

**UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA  
LA MOLINA**

**ESCUELA DE POSGRADO  
MAESTRÍA EN CIENCIAS AMBIENTALES**



**“ÍNDICE DE CALIDAD DE AGUA Y CONTENIDO DE  
METALES PESADOS EN EL RÍO SAN JUAN,  
CERRO DE PASCO”**

**Presentada por:**

**CARLOS ENRIQUE CHIRINOS MÁLAGA**

**TESIS PARA OPTAR EL GRADO DE  
MAGISTER SCIENTIAE EN CIENCIAS AMBIENTALES**

**Lima - Perú**

**2022**

**UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA  
LA MOLINA**

**ESCUELA DE POSGRADO  
MAESTRÍA EN CIENCIAS AMBIENTALES**

**“ÍNDICE DE CALIDAD DE AGUA Y CONTENIDO DE  
PESADOS EN EL RÍO SAN JUAN,  
CERRO DE PASCO”**

**TESIS PARA OPTAR EL GRADO DE  
MAGISTER SCIENTIAE**

**Presentada por:**

**CARLOS ENRIQUE CHIRINOS MÁLAGA**

**Sustentada y aprobada ante el siguiente jurado:**

**Mg.Sc. Rosa Miglio Toledo  
PRESIDENTE**

**Mg.Sc. Wilfredo Baldeón Quispe  
ASESOR**

**Ph.D. Lizardo Visitación Figueroa  
MIEMBRO**

**Mg. Quím. Mary Flor Césare Coral  
MIEMBRO**

## **DEDICATORIA**

A mis padres por haberme forjado como la persona que soy en la actualidad; muchos de mis logros se los debo a ustedes entre los que se incluye este. Me formaron con reglas y algunas libertades y siempre me motivaron para alcanzar mis anhelos.

## **AGRADECIMIENTO**

A la Universidad, por haberme dado la oportunidad de aprender de esta maravillosa carrera que llena mis expectativas y promueve mis desafíos laborales.

A mi asesor, por el apoyo constante en el desarrollo de esta investigación.

A las personas que contribuyeron y aportaron con sus comentarios y aportaciones en el desarrollo de la investigación, así como por la confianza y el apoyo en el presente estudio.

## ÍNDICE GENERAL

I.	INTRODUCCIÓN .....	1
II.	REVISIÓN DE LA LITERATURA .....	3
2.1.	ANTECEDENTES DE INVESTIGACIÓN .....	3
2.2.	BASES TEÓRICAS .....	9
2.2.1.	Calidad de agua.....	9
2.2.2.	Parámetros de calidad de agua.....	12
2.2.3.	Índice de Contaminación por metales pesados .....	15
III.	MATERIALES Y MÉTODOS .....	18
3.1.	MATERIALES .....	18
3.2.	METODOLOGÍA .....	18
IV.	RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....	32
4.1.	RESULTADOS.....	32
4.1.1.	Resultados del Índice de Calidad de Aguas ICA- CCME.....	32
4.1.2.	Resultados del Índice de Metales Pesados HPI.....	32
4.2.	ANÁLISIS DE RESULTADOS DE ACUERDO CON LA RED DE MONITOREO Y SECTORES ALTO, MEDIOY BAJO EN LA SUBCUENCA DEL RIO SAN JUAN.....	37
4.2.1.	Punto de red LAlca1 (Laguna Alcacocho) .....	37
4.2.2.	Punto de red RSjua1 (Rio San Juan).....	39
4.2.3.	Punto de red RSjua 2 (Rio San Juan) .....	40
4.2.4.	Punto de red RRagr3 (Rio Ragra) .....	42
4.2.5.	Punto de red RSjua 3 (Rio San Juan) .....	45
4.2.6.	Punto de red RSjua 4 (Rio San Juan) .....	46
4.2.7.	Punto de red RSjua 5 (Rio San Juan) .....	49
4.2.8.	Punto de red RAnda 1 (Rio Andacancha).....	51
4.2.9.	Punto de red RSjua 6 (Rio San Juan) .....	54
4.2.10.	Punto de red RSjua7 (Rio San Juan).....	56

V. CONCLUSIONES .....	61
VI. RECOMENDACIONES .....	63
VII. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....	65
VIII. ANEXOS .....	69

## ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1: Ubicación de los puntos de muestreo de la red de monitoreo en el Río San Juan.	23
Tabla 2: Identificación de Fuentes Contaminantes en el rio San Juan y Rio Ragra.....	24
Tabla 3: Calificación del Índice CCME. ....	28
Tabla 4: Calificación para la evaluación de la contaminación de metales pesados. ....	29
Tabla 5: Categorías de usos de agua que se pueden realizar, según su calidad.....	31
Tabla 6: Usos de agua propuestos de acuerdo a los resultados del ICA CCME en el rio San Juan y tributarios. ....	60

## ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Ubicación de los puntos de muestreo seleccionados en el cauce del Río San Juan. ....	21
Figura 2. Río San Juan, Ríos tributarios, puntos de muestreo y puntos de fuentes contaminantes .....	22
Figura 3. Índice de calidad de agua del Río San Juan, periodo 2012-2015 y 2012–2018... 33	
Figura 4. Índice de calidad de agua del Río San Juan, periodo 2016-2018 y 2012–2018... 34	
Figura 5. Índice de metales pesados del Río San Juan, periodo 2012-2015 y 2012–2018. 35	
Figura 6. Índice de metales pesados del Río San Juan, periodo 2016-2018 y 2012-2018. . 36	
Figura 7. Punto de muestreo LAlca1 con el ICA CCME. ....	38
Figura 8. Punto de muestreo LAlca1 con el HPI. ....	39
Figura 9. Punto de muestreo RSjua 1 con el ICA CCME.....	39
Figura 10. Punto de muestreo RSjua 1 con el HPI. ....	40
Figura 11. Punto de muestreo RSjua 2 con el ICA CCME.....	41
Figura 12. Punto de muestreo RSjua 2 con el HPI. ....	42
Figura 13. Punto de muestreo RRagr3 con el ICA CCME.....	43
Figura 14. Punto de muestreo RRagr3 con el HPI.....	44
Figura 15. Punto de muestreo RSjua 3 con el ICA CCME.....	45
Figura 16. Punto de muestreo RSjua 3 con el HPI. ....	46
Figura 17. Punto de muestreo RSjua 4 con el ICA CCME.....	48
Figura 18. Punto de muestreo RSjua 4 con el HPI. ....	49
Figura 19. Punto de muestreo RSjua5 con el ICA CCME.....	50
Figura 20. Punto de muestreo RSjua5 con el HPI. ....	51
Figura 21. Punto de muestreo RAnda1 con el ICA CCME.....	52
Figura 22. Punto de muestreo RAnda1 con el HPI.....	53
Figura 23. Punto de muestreo RSjua6 con el ICA CCME.....	55
Figura 24. Punto de muestreo RSjua 6 con el HPI. ....	56
Figura 25. Punto de muestreo RSjua7 con el ICA CCME.....	57
Figura 26. Punto de muestreo RSjua7 con el HPI. ....	58



## ÍNDICE DE CUADROS

Cuadro 1. Punto LAlca1 .....	70
Cuadro 2. Punto RSjua1 .....	72
Cuadro 3. Punto RSjua2 .....	74
Cuadro 4. Punto RRagr1 .....	76
Cuadro 5. Punto RRagr2 .....	79
Cuadro 6. Punto RRagr3 .....	82
Cuadro 7. Punto RSjua3 .....	85
Cuadro 8. Punto RSjua4 .....	87
Cuadro 9. Punto RSjua5 .....	89
Cuadro 10. Punto RAnda1 .....	91
Cuadro 11. Punto RSjua6 .....	93
Cuadro 12. Punto RSjua7 .....	95
Cuadro 13. Punto LAlca1 .....	97
Cuadro 14. Punto RSjua1 .....	98
Cuadro 15. Punto RSjua2 .....	99
Cuadro 16. Punto RSjua3 .....	100
Cuadro 17. Punto RSjua4 .....	101
Cuadro 18. Punto RSjua5 .....	102
Cuadro 19. Punto RSjua6 .....	103
Cuadro 20. Punto RSjua7 .....	104
Cuadro 21. Punto RAnda1 .....	105
Cuadro 22. Punto RRagr1 .....	106
Cuadro 23. Punto RRagr2 .....	107
Cuadro 24. Punto RRagr3 .....	108
Cuadro 25. Criterios generales de calidad del agua para los diferentes usos del agua .....	112

## ÍNDICE DE ANEXOS

Anexo 1. Cuadro de Resultados y Cálculo del ICA CCME.....	70
Anexo 2. Tabla de resultados y Cálculo del HPI.....	97
Anexo 3. Registro Fotográfico .....	109

## RESUMEN

La investigación tuvo por objetivo determinar el índice de calidad de agua y de metales pesados en el río San Juan, ubicado en la Provincia de Pasco, Departamento de Pasco durante el periodo 2012-2018. El desarrollo de la investigación se justificó porque es necesario mostrar los impactos que generan las actividades antropogénicas en este cuerpo de agua, siendo en este caso la presencia de actividad minera y poblacional. Para la estimación de la calidad del agua se aplicó el Índice de Calidad del Agua (ICA CCME) y el Índice de Metales Pesados (HPI), el estudio se basó en los resultados de los monitoreos de calidad de agua de la red de monitoreo de la Autoridad Nacional del Agua de los años 2012 al 2018, en cada punto de monitoreo. Para el ICA CCME se usaron los parámetros de pH, OD, Cianuro, Al, Cd, Cu, Fe, Mn, Pb, Zn, C. termotolerantes, E. coli, As, y Hg; para el HPI se usaron los parámetros de Al, Cd, Cu, Fe, Mn, Pb y Zn. El estudio utilizó ambos índices de calidad en un periodo total del 2012 al 2018 y en 2 periodos el cual comprendió los años 2012 al 2015 y del 2016 al 2018. Los resultados encontrados evidencian impactos negativos en el río San Juan, el estudio concluyó que la parte alta, media y baja del río San Juan presentan una calidad de agua de buena, pobre y regular respectivamente, los resultados evidenciaron que para ambos índices la calificación en 2 periodos fue la más realista, a comparación de la evaluación del periodo total que no evidencio las mejoras en la calidad de aguas, que hubo en el tramo de la parte media final y parte baja del río San Juan. Los usos de agua que se pueden dar en el río San Juan de acuerdo a la calificación obtenida con el índice de calidad de agua ICA CCME, señalan que en la parte alta puede tener uso para la vida acuática, abastecimiento de agua, procesos industriales y riego sin restricciones; en la parte media solo es apto como cuerpo receptor de vertidos de aguas residuales por el grado de contaminación que presentó sus aguas; en la parte media final y baja su calificación fue regular y se recomienda el uso para riego restringido, explotación manual de materiales de construcción y recreación con contacto restringido.

**Palabras clave:** Contaminación del agua, Índice de calidad de agua, metales pesados, río SanJuan.

## ABSTRACT

The objective of the research was to determine the water quality index and heavy metals in the San Juan River, located in the Province of Pasco, Department of Pasco during the period 2012-2018. The development of the research was justified because it is necessary to show the impacts generated by anthropogenic activities in this body of water, in this case being the presence of mining and population activity. For the estimation of water quality, the Water Quality Index (ICA CCME) and the Heavy Metal Index (HPI) were applied, the study was based on the results of the water quality monitoring of the monitoring network of the National Water Authority from 2012 to 2018, at each monitoring point. For the ICA CCME the parameters of pH, OD, Cyanide, Al, Cd, Cu, Fe, Mn, Pb, Zn, C. thermotolerant, E. coli, As, and Hg were used; for HPI, the parameters of Al, Cd, Cu, Fe, Mn, Pb and Zn were used. The study used both quality indices in a total period from 2012 to 2018 and in 2 periods which included the years 2012 to 2015 and from 2016 to 2018. The results found show negative impacts on the San Juan River, the study concluded that the upper, middle and lower part of the San Juan River present a water quality of good, poor and regular respectively, the results showed that for both indices the qualification in 2 periods was the most realistic, compared to the evaluation of the total period that did not evidenced the improvements in water quality, which occurred in the section of the final middle part and lower part of the San Juan river. The uses of water that can be given in the San Juan river according to the qualification obtained with the ICA CCME water quality index, indicate that in the upper part it can be used for aquatic life, water supply, Industrial processes and unrestricted watering; In the middle part, it is only suitable as a receiving body for wastewater discharges due to the degree of contamination that its waters presented; in the middle final and low part its rating was regular and it is recommended to use it for restricted irrigation, manual exploitation of construction materials and recreation with restricted contact.

**Key words:** Water contamination, Water quality index, heavy metals, San Juan River.

## I. INTRODUCCIÓN

En los últimos años se han incrementado las exigencias para el control de la contaminación y protección del medio ambiente en todas las empresas. El uso de los recursos energéticos, como por ejemplo el agua, ocupan una dimensión especial dentro del ambiente, donde el uso sostenible tanto en cantidad como en calidad depende de las decisiones económicas, sociales, políticas y quizá aún en mayor importancia la participación de la comunidad (Miyashiro *et al.* 1996). Las aguas superficiales de los ríos, lagos y lagunas, son las que el hombre utiliza para desarrollar sus actividades básicas como abastecimiento de agua potable, navegación, recreación, etc., sin embargo, son las que se encuentran contaminadas debido a que reciben directamente las descargas de aguas residuales sin ningún tratamiento (Sierra 2011).

Las aguas residuales, urbanas e industriales, deficientemente tratadas, junto con los productos derivados de actividades agrícolas y ganaderas (en especial abonos y pesticidas), constituyen los principales agentes contaminantes de las corrientes superficiales, lo que hace que el agua no sea apta para el consumo humano, afectando sus características fisicoquímicas, microbiológicas y organolépticas (López 2013).

Actualmente la conservación, protección, vigilancia y administración de los recursos hídricos en el país en cantidad, calidad y oportunidad está a cargo de la Autoridad Nacional del Agua (ANA), entidad que se rige por la Ley de Recursos Hídricos N°29338, 2009; mientras que la fiscalización ambiental de los vertimientos industriales, mineros entre otras fuentes de contaminación están a cargo de otras autoridades sectoriales y el Organismo de Evaluación y Fiscalización Ambiental (OEFA), creado en el 2008 y adscrito al Ministerio del Ambiente (MINAM).

El río San Juan es un afluente principal donde nace el río Mantaro y se origina de la unión de los ríos Rancas y Alcacocha en el lugar denominado Patacancha, en el departamento de Pasco, a una altitud de 4,200 m.s.n.m., y que, según los monitoreos de la calidad de sus aguas ejecutados por la ANA, este recurso hídrico muestra evidencia de contaminación, debido a

las fuentes puntuales procedentes de vertimientos municipales, mineros y fuentes difusas que se vierten en sus aguas.

Sin embargo, aunque se tiene información de monitoreos realizados en las aguas del río San Juan y principales tributarios, según los resultados de los parámetros físicos, químicos y microbiológicos, no se puede estimar si existe una tendencia hacia la mejora o al deterioro en la calidad de sus aguas, ni el grado de contaminación que presenta, ello debido, a que no se cuenta con metodologías que integren y califique los resultados de los principales parámetros de calidad de aguas analizados, que solo considera el cumplimiento de los Estándares de Calidad Ambiental para Agua (ECA agua).

No existe un solo tipo de calidad de agua, éste depende del uso que se le da y ésta a su vez está determinada por los diferentes parámetros que caracterizan su calidad, por lo que estos parámetros varían en relación a los objetivos de calidad posibles de proyectar a futuro (Sierra, 2011). Debido a la necesidad de contar con metodología que permita resumir la gran cantidad de datos generados en los monitoreos de calidad del agua del río San Juan, y que comprenda los principales parámetros de calidad de agua, incluyendo a los metales pesados y aquellos que no cumplen con el Estándar de Calidad Ambiental para Agua, es que se utilizaron dos índices de calidad de agua; es así que el presente estudio determino el grado de contaminación en el río San Juan, con la aplicación del Índice de Calidad de Agua (ICA canadiense) y el Índice de Metales Pesados (HPI), este último índice está basado en el contenido de metales en el río San Juan, y con los resultados de su calificación por los índices de calidad de agua, establecer que actividades y usos son posibles de realizar en las aguas del río San Juan.

El objetivo general del estudio fue determinar el índice de calidad de agua y de metales pesados en el río San Juan, ubicado en la Provincia de Pasco departamento de Pasco. Los objetivos específicos fueron: Determinar el grado de contaminación del agua en el Río San Juan mediante la aplicación de un Índice de Calidad de Aguas e Índice de Contaminación de Metales pesados; valorar la calidad del agua en el Río San Juan, con respecto al índice de calidad de agua e índice de metales pesados, y por el incumplimiento de los resultados de calidad del agua con respecto al Estándar de Calidad Ambiental para agua, así como proponer los posibles usos del agua del río San Juan de acuerdo a su calidad.

## II. REVISIÓN DE LA LITERATURA

### 2.1. ANTECEDENTES DE INVESTIGACIÓN

#### A nivel internacional

Giri y Kumar (2014) realizaron el estudio “Evaluación de la calidad del agua superficial utilizando el índice de contaminación de metales pesados en el río Subarnarekha, India”, cuyo propósito principal de la investigación fue evaluar la calidad del agua de este río. Las muestras del estudio fueron recolectadas de aguas superficiales de 21 sitios de muestreo a lo largo del río durante las temporadas previas al monzón, el monzón y el post monzón. El método para analizar las concentraciones de los metales Al, As, Ba, Cr, Co, Cu, Fe, Mn, Ni, Se, V y Zn fue realizado mediante espectrometría de plasma de acoplamiento inductivo para la fluctuación estacional, la distribución de fuentes y el índice de contaminación de metales pesados. Y para evaluar la influencia compuesta de todos los metales considerados en la calidad general del agua, se calculó el índice de contaminación de metales pesados (HPI, Heavy metal Pollution Index, por sus siglas en inglés). Los resultados demostraron que las concentraciones de los metales mostraron una estacionalidad significativa y la mayoría de las variables mostraron niveles más altos en la temporada previa al monzón. El resultado del análisis de componentes principales de cuatro factores juntos explicó el 73.13% de la varianza con  $> 1$  valor propio inicial que indica las actividades innatas y antropogénicas como factores contribuyentes de la profusión de metales en el río. En cuanto a los resultados del HPI para aguas superficiales del río considerando todas las estaciones y ubicaciones, esta fue de 32.27. El HPI del río calculado para las ubicaciones individuales mostró grandes variaciones que van desde 3.55 a 388.9. Todas las ubicaciones se encuentran en clases bajas a medias de HPI, excepto algunas ubicaciones que están bajo la influencia de industrias, minería o cerca del estuario. La mayor concentración de ciertos metales en el río Subarnarekha cerca de establecimientos industriales y mineros puede atribuirse a la contribución antropogénica de las actividades industriales y mineras del área.

Abou (2015) realizó la investigación “Índice de contaminación de metales pesados para la evaluación de la calidad de las aguas subterráneas en Damasco Oasis, Siria”. El objetivo de esta investigación fue evaluar la calidad de las aguas subterráneas de Damasco mediante el índice de contaminación por metales pesados. Al respecto el autor menciona que el HPI es un método de clasificación y una herramienta eficaz para evaluar la calidad del agua con metales pesados. Para el estudio, se recogieron veintisiete muestras de agua subterránea del suministro de agua potable municipal en Damasco Oasis. Los metales considerados fueron el cadmio (Cd), plomo (Pb), cobre (Cu) y zinc (Zn). Los resultados señalaron que las concentraciones de metales en las aguas subterráneas se encuentran en una dominancia de orden de Zn, Cu, Pb y Cd, respectivamente. Se encontró que el valor de HPI basado en la concentración media era 8.58, que está muy por debajo del valor del índice de contaminación crítica de 100. Además, la mayoría de las muestras de agua subterránea (74%) tienen un HPI inferior al valor medio de 8.58. Mientras que el 26% de las muestras excede esta media y solo una muestra alcanza el límite de baja contaminación por metales pesados. La distribución espacial de HPI está bien de acuerdo con la distribución espacial de los metales y mostró los altos valores de HPI en la parte sudeste de la ciudad de Damasco hacia el centro y especialmente en la parte noreste del área de estudio. Esto indica el efecto de la zona industrial, la agricultura y la actividad urbana. Finalmente, el autor indicó que el agua subterránea en el noreste del área estudiada probablemente se vea afectada por la lixiviación de metales pesados de la estación de tratamiento de aguas residuales.

El-Hamid y Hegazy (2017) desarrollaron la investigación “Evaluación de los índices de contaminación de la calidad del agua para los recursos de aguas subterráneas de Nuevo Damietta, Egipto”, los autores señalaron que el agua subterránea es la fuente más importante para fines domésticos y de riego en las regiones rurales y urbanas. Por ello el estudio se llevó a cabo, a fin de encontrar la calidad del agua subterránea por concentración de metales pesados en tres sitios. La muestra de metales se compuso por nueve metales pesados (Cd, Pb, Cr, As, Cu, Hg, Se, Zn y Ni). Para evaluar la calidad del agua subterránea contaminada por metales pesados, se seleccionaron cuatro índices de la siguiente manera: índice de contaminación de metales pesados (HPI), índice de contaminación (Cd), índice de enriquecimiento de metales (MEI) e índice de evaluación de metales (HEI). Los resultados mostraron que las concentraciones de metales pesados en las muestras de agua están dentro de los límites permisibles de la OMS en el agua potable. Estos valores de concentración



fueron 0.0016 - 0.0016, 0.003 - 0.00, 0.006 - 0.00, 0.00 - 0.004 y 0.002 mg/L, para los metales Cd, Pb, Cr, As, Cu, Hg, Se, Zn y Ni respectivamente. Tres metales de ellos (As, Hg y Se) no fueron detectados en todas las estaciones de muestreo. Las muestras de MEI en el agua subterránea muestran que Ni es el valor de enriquecimiento de metal más alto de 0.6. El HPI de las muestras de agua en tres sitios fue 20.57, que fue inferior a 100 el valor crítico para el agua potable. Cd muestra que los valores varían entre -5.1 y -0.3 lo que indica una baja contaminación. HEI muestra que los valores en la temporada de primavera varían de 0.001 a 0.66 e indican una baja contaminación de metales pesados. Los resultados muestran que el agua subterránea del presente estudio es aceptable para beber.

### **A nivel Latinoamericano.**

González *et al.* (2013) presentaron el artículo académico “Aplicación de los índices de calidad de agua NSF, DINIUS y BMWP en la quebrada La Ayurá, Antioquia, Colombia”. Este trabajo académico estuvo enfocado en llevar a cabo una evaluación de la calidad del agua, aplicando los índices de calidad BMWP/Col, NSF y Dinius, y para su estimación fueron recolectadas muestras de tres localizaciones como también se establecieron variables tanto microbiológicas como fisicoquímicas, es así que los autores encontraron que: (a) los resultados obtenidos de los índices respectivos evidenciaron una adecuada calidad de agua para una de las muestras, mientras que para las otras dos presentan muy deteriorada calidad de agua y (b) los resultados obtenidos están relacionados a la actividad antrópica existente en sus inmediaciones, sin embargo, aún se presentan condiciones aptas para el desarrollo de la vida.

