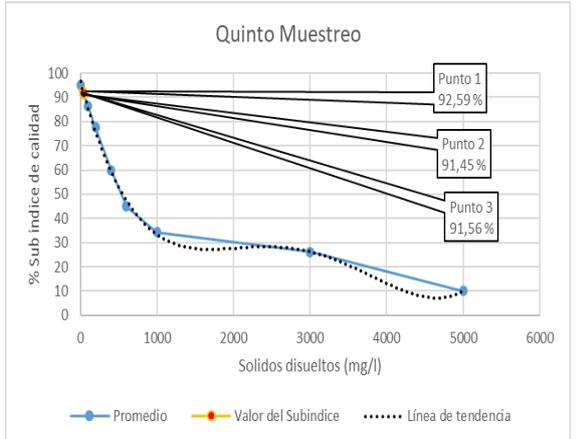
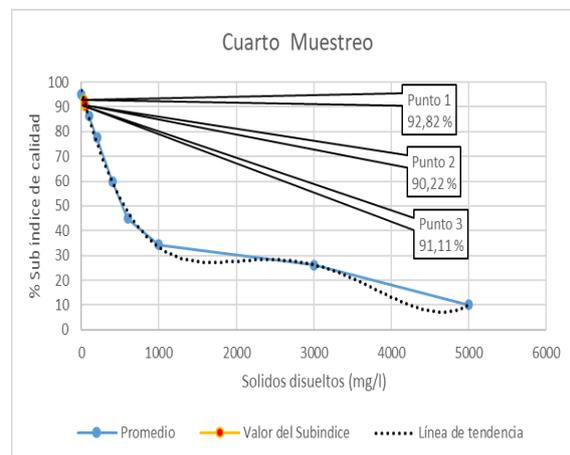
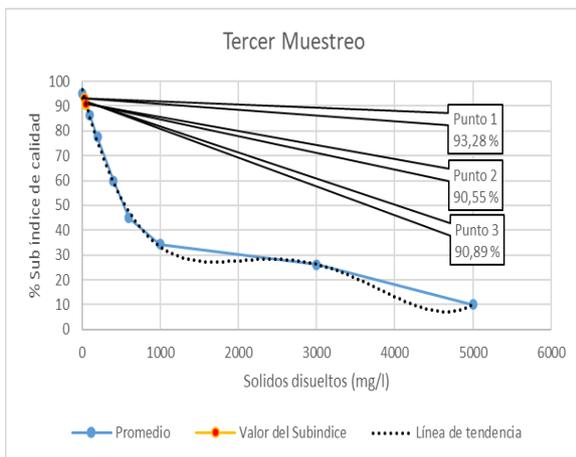
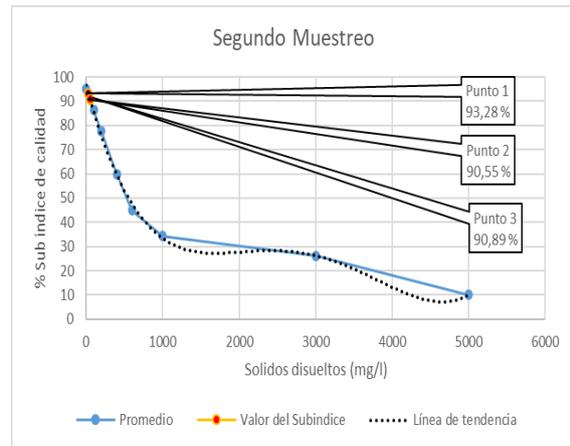
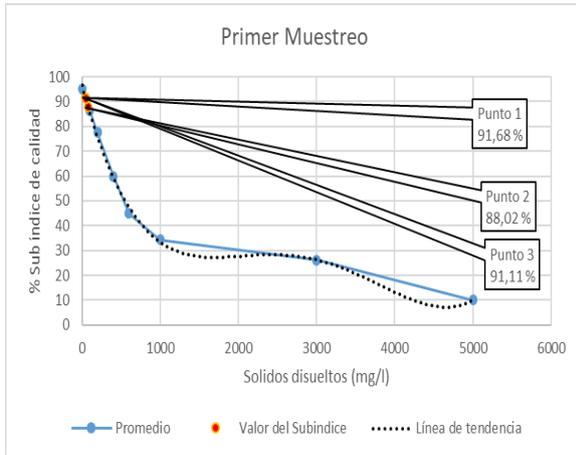
Sub índices de calidad obtenido en cada punto de acuerdo a los valores de Turbiedad