Quino y Quintanilla (2013) presentaron el “Índice de calidad del agua en la cuenca del lago Poopó-Uru Uru aplicando herramientas SIG”, presentado en la Revista Boliviana de Química de la Universidad Mayor de San Andrés. El objetivo fue llevar a cabo una evaluación de la calidad del agua en la cuenca del lago Poopó-Uru Uru, así, mediante la aplicación de esta metodología encontró: (a) el índice de calidad del agua evidencia zonas agrícolas con aguas de mejor calidad, sin embargo, otras, relacionadas a la actividad minera, muestran menores niveles de calidad, (b) la calidad de las aguas se ve afectada por la variación climática, (c) pudo identificarse un fenómeno de disolución de sales y minerales por parte de las aguas superficiales y subterráneas, y (d) la técnica de interpolación aplicada demostró su buena aplicabilidad para la fácil identificación de la calidad del agua.

Rubio *et al.* (2014), publicaron el artículo “Índice de calidad de agua (ICA) en la presa la boquilla en Chihuahua, México”, el cual estuvo enfocado en establecer el índice de calidad de agua para una presa mexicana. Para cumplir con su propósito principal, estableció seis puntos de muestreo a profundidades de 15.0 m, 10.0 m, 5.0 m y 0.30 m, y se midieron los niveles de pH, turbidez, Oxígeno disuelto, dureza total, conductividad eléctrica, cloruros, sólidos disueltos totales y temperatura, de esa forma encontraron que el índice de calidad de agua para la profundidad de 0.30 m fue de 2.7, y el índice de calidad de agua para la profundidad de 15.0 m fue de 2.45, concluyendo, así, en que el agua proveniente de la presa en cuestión es adecuada para el uso pecuario y como agrícola.

Laino- Guanes, *et al.* (2015) presentaron el artículo “Concentración de metales en agua y sedimentos de la cuenca alta del río Grijalva, frontera México-Guatemala” en la revista Tecnología y Ciencias del Agua, dicho artículo estuvo enfocado en la determinación de los metales pesados en agua y sedimentos (As, Cd, Cr, Cu, Hg, Ni, Pb y Zn) en agua superficial y en sedimentos durante la época de lluvias (agosto de 2011 y junio de 2012) y en época seca (enero a diciembre de 2012) durante la época de lluvias (agosto de 2011 y junio de 2012) y en época seca (enero de 2012 y diciembre de 2012) en las cuencas de los ríos Xelajú y Bacantón, así como en las subcuencas de los ríos Allende, Buenos Aires, Molino y Carrizal, sus resultados fueron comparados con la norma Mexicana y Canadiense, el autor indico que la explotación minera no solo impacta cuando se encuentran operativas, si no también cuando cesan dichas operaciones o se encuentran abandonadas, entonces afecta la calidad del agua, suelos y los ecosistemas comprendidos.

Ortiz *et al.* (2015), estudiaron la “Determinación de metales pesados e índices de calidad en aguas y sedimentos del río Magdalena – tramo Tolima, Colombia”, el artículo estuvo enfocado en llevar a cabo una evaluación, tanto en época seca como en la época lluviosa, de los niveles de concentración de los metales pesados en las aguas de un río colombiano, para dicho fin, los autores aplicaron el método de espectroscopia de absorción atómica y, a la vez, un análisis por cromatografía de gases, encontrando, de esa manera, que tanto los índices de contaminación como los índices de calidad del agua señalan que esta, el agua del río Magdalena, no es la adecuada para el consumo humano, debido a que se pudo identificar niveles significantes de plomo y otros metales pesados; el estudio hace un aporte significativo en la visualización de los efectos provocados por sustancias químicas tóxicas

y no-tóxicas sobre los componentes bióticos y abióticos del ecosistema acuático, y contiene información que puede servir de base para posteriores estudios sobre monitoreo, biorremediación y toma de medidas integrales para la protección ambiental.

Chán y Peña (2015), presentaron la “Evaluación de la calidad del agua superficial con potencial para consumo humano en la cuenca alta del Sis Iacán, Guatemala”. Su trabajo tuvo por objetivo general llevar a cabo una evaluación de los índices de calidad del agua, para ello, midieron los niveles de coliformes fecales, dureza, coliformes totales y contaminantes químicos, ello mediante la aplicación de los valores del límite máximo permitido, es así que encontraron porcentajes significantes de coliformes totales, coliformes fecales, siendo una amenaza para los seres humanos la presencia de microorganismos nocivos, por lo cual muestran evidencia de la necesidad existente de intervención humana para prevenir y corregir dichos niveles de contaminación.

Dimas *et al.* (2015) desarrollaron la investigación científica titulada “Índice de la calidad del agua y metales pesados del cauce aguas blancas del municipio de Acapulco Guerrero, México”, tuvo como objetivo general el evaluar el índice de calidad del agua de un río mexicano, aplicando los criterios propuestos por Comisión Nacional de Agua y la Fundación Nacional de Saneamiento, ambos de México, encontrando, que el agua analizada muestra índices de concentración de carga orgánica, sólidos totales, coliformes totales y fecales, nitratos, aceites, fosfatos, grasas y detergentes que exceden los límites máximos permitidos de la norma oficial de dicho país, identificándose la calidad de las aguas analizadas como inadecuada para cualquier actividad.

Aguirre *et al.* (2016) presentaron la investigación científica titulada “Aplicación del Índice de Calidad del Agua (ICA). Caso de estudio: Lago de Izabal, Guatemala”, el trabajo estuvo enfocado en desarrollar una evaluación del estado de salud en el que se encuentra el lago en cuestión, en el lapso comprendido entre 2005 y 2014, aplicó el Índice de Calidad del Agua desarrollado por la Fundación Nacional de Saneamiento de los EE.UU., encontró lo siguiente: (a) el lago en cuestión puede ser señalado de manera íntegra como adecuado para el uso humano, (b) la calidad del agua del lago en cuestión tiende a disminuir en la época de las lluvias, (c) los afluentes del lago estudiado presentan índices de la calidad del agua regulares, durante todo el año.

Copaja *et al.* (2016), determinaron las concentraciones de metales pesados en aguas y sedimentos en los afluentes y efluentes de los embalses mediterráneos-chilenos Cogotí, Corrales, La Paloma y Recoleta; exploraron el posible riesgo ecológico y la toxicidad utilizando el factor de enriquecimiento (EF), el código de evaluación de riesgos (RAC), las concentraciones de efecto umbral (TEC) y las concentraciones de efecto probable (PEC). Los resultados mostraron que se detectaron cinco metales: Al, Fe, Cu, Mn y Zn de los diez metales medidos tanto en el agua superficial como en los sedimentos. El código de evaluación de riesgos (RAC) sugirió que el Fe representa un riesgo medio en el afluente del Embalse Cogotí; Cu, Zn y Mn representan un riesgo medio a alto en todas las presas y en ambas zonas (afluentes y efluentes). El factor de enriquecimiento (EF) determinó que los cinco metales eran litogénicos. Fe, Cu y Mn son los elementos que presentan mayor toxicidad para los microorganismos en estos sistemas acuáticos.

Rubio *et al.* (2017), reportaron en su artículo académico “Calidad de agua en términos físico-químico-metales en tres sitios contrastantes del río Conchos en Chihuahua, México”, el cual tuvo por objetivo general determinar los índices de calidad del agua en las aguas del río Conchos. Para el logro de su objetivo general, los autores tomaron 80 muestras de aguas y cuantificaron sus parámetros de pH, temperatura, sólidos disueltos totales, conductividad eléctrica, como también parametrizaron la presencia de metales pesados, posterior a esto, efectuaron la prueba de Tukey ( $\alpha= 0.05$ ), y un análisis de varianza (ANOVA), de dicha manera, concluyen señalando que existen diferencias estadísticas para los índices de calidad del agua respecto a temperatura, conductividad eléctrica y sólidos disueltos totales, como también en la concentración de metales como Mg, B, Al y Cr, encontrándose así que los niveles de las variables evaluadas son los apropiados para el desarrollo de la vida.

La revista Anales Científicos de la Universidad Nacional Agraria La Molina presentó el artículo científico titulado, “Evaluación de la calidad del agua superficial utilizando el índice de calidad del agua (ICA). Caso de estudio: Cuenca del Río Guarapiche, Monagas, Venezuela”, de Gil *et al.* (2018), cuyo objetivo fue realizar una evaluación del índice de calidad del agua, en un río venezolano, mediante la aplicación del índice aritmético ponderado, así, en base a dicho objetivo, se obtuvo los resultados siguientes: (a) los valores del índice de calidad del agua encontrados oscilan entre 44,38 y 363,69, (b) las actividades antropogénicas cercanas y su impacto se evidencian en parámetros de CF, Mn, NO<sub>2</sub> y NO<sub>3</sub>, (c) los parámetros físicos analizados estaban dentro de los límites establecidos, sin embargo,

también pudo identificarse algunos valores por encima de los estándares de la norma venezolana, los cuales están relacionados a nitratos, Fe, nitritos y Mn, y (d) las aguas del río estudiado necesitan de tratamiento previo antes de ser destinadas al consumo humano.

Pérez *et al.* (2013), elaboraron la investigación “Metales pesados y calidad del agua residual en relación con el riego agrícola” publicado en la “Revista del Centro de Hidrociencias”. Dicha investigación se desarrolló con el propósito de evaluar el contenido de metales pesados y el índice de calidad de agua residual según estos, las muestras tomadas se realizaron en el año 2011 durante los meses de enero a junio. La metodología utilizada fue la NMX-AA-003-SCFI-1980, dicha metodología es una norma mexicana para el muestreo de aguas residuales, además se hizo uso de la metodología NMX-AA-008-SCFI-2000, la cual también es una norma mexicana para evaluar el pH de las aguas y para la evaluación de contenido de los metales pesados se hizo uso de la espectrofotometría de absorción atómica de flama. Los metales analizados fueron Cd, Ni, Cu, Pb, Zn, y Cr. La calidad de agua se midió mediante el método mencionado previamente, en el cual se analizaron los indicadores de calcio ( $\text{Ca}^{2+}$ ), potasio ( $\text{K}^+$ ), sodio ( $\text{Na}^+$ ), magnesio ( $\text{Mg}^{2+}$ ), cloruros ( $\text{Cl}^-$ ), bicarbonatos ( $\text{HCO}_3^-$ ), sulfatos ( $\text{SO}_4^{2-}$ ) pH, carbonatos ( $\text{CO}_3^{2-}$ ), y conductividad eléctrica (CE). Los resultados mostraron que no hubo presencia de Cd, Ni y Cu. Además, en promedio los demás metales estuvieron presentes en un 0.03 mg/L, el pH promedio fue de 7.5 y la calidad de agua según los indicadores mostraron condiciones favorables para el consumo humano. El autor concluye diciendo que las aguas residuales cumplen con los parámetros que fueron establecidos en relación a su contenido de metales pesados.

## **2.2. BASES TEÓRICAS**

### **2.2.1. Calidad de agua**

Según Gleick (2002), el agua es un recurso natural limitado, el cual debe ser considerado como un bien público debido a su importancia para la salud humana como para toda forma de vida. Así mismo, señala que el 96.5% de dicho recurso se sitúa en los océanos y el resto, en glaciares, depósitos subterráneos, atmósfera, lagos, ríos, humedales, embalses, entre otros. De manera similar, al relacionar dicho elemento, el agua, con la contaminación ambiental ocasionada por el hombre, Lekshmiprasad y Mophin (2017) comenta que el

incremento poblacional del ser humano de viene también, en un incremento de la demanda de recursos naturales, lo cual trae consecuencias negativas tanto para la calidad como para la cantidad de reservas acuíferas dulces.

En este contexto, uno de los principales contaminantes ambientales son los metales pesados, los cuales, según Navarro *et al.* (2007), son elementos químicos con densidades superiores o iguales a  $5 \text{ g/cm}^3$  y con número atómico mayor a 20, a excepción de los metales alcalinotérreos y alcalinos. Así mismo, al relacionar la contaminación ambiental ocasionada por el hombre con la presencia de metales pesados, Gutiérrez *et al.* (2014) señalan que la primera al ser relacionada con la segunda, conforma uno de los problemas ambientales más inquietantes debido a la capacidad bioacumulativa, versatilidad para moverse al interior de los sistemas acuáticos y toxicidad de los metales pesados, características que, según Rodríguez *et al.* (2006), devienen en efectos como: (a) presencia de riesgos para la salud de los diversos seres vivos, (b) generación de limitaciones biológicas y fisicoquímicas en los suelos y cuerpos acuáticos, (c) decaimiento de la calidad de los productos agrícolas, y (d) diseminación de los contaminantes a través de la cadena trófica.

Específicamente, al analizar la presencia de metales pesados en los cuerpos acuáticos del planeta tierra, Duffus (2002) indica que estos conforman parte de la corteza terrestre en forma de sales, minerales, entre otros tipos de compuestos, señala además, que una de las características de estos metales es que no pueden ser fácilmente destruidos o degradados de manera natural, lo cual estaría relacionado al hecho de que no poseen funciones metabólicas específicas para los seres bióticos, otra de sus características, es que estos se incorporan a los sistemas de abastecimiento de agua a través de los residuos industriales que se vierten sin tratamiento, para luego depositarse en los diferentes sistemas acuáticos.

Copaja *et al.* (2016), por su parte indican que los metales pesados son indicadores de la calidad ecológica en los cuerpos de agua, por la toxicidad, persistencia y acumulación en los organismos vivos, señalando que su ingreso al ciclo hidrológico proviene de distintas fuentes, siendo importante las de origen litogénico o geoquímico, sin descartar que en la actualidad la mayor concentración proviene de actividades antropogénicas.

De dicha manera, puede observarse la interacción entre la salud de los seres bióticos y la contaminación de los sistemas acuáticos terrestres, sobre esto, Gil *et al.* (2018) comentan

que, en la naturaleza, la condición ecosistémica está fuertemente condicionada a los niveles de calidad del agua, situación que puede evidenciarse en los efectos de dicha relación sobre los distintos seres vivos, de manera simultánea, este autor comenta, también, el rol de la actividad antrópica sobre los cuerpos acuáticos, indicando que la primera se vale de los segundos para la eliminación de las aguas residuales producto de su actividad agrícola, doméstica e industrial, situación que gradualmente va degradando los niveles de calidad del agua.

Sierra (2011), indica que cuando un contaminante entra en el agua, su concentración se ve afectada por fenómenos como de dispersión, difusión, reacción, sumideros y de advección, en este último se cambia la concentración del contaminante, pero no cambia su composición química, por la fuerza o impulso del caudal.

Frente a esta problemática descrita, se desarrollaron métodos para evaluar la calidad del agua entre los cuales se encuentran la cuantificación biológica, física y química del agua, posterior a esto fueron agrupadas dichas características hasta conformar los denominados Índices de Calidad del Agua, los cuales, según Babaei *et al.* (2011) fueron diseñados en conformidad con los usos del recurso hídrico, en base a las políticas de evaluación y monitoreo de la calidad del agua de cada país.

Actualmente la Autoridad Nacional del Agua interpreta los resultados de los monitoreos de calidad de aguas, mediante una comparación de los resultados de los análisis de agua realizados con las concentraciones de los parámetros de las diferentes categorías que tiene el Estándar de Calidad Ambiental para Agua aprobado mediante el Decreto Supremo N°004-2017-MINAM, para el caso del presente estudio le corresponde la Categoría 3 para riego de vegetales y bebidas de animales; se indica que no se tiene una metodología para la interpretación de los resultados, definida por la ANA, tampoco se dice en el Protocolo Nacional para el Monitoreo de Calidad de los Recursos Hídricos Superficiales (aprobada con Resolución Jefatural N°010-2016-ANA); actualmente está en revisión por la ANA justamente la aplicación de una modificación del Índice de Calidad de Agua Canadiense para los resultados de los monitoreos de calidad de agua, en las cuencas hidrográficas analizadas.

Sobre los denominados índices de calidad del agua, según Cahoy y López (2017), actualmente hay diversas metodologías para evaluar la calidad del agua de un cuerpo hídrico, los cuales difieren entre sí por su manera de calcularse y por los parámetros que consideran para la formulación de sus índices. Por su parte, Rubio *et al.* (2014) señala que estos conforman una herramienta que posibilita el diagnóstico de un recurso natural como es el agua, esto mediante la evaluación de los componentes que alteran su calidad para los diferentes usos que el agua, podría tener, permitiendo, así, representar y comunicar la calidad del contenido de los diversos cuerpos acuáticos existentes.

Sobre dichos índices, Herrera *et al.* (2009) comentan que estos basan su clasificación de la calidad de las aguas en la comparación entre los niveles de concentración de agentes contaminantes contra los límites establecidos mediante instrumentos legales, así mismo, tanto los estándares de calidad para ríos como para otros cuerpos acuáticos son definidos en base a los usos posibles a los que el agua está destinada.

Para la aplicación del Índice de Calidad de Agua de la Canadian Council of Ministers of the Environment Water Quality Index -CCME WQI (Canadian Council of Ministers of the Environment 2001), se debe tener las siguientes consideraciones: a) Las comparaciones de índices solo deben hacerse cuando se están aplicando los mismos conjuntos de objetivos y parámetros de calidad de agua. b) Se debe tener cuidado al utilizar datos antiguos realizados con metodología antigua. c) El índice debe ejecutarse con parámetros relevante para el cuerpo de agua que se está probando, no incluir todos los parámetros y d) No debe ejecutarse con menos de cuatro parámetros y cuatro muestreos por año.

En suma, puede señalarse que los cuerpos acuáticos naturales tienen diferentes utilidades, como la asimilación de desechos, el transporte y para el desarrollo de la vida misma, a la vez, puede señalarse que a medida que estos integran determinados desechos, se va modificando su calidad para sus diversos usos, como también generando estragos en las diversas especies existentes que interactúan con dicho elemento, es así que los índices de calidad del agua conforman un importante componente para el manejo global del agua.

### **2.2.2. Parámetros de calidad de agua**

De acuerdo a la Resolución Jefatural N°202-2010-ANA de la Autoridad Nacional del Agua



que aprueba la clasificación de los cuerpos de agua continentales y marino costeros; el río San Juan no se encuentra clasificado, sin embargo, de acuerdo a lo establecido en el numeral 3.3 del artículo 3° del Decreto Supremo N°023-2009-MINAM que aprueba las disposiciones para la implementación de los Estándares Nacionales de Calidad Ambiental (ECA) para agua, se precisa que asumirá transitoriamente, la categoría del recurso hídrico al que tributa, por tal razón, este recurso por ser parte de la red hídrica del río Mantaro asume la Categoría 3: Riego de vegetales bebida de animales - para riego de vegetales de tallo bajo (ANA 2018).

Los principales parámetros de calidad de agua de importancia para el río San Juan, son:

- Potencial de Hidrogeno, se le llama pH o Potencial de Hidrogeno a la concentración de iones hidrogeno, su escala va de 1 a 14, el pH de una solución neutra es igual a 7, las sustancias que poseen un valor menor a 7 son acidas y las que poseen valor mayor a 7 son alcalinas (Miyashiro *et al.* 1996).
- Oxígeno disuelto, es una de las pruebas más simples e importantes, para determinar por su concentración la contaminación de corrientes o cuerpos de agua, es una de las condiciones más importantes para que exista crecimiento y reproducción de una población normal de peces y otros organismos acuáticos (Sierra 2011).
- Sulfatos, se encuentra en casi todas las aguas naturales, la mayor parte de los compuestos sulfatados se originan de las menas de sulfato, la presencia de esquistos, y la existencia de residuos industriales, también se pueden encontrar en las aguas subterráneas, cuando el agua que se deposita en ellas proviene de formaciones rocosas y suelos que contienen minerales sulfatados (Miyashiro *et al.* 1996).
- Coliformes termotolerantes, es un indicador del riesgo potencial de contaminación con bacterias o virus patógeno, ya que los Coliformes termotolerantes siempre están presentes en las heces humanas y de los animales (Sierra 2011).
- Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO<sub>5</sub>), Demanda Bioquímica de Oxígeno en 5 días es parámetro de mayor significancia cuando se trata de determinar la carga depolución que pueden generar los desechos domésticos e industriales de carácter orgánico al ser

descargados en corrientes de agua en las que persistan condiciones aeróbicas (Sierra 2011).

- Demanda Química de Oxígeno (DQO), la prueba es muy usada para medir la carga de polución de los desechos domésticos industriales, mediante esta prueba se puede medir un desecho en términos de la cantidad de oxígeno requerido para oxidar completamente a la materia orgánica del desecho a CO<sub>2</sub>, agua y amoníaco (Sierra 2011).
- Fósforo total, puede ser utilizado como indicador de la cantidad de detergentes sintéticos vertidos a una corriente, desde el punto de vista de la eutrofización de cuerpos de agua, el nivel crítico es aproximadamente 0,01 mg/L (Sierra 2011).
- Aceites y Grasas, en aguas superficiales ocasionan películas que interfieren en la transferencia de oxígeno atmosférico, en cantidades excesivas disminuyen la eficiencia de tratamientos biológicos, asociados a la presencia de hidrocarburos por su insolubilidad en el agua (Sierra 2011).
- Hierro total, aguas con altos contenidos al entrar en contacto con el aire, pueden precipitar, originando sólidos sedimentables y coloración de las aguas. Su presencia imposibilita el uso del agua en algunas actividades industriales (Sierra 2011).
- Manganeso, en pequeñas cantidades produce manchas, su oxidación posibilita la formación precipitados, generando turbiedad y disminución de la calidad estética de los cuerpos de agua (Sierra 2011).
- Nitritos, en aguas superficiales son indicadores de contaminación, es formador de ácido nitroso en solución acida, la mezcla con aminas secundarias forma nitroso aminas que son cancerígenos (Sierra 2011).
- Zinc, elemento esencial para las plantas y animales, en elevadas concentraciones es tóxico para algunas especies de vida acuática, en aguas alcalinas puede originar opalescencia, su presencia es indicador de descargas industriales (Sierra 2011).

- Aluminio, los minerales asociados son la bauxita, y óxidos de aluminio que son usados como abrasivos. Para aguas de consumo la Environmental Protection Agency recomienda concentraciones máximas de 0,05 mg/L (Sierra 2011).
- Arsénico, la contaminación por As aparece asociada a la fabricación o utilización de herbicidas o pesticidas (Sierra 2011).
- Cadmio, especialmente peligroso ya se puede combinar con otras sustancias tóxicas, produce graves enfermedades cardiovasculares y afecta también a los micromoluscos (Sierra 2011).
- Cobre, su toxicidad sobre los microorganismos acuáticos varía con la especie, características físicas y químicas del agua, como temperatura, dureza, turbiedad y contenido de CO<sub>2</sub> (Sierra 2011).
- Mercurio, cuando está presente en el agua de consumo invade el cuerpo humano, a través de los tejidos de la piel, ingestión de comida, debilita progresivamente los músculos, funciones cerebrales (Sierra 2011).
- Plomo, compuesto tóxico acumulativo en el cuerpo humano produce una variedad de síntomas en los tejidos vulnerables. Cuando el agua está contaminada con plomo afecta también a los peces (Sierra 2011).

### **2.2.3. Índice de Contaminación por metales pesados**

Reza y Singh (2010) indican que algunos de los metales como Cu, Fe, Mn, Ni y Zn son esenciales como micronutrientes para los procesos vitales en animales y plantas, mientras que muchos otros metales tales como Cd, Cr, Pb y Co no tienen actividades fisiológicas conocidas, que los metales no son degradables y pueden acumularse en el sistema del cuerpo humano, causando daños al sistema nervioso y órganos internos, sin embargo, los ríos desempeñan un papel importante en la asimilación o el transporte de las aguas residuales municipales e industriales y la escorrentía de las tierras agrícolas y la minería (Reza & Singh, 2010).

Onkar y Sulochana (2015) señalan que los metales pesados, incluyen a elementos esenciales y no esenciales, tienen un significado particular en ecotoxicología. Son muy persistentes y tienen el potencial de ser tóxicos para los organismos vivos. Las concentraciones de metales pesados en los ecosistemas acuáticos son monitoreadas por lo general mediante la medición de su concentración en el agua, que las actividades humanas han llevado a la acumulación de metales tóxicos en el medio ambiente y la extensa explotación de los recursos naturales ha llevado a una mayor presión sobre los ecosistemas acuáticos. Por consiguiente, debido aun aumento de la carga de metales pesados en los ecosistemas acuáticos, estos ecosistemas han sufrido modificaciones graves. Las concentraciones elevadas de contaminantes en estos sistemas se han traducido en la bioacumulación de metales tóxicos y un grave problema ambiental, que amenaza los organismos acuáticos y la salud humana. Según la metodología utilizada por los autores señalan que el Índice de contaminación por metales pesados (HPI), fue desarrollado mediante la asignación de una calificación o coeficiente de ponderación ( $W_i$ ) para cada parámetro elegido. El sistema de calificación es un valor arbitrariamente entre 0 a 1 y su selección depende de la importancia de las consideraciones de calidad individuales o puede ser definido como inversamente proporcional al valor permisible estándar. Al calcular el HPI de los datos actuales de calidad del agua, los límites de concentración, es decir, el valor estándar permisible ( $S_i$ ) y el valor más alto deseable ( $I_i$ ) para cada parámetro se tomaron de las normas de la OMS. El HPI se determina utilizando la siguiente expresión:

$$HPI = \frac{\sum_{i=1}^n W_i Q_i}{\sum_{i=1}^n W_i}$$

Donde  $Q_i$  es el subíndice del  $i$ -ésimo parámetro.  $W_i$  es la unidad coeficiente de ponderación del  $i$ -ésimo parámetro y  $n$  es el número de parámetros considerados. El subíndice ( $Q_i$ ) se calcula:

$$Q_i = \sum_{i=1}^n \frac{(M_i(-)I_i)}{(S_i-I_i)} \times 100$$

Donde  $M_i$ ,  $I_i$  y  $S_i$  son el valor monitoreado de metales pesados, los valores ideales y estándar del  $i$ -ésimo parámetro, respectivamente. El signo (-) indica diferencias numéricas de los dos valores, ignorando el signo algebraico.

Abdullah (2013) manifiesta que el Índice de Contaminación por Metales Pesados (HPI) es una técnica de clasificación que proporciona la influencia compuesta de cada metal pesado individual en la calidad general del agua, que la calificación es un valor entre cero y uno, el

cálculo de HPI implica los siguientes pasos: En primer lugar, el cálculo del coeficiente de ponderación del *i*-ésimo parámetro, en segundo lugar, el cálculo de la calificación de calidad para cada uno de los metales pesados, en tercer lugar, la suma de estos subíndices en el índice general.

Por otro lado, Sierra (2011) señala que la calidad del agua de un recurso hídrico depende del uso que se le quiera dar, y ésta a su vez está determinada por los diferentes parámetros que caracterizan su calidad. Los usos más comunes que tradicionalmente se le dan al agua, se pueden agrupar de acuerdo con la actividad en la cual se utiliza, entre ellos se tiene: Agua para riego, abastecimiento de agua municipal, procesos industriales, habitat para peces, navegación, generación de energía eléctrica, recreación, etc. También indica que tanto los usos del agua como las normas y criterios evolucionan con el tiempo, lo cual significa que los entes interesados (corporaciones, ministerios, etc.) hacen revisiones sobre el tema y publican nuevas regulaciones cuando lo creen conveniente.

### **III. MATERIALES Y MÉTODOS**

#### **3.1. MATERIALES**

Los materiales utilizados para el desarrollo de la investigación fueron los siguientes:

- Puntos de la red de monitoreo el cual divide al río San Juan en tramos.
- Puntos de la identificación de fuentes contaminantes del río San Juan y principales tributarios.
- Estándares de Calidad Ambiental del Agua del Decreto Supremo N°004-2017- MINAM y la Resolución Jefatural N°202-2010-ANA, de la Autoridad Nacional del Agua que aprueba la clasificación de los cuerpos de agua continentales y marino costeros.
- Resultados de los Monitoreos de Calidad de Aguas Superficiales realizados por la Autoridad Nacional del Agua, para el periodo del 2012 al 2018, en el río San Juan, en el departamento de Cerro de Pasco.
- Índice de Calidad de Agua de la Canadian Water Quality Guidelines for the Protection of Aquatic Life: CCME WATER QUALITY INDEX 1.0.
- Índice de Metales Pesados (HPI), por sus siglas en inglés, Heavy Metals Pollution Index).

#### **3.2. METODOLOGÍA**

Teniendo en cuenta que los estudios de contaminación son ampliamente desarrollados aplicando diversos índices de calidad, en la investigación se optó por emplear el Índice de la Canadian Water Quality Guidelines for the Protection of Aquatic Life (CCME WQI) y el

Índice de Metales Pesados (HPI), por sus siglas en inglés, Heavy Metals Pollution Index), los cuales fueron aplicados a los resultados de los análisis de agua en diversos puntos a lo largo del río San Juan. Cabe mencionar que el estudio fue realizado con los datos acopiados y registrados en los informes técnicos de la Autoridad Nacional del Agua (ANA), durante el periodo 2012-2018, en los cuales el suscrito participó en su planificación, como supervisor en su ejecución y elaboración del informe final en la mayoría de los monitoreos realizados a la fecha.

La investigación se desarrolló en tres fases para la obtención de resultados:

### **FASE 1: MONITOREO DE LA CALIDAD DEL AGUA**

Se trabajó con los resultados de los monitoreos de la calidad del agua en el río San Juan de los años 2012 al 2018, realizados por la Autoridad Nacional del Agua y con los Estándares de Calidad Ambiental del Agua del Decreto Supremo N°004-2017-MINAM, el cual comprende cuatro categorías y catorce subcategorías, así tenemos la Categoría 3 para riego de vegetales y bebidas de animales.

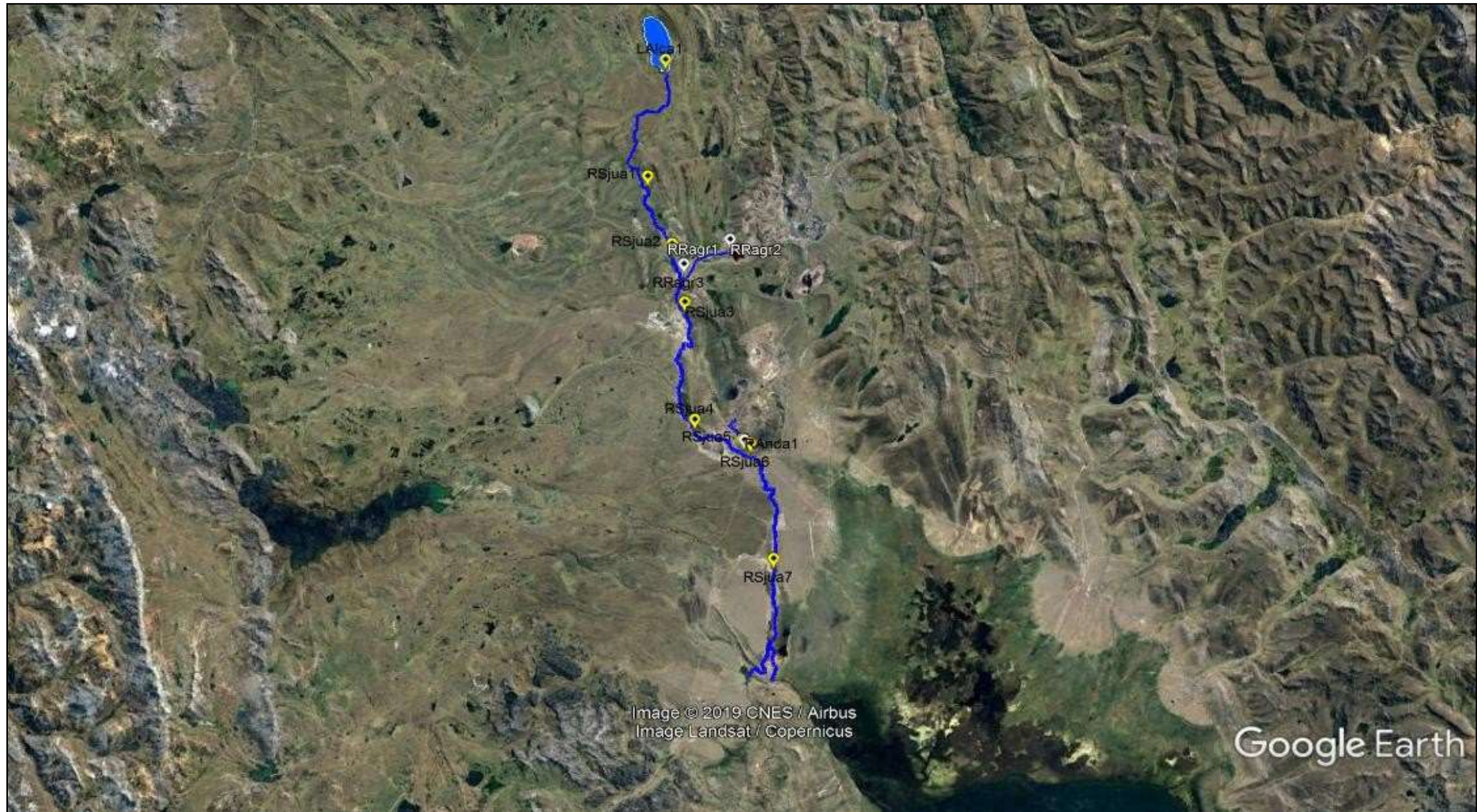
Para los cálculos del Índice de Calidad de Agua, se usó el ICA Canadiense (CCME WQI) y el Índice de Metales Pesados (HPI), se utilizó la red de monitoreo de la subcuenca del río San Juan el cual comprende 07 puntos o tomas de muestra, denominados RSjua1, 2, 3, 4, 5, 6 y 7 de acuerdo al siguiente orden:

- a. En el río San Juan los puntos RSjua 1 y 2, corresponden a la parte más alta, los puntos RSjua3, 4 y 5 a la parte media, los puntos RSjua 6 y 7 a la parte baja del río.
- b. Se consideró la influencia de los ríos tributarios como el Río Ragra en los puntos RRagr1, 2, 3, y el Río Andacancha en el punto RAnda1, con la finalidad de tener una mejor comprensión de las fuentes de contaminación que impactan el río San Juan en los puntos de confluencia; en la imagen 1 en Google Earth se aprecia la ubicación de la red de monitoreo y en la Tabla 1 está la descripción de cada punto de monitoreo en la subcuenca del río San Juan.

- c. También se consideró las aguas de la Laguna Alcacocha con el punto LAlca1, solo como referencia de línea base.
- d. En el cálculo del ICA CCME, para cada punto se analizaron 13 parámetros de calidad de agua, desde los años 2012 al 2018, lo que hace un total de 1224 parámetros revisados (incluyendo aquellos que no se tuvo resultados).
- e. Para el cálculo del Índice de metales pesados HPI, se consideró 7 parámetros, no se incluyó el parámetro mercurio porque no fue detectado en los reportes de los monitoreos de la ANA.
- f. Los puntos de la red de monitoreo se muestran en la Figura 1 y Figura 2, la ubicación y descripción de cada punto de monitoreo, se precisó mediante coordenadas UTM (WGS 84), la misma que se muestra en la Tabla 1. Las principales fuentes de contaminación como agua residual municipal y doméstica, residuos sólidos y actividad de lavado de material no metálico, que impactan al río San Juan, río Ragra, y la ubicación de las fuentes de contaminación se muestran en la Tabla 2.

Para la determinación del índice de calidad de agua e índice de contaminación de metales pesados se priorizaron los parámetros recomendados en el Protocolo Nacional para el Monitoreo de la Calidad de los Recursos Hídricos superficiales de la Autoridad Nacional del Agua, el cual fue aprobado con la Resolución Jefatural N°010-2016-ANA.





*Figura 1.* Ubicación de los puntos de muestreo seleccionados en el cauce del Río San Juan.  
Fuente: Google Earth (2019).

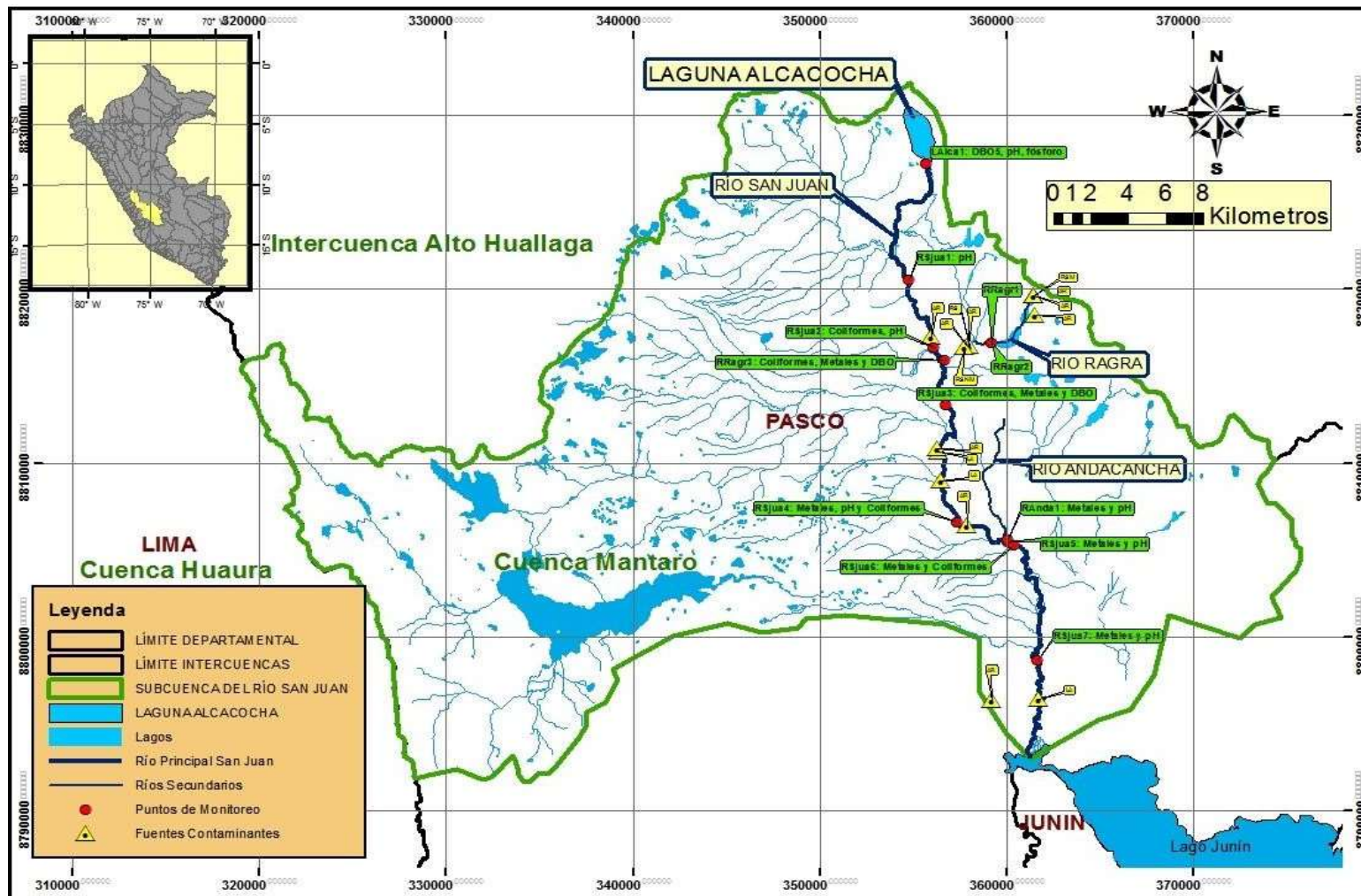


Figura 2. Río San Juan, Ríos tributarios, puntos de muestreo y puntos de fuentes contaminantes  
Fuente.: Elaboración Propia

**Tabla 1: Ubicación de los puntos de muestreo de la red de monitoreo en el Río San Juan.**

N°	Código	Descripción	Ubicación	Coordenadas UTM (WGS 84)	Altura m.s.n.m	Cat.
1	LAlca1	Laguna Alcacocho, a la altura de la salida (margen derecha)	C.C. Rancas / Distrito de Simón Bolívar	E: 355662 N: 8827209	4344	4
2	RSjua1	Río San Juan, aprox. a 40 m. aguas arriba del puente Vinchuscancha (margen derecha)	C.C. Rancas / Distrito de Simón Bolívar	E: 354735 N: 8820529	4211	3
3	RSjua2	Río San Juan, aprox. a 25 m. aguas abajo del puente carretera C.C. Pacoyán (margen derecha)	C.C. Rancas / Distrito de Simón Bolívar	E: 356066 N: 8816663	4202	3
4	RRagr1	Río Ragra, canal de concreto derecho, aprox. a 60 m. antes de la descarga al río Ragra.	Quiulacocho / Distrito de Simón Bolívar	E: 359197 N: 8816930	4251	3
5	RRagr2	Río Ragra, canal izquierdo, aprox. a 40 m. antes de la descarga al río Ragra.	Quiulacocho / Distrito de Simón Bolívar	E: 359175 N: 8816894	4254	3
6	RRagr3	Río Ragra, aprox. a 50 m. antes de su confluencia con el río San Juan (margen derecha)	Yurajhuanca / Distrito de Simón Bolívar	E: 356709 N: 8815509	4201	3
7	RSjua3	Río San Juan, aprox. a 22 m. aguas abajo del puente de Los Ángeles, carretera C.C. Sacra Familia	C.C. Sacra Familia / Distrito de Simón Bolívar	E: 356767 N: 8813331	4145	3
8	RSjua4	Río San Juan, aprox. a 400 m. antes de la planta concentradora de Sociedad Minera Brocal.	Huaraucaca / Municipalidad Distrital Fundación de Tinyahuarco	E: 357336 N: 8806603	4158	3
9	RSjua5	Río San Juan, aprox. a 150 m. antes de confluencia con el río Andacancha (margen izquierda).	Huaraucaca / Municipalidad Distrital Fundación de Tinyahuarco	E: 359922 N: 8805498	4148	3
10	RAnda1	Río Andacancha, aprox. a 30 m. antes de su confluencia con el río San Juan (margen derecha)	Huaraucaca / Municipalidad Distrital Fundación de Tinyahuarco	E: 360020 N: 8805443	4147	3
11	RSjua6	Río San Juan, aprox. a 22 m. aguas abajo del puente antiguo hacia Huayllay (margen derecha)	Huaraucaca / Municipalidad Distrital Fundación de Tinyahuarco	E: 360351 N: 8805265	4140	4
12	RSjua7	Río San Juan (margen derecha), aprox. 300 m. después de su confluencia con el río Blanco.	Huaraucaca / Municipalidad Distrital Fundación de Tinyahuarco	E: 361625 N: 87986	4109	4

Fuente: Monitoreo de la Calidad del Agua superficial de la Autoridad Nacional del Agua.

## Identificación de Fuentes Contaminantes del río San Juan.

Los datos presentados para la identificación de fuentes contaminantes del Río San Juan y Ragra están basados en la actualización del 2018 según el proyecto PGIRH, y se muestran en la Tabla 2.

**Tabla 2: Identificación de Fuentes Contaminantes en el río San Juan y Río Ragra.**

	Coordenadas - UTM WGS 84, Zona 18L		Fuente contaminante	Caudal (L/s)	Dato de residuos sólidos	Recurso Hídrico	Distrito	Localidad
	Este	Norte						
1	356960	8817241	Agua residual	8	-	Río San Juan	SimónBolívar	San Antoniode Rancas
2	356344-356492	8810655-8808997	Sustancias dispuestas "In Situ"	-	1750 m de largo	Río San Juan	Pasco	Pasco
3	356289	8810808	Agua residual	7	--	Río San Juan	Pasco	Pasco
4	357883	8806403	Agua residual	--	--	Río San Juan	Tinyahuarco	Huaraucaca Antigua
5	359191	8796325	Agua residual	0.5	--	Río San Juan	Vicco	Cochamarca
6	361726	8796454	Sustancias dispuestas "In Situ"	-	-	Río San Juan	Vicco	Cochamarca
7	357958	8816742	Agua residual	15	--	Río Ragra	SimónBolívar	Quiulacocha
8	357872	8816718	Agua residual	0.8	-	Río Ragra	SimónBolívar	Quiulacocha
9	361459	8819617	Agua residual	15	--	Río Ragra	SimónBolívar	Paragsha - AAHH José Carlos Mariátegui
10	361416	8819656	Agua residual	20	-	Río Ragra	Yanacancha	Paragsha
11	361413	8819661	Residuossólidos	-	1.5 m3.	Río Ragra	Pasco	Paragsha
12	361535	8818520	Agua residual	5	-	Río Ragra	Chaupimarca	Chaupimarca
13	357989	8816721	Agua residual	0.5	-	Río Ragra	Pasco	Quiulacocha
14	357708	8816651	Residuossólidos	--	40 m3.	Río Ragra	Pasco	Quiulacocha

Fuente: Proyecto PGIRH (2018)

## **FASE 2: DETERMINACIÓN DEL GRADO DE CONTAMINACIÓN**

Los Estándares Nacionales de Calidad Ambiental para Agua establecen las concentraciones de parámetros físicos, químicos y biológicos presentes en el agua en su estado natural y componentes básicos de los ecosistemas acuáticos, que no representa riesgo significativo para la salud de las personas ni para el ambiente, estos estándares son aplicables en todo el territorio nacional, mediante el DECRETO SUPREMO N°004-2017-MINAM que aprueba los Estándares de Calidad Ambiental para Agua, el cual se compone de cuatro categorías y 14 sub categorías con 104 parámetros de calidad.

La clasificación de los recursos hídricos es un instrumento de gestión ambiental que se emplea antes de evaluar la calidad del agua en el cuerpo receptor. De acuerdo a la Resolución Jefatural N°056-2018-ANA, hubo una modificación y se aprobó que la clasificación de cuerpos de aguas continentales superficiales del río San Juan, presenta dos categorías que corresponden al Estándar de Calidad Ambiental del Agua, el primero es la Categoría 3 que es para Riego de vegetales y Bebida de animales, que se aplica desde la parte alta de su nacimiento, a la salida de las aguas en la laguna Alcacocha, hasta antes del río Andacancha que es un tributario del río San Juan y la Categoría 4 que es para la Conservación del Ambiente Acuático, que está comprendida después del río Andacancha hasta el punto más cercano a la desembocadura en el delta Upamayo; sin embargo en el presente estudio se utilizó la Resolución Jefatural N°202-2010-ANA que considera la categoría 3 en todos los puntos evaluados, excepto la laguna Alcacocha con categoría 4, con la finalidad de cumplir con los requerimientos del índice de calidad de agua CCME, que recomienda mantener los objetivos en una evaluación.