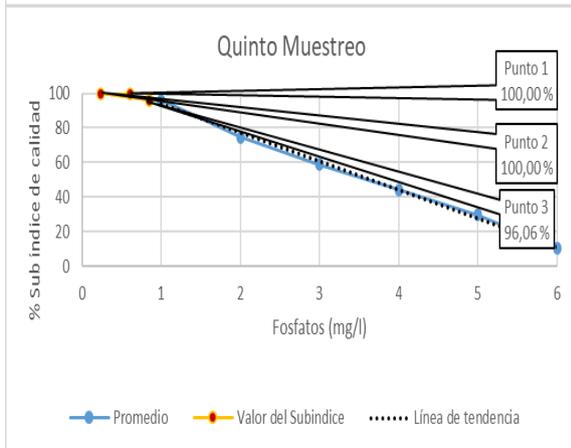
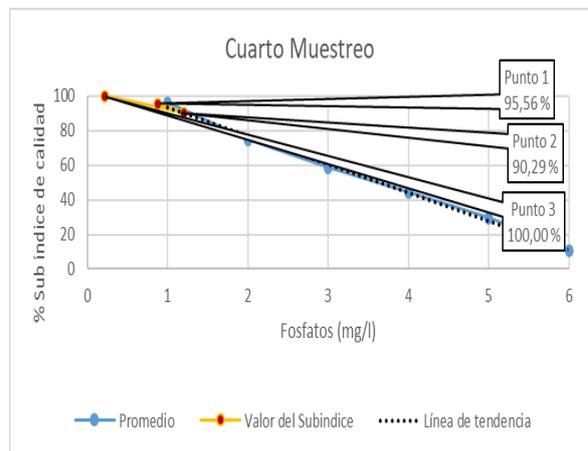
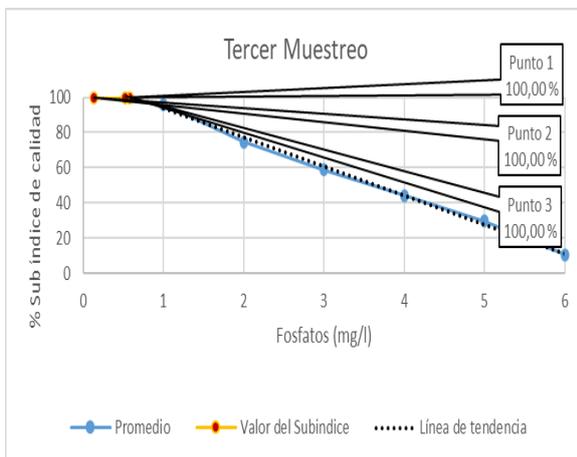
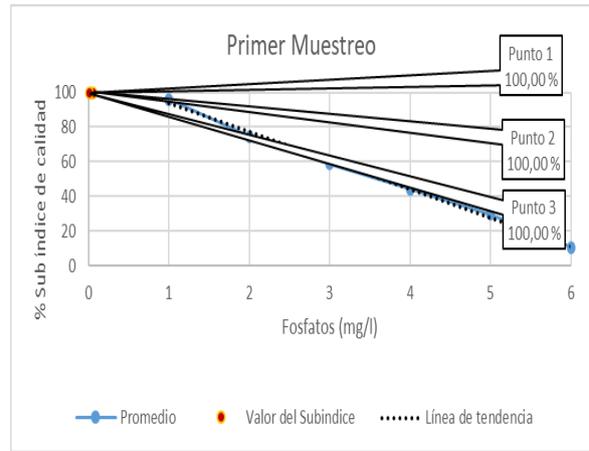
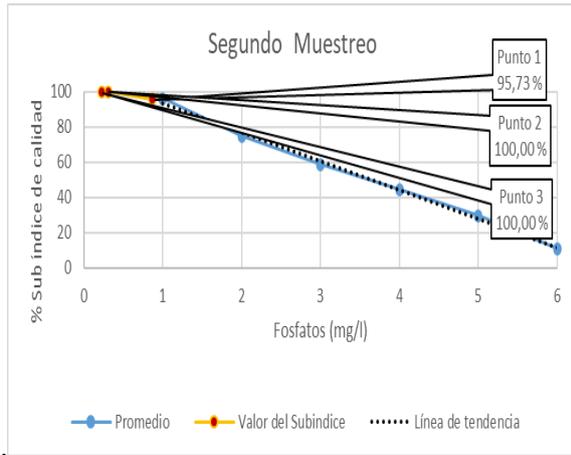
Sub índices de calidad obtenido en cada punto de acuerdo a la concentración de nitratos