### **Determinación con el Índice de Calidad de Agua Canadiense (CCME WQI).**

El índice de calidad de agua utilizado fue la Canadian Council Ministry of Environment – CCME (2001), que es un índice empleado mundialmente para evaluar la calidad del agua, aplicado a las fuentes de abastecimiento. Para su aplicación es necesario una red de monitoreo, con una data mínima de cuatro parámetros de calidad de agua y cuatro monitoreos.

Los parámetros utilizados para evaluar el índice de calidad del agua en el río San Juan, se basó en la Resolución Jefatural N°202-2010-ANA de la Autoridad Nacional del Agua, que

clasifica a los cuerpos de agua en categorías. Los parámetros considerados en la Categoría 3 son: pH, oxígeno disuelto, demanda bioquímica de oxígeno, aluminio, arsénico, cadmio, cobre, hierro, manganeso, plomo, zinc, Coliformes termotolerantes y Escherichia coli; los parámetros considerados en la Categoría 4 son: pH, oxígeno disuelto, demanda bioquímica de oxígeno, fosforo total, arsénico, cobre, mercurio, plomo, zinc, Coliformes termotolerantes. Si algún parámetro no fue registrado en el monitoreo, no se lo consideró en la evaluación del índice.

La estructura de cálculo del ICA-CCME, se basa en la siguiente ecuación 1.

$$ICA\ CCME = 100 - (\sqrt{F1^2 + F2^2 + F3^2/1.732}) \quad (1)$$

El cálculo del índice de la Canadian Council Ministry of Environment –CCME, permite combinar tres factores:

- Alcance (F1), referido al número de variables o parámetros de calidad de agua que no se ajustan a los objetivos de calidad de agua o del ECA agua.

$$F1 = \frac{\text{Número de variables de calidad de agua que no cumplen el ECA agua}}{\text{Número total de parámetros de calidad de agua a evaluar}}$$

- Frecuencia (F2), el número de veces que los datos de los resultados de los monitoreos de calidad no cumplen los objetivos de calidad o el ECA agua.

$$F2 = \frac{\text{Número de Datos Evaluados que no cumplen el ECA agua}}{\text{Número total de Datos Evaluados}}$$

- Amplitud (F3), representa medida de la desviación que existe en los datos determinada por la suma normalizada de excedentes o los excesos de todos los datos respecto al número total de datos.

$$F3 = \left( \frac{\text{Suma normalizada de excedentes}}{\text{Suma normalizada de excedentes}+1} \right) *100$$

Dónde: Suma normalizada de Excedentes= *nse*

$$nse = \frac{\sum_{i=1}^n \text{Excedente } i}{\text{Total de Datos}}$$

El excedente es por parámetro de calidad de agua, se tiene dos casos:

Caso 1: Concentración del parámetro es mayor al valor establecido del ECA agua.

$$\text{Excedente } i = \left( \frac{\text{Valor del parámetro que no cumple el ECA agua}}{\text{Valor establecido del parámetro en el ECA agua}} \right) - 1$$

Caso 2: Concentración del parámetro es menor al valor establecido del ECA agua.

$$\text{Excedente } i = \left( \frac{\text{Valor establecido del parámetro en el ECA agua}}{\text{Valor del parámetro que no cumple el ECA agua}} \right) - 1$$

Aplicando la ecuación N°1, se pueden obtener puntuaciones entre 0 y 100 siendo cero el valor de pobre de calidad y cien de buena calidad de agua (MVOTMA, 2010).

En la Tabla 3 se muestran los valores de ICA y sus correspondientes calificaciones que propone el índice CCME.

**Tabla 3: Calificación del Índice CCME.**

ICA	Calificación	Descripción
De 80 a 100	Buena	La calidad del agua está protegida, sólo existe un menor grado de amenaza y rara vez se aparta de las condiciones físicas o parámetros establecidos.
De 65 a 79	Regular	La calidad del agua suele ser protegida, pero se ve amenazada de vez en cuando y ésta se aparta de las condiciones físicas o deseables de los parámetros establecidos.
De 45 a 64	Marginal	La calidad del agua es frecuentemente amenazada o perjudicada y a menudo se aparta de las condiciones físicas o niveles de los parámetros establecidos.
De 0 a 44	Pobre	La calidad del agua es frecuentemente amenazada o perjudicada y ésta se aparta de las condiciones físicas o niveles de los parámetros establecidos.

Fuente: Ministerio de Vivienda Ordenamiento Territorial y Medio Ambiente, Dirección Nacional de Medio Ambiente (2010).

#### **Determinación con el Índice de Metales Pesados (HPI).**

El grado de contaminación por metales en el río San Juan, se realizó usando el Índice de Metales Pesados. Los parámetros considerados son aquellos metales que no cumplen el Estándar de Calidad Ambiental del Agua en su categoría correspondiente; para la Categoría 3 se utilizaron: aluminio, cadmio, cobre, hierro, manganeso, plomo y zinc; para la Categoría 4 se utilizaron: Cadmio, cobre, plomo y zinc.

Abdullah (2013) indica que para el cálculo del Índice de Contaminación por Metales Pesados (HPI) se utiliza la influencia individual ponderada de cada metal en la calidad de agua analizada. El cálculo de HPI comprende:

- El cálculo del coeficiente de ponderación del i-ésimo parámetro.
- El cálculo de la calificación de calidad para cada uno de los metales pesados.
- La suma de estos subíndices en el índice general.

El coeficiente de ponderación del i-ésimo parámetro, se obtiene usando la ecuación 2 adjunta:



$$W_i = k / S_i \quad (2)$$

Donde  $W_i$  es el coeficiente de ponderación o la inversa del ECA agua y  $S_i$  la norma recomendada para el  $i$ -ésimo parámetro, mientras que  $k$  es la constante de proporcionalidad en este caso 1.

La calificación del parámetro individual, viene dada por la expresión

$$Q_i = 100 V_i / S_i \quad (3)$$

Donde  $Q_i$  es el subíndice  $i$ -ésimo parámetro,  $V_i$  es el valor del parámetro o el promedio de los resultados de los análisis de agua realizados y  $S_i$  el límite estándar permisible para el  $i$ -ésimo parámetro o valor del ECA agua.

El índice del metal pesado (HPI) se calculó de la siguiente manera:

$$HPI = \frac{\sum_{i=1}^n W_i Q_i}{\sum_{i=1}^n W_i} \quad (4)$$

En la Tabla 4 se muestra la calificación para el índice de metales pesados.

**Tabla 4: Calificación para la evaluación de la contaminación de metales pesados.**

HPI	CALIDAD DEL AGUA
0- 25	Muy buena.
26- 50	Buena.
51 - 75	Pobre.
76 - 100	Muy pobre.

Fuente: International Journal of Science Engineering and Advance Technology, IJSEAT (2017).

Los resultados de los cálculos para Índice de Calidad de Agua Canadiense (CCME WQI) se muestran en el Anexo 1, el cual comprende los Cuadros del 01 al 12; y los resultados Índice de Metales pesados (HPI), comprende los Cuadros 13 al 24.

Además, para el cálculo de los dos índices de calidad de agua, se han tenido las siguientes consideraciones generales:

- El registro de monitoreo de la ANA (2012 al 2018) se dividió en dos periodos el primero que va desde el año 2012 al 2015, el segundo periodo desde el 2016 al 2018 los cuales se detallan en el Anexo 1, también se hizo el análisis considerando un solo periodo que va desde el 2012 al 2018.
- Los puntos de monitoreo RSjua1, 2, 3, 4, 5, 6 y 7; RRagr1, 2, 3 y RAnda 1, comprendea la categoría 3 del ECA agua.
- El punto de la laguna Alcacocha LAlca1, corresponde a la categoría 4 del ECA agua, por tratarse de un cuerpo de agua lenticio.
- Para el caso de la categoría 4 para lagos, no se consideró al parámetro cadmio debido a que la categoría pide cadmio disuelto y el laboratorio analizo cadmio total.
- Los valores de los parámetros obtenidos en el laboratorio fueron comparados con su correspondiente valor del ECA agua.

### **FASE 3: DETERMINACIÓN DE LOS USOS DEL AGUA EN FUNCIÓN DE SU CALIDAD.**

Ante la ausencia de una metodología estándar en nuestro país para determinar los usos del agua en función a su calidad, se usará la metodología recomendada por Sierra (2011):

- a. Primer paso, segmentar el rio en tramos, para ello se consideró los puntos de la red de monitoreo de la ANA ya establecida para el rio San Juan.
- b. Segundo paso, se consideró los usos del agua en función de su calidad, el cual se muestra en la Tabla N° 5, también se tomó como referencia los Criterios generales de calidad del agua para los diferentes usos del agua el cual se detallan en el Cuadro 25.

**Tabla 5: Categorías de usos de agua que se pueden realizar, según su calidad.**

Usos permitidos	Convención	Significado
Piscícola o habitad para peces.	<b>AZUL</b>	Recurso Hídrico en estado natural. Agua de muy buena calidad.
Abastecimiento de agua, recreación con contacto no restringido, procesos Industriales, riego sin restricciones.	<b>VERDE</b>	Recurso Hídrico levemente contaminado. Agua de buena calidad.
Riego Restringido, explotación manual materiales de construcción, recreación con contacto restringido.	<b>AMARILLO</b>	Recurso Hídrico regularmente contaminado. Agua regularmente contaminada.
Estéticos, explotación mecánica.	<b>NARANJA</b>	Recurso Hídrico contaminado. Agua altamente contaminada.
Drenaje o asimilación de desechos.	<b>ROJO</b>	Recurso Hídrico muerto. Se ha sobrepasado la capacidad de autodepuración del recurso.

Fuente: Sierra (2011).

- c. Tercer paso, se establece los parámetros y concentraciones que conforman cada categoría o clase de calidad de agua. No existen reglas definidas en el Perú para establecer criterios de calidad.
- d. Cuarto paso, establecer la categoría de calidad del agua de cada tramo.

## **IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN**

### **4.1. RESULTADOS**

#### **4.1.1. Resultados del Índice de Calidad de Aguas ICA- CCME**

Para el índice ICA - CCME se sintetizaron los resultados en dos gráficos generales (ambos con el símbolo P), el primer Periodo que comprendió el Periodo 2012 al 2015 (Figura 3) y el segundo Periodo desde el 2016 al 2018 (Figura 4), en los mismos gráficos se muestran los resultados del periodo Total desde el año 2012 al 2018 (con el símbolo T).

#### **4.1.2. Resultados del Índice de Metales Pesados HPI**

Para el índice HPI se sintetizaron también los resultados en dos Periodos (ambos con el símbolo P) que comprendió el Periodo 2012 al 2015 (Figura 5) y el segundo Periodo 2016 al 2018 (Figura 6), en los mismos gráficos se muestran los resultados del periodo Total desde el año 2012 al 2018 (con el símbolo T).

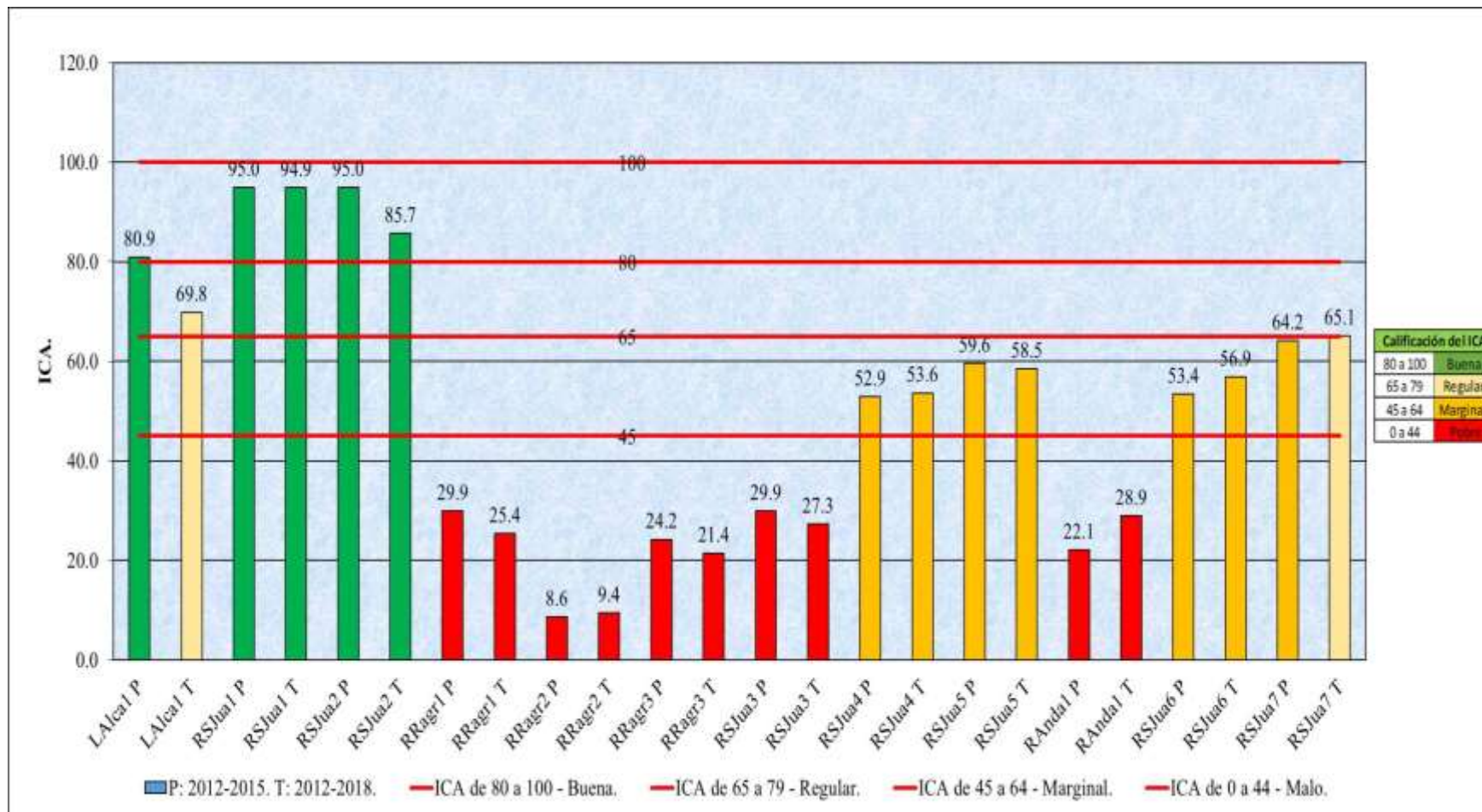


Figura 3. Índice de calidad de agua del Río San Juan, periodo 2012-2015 y 2012-2018.

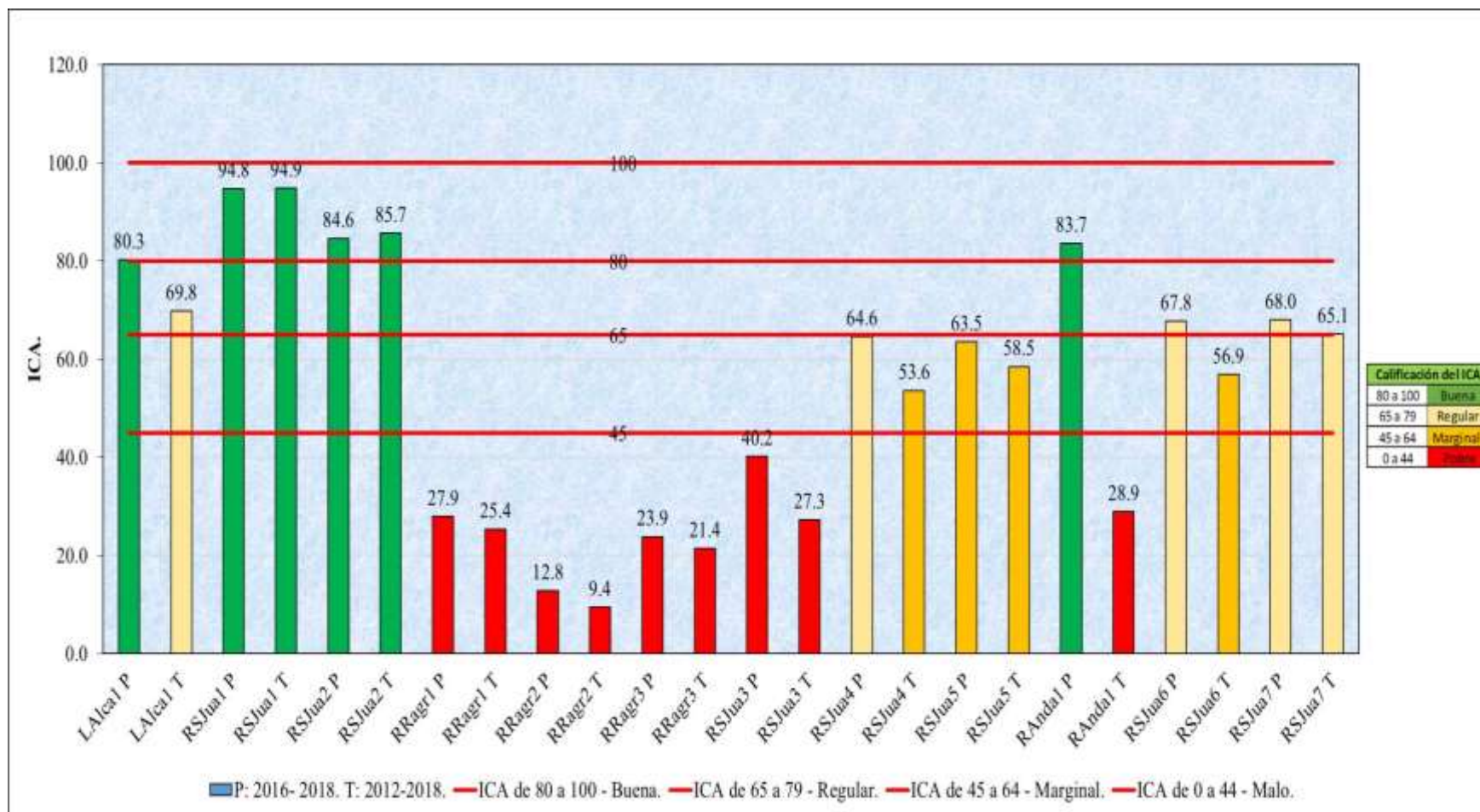


Figura 4. Índice de calidad de agua del Río San Juan, periodo 2016-2018 y 2012-2018.

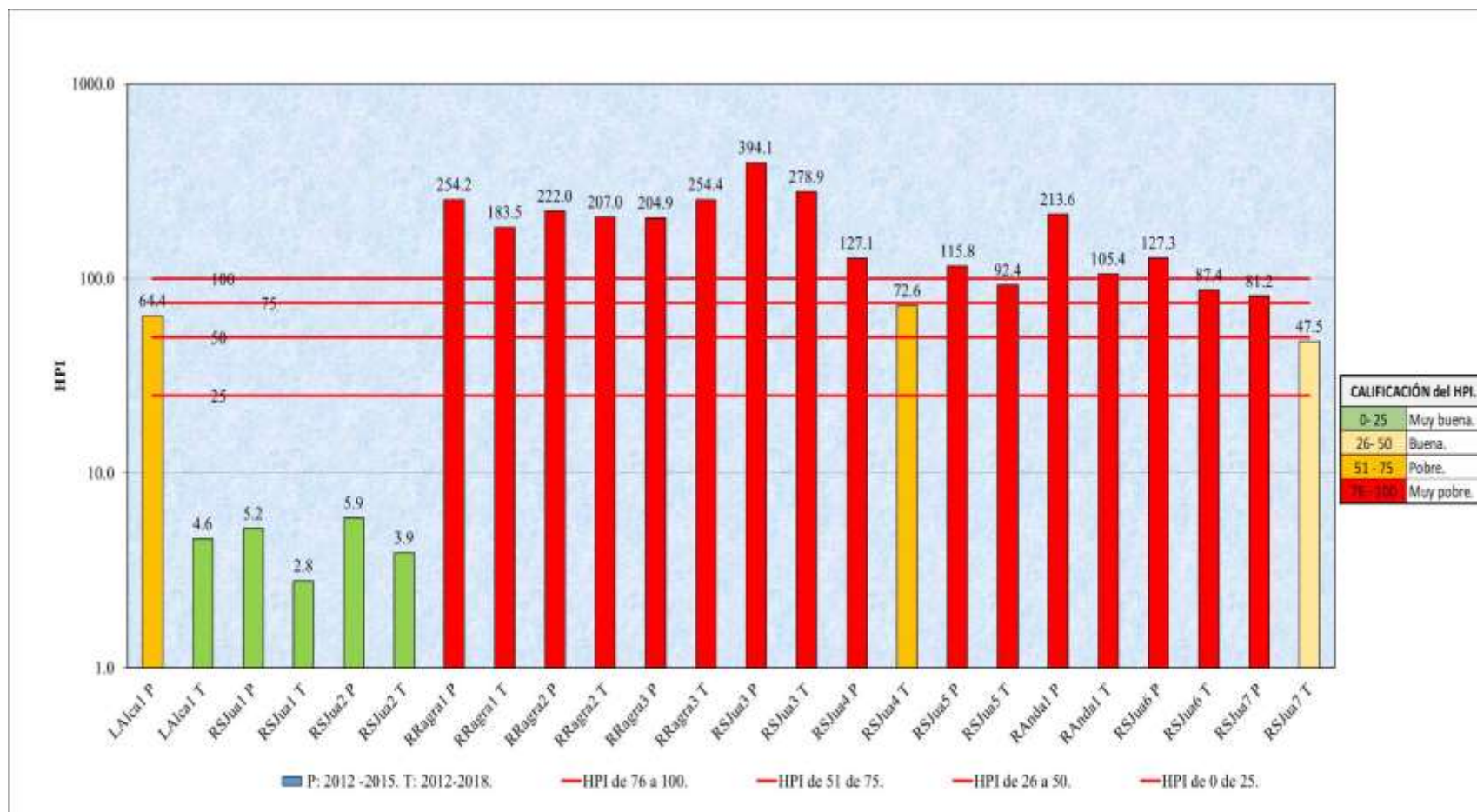


Figura 5. Índice de metales pesados del Río San Juan, periodo 2012-2015 y 2012-2018.

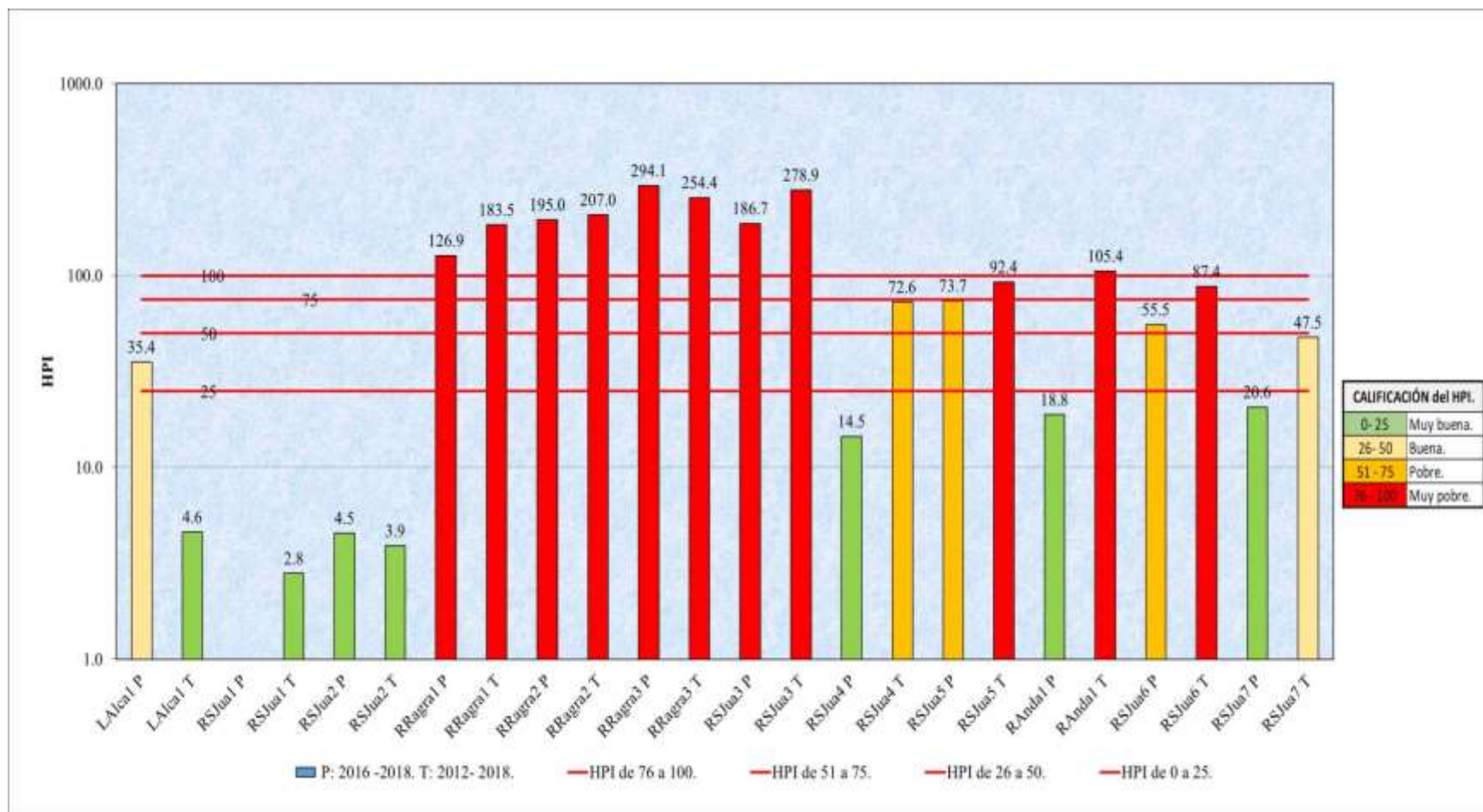


Figura 6. Índice de metales pesados del Río San Juan, periodo 2016-2018 y 2012-2018.



## **4.2. ANÁLISIS DE RESULTADOS DE ACUERDO CON LA RED DE MONITOREO Y SECTORES ALTO, MEDIO Y BAJO EN LA SUBCUENCA DEL RIO SAN JUAN.**

### **4.2.1. Punto de red LAlca1 (Laguna Alcacocho)**

Ubicada en la parte alta del río San Juan, la laguna Alcacocho tributa al río San Juan en el punto LAlca1. Los resultados de los análisis de agua realizados en el periodo 2012 al 2018 se presentan en el Cuadro 1 (Anexo 1), en él se muestra que algunos parámetros de calidad superaron el ECA agua categoría 4 –E1 (Conservación del ambiente acuático-Lagos y lagunas), en los parámetros de: pH, ligeramente en la DBO<sub>5</sub> y el fósforo total; salvo los parámetros de oxígeno disuelto y plomo que fueron datos puntuales porque difieren del histórico. Se debe tener en cuenta que en este punto de muestreo no hay actividad antropogénica conocida que pueda afectar su calidad.

### **Calificación del ICA- CCME**

**La calificación del ICA por periodos de los años 2012 al 2015 y del 2016 al 2018 es Buena.** Los valores de 80.9 y 80.3 se encuentran en el límite inferior en la calificación del ICA, para ambos periodos los resultados mostraron que la calidad del agua está protegida, solo existe un menor grado de amenaza, esta calificación fue concordante con los resultados de los parámetros analizados y las fuentes contaminantes presentes en el lugar.

**La calificación del ICA Total del año 2012 al 2018 es Regular,** su resultado evidenció que la calidad del agua está protegida, pero se aparta de las condiciones físicas o deseables de los parámetros establecidos. Esta calificación de Regular hace suponer que hubiera una fuente contaminante aguas arriba del punto, pero a la fecha no se tiene tal evidencia.

La ligera alteración en la calidad del agua en este punto sin una fuente de contaminación puntual conocida, es concordante con lo referido por Laino- Guanes, *et al.* (2015) en su artículo Concentración de metales en agua y sedimentos de la cuenca alta del río Grijalva, en la cual se indica que las lagunas son alimentadas con aguas de lluvias que acarrean sedimentos y material particulado.

La Figura 7 resume los resultados por años en Periodos y Total, la calificación por Periodos se aproxima más a la realidad debido a que no hay fuentes puntuales de contaminación antropogénica conocidas, se observa en el gráfico que las calificaciones fueron similares en ambos periodos a diferencia de la calificación en el periodo Total.

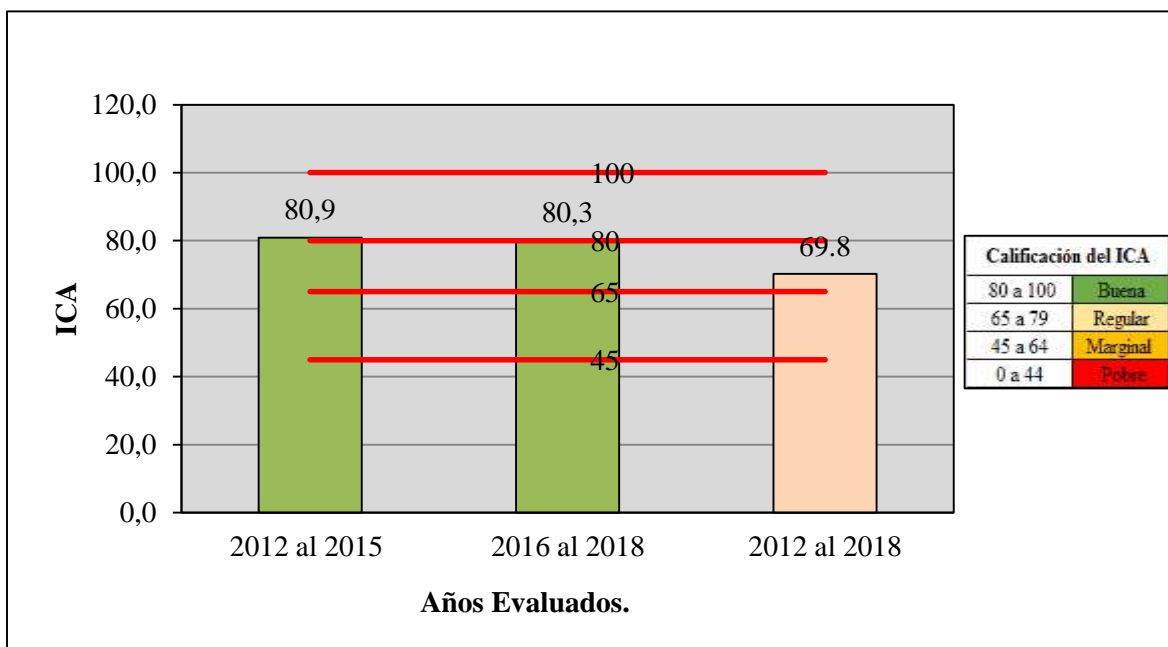


Figura 7. Punto de muestreo LAIca1 con el ICA CCME.

### Calificación del HPI.

**La calificación del HPI para el periodo 2012 al 2015 es pobre**, en este punto se observa que el parámetro plomo influyó en el cálculo del resultado, debido a su bajo valor en el ECA agua (Cuadro 13 del Anexo 2).

**La calificación del HPI para el periodo 2016 al 2018 es Buena**, no se observó que los valores de los metales analizados sobrepasen el ECA agua; en este punto existe concordancia con los resultados de los metales analizados y el ICA-CCME.

**La calificación del HPI Total del año 2012 al 2018 es Muy Buena**, esta calificación es poco concordante con los resultados por periodos.

La figura 8 resume los resultados por años en Periodos y Total, en el primer periodo se observa la influencia del parámetro plomo que dio una calificación de pobre, a diferencia del segundo periodo la calificación fue de buena, debido a que no se detectó el parámetro plomo.

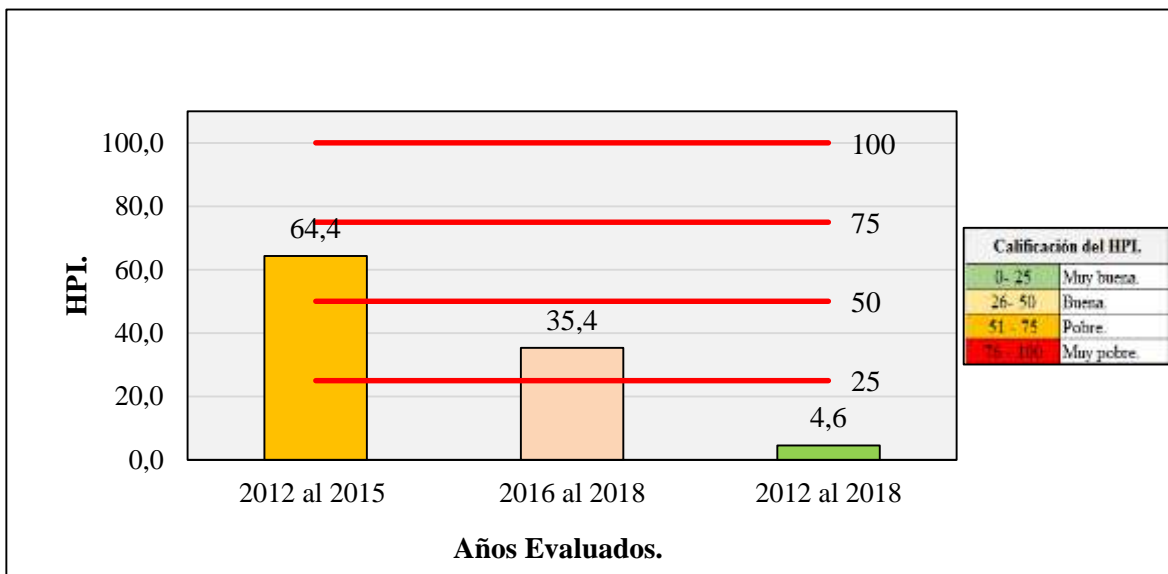


Figura 8. Punto de muestreo LAIca1 con el HPI.

#### 4.2.2. Punto de red RSjua1 (Rio San Juan)

Ubicado en la parte alta del rio San Juan, el punto RSjua1 de acuerdo al Cuadro 2 (Anexo 1) de los resultados de los análisis de agua efectuados, mostró que sólo el parámetro pH superó el valor del ECA agua categoría 3 – D1, de acuerdo al registro de las fuentes contaminantes (Figura 2), no se evidencio fuentes puntuales que afecten a este punto de muestreo. Esta calificación es concordante con los resultados de los parámetros que cumple el ECA agua categoría 3.

**La calificación del ICA Total del año 2012 al 2018 es Buena.**

La Figura 9 resume calificaciones similares por años en Periodos y Total.

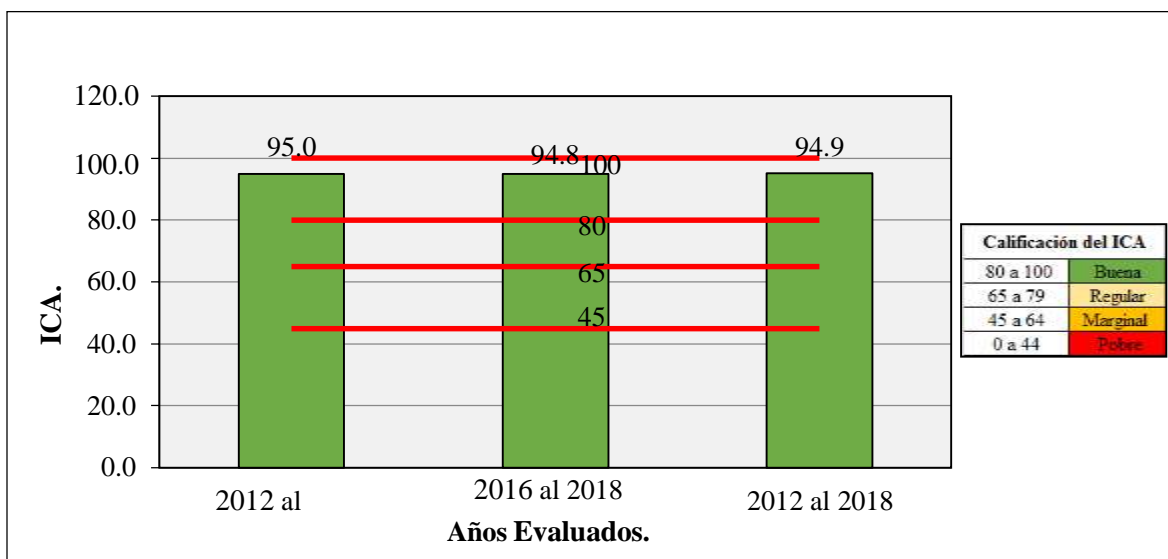


Figura 9. Punto de muestreo RSjua1 con el ICA CCME.

## Calificación del HPI

La calificación del HPI para el periodo 2012 al 2015 y del 2016 al 2018 es Muy Buena para ambas evaluaciones, los resultados de la calificación mostraron concordancia con los resultados comparados con el ECA agua y tuvo concordancia con el índice de Canadá (Cuadro 14 del Anexo 2).

### La calificación del HPI Total del año 2012 al 2018 es Muy Buena.

La Figura 10 resume calificaciones similares por años en Periodos y Total.

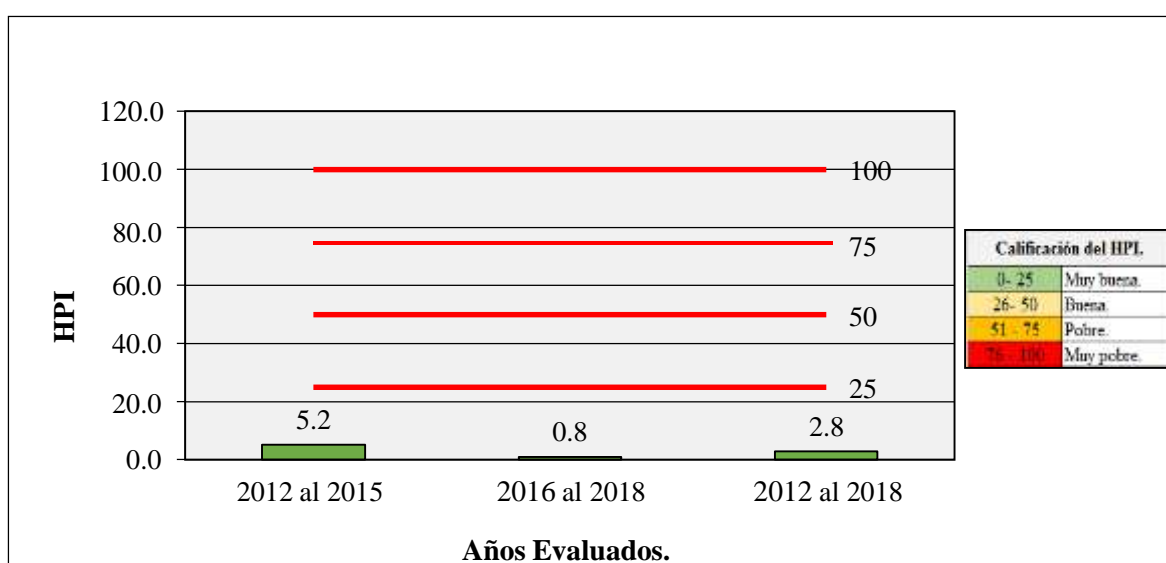


Figura 10. Punto de muestreo RSjua1 con el HPI.

La calificación fue similar para ambos índices de calidad en los años evaluados en Periodos y Total, debido a que no estuvo influenciado en los cálculos por parámetros que no cumple el ECA agua en forma significativa.

Sobre los denominados índices de calidad del agua, actualmente hay diversas metodologías para evaluar la calidad del agua de un cuerpo hídrico, los cuales difieren entre sí por su manera de calcularse y por los parámetros que consideran para la formulación de sus índices (Caho y López 2017).

### 4.2.3. Punto de red RSjua2 (Rio San Juan)

Ubicada en la parte alta del río San Juan, el punto RSjua2 de acuerdo al Cuadro 3 (Anexo 1) de los análisis de agua realizados, mostro que el valor de pH, presento tendencia alcalina en

el agua y el parámetro de Coliformes supera también el valor del ECA agua categoría 3 – D1; la presencia de Coliformes termotolerantes y Escherichia coli es típico de efluentes domésticos – Municipales, lo que concuerda con las fuentes contaminación detectadas en este punto.

### Calificación del ICA

**La calificación del ICA para el periodo 2012 al 2015 y del 2016 al 2018 es Buena** para ambas evaluaciones, sus resultados mostraron que la calidad del agua está protegida, solo existe un menor grado de amenaza y rara vez se aparta de las condiciones físicas o parámetros establecidos, como es el caso de la presencia de microorganismos patógenos detectados en los años 2016 y 2017.

**La calificación del ICA Total del año 2012 al 2018 es Buena.**

La Figura 11 resume calificaciones similares por años en Periodos y Total.

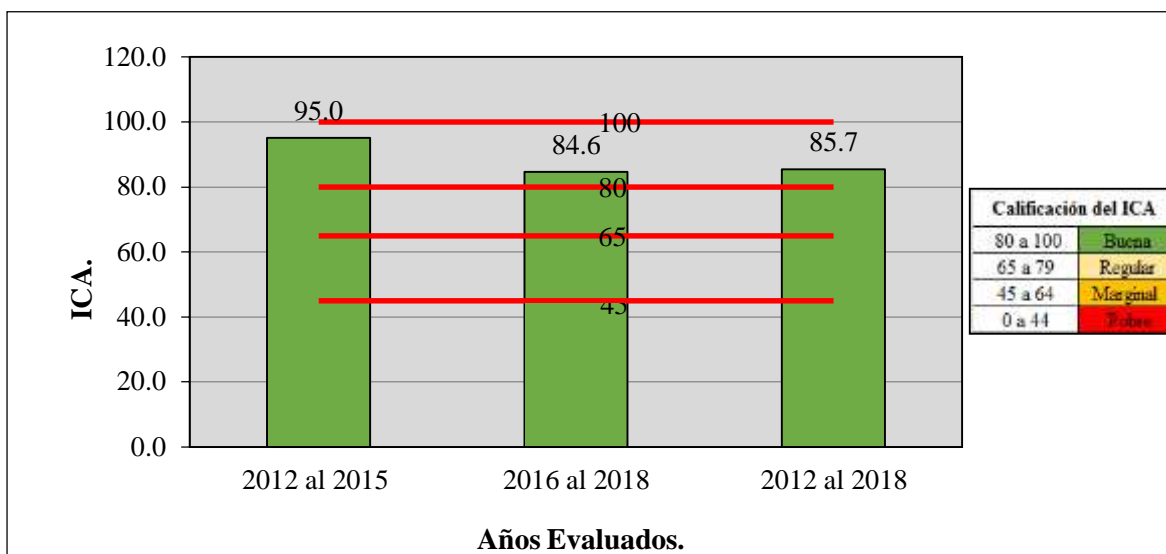


Figura 11. Punto de muestreo RSjua2 con el ICA CCME.

### Calificación del HPI

**La calificación del HPI para el periodo 2012 al 2015 y del 2016 al 2018 es muy Buena** para ambas evaluaciones, sus resultados concordaron con los resultados de los metales analizados y comparados con el ECA agua, también se tuvo concordancia con el índice de Canadá ICA - CCME (Cuadro 15 del Anexo 2).

## La calificación del HPI Total del año 2012 al 2018 es Muy Buena.

La Figura 12 resume calificaciones similares por años en Periodos y Total.

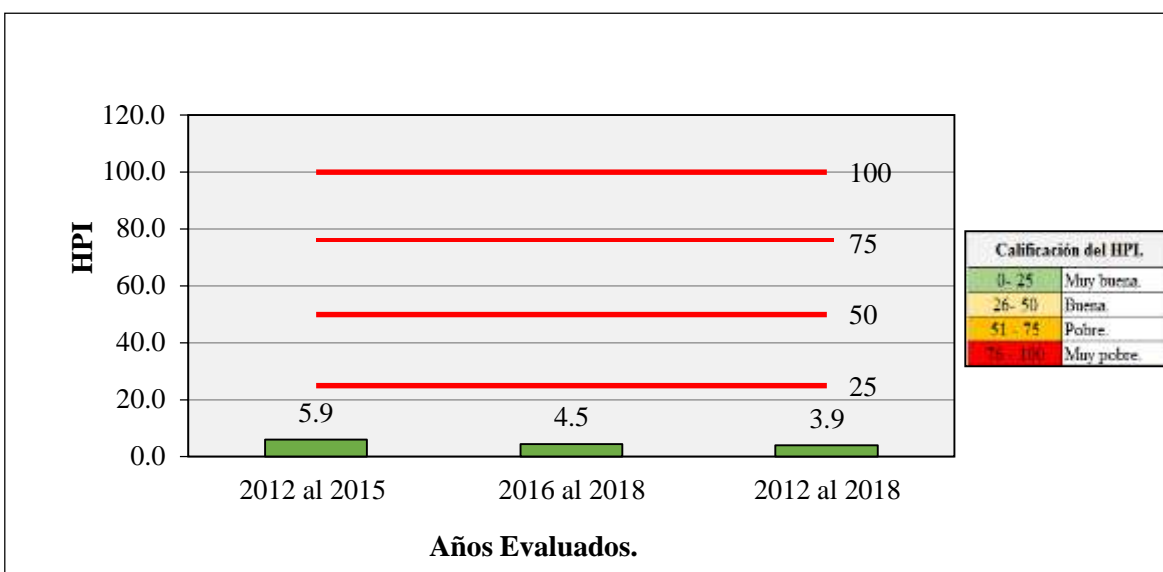


Figura 12. Punto de muestreo RSjua2 con el HPI.