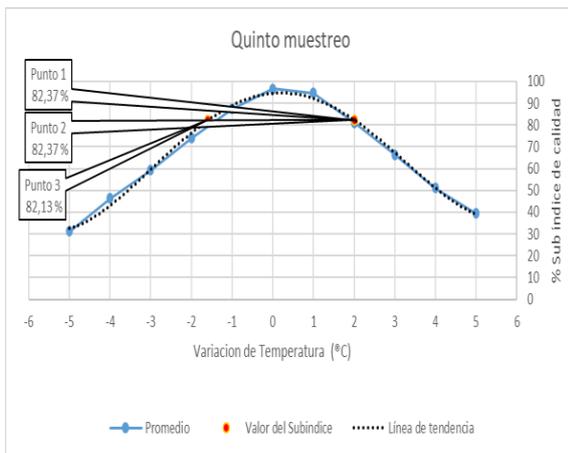
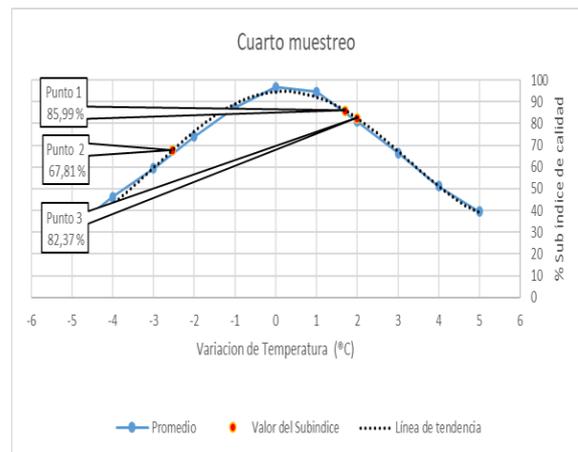
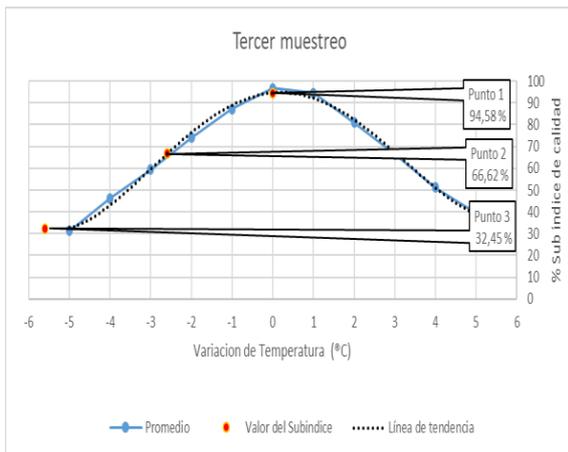
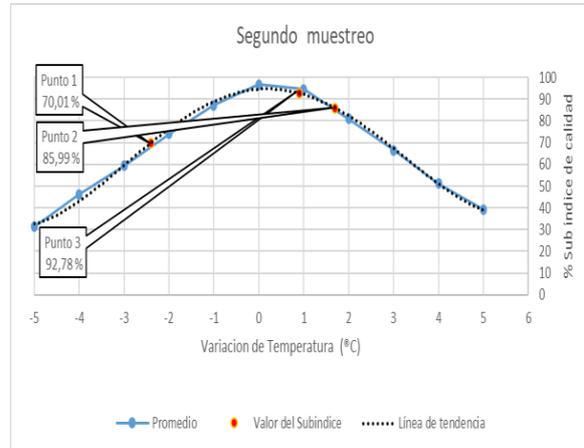
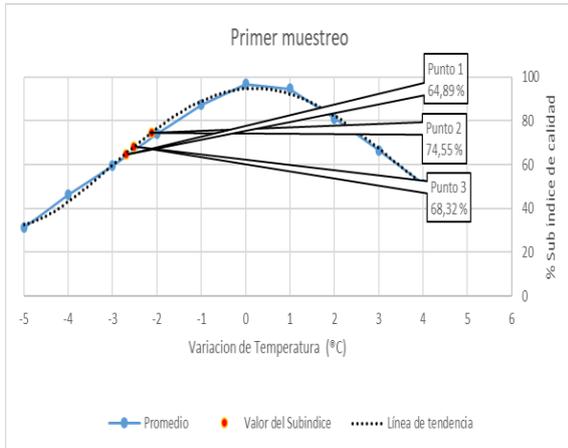
Sub índices de calidad obtenido en cada punto de acuerdo a Sólidos disueltos.



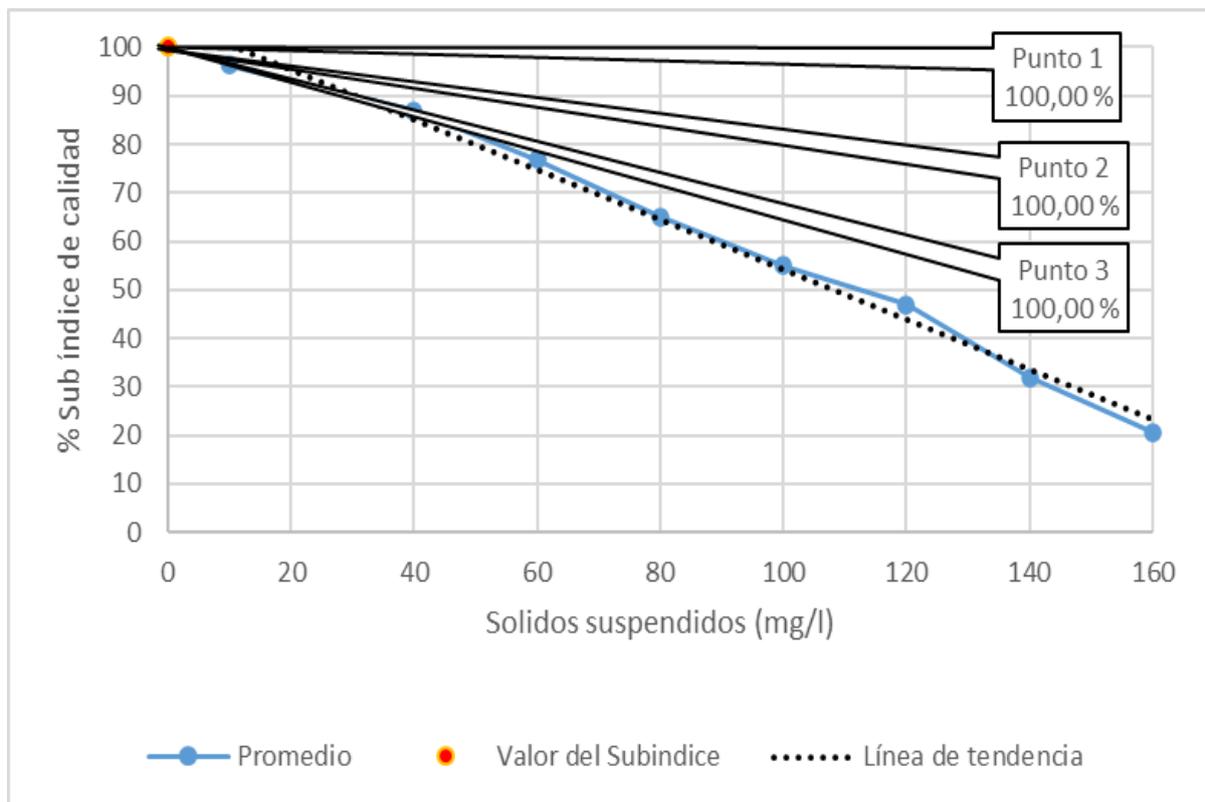
Sub índices de calidad obtenido en cada punto de acuerdo a la concentración de Fosfatos