### 4.2.4. Punto de red RRagr3 (Rio Ragra)

El río Ragra ubicado en la parte media del río San Juan, el cual atraviesa la Ciudad de Cerro de Pasco y tributa al río San Juan entre los puntos RSjua2 y RSjua3, en este río se tuvo 3 puntos de monitoreo que son: RRagr1, 2 y 3; de acuerdo a los Cuadros 4, 5 y 6 (Anexo 1); de los análisis de agua realizados en el periodo 2012 al 2018, se evidenció que existe incumplimiento muy significativo del ECA agua categoría 3– D1, principalmente por la presencia en concentraciones significativas de metales, DBO<sub>5</sub> y más aun de Coliformes. De acuerdo a la identificación de fuentes contaminantes (Tabla 2), el río Ragra recibe los impactos de los vertimientos de aguas residuales sin tratar de la ciudad de Cerro de Pasco, presencia de pasivos mineros, desmonteras de pasivos coloniales; la composición de sus suelos junto con las lluvias puede también influenciar en la calidad de sus aguas, es importante señalar que existe actividad de gran y mediana minería en la zona.

### Calificación del ICA

La calificación en el Río Ragra se basó principalmente en el punto de muestreo RRagr3, debido a que en este punto tributa al río San Juan y por tanto mezcla sus aguas y carga contaminante con las aguas del río San Juan.

**La calificación del ICA para el periodo 2012 al 2015 y del 2016 al 2018 es Pobre**, para el punto RRagr3, se observó calificación similar para los puntos muestreados RRagr1 y 2, de acuerdo a los Cuadros 4, 5 y 6 (Anexo 1), sus resultados mostraron que la calidad del agua es frecuentemente amenazada o impactada negativamente y esta se aparta de las condiciones físicas o niveles de los parámetros establecidos.

**La calificación del ICA Total del año 2012 al 2018 es Pobre.**

La Figura 13 resume calificaciones similares por años en Periodos y Total.

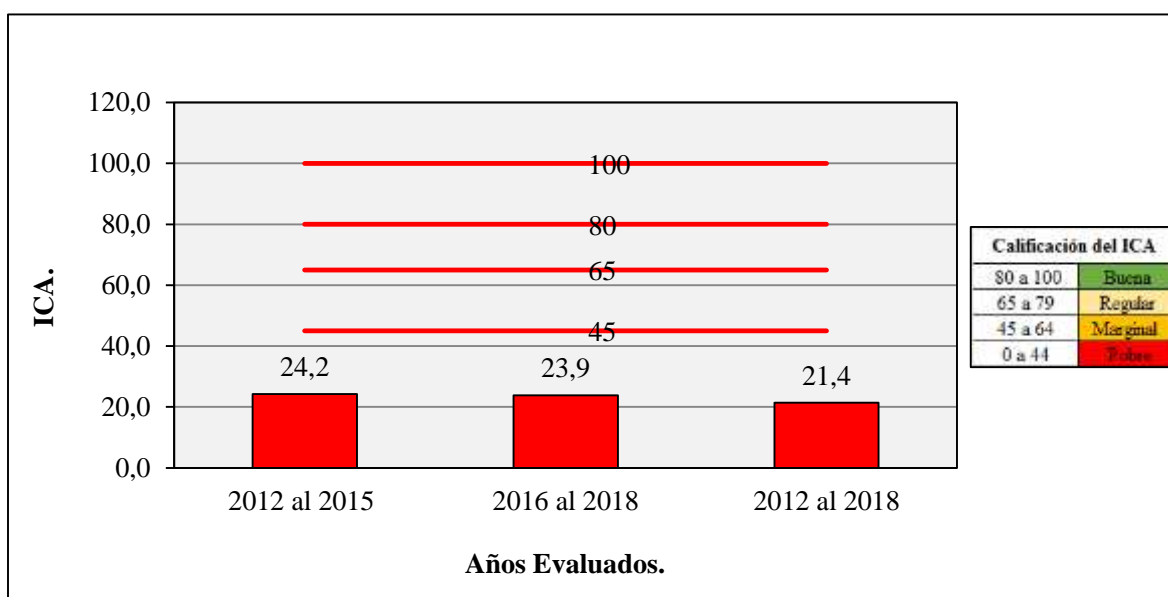


Figura 13. Punto de muestreo RRagr3 con el ICA CCME.

En la evaluación de la calidad del agua superficial con potencial para consumo humano en la cuenca alta del Sis Icán, Guatemala. se encontraron porcentajes significativos de coliformes totales, coliformes fecales, considerándose una amenaza para los seres humanos la presencia de microorganismos nocivos, por lo que se considera necesaria la intervención humana para prevenir y corregir dichos niveles de contaminación (Chán & Peña 2015).

En la investigación científica titulada “Índice de la calidad del agua y metales pesados del cauce aguas blancas del municipio de Acapulco Guerrero, México”, se indica que cuando el agua analizada presenta concentraciones de carga orgánica, sólidos totales, coliformes totales y fecales, nitratos, aceites, fosfatos, grasas y detergentes que exceden los límites máximos permitidos de la norma, se consideran como inadecuada para cualquier actividad, (Dimas et al. 2015).

## Calificación del HPI

La calificación del HPI para el periodo 2012 al 2015 y del 2016 al 2018 es muy Pobre para el punto RRagr3, se observa calificación similar para los puntos muestreados RRagr1 y 2 de acuerdo a los Cuadros 22, 23 y 24 (Anexo 2), sus resultados mostraron concordancia con los resultados de los metales analizados y que no cumplieron con el ECA agua, también se tuvo concordancia con el índice de Canadá ICA.

### La calificación del HPI Total del año 2012 al 2018 es muy Pobre.

Aunque las calificaciones fueron similares en este índice, existe diferencia en sus valores, porque en el segundo periodo se observó un valor de 294.1 a diferencia de 254.4 para esta calificación, esta diferencia se debe a la concentración elevada que se detectó en parámetros como los coliformes y algunos metales en el segundo periodo; la calificación total en este punto representa un valor medio comparado con la calificación por periodos.

La Figura 14 resume calificaciones similares por años en Periodos y Total.

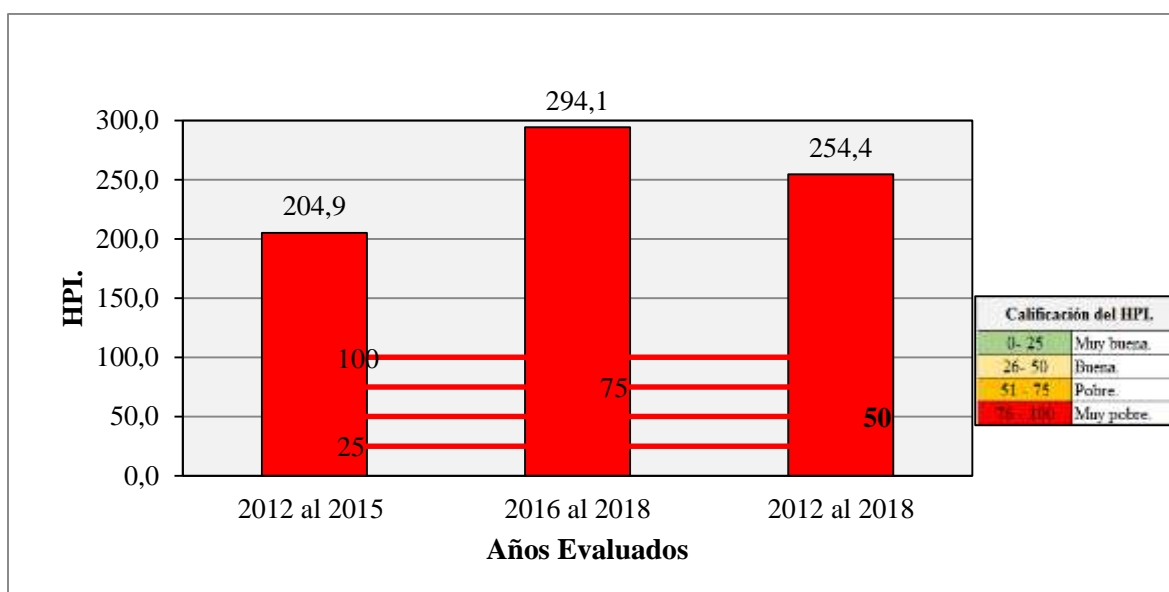


Figura 14. Punto de muestreo RRagr3 con el HPI.



#### 4.2.5. Punto de red RSjua3 (Rio San Juan)

El punto RSjua3 está ubicado en la parte media del rio San Juan, de acuerdo al Cuadro 7 (Anexo 1) de los análisis de agua realizados en el periodo 2012 al 2018 se evidenció que existió incumplimiento muy significativo con respecto al ECA agua categoría 3 – D1, principalmente por la presencia de metales, DBO5 y de Coliformes.

#### Calificación del ICA

La calificación del ICA para el periodo 2012 al 2015 y del 2016 al 2018 es Pobre, con calificaciones de 29.9 y 40.2 respectivamente, para este punto, sus resultados se muestran en el Cuadro 7 (Anexo 1), y evidencia que la calidad del agua es frecuentemente amenazada o perjudicada y esta se aparta de las condiciones físicas o niveles de los parámetros establecidos.

#### La calificación del ICA Total del año 2012 al 2018 es Pobre

De acuerdo a las calificaciones por Periodos y Total tuvieron la calificación más baja, la Figura 15 resume calificaciones similares por años en Periodos y Total.

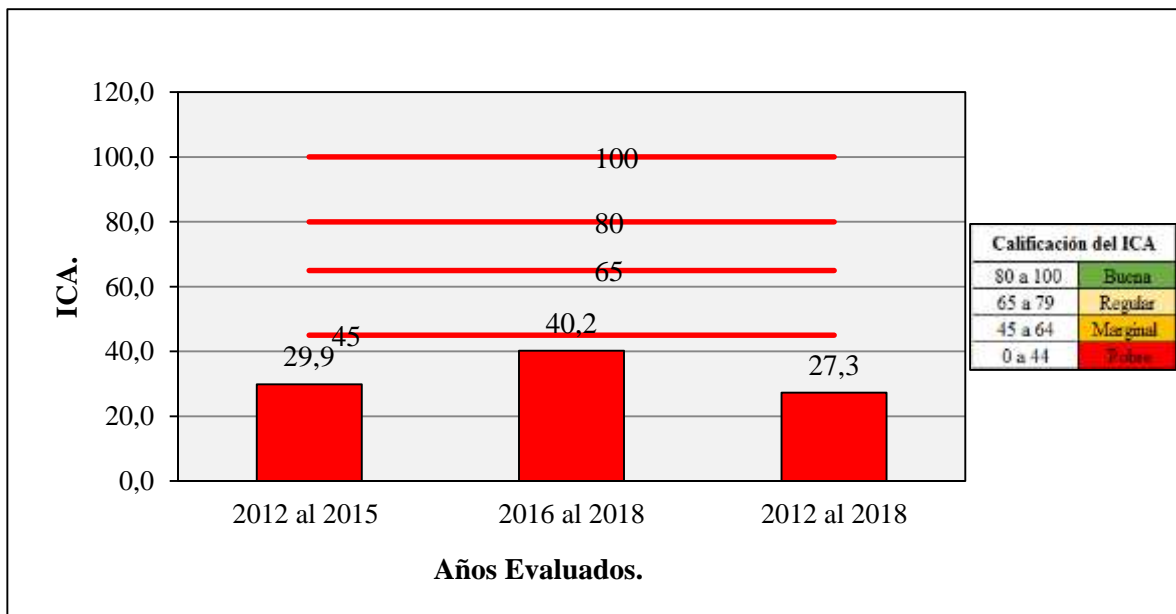


Figura 15. Punto de muestreo RSjua3 con el ICA CCME.

## Calificación del HPI

La calificación del HPI para el periodo 2012 al 2015 y del 2016 al 2018 es muy Pobre con resultados de 394.1 y 186.7 respectivamente para este punto de muestreo, de acuerdo al Cuadro 16 (Anexo 2), ambos periodos no cumplen el ECA en los parámetros de cobre, manganeso, zinc y coliformes. En el primer periodo se observa también incumplimiento en los parámetros de aluminio, cadmio, hierro, plomo; a diferencia del segundo periodo que no lo están, sus resultados mostraron concordancia con el ICA-CCME, aunque lo califica con una gravedad mucho mayor de acuerdo al resultado numérico.

### La calificación del HPI Total del año 2012 al 2018 es muy Pobre.

La Figura 16 resume los resultados por años en Periodos y Total.

De acuerdo a los índices ICA-CCME y el HPI (ver ítem 3.2.4.), ambos tuvieron la calificación más baja, ello se debe a la fuerte influencia de las aguas contaminadas del Rio Ragra, que tuvo elevadas concentraciones en metales y coliformes.

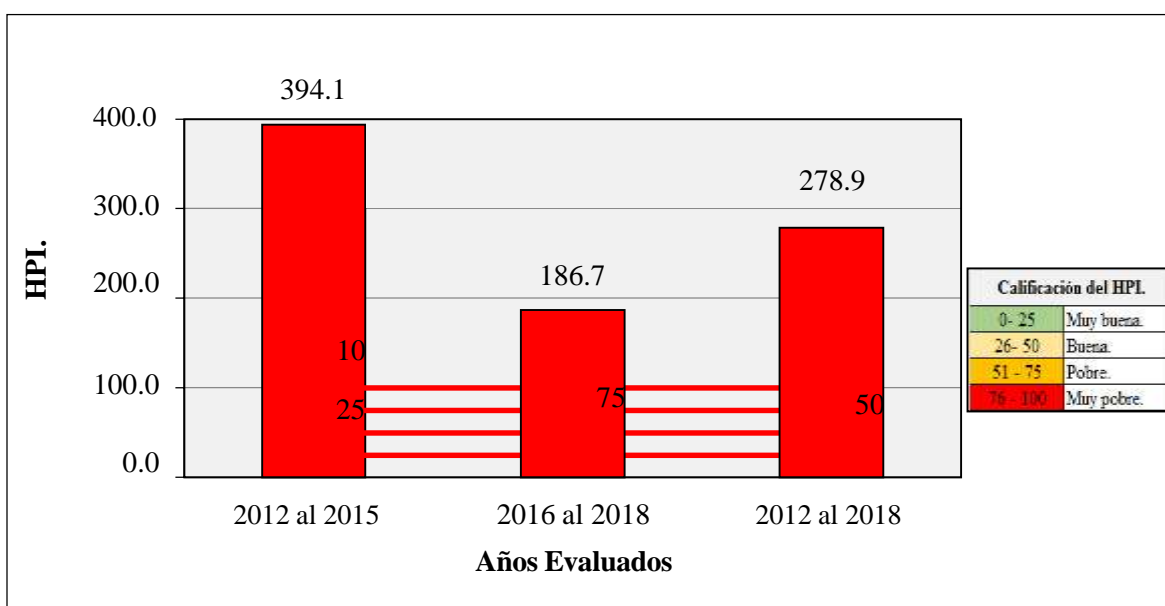


Figura 16. Punto de muestreo RSjua3 con el HPI.

### 4.2.6. Punto de red RSjua4 (Rio San Juan)

El punto RSjua4 ubicado en la parte media del rio San Juan, de acuerdo al Cuadro 8 (Anexo 1) de los análisis de agua realizados en el periodo 2012 al 2018, se evidenció que no cumple con el ECA agua categoría 3– D1, principalmente en los parámetros pH, manganeso en todos los años, cadmio y zinc en el año 2012, cobre solo en el año 2013 y octubre de 2016; la presencia de Coliformes solo se evidencio en 3 de los 8 muestreos realizados, siendo el más

significativo el de abril 2018. De acuerdo a la identificación de fuentes contaminantes aguas arriba del punto RSjua4 (Figura 2), se tiene gran actividad de minería no metálica y la presencia de vertimiento de aguas residuales domésticas, la distancia del punto RSjua3 al punto RSjua4 es de 7000 m aproximadamente.

### **Calificación del ICA**

**La calificación del ICA para el periodo 2012 al 2015 es Marginal**, con valor de 52.9 muestra que la calidad del agua del agua es frecuentemente amenazada o afectada negativamente y a menudo se aparta de las condiciones físicas o niveles de los parámetros establecidos.

**La calificación del ICA para el periodo 2016 al 2018 es Regular**, con valor de 64.6, se observa que el parámetro manganeso es mucho menor que en el periodo del 2012 al 2015, sus resultados mostraron que la calidad del agua suele ser protegida, pero se ve amenazada de vez en cuando y ésta se aparta de las condiciones físicas o deseables de los parámetros establecidos.

Sin embargo, falta determinar dónde está la fuente generadora de Coliformes que es indicativo de vertimientos o descargas de aguas residuales sin tratar o mal tratadas.

### **La calificación del ICA Total del año 2012 al 2018 es Marginal.**

La evaluación por periodos es más sensible, porque muestra una tendencia a la mejora de la calidad del agua, con respecto a la evaluación total que no muestra variación en su calificación.

La Figura 17 resume los resultados por años en Periodos y Total.

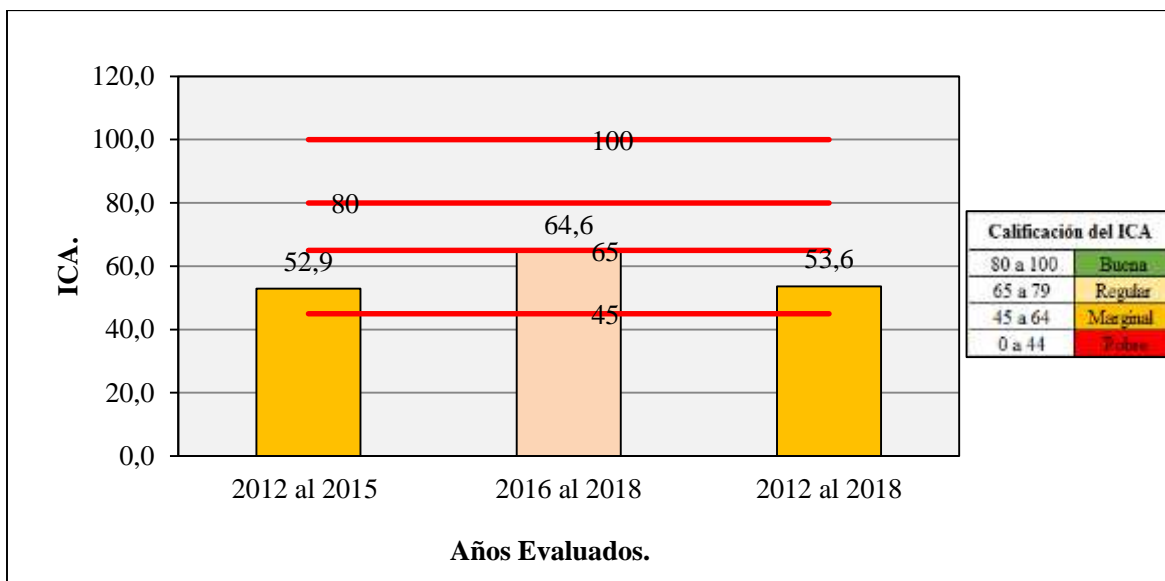


Figura 17. Punto de muestreo RSjua4 con el ICA CCME.

### Calificación del HPI

**La calificación del HPI para el periodo 2012 al 2015 es pobre**, con valor de 127.1, para este punto de muestreo de acuerdo al Cuadro 17, (Anexo 2), en este punto se observa que los parámetros de cadmio, cobre, manganeso y zinc, son los que influyen en el resultado porque sobrepasan el ECA agua; existe una diferencia con el índice de Canadá porque su calificación es más severa.

**La calificación del HPI para el periodo 2016 al 2018 es muy Buena**, con valor de 14.5, sus resultados mostraron que el cobre y el manganeso sobrepasan ligeramente el ECA agua; en este punto su calificación difiere del índice de Canadá, porque solo se ha evaluado los metales, en cambio el ICA CCME evalúa más parámetros y su sensibilidad en la calificación es mayor.

**La calificación del ICA Total del año 2012 al 2018 es Pobre.**

La Figura 18 resume los resultados por años en Periodos y Total.

La calificación de pobre en el periodo total, lleva a deducir que no hubo mejora en el tiempo, lo cual se considera incorrecto de interpretar.

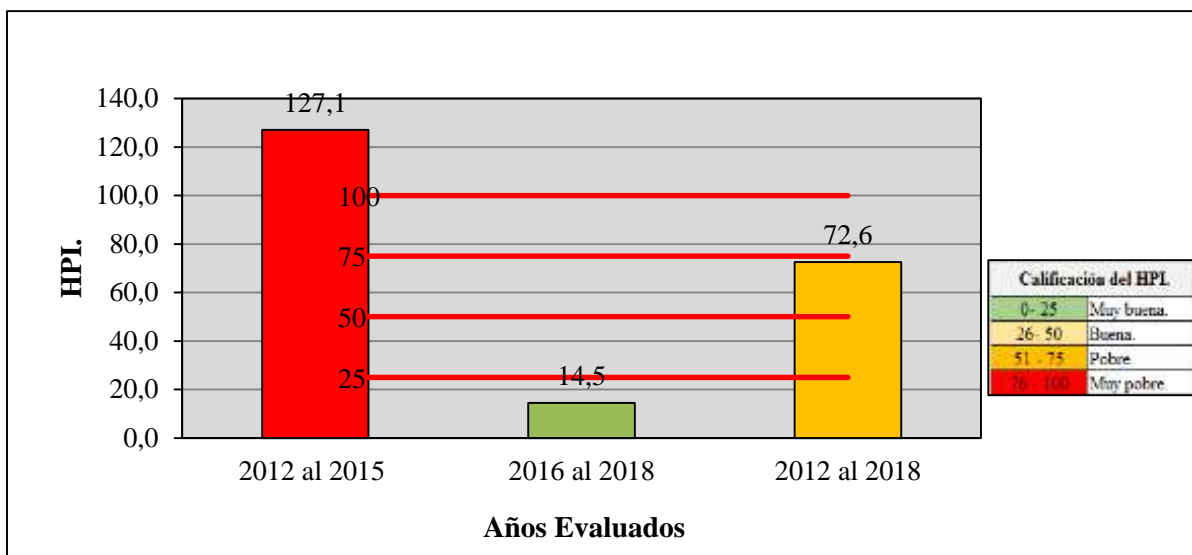


Figura 18. Punto de muestreo RSjua4 con el HPI.

#### 4.2.7. Punto de red RSjua5 (Rio San Juan)

El RSjua5 ubicado en la parte media baja del rio San Juan, de acuerdo al Cuadro 9 (Anexo 1) de los análisis de agua realizados, los parámetros que no cumplen el ECA agua categoría 3– D1, fue el pH, manganeso en todos los años, cadmio y zinc solo en el año 2012 y cobre en octubre del año 2016. Aguas arriba del punto RSjua5, se tuvo efluentes domésticos provenientes de la población de Tinyahuarco, presencia de “relavera” grande cerca al rio San Juan, dos vertimientos de aguas residuales domesticas tratados uno de la población de Tinyahuarco y el otro de la minera El Brocal, también se observó en algunos puntos la alteración física de los suelos aledaños al rio, la distancia del punto RSjua4 al punto RSjua5 es de 2300 m aproximadamente.