Sub índices de calidad obtenido en cada punto de acuerdo a la Temperatura (diferencia con T Ambiente)

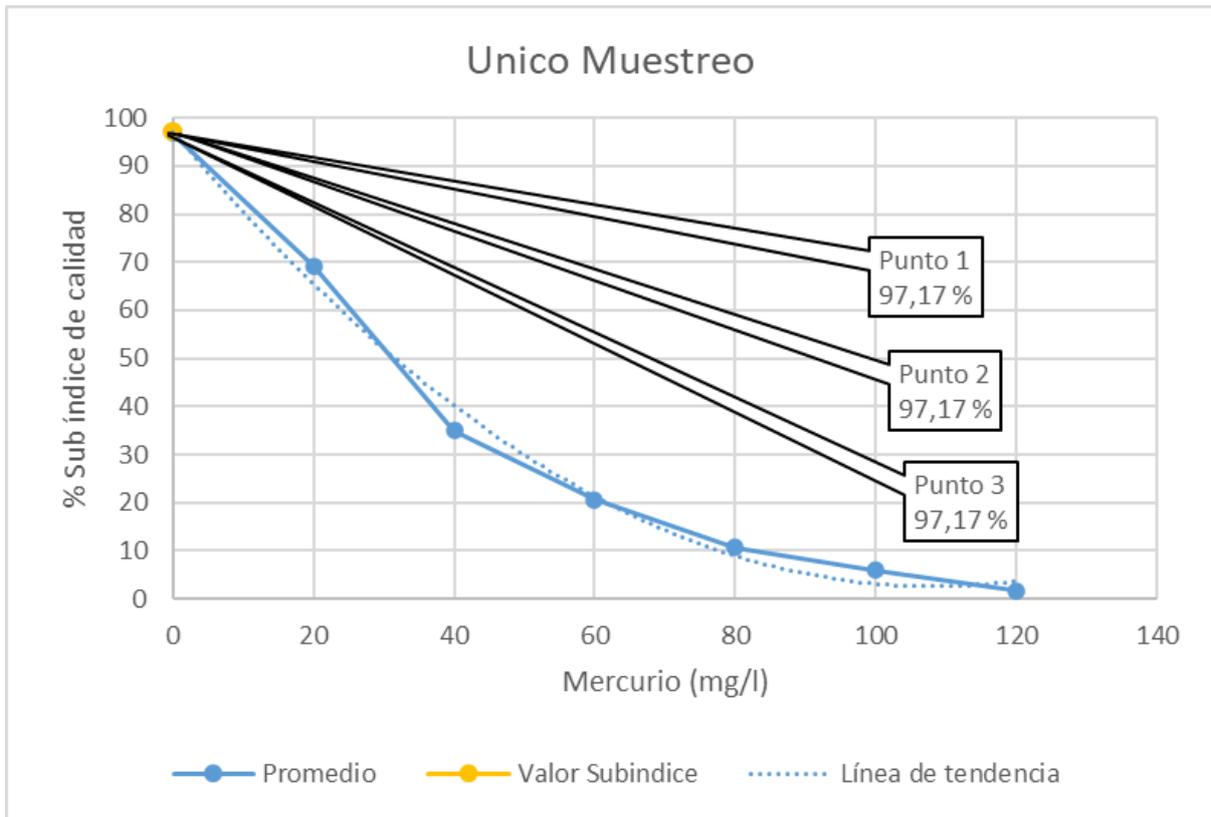


Sub índices de calidad obtenido en cada punto de acuerdo a los Sólidos suspendidos

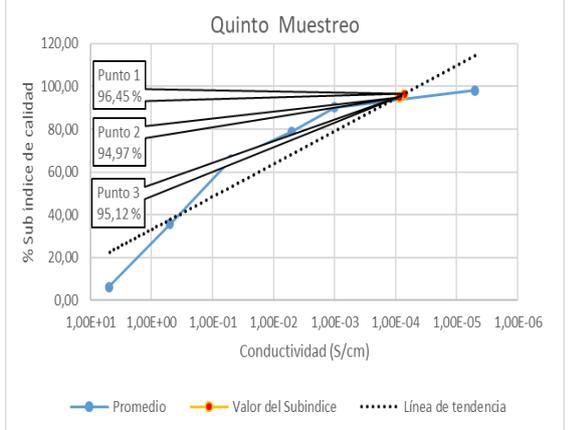
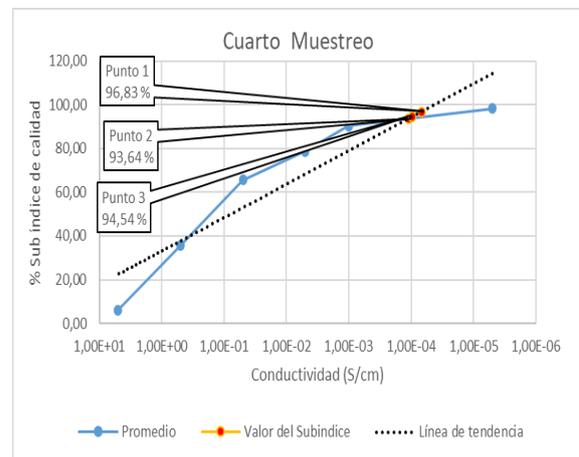
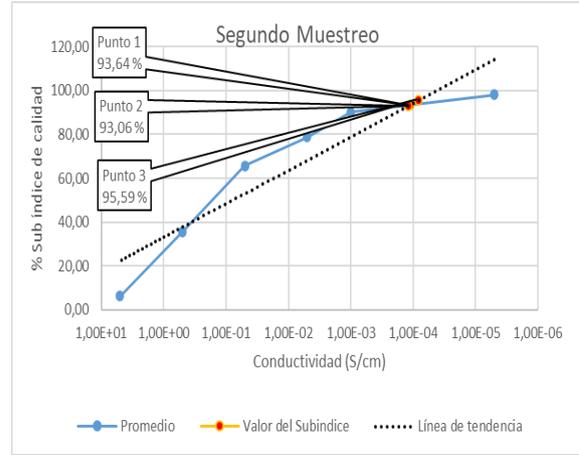
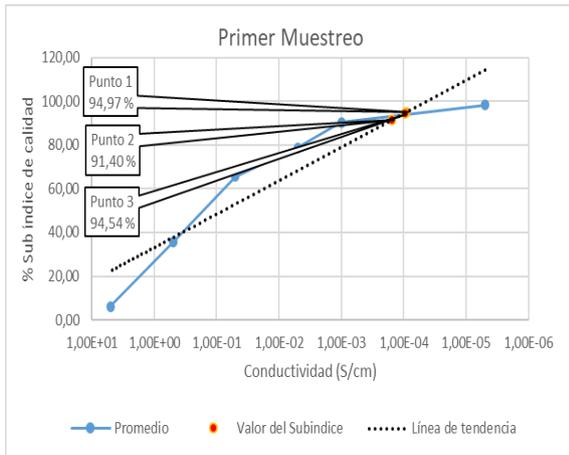




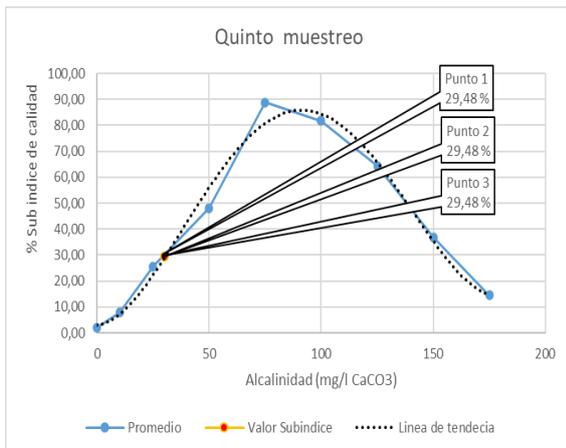
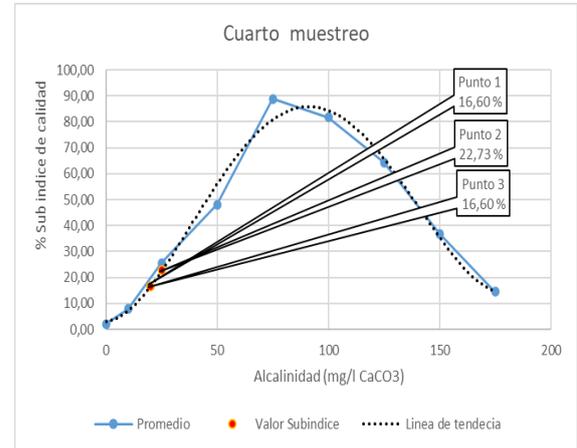
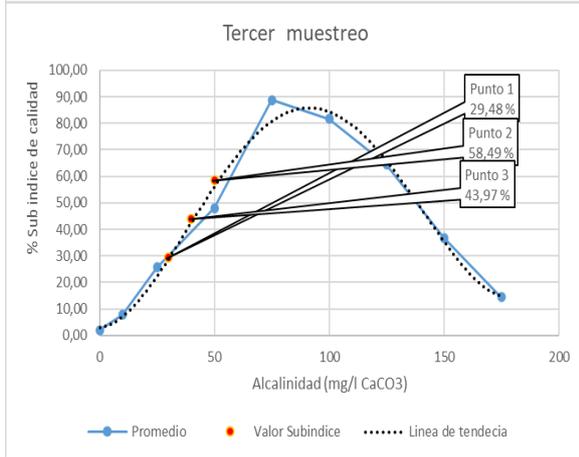
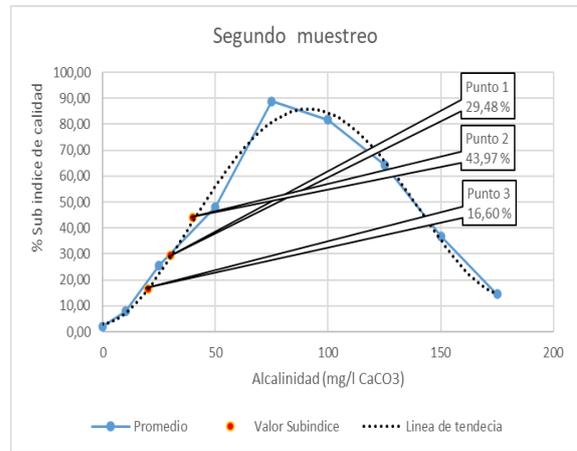
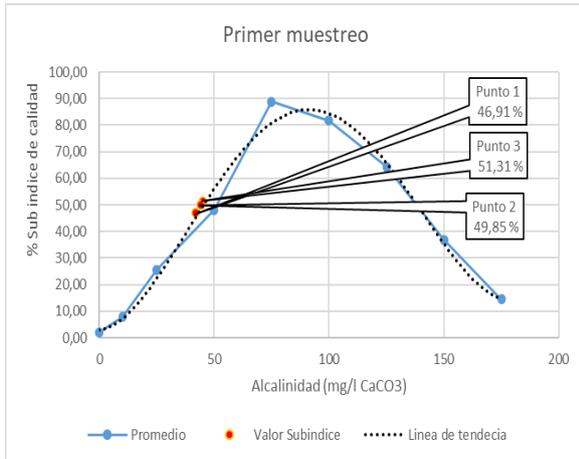
Sub índice de calidad obtenido de acuerdo a la concentración de Mercurio.