#### Calificación del ICA CCME.

**La calificación del ICA para el periodo 2012 al 2015 y del 2016 al 2018 es Marginal,** con resultados de 59.6 y 63.5 respectivamente, para este punto, sus resultados se muestran en el Cuadro 9 (Anexo 1), por lo que la calidad del agua es frecuentemente amenazada o perjudicada y a menudo se aparta de las condiciones físicas o niveles de los parámetros establecidos para ambos periodos de evaluación.

**La calificación del ICA Total del 2012 al 2018 es Marginal.**

Esta calificación concuerda con las calificaciones realizadas por periodos.

La Figura 19 resume calificaciones similares por años en Periodos y Total.

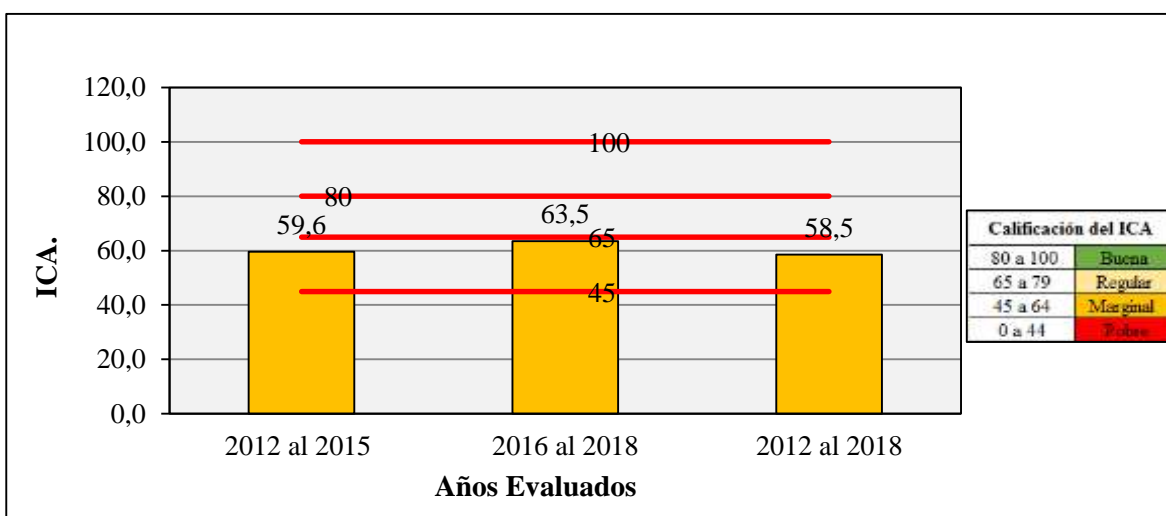


Figura 19. Punto de muestreo RSjua5 con el ICA CCME.

### Calificación del HPI

**La calificación del HPI para el periodo 2012 al 2015 es muy Pobre**, con valor de 115.8, de acuerdo al Cuadro 18, (Anexo 2) para este punto se observó que los parámetros de cadmio, manganeso y zinc, son los que influyen en el resultado porque sobrepasan el valor permitido por el ECA agua; se observó que existe una diferencia con el índice de Canadá, la calificación en el HPI se ve influenciado por los valores del Manganeso.

**La calificación del HPI para el periodo 2016 al 2018 es Pobre**, con valor de 73.7, sus resultados mostraron que solo el cobre y el manganeso sobrepasan el ECA agua; en este periodo su calificación se parece más al índice de Canadá, debido a que solo se ha evaluado los metales, en cambio el ICA-CCME evalúa más parámetros. Sin embargo, falta determinar de dónde procede la fuente generadora de manganeso y porque el pH supero ligeramente el ECA.

**La calificación del HPI Total del año 2012 al 2018 es Muy Pobre.**

La calificación de Muy Pobre, lleva deducir que en este punto existe una grave contaminación por metales, a diferencia de la calificación por periodos que califica la contaminación de moderada (Cuadro 18 del Anexo 2).

La Figura 20 resume los resultados por años en Periodos y Total.

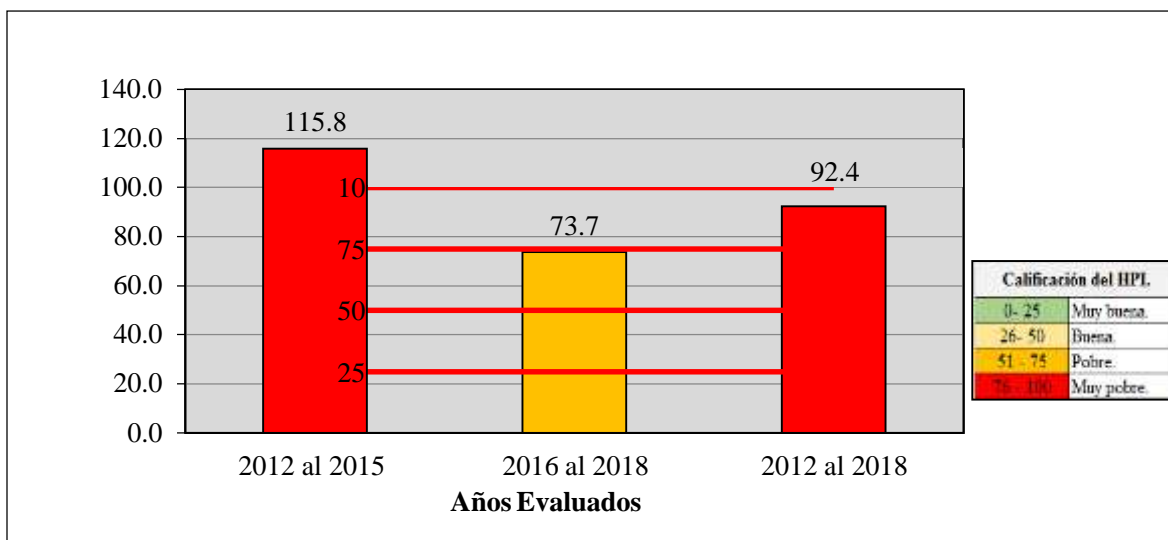


Figura 20. Punto de muestreo RSjua5 con el HPI.

#### 4.2.8. Punto de red RAnda1 (Rio Andacancha)

El punto RAnda1 ubicado en la parte media del rio San Juan, de acuerdo al Cuadro 10 (Anexo 1), de los análisis de agua realizados en el periodo 2012 al 2015 se evidencio no cumple con respecto al ECA agua categoría 3– D1, principalmente por la alta concentración de metales presentes y el pH.

Los resultados de los análisis de agua del periodo 2016 al 2018, solo evidencia un incumplimiento de la norma con respecto al manganeso, cobre y pH. De acuerdo a las fuentes contaminantes aguas arriba del punto RAnda1 (Figura 2), se tiene efluentes de mina con autorización de vertimiento aguas tratadas arriba de este punto, se observó que la zona aledaña al rio Andacancha, presenta suelos con alteración física de acuerdo a la inspección de campo realizada, la distancia del punto de vertimiento del efluente de aguas de mina al punto RAnda1 es de 1800 m aproximadamente.

#### Calificación del ICA

**La calificación del ICA para el periodo 2012 al 2015 es Pobre**, con un valor de 22.1 para este punto, su resultado se muestra en el Cuadro 10 (Anexo 1), aquí se observó que 27 resultados de los análisis de agua realizados no cumplen el ECA agua categoría 3, por lo que la calidad del agua es frecuentemente amenazada o impactada negativamente y esta se apartó de las condiciones físicas o niveles de los parámetros establecidos de acuerdo al ICA de Canadá.

**La calificación del ICA para el periodo 2016 al 2018 es Buena**, con un valor de 83,7, aquí se observa que solo 4 resultados de los análisis de agua realizados no cumplen el ECA agua categoría 3, por lo que la calidad del agua suele ser protegida, pero se ve amenazada por algún impacto negativo y esta se aparta de las condiciones físicas o deseables de los parámetros establecidos en la norma nacional; este punto muestra una clara mejora en la calidad del agua del rio Andacancha.

**La calificación del ICA Total del año 2012 al 2018 es Pobre.**

Con el tipo de evaluación del ICA Total, no se evidencio que existe una tendencia en la mejora de la calidad de agua a comparación de la evaluación del ICA por Periodos.

La Figura 21 resume los resultados por años en Periodos y Total.

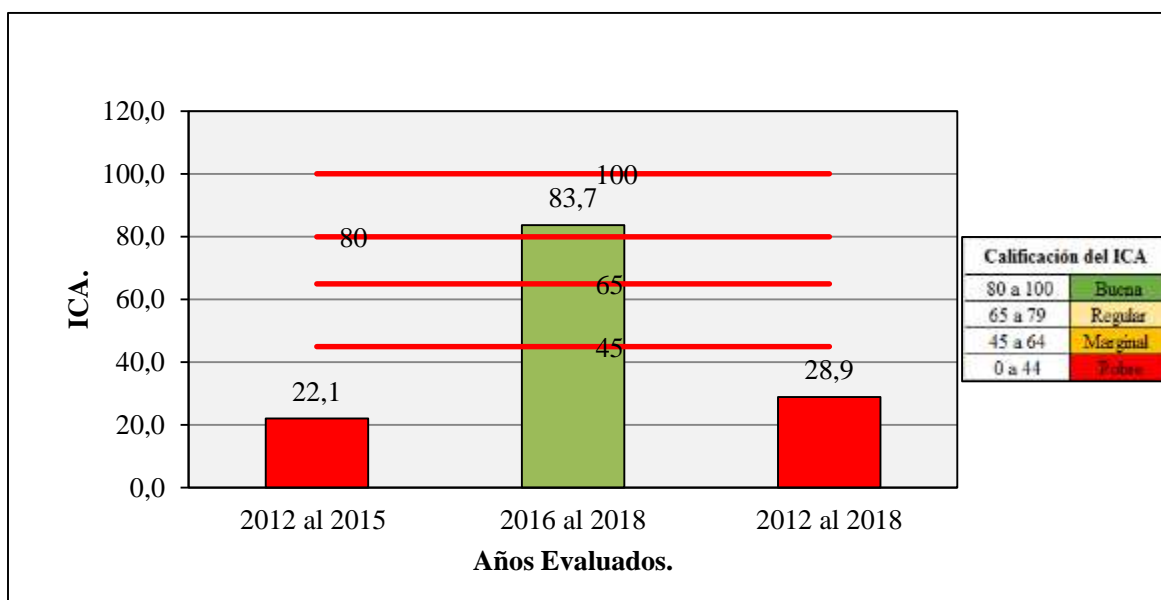


Figura 21. Punto de muestreo RAnda1 con el ICA CCME.

### Calificación del HPI

**La calificación del HPI para el periodo 2012 al 2015 es muy pobre**, con valor de 213,6, los resultados en el Rio Andacancha se muestran en el Cuadro 21 (Anexo 2), aquí se observa que 14 resultados de los análisis de agua realizados, no cumplieron con los valores permitidos del ECA agua categoría 3, se observó que los parámetros de aluminio, cobre, hierro, manganeso y zinc, son los que influyen en el resultado porque sobrepasan el ECA agua; se hace notar que no se ha considerado los resultados del año 2015, debido a que se tomó la muestra de agua justo cuando ocurrió una descarga de aguas residuales y cuando se incorporó en el cálculo de su HPI, su calificación dio un resultado muy elevado para ser



considerado. En este punto de muestreo y periodo evaluado, existe una diferencia del índice de metales HPI comparado con el ICA Canadiense, ya que el HPI sobredimensiona su calificación con respecto a la realizada con el índice Canadiense ICA CCME.

**La calificación del HPI para el periodo 2016 al 2018 es muy buena,** con valor de 18,8, para este punto los resultados en el Rio Andacancha se muestran en el Cuadro 21 (Anexo 2), aquí se observó que 3 resultados de los análisis de agua realizados no cumplen el ECA agua categoría 3, su resultado no se vio influenciado por la presencia del cobre y el manganeso el cual no cumple el ECA agua, en este periodo su calificación muestra que el agua presenta una excelente calidad, ya que solo se ha evaluado los metales en cambio el ICA CCME evalúa más parámetros.

**La calificación del HPI Total del año 2012 al 2018 es Muy Pobre.**

La calificación por periodos muestra una tendencia en la mejora de la calidad del agua, mientras que la calificación del HPI Total muestra que la calidad del agua aun presenta problemas, la Figura 22 resume sus resultados.

Ambas calificaciones por periodos muestran una clara recuperación de la calidad del agua del rio, esto se debe porque se separó los resultados de los análisis de agua en periodos donde se diferenció los años en que los resultados mostraban una clara recuperación o cumplían el ECA agua.

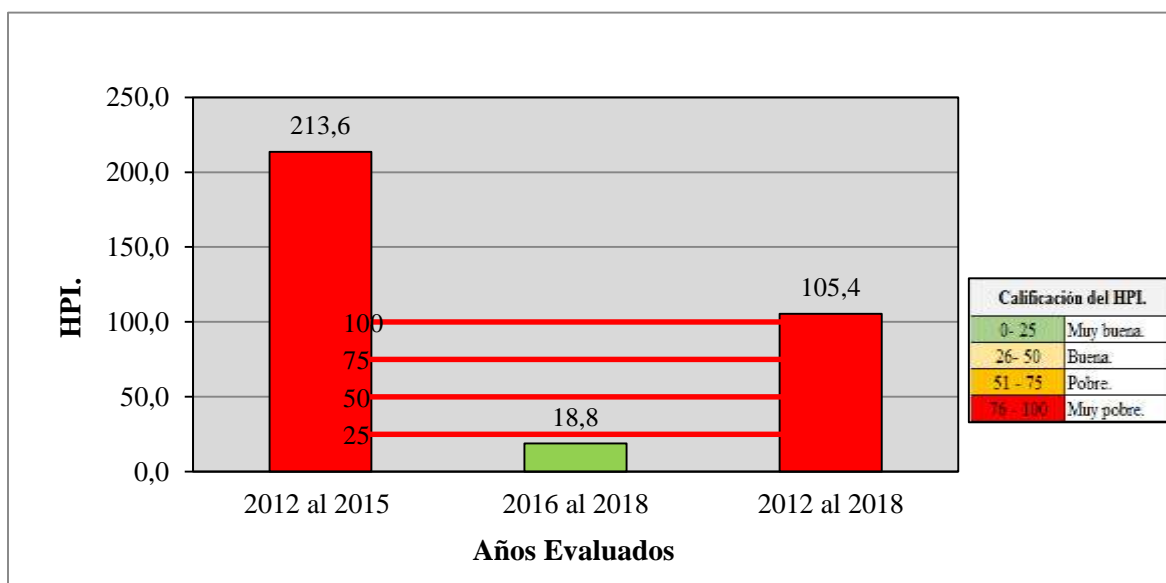


Figura 22. Punto de muestreo RAndal con el HPI.

#### **4.2.9. Punto de red RSjua6 (Rio San Juan)**

El punto RSjua 6 ubicado en la parte media baja del rio San Juan, de acuerdo al Cuadro 11 (Anexo 1), de los análisis de agua realizados, no cumplió el ECA agua categoría 3– D1, principalmente por la presencia de metales como el Zinc, cobre, manganeso, cadmio, la presencia de Coliformes solo se sobrepasó en el año 2013; la distancia del punto RSjua5 y el rio Andacancha es de 560 m, y de este rio 430 m aproximadamente al punto RSjua6 que se encuentra aguas abajo.

#### **Calificación del ICA**

**La calificación del ICA para el periodo 2012 al 2015 es Marginal**, con un valor de 53.4 para este punto, su resultado se muestra en el Cuadro 11 (Anexo 1), aquí se observó que 10 resultados de los análisis de agua realizados no cumplen el ECA agua categoría 3, su calificación es concordante cuando se comparó con el ECA agua, por lo que la calidad del agua es frecuentemente amenazada o perjudicada y a menudo se aparta de las condiciones físicas o niveles de los parámetros establecidos, de acuerdo al ICA de Canadá.

**La calificación del ICA para el periodo 2016 al 2018 es Regular**, con un valor de 67.8 los resultados en el Rio San Juan se muestran en el Cuadro 11 (Anexo 1), aquí se observa también que 10 resultados de los análisis de agua realizados no cumplen el ECA agua categoría 3, su calificación es mejor para este periodo, por lo que la calidad del agua suele ser protegida, pero se ve amenazada de vez en cuando y esta se aparta de las condiciones físicas o deseables de los parámetros establecidos.

#### **La calificación del ICA Total del año 2012 al 2018 es Marginal.**

La calificación total de Marginal, indica que la calidad del agua del rio continua con el mismo grado de contaminación de sus aguas, sin embargo, ese resultado enmascara que hay una tendencia hacia la mejora en la calidad del agua del rio. La Figura 23 resume los resultados por años en Periodos y Total.

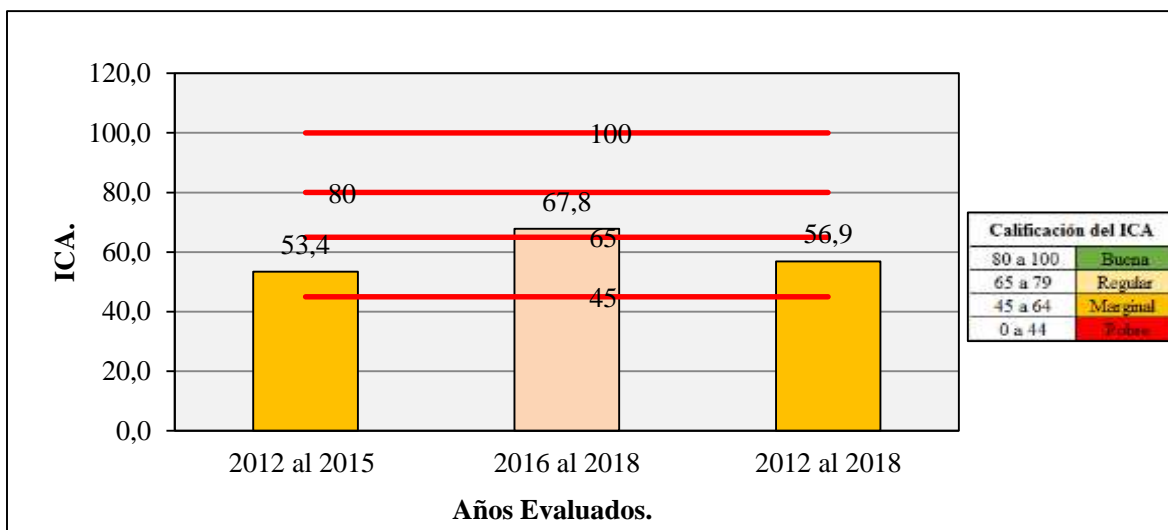


Figura 23. Punto de muestreo RSjua6 con el ICA CCME.

### Calificación del HPI

**La calificación del HPI para el periodo 2012 al 2015 es muy pobre**, con valor de 127.3, los resultados se muestran en el Cuadro 19 (Anexo 2), aquí se observa que 8 resultados de los análisis de agua realizados no cumplen el ECA agua categoría 3, los parámetros de cadmio, cobre, hierro, manganeso y zinc, son los que influyen en el resultado porque sobrepasan el ECA agua, en este punto existe una diferencia con el índice de Canadá porque su calificación es más severa que la realizada con el índice Canadiense ICA, que lo califica de marginal.

**La calificación del HPI para el periodo 2016 al 2018 es pobre**, con un valor de 55.5, los resultados se muestran en el Cuadro 19 (Anexo 2), aquí se observa que 5 resultados de los análisis de agua realizados no cumplen el ECA agua categoría 3, sus resultados muestran que solo el cobre y el manganeso sobrepasan el ECA agua; en este periodo su calificación difiere del índice de Canadá que lo califica de regular, porque solo se ha evaluado los metales en cambio el ICA CCME consideró más parámetros.

### La calificación del HPI Total del 2012 al 2018 es Muy Pobre

Al igual que la evaluación con el ICA Canadiense, la calificación por periodos es más realista debido a que muestra que la tendencia es a la mejora, el cual se evidencia en los resultados de campo, mientras que la calificación Total muestra que su calidad aun presenta problemas, la Figura 24 resume sus resultados.

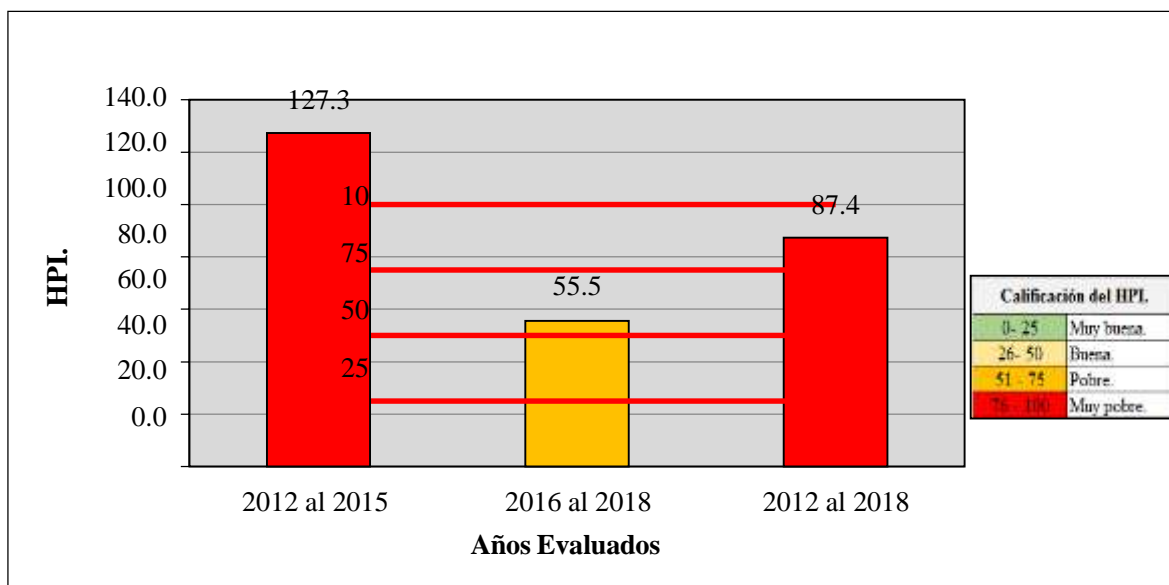


Figura 24. Punto de muestreo RSjua6 con el HPI.

Se hace notar que este punto recibe las aguas del Rio Andacancha el cual tuvo mala calidad de agua en el primer periodo (ver ítem 3.2.8.), y se evidencio una mejora en la calificación del índice HPI e ICA CCME en el segundo periodo.

#### 4.2.10. Punto de red RSjua7 (Rio San Juan)

El punto RSjua7 ubicado en la parte baja del rio San Juan, de acuerdo al Cuadro 12 (Anexo 1) de los análisis de agua realizados, no cumple el ECA agua categoría 3– D1, principalmente en los parámetros en zinc, manganeso, cobre y pH que superó el ECA agua; la distancia del punto RSjua6 al punto RSjua7 es de 7200 m aproximadamente, durante el recorrido no se evidencio fuentes contaminantes salvo algunas alteraciones físicas aledañas al rio en una distancia aproximada de 2800 m.