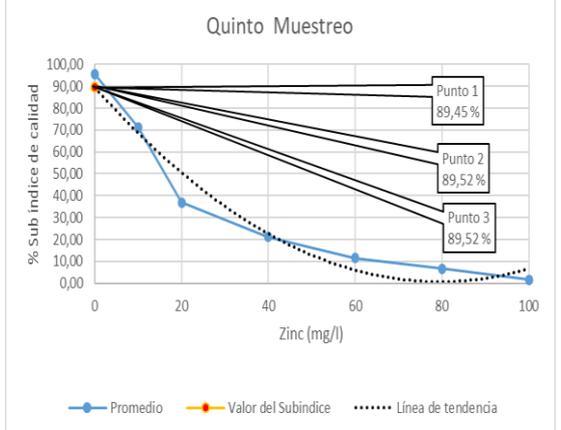
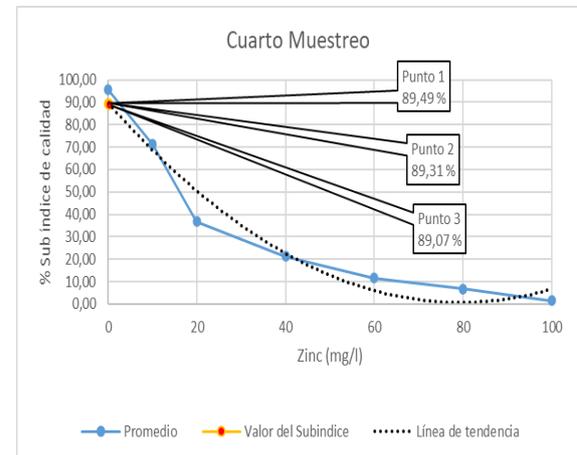
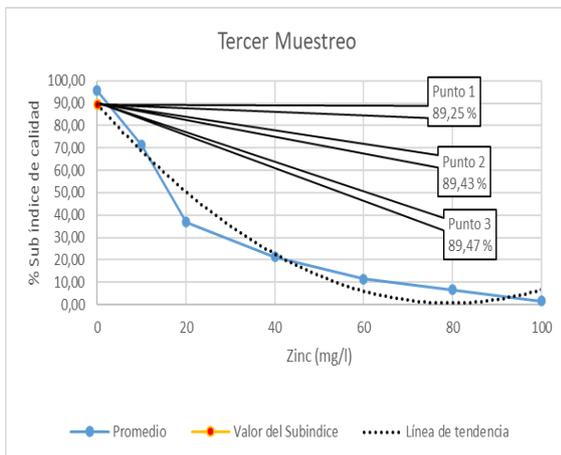
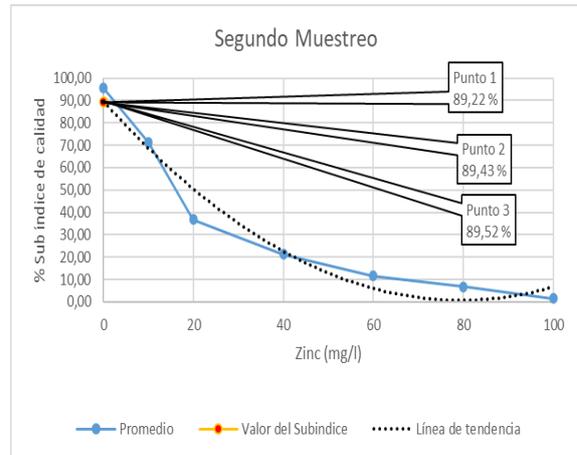
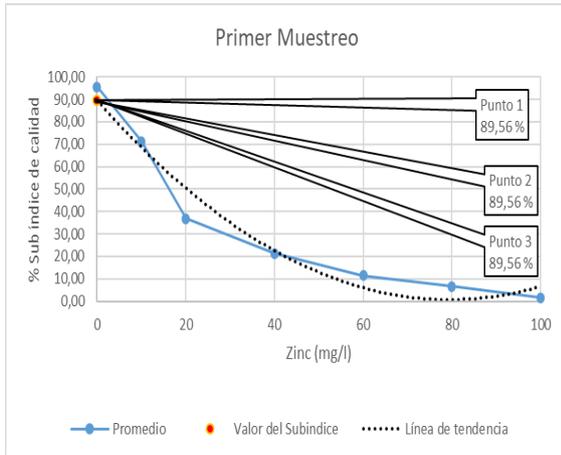
Sub índice de calidad obtenido de acuerdo a los valores de Conductividad.



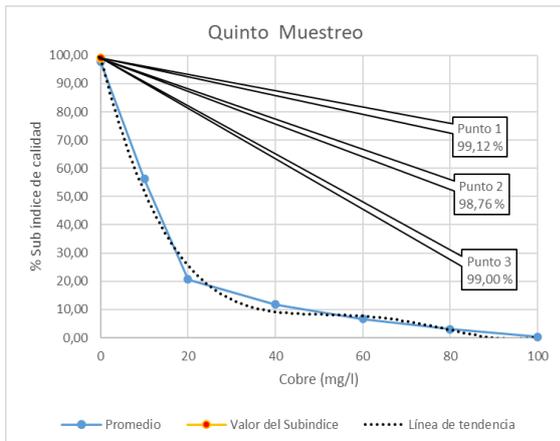
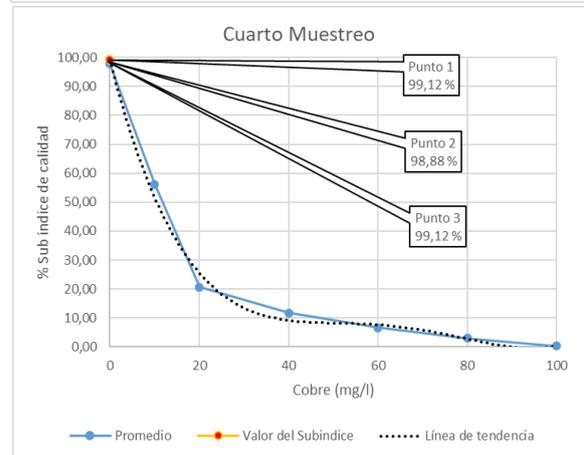
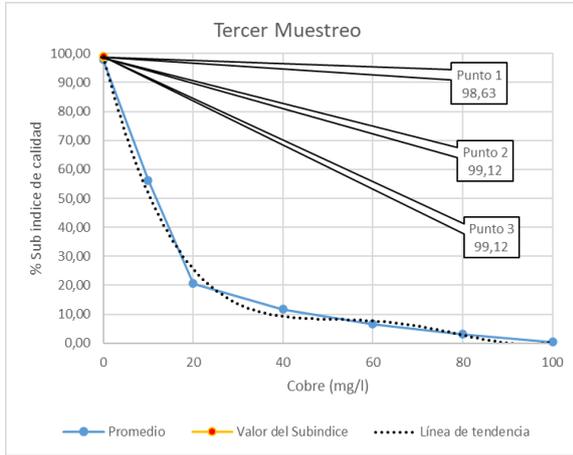
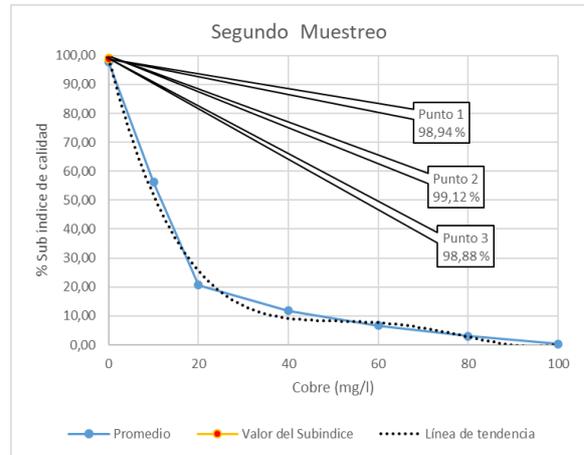
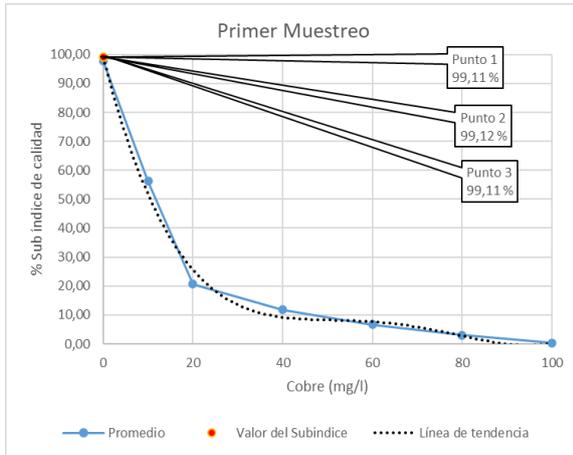
Sub índice de calidad obtenido de acuerdo a los valores de Alcalinidad.



Sub índice de calidad obtenido de acuerdo a la concentración de Zinc.



Sub índice de calidad obtenido en cada punto de acuerdo a la concentración de Cobre





Anexo 6. Tabla 6 del TULSMA (Criterios de calidad admisibles para aguas de uso agrícola)

Parámetros	Expresado como	Unidad	Límite máximo permisible
Aluminio	Al	mg/l	5,0
Arsénico (total)	As	mg/l	0,1
Bario	Ba	mg/l	1,0
Berilio	Be	mg/l	0,1
Boro (total)	B	mg/l	1,0
Cadmio	Cd	mg/l	0,01
Carbamatos totales	Concentración total de carbamatos	mg/l	0,1
Cianuro (total)	CN ⁻	mg/l	0,2
Cobalto	Co	mg/l	0,05
Cobre	Cu	mg/l	2,0
Cromo hexavalente	Cr ⁺⁶	mg/l	0,1
Fluor	F	mg/l	1,0
Hierro	Fe	mg/l	5,0
Litio	Li	mg/l	2,5
Materia flotante visible			Ausencia
Manganeso	Mn	mg/l	0,2
Molibdeno	Mo	mg/l	0,01
Mercurio (total)	Hg	mg/l	0,001
Níquel	Ni	mg/l	0,2
Organofosforados (totales)	Concentración de organofosforados totales.	mg/l	0,1
Organoclorados (totales)	Concentración de organoclorados totales.	mg/l	0,2
Plata	Ag	mg/l	0,05
Potencial de hidrógeno	pH		6-9
Plomo	Pb	mg/l	0,05
Selenio	Se	mg/l	0,02
Sólidos disueltos totales		mg/l	3 000,0
Transparencia de las aguas medidas con el disco secchi.			mínimo 2,0 m
Vanadio	V	mg/l	0,1
Aceites y grasa	Sustancias solubles en hexano	mg/l	0,3
Coniformes Totales	nmp/100 ml		1 000
Huevos de parásitos		Huevos por litro	cero
Zinc	Zn	mg/l	2,0

Anexo 7. Tabla 8 del TULSMA (Criterios de calidad para aguas de uso pecuario)

Parámetros	Expresado como	Unidad	Valor máximo permisible
Aluminio	Al	mg/l	5,0
Arsénico (total)	As	mg/l	0,2
Bario	Ba	mg/l	1,0
Boro (total)	B	mg/l	5,0
Cadmio	Cd	mg/l	0,05
Carbamatos (totales)	Concentración de carbamatos totales	mg/l	0,1
Cianuro (total)	CN ⁻	mg/l	0,2
Cinc	Zn	mg/l	25,0
Cobre	Cu	mg/l	0,5
Cromo hexavalente	Cr ⁺⁶	mg/l	1,0
Hierro	Fe	mg/l	1,0
Litio	Li	mg/l	5,0
Materia flotante	visible		Ausencia
Manganeso	Mn	mg/l	0,5
Molibdeno	Mo	mg/l	0,005
Mercurio (total)	Hg	mg/l	0,01
Nitratos + nitritos	N	mg/l	10,0
Nitritos	N-nitrito	mg/l	1,0
Níquel	Ni	mg/l	0,5
Oxígeno disuelto	O.D.	mg/l	3,0
Organofosforados (totales)	Concentración de organofosforados totales	mg/l	0,1
Organoclorados (totales)	Concentración de organoclorados totales.	mg/l	0,2
Potencial de	pH		6-9
hidrógeno			
Plata	Ag	mg/l	0,05
Plomo	Pb	mg/l	0,05
Selenio	Se	mg/l	0,01
Sólidos disueltos totales		mg/l	3 000
Transparencia de las aguas medidas con el disco secchi.			mínimo 2,0 m
Vanadio	V	mg/l	10,0
Coliformes fecales	nmp por cada 100 ml		Menor a 1 000
Coliformes totales	nmp por cada 100 ml		Promedio mensual menor a 5 000



Anexo 8. Tabla 9 del TULSMA (Criterios de calidad para aguas destinadas para fines recreativos)

Parámetros	Expresado como	Unidad	Límite máximo permisible
Coliformes fecales	nmp por cada 100 ml		200
Coliformes totales	nmp por cada 100 ml		1 000
Compuestos fenólicos	Expresado como fenol	mg/l	0,002
Oxígeno disuelto	O.D.	mg/l	No menor al 80% de Concentración
Materia flotante	visible		de saturación y no menor a 6 mg/l
Potencial de hidrógeno	pH		Ausencia
Metales y otras *sustancias tóxicas		mg/l	6,5 – 8,5
Organofosforados y carbamatos (totales)	Concentración de organofosforados y carbamatos totales.	mg/l	cero
Organoclorados (totales)	Concentración de organoclorados totales.	mg/l	0,1 (para cada compuesto detectado)
Residuos de petróleo	visibles		Ausencia
Tensoactivos	Sustancias activas al azul de metileno.	mg/l	0,5
Grasas y aceites	Sustancias solubles en hexano	mg/l	0,3
Transparencia de las aguas medidas con el disco secchi			Mínimo 2,0 m.
Relación hidrógeno, fósforo orgánico			15:1