#### Calificación del ICA

**La calificación del ICA para el periodo 2012 al 2015 es Marginal**, con un valor de 64.2, su resultado se muestra en el Cuadro 12 (Anexo 1), aquí se observó que 7 resultados de los análisis de agua realizados no cumplen el ECA agua categoría 3, su calificación es concordante cuando se comparó con el ECA agua, por lo que la calidad del agua es frecuentemente amenazada o impactada negativamente y a menudo se aparta de las condiciones físicas o niveles de los parámetros establecidos, de acuerdo al ICA de Canadá.

**La calificación del ICA para el periodo 2016 al 2018 es Regular,** con un valor de 68,0, su resultado se muestra en el Cuadro 12 (Anexo 1), aquí se observó también que 10 resultados de los análisis de agua realizados no cumplen el ECA agua categoría 3, su calificación es mejor para este periodo, por lo que la calidad del agua suele ser protegida, pero frecuentemente es amenazada o impactada y esta se aparta de las condiciones físicas o deseables de los parámetros establecidos.

**La calificación del ICA Total del año 2012 al 2018 es Regular.**

Su calificación mostro un valor similar al del periodo 2016 al 2018.

La Figura 25 resume los resultados por años en Periodos y Total.

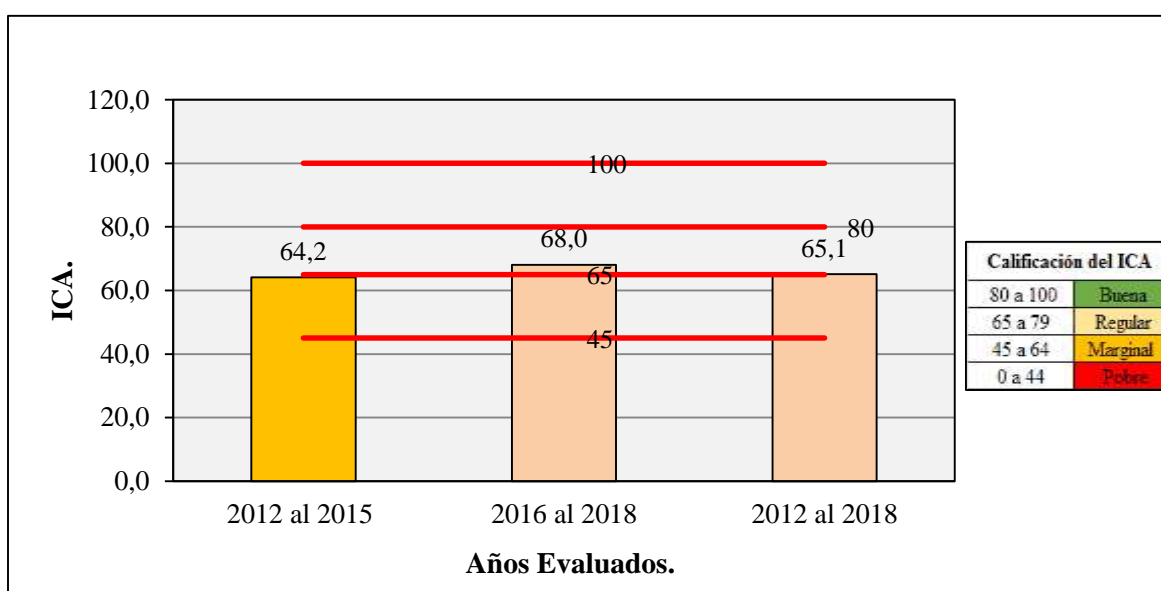


Figura 25. Punto de muestreo RSjua7 con el ICA CCME.

### Calificación del HPI

**La calificación del HPI para el periodo 2012 al 2015 es muy pobre,** con valor de 81,2, los resultados se muestran en el Cuadro 20 (Anexo 2), aquí se observó que 8 resultados de los análisis de agua realizados no cumplen el ECA agua categoría 3, en este punto se observa que los parámetros de aluminio, cobre, hierro, manganeso y zinc, son los que influyen en el resultado porque sobrepasan el ECA agua, existe una diferencia con el índice de Canadá porque su calificación es más severa que la realizada con el índice Canadiense ICA, que lo califica de marginal.

**La calificación del HPI para el periodo 2016 al 2018 es muy buena**, con valor de 20,6, se muestra en el Cuadro 20 (Anexo 2), aquí se observó que 5 de los análisis de agua realizados no cumplieron el ECA agua categoría 3, sus resultados mostraron que solo el cobre y el manganeso sobrepasan el ECA agua.

**La calificación del HPI Total del año 2012 al 2018 es Buena.**

Esta calificación evidencia la mejora en su calidad, la calificación por periodos lo califica de Muy buena. La Figura 26 resume sus los resultados por Periodos y Total.

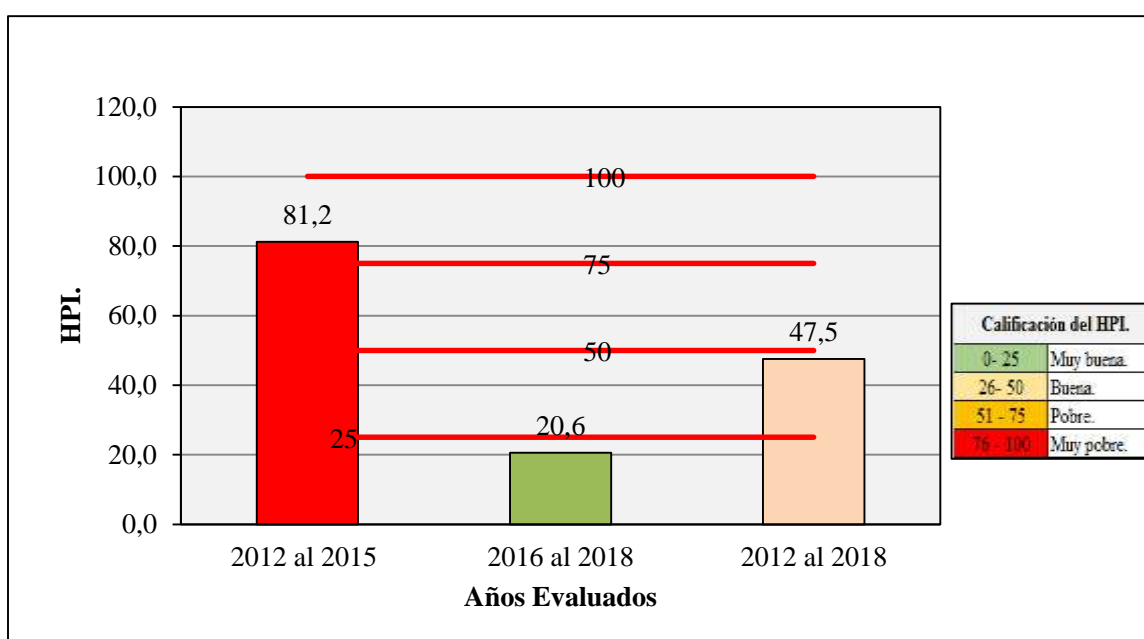


Figura 26. Punto de muestreo RSjua7 con el HPI.

La calificación por periodos en ambos índices de calidad, muestra en el segundo periodo una clara tendencia de mejora en la calidad del agua.

Cuando un contaminante entra en el agua, su concentración se ve afectada por fenómenos de dispersión, difusión, reacción, sumideros y de advección, en este último se cambia la concentración del contaminante, pero no cambia su composición química, por la fuerza o impulso del caudal (Sierra 2011).

Los resultados del índice de calidad de aguas ICA PE para la calificación del estado de calidad del agua en la cuenca del río Rímac, se basó en la aplicación del índice canadiense CCME\_WQI, en donde el análisis de cada resultado dependerá de la zona de ubicación de los puntos de monitoreo, el tiempo y espacio, porque son diversos los factores que afectan

la calidad del agua, como es el tipo de fuente contaminante y su ubicación (ANA 2018).

El índice propuesto por el Canadian Council of Ministers of the Environment, conocido como CCME\_WQI fue desarrollado para simplificar el reporte de los datos de calidad de las aguas, se considera una herramienta útil para generar resúmenes de los datos de calidad tanto para técnicos como para políticos, así como para el público en general interesado, aunque por su flexibilidad permite valorar la calidad para diferentes tratamientos tecnológicos, no es un sustituto de los análisis detallados de la calidad de las aguas (Balmaseda y García 2014).

La presencia de metales en ríos, su ingreso al ciclo hidrológico proviene de distintas fuentes siendo importante las de origen litogénico o geoquímico, sin descartar que en la actualidad la mayor concentración proviene de actividades antropogénicas (Copaja *et al.* 2016).

Por su parte en su estudio evaluación de la calidad del agua superficial utilizando el índice de contaminación de metales pesados en el río Subarnarekha, India, se menciona que la mayor concentración de ciertos metales en el río se da cerca de establecimientos industriales y mineros (Giri y Kumar 2014).

En la investigación sobre la concentración de metales en agua y sedimentos de la cuenca alta del río Grijalva, frontera México-Guatemala, se indica que la explotación minera no solo impacta cuando se encuentran operativas, si no también cuando cesan dichas operaciones o se encuentran abandonadas, entonces afecta la calidad del agua, suelos y los ecosistemas comprendidos (Laino *et al.* 2015).

### **Usos del agua recomendados de acuerdo al ICA CCME.**

En base a los valores de la calificación del Índice de Calidad de Agua – CCME, los usos de agua recomendados se muestran en la Tabla 6.

Cabe mencionar que, si bien la calificación del punto RAnda1 es para un uso de abastecimiento de agua, recreación con contacto no restringido, procesos Industriales, riego sin restricciones, finalmente se recomienda usos con restricciones debido a que es zona minera aguas arriba y suelos con presencia potencial de metales o pasivos ambientales.

Rubio *et al.* (2014), en su estudio de la Calidad de agua en términos físico-químico-metales en tres sitios contrastantes del río Conchos en Chihuahua, México; señala que los índices de calidad de agua, conforman una herramienta que posibilita el diagnóstico de un recurso natural como es el agua, esto mediante la evaluación de los componentes que alteran su calidad para los diferentes usos que el agua, podría tener.

**Tabla 6: Usos de agua propuestos de acuerdo a los resultados del ICA CCME en el río San Juan y tributarios.**

Subcuenca del río San Juan		Color	Usos recomendados.
Ubicación	Tramo o sector comprendido.		
<b>Parte Alta</b>	Laguna Alcacocha (LAlca1) y Río San Juan (RSjua1).	<b>AZUL</b>	Piscícola o habitat para peces.
	Río San Juan (RSjua2)	<b>VERDE</b>	Abastecimiento de agua, recreación con contacto no restringido, procesos Industriales, riego sin restricciones.
<b>Parte Media</b>	Río Andacancha (RAnda1).	<b>AMARILLO</b>	Riego Restringido, explotación manual materiales de construcción, recreación con contacto restringido.
	Río San Juan (RSjua4 y RSjua5)		
	Río San Juan (RSjua3). Río Ragra (RRagr1, RRagr2 y RRagr3)	<b>ROJO</b>	Drenaje o asimilación de desechos.
<b>Parte Baja</b>	Río San Juan (RSjua6 y RSjua7)	<b>AMARILLO</b>	Riego Restringido, explotación manual materiales de construcción, recreación con contacto restringido.

Fuente: Propia.



## V. CONCLUSIONES

- Según los resultados obtenidos del Canadian Council Ministry of Environment (CCME WQI) por Periodos, para la parte alta de la cuenca del Rio San Juan se obtuvo una calificación de Buena, para la parte media se obtuvo una calificación de Pobre y para la parte baja del rio San Juan dio una calificación principalmente de marginal a regular respectivamente.
- Que los resultados obtenidos del Índice de Calidad para Metales Pesados (HPI) por Periodos, para la parte alta de la cuenca del Rio San Juan se obtuvo una calificación de Muy buena, para la parte media se obtuvo una calificación de Muy pobre y para la parte baja del rio San Juan dio una calificación de Muy pobre, Pobre y Muy buena.
- De la valoración de la Calidad de Agua en la aplicación de los índices de calidad canadiense y de metales, presenta ventajas significativas con respecto a la metodología tradicional de comparar los resultados de los análisis de agua con el cumplimiento del ECA agua, debido a que su calificación integra en su cálculo los parámetros de agua más significativos que influyeron en la calidad del agua del rio San Juan. La calificación de ambos índices por periodos, permitió cuantificar en forma general la contaminación en cada punto de monitoreo a lo largo del rio San Juan y tributarios analizados, evidenció en forma clara la tendencia de la calidad del agua hacia la mejora o su deterioro en el tiempo y facilita plantearse a futuro objetivos reales de mejora en la red de monitoreo en los cuerpos de agua comprendidos.
- Los usos de agua fueron determinados con el índice de calidad de agua ICA CCME, así en la parte alta del Rio San Juan se obtuvo una calificación de Buena, por ello el uso del agua puede ser destinada para la actividad piscícola, abastecimiento de agua, procesos Industriales, recreación con contacto no restringido y riego sin restricciones. En la parte media del rio dio una calificación de Pobre, el uso del agua es como cuerpo

receptor de vertidos de aguas residuales por ahora; para la parte baja del río San Juan dio una calificación principalmente de marginal a regular debido a la mejora en la calidad del agua en esta parte del río San Juan, el uso del agua es para riego restringido, explotación manual de materiales de construcción y recreación con contacto restringido.

## VI. RECOMENDACIONES

- Los resultados según el ICA CCME demandan la necesidad de instalar uno o varios sistemas que comprenda el tratamiento de las aguas residuales municipales en la ciudad de Pasco y comunidades aledañas, para que viertan sus efluentes tratados en el río Ragra.
- Ampliar el estudio con el Índice de Calidad de aguas canadiense y el Índice de Metales Pesados en otras cuencas, microcuencas o ríos para verificar el grado de contaminación de los mismos de manera que se pueda intervenir oportunamente para la mejora de la calidad de sus aguas.
- Que todos los vertimientos de aguas residuales domésticas y/o municipales sean tratados y cumplan con los límites máximos permisibles que se exige para el sector saneamiento y así mismo que no alteren el ECA agua categoría 3 a lo largo del río San Juan, río Ragra y río Andacancha, en cumplimiento con sus autorizaciones de vertimientos de aguas residuales otorgados por la Autoridad Nacional del Agua.
- Determinar si la procedencia de metales en el río San Juan y Ragra, puede tener su origen en los suelos aledaños, relaveras, desmonteras pertenecientes a las empresas mineras, o de suelos impactados por pasivos mineros coloniales.
- El uso de bioindicadores (macroinvertebrados) en el río San Juan y Ragra, como complemento al uso de los índices de calidad del agua, porque ofrecen como ventaja la posibilidad de evaluar el estado ecológico en el que se encuentra un río en un momento determinado y observar su evolución en el tiempo.
- Con la aplicación del índice de calidad de agua ICA -CCME, se pueden plantear mejoras en los objetivos de calidad en cuanto a los usos de agua, pasando de la calificación roja a amarilla en el Río Ragra y Río San Juan en los puntos de muestreo RRagr1, 2, 3 y

RSjua3; y en los puntos del rio San Juan RSjua4, 5, 6 y 7, pasando de una calificación inicial de regular y marginal a buena, cuando se instalen sistemas de tratamiento de aguas residuales municipales en las ciudades que vierten sus aguas residuales al rio Ragra y Rio San Juan, los cuales deben ir acompañados con el tratamiento de aguas industriales idóneos y el control estricto de pasivos ambientales mineros, relaveras y demás componentes mineros.

## VII. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Abdullah, E. 2013. Evaluation of surface water quality indices for heavy metals of Diyala River-Iraq. *Journal of Natural Sciences Research* 3(8), 63-69.
- Abou, B. 2015. Índice de contaminación de metales pesados para la evaluación de la calidad de las aguas subterráneas en Damasco Oasis, Siria. *Environmental Earth Sciences*, 73(10), 6591-6600.
- Aguirre, M., Vanegas, E., & García, N. 2016. Aplicación del Índice de Calidad del Agua (ICA). Caso de estudio: Lago de Izabal, Guatemala. *Revista Ciencias Técnicas Agropecuarias*, Vol. 25, N°2, 39-43.
- ANA (Autoridad Nacional del Agua). 2012. Resultado del monitoreo participativo de la calidad del agua superficial en la Sub Cuenca del Río San Juan – Pasco. Lima: Autoridad Nacional del Agua.
- ANA (Autoridad Nacional del Agua). 2013. Evaluación del estado de la calidad del agua en la Sub Cuenca del Río San Juan, tributario de la Cuenca del Río Mantaro - Provincia de Pasco. Lima: Autoridad Nacional del Agua.
- ANA (Autoridad Nacional del Agua). 2014. Evaluación del estado de la calidad del agua en la Sub Cuenca del Río San Juan, tributario de la Cuenca del Río Mantaro – Provincia de Pasco - Pasco. Lima: Autoridad Nacional del Agua.
- ANA (Autoridad Nacional del Agua). 2015. Monitoreo participativo de la calidad del agua en la Sub Cuenca del Río San Juan – Pasco. Lima: Autoridad Nacional del Agua.
- ANA (Autoridad Nacional del Agua). 2016. Quinto Monitoreo participativo de la calidad del agua en la Sub Cuenca del Río San Juan – Pasco. Lima: Autoridad Nacional del Agua.
- ANA (Autoridad Nacional del Agua). 2017. Sexto Monitoreo participativo de la calidad del agua en la Sub Cuenca del Río San Juan – Pasco. Lima: Autoridad Nacional del Agua.
- ANA (Autoridad Nacional del Agua). 2017. Monitoreo participativo de la calidad del agua en la Sub Cuenca del Río San Juan – Pasco. Lima: Autoridad Nacional del Agua.
- ANA (Autoridad Nacional del Agua). 2018. Metodología para la determinación del índice de calidad de agua ICA-PE aplicado a los cuerpos de agua continentales superficiales. Lima, Perú.

- ANA (Autoridad Nacional del Agua). 2018. Octavo Monitoreo participativo de la calidad del agua en la Sub Cuenca del Río San Juan – Pasco. Lima: Autoridad Nacional del Agua.
- Babaei, F., Hassani, A, Torabian, A., Karbassi, A., & Hosseinzade, F. 2011. Evolution of a new surface water quality index for Karoon catchment in Irán. *Water Science & Technology*, 2483-2491.
- 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*. Vol.12, N°2, 35-49.
- Copaja, S., Nuñez, V., Muñoz, G., González, G., Vila, I. & Véliz, D. 2016. Concentraciones de metal pesado en agua y sedimentos de afluentes y efluentes de depósitos mediterráneos chilenos. *J. Chil. Chem. Soc.* vol.61 no.1.
- Canadian Council of Ministers of the Environment. 2001. Canadian Water Quality Guidelines for the Protection of Aquatic Life: CCME WATER QUALITY INDEX 1.0. Toronto: Canadian Council of Ministers of the Environment.
- Chán, M., & Peña, W. 2015. Evaluación de la calidad del agua superficial con potencial para consumo humano en la cuenca alta del Sis Icán, Guatemala. *Cuadernos de Investigación UNED*, Vol. VII, N°1, 19-23.
- Dimas, M., Garza, M., & Treviño, D. 2015. Índice de la calidad del agua y metales pesados del cauce aguas blancas del municipio de Acapulco Guerrero, México. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas*, Vol. 1, 113-118.
- Duffus, J. 2002. Heavy metals” a meaningless term? (IUPAC Technical Report). *Pure and Applied Chemistry*, N°74, 793-807.
- El-Hamid, H. T., & Hegazy, T. A. 2017. Evaluación de los índices de contaminación de la calidad del agua para los recursos de aguas subterráneas de New Damietta, Egipto. *MOJ Ecología y Ciencias Ambientales*, 2(6), 1-5.
- Gil, J., Vizcaino, C., & Montaña, N. 2018. Evaluación de la calidad del agua superficial utilizando el índice de calidad del agua (ICA). Caso de estudio: Cuenca del Río Guarapiche, Monagas, Venezuela. *Anales Científicos*, Vol. 79, N°1, 111-119.
- Giri, S., & Kumar, A. 2014. Evaluación de la calidad del agua superficial utilizando el índice de contaminación de metales pesados en el río Subarnarekha, India. *Exposición y salud de la calidad del agua*, 5(4), 173-182.
- Gleick, P. 2002. *The World’s Water 2002-2003: The biennial report on freshwater resources*. Washington: Island Press.
- González, V., Caicedo, O., & Aguirre, N. 2013. Aplicación de los índices de calidad de agua NSF, DINIUS y BMWP en la quebrada La Ayurá, Antioquia, Colombia.

Gestión y Ambiente, Vol. 16, N°1, 97-107.

- Gutiérrez, O., González, J., Freire, M., Rodríguez, I., & Moreira, Á. 2014. Potencialidades de un biosorbente algal para la remoción de metales pesados. *Tecnología Química*, Vol. XXXIV, N°1, 70-78.
- Herrera, J., Rodríguez, S., Solís, L., & Castro, F. 2009. Aplicación de técnicas quimiométricas para clasificar la calidad del agua superficial de la microcuenca del río Bermúdez en Heredia, Costa Rica. *Tecnología en Marcha*, Vol. 22, N°4, 75-85.
- IJSEAT (International Journal of Science Engineering and Advance Technology). 2017. Heavy metal pollution index.
- Laino, R., Bello, R., Gonzáles, M., Ramírez, N., Jiménez, F., & Musálem, K. 2015. Concentración de metales en agua y sedimentos de la cuenca alta del río Grijalva, frontera México-Guatemala. *Tecnol. Cienc. Agua* Vol.6, n.4, pp.61-74.
- Lekshmiprasad, S., & Mophin, K. 2017. Water Quality Assessment of Ashtamudi Lake Using Nsfwqi. *International Journal of Emerging Technology and Advanced Engineering*, Vol. 7, N°1.
- López, M. 2013. La calidad del agua superficial en Latinoamérica. Guatemala, Guatemala: Universidad de San Carlos de Guatemala. Obtenido de [http://fausac.usac.edu.gt/GPublica/images/1/1f/Lopez\\_Martinez\\_LuisAntonio\\_201021771\\_Aplicacion\\_Word.pdf](http://fausac.usac.edu.gt/GPublica/images/1/1f/Lopez_Martinez_LuisAntonio_201021771_Aplicacion_Word.pdf)
- Miyashiro, K., Méndez, Q., & Orihuela de Campos, L. 1996. Gestión del agua en el Perú: Uso, protección y tratamiento. Lima: Universidad Nacional Agraria La Molina.
- MVOTMA (Ministerio de Vivienda Ordenamiento Territorial y Medio Ambiente, Dirección Nacional de Medio Ambiente). 2010. Programa de formación Iberoamericano en materia de aguas: Índices de calidad de agua. Buenos Aires.
- Navarro, J., Aguilar, I., & López, J. 2007. Aspectos bioquímicos y genéticos de la tolerancia y acumulación de metales pesados en plantas. *Ecosistemas*, revista científica y técnica de ecología y medio ambiente, N°16, 10-25.
- Onkar, S., & Sulochana, J. 2015. Evaluation of water quality pollution indices for heavy metal contamination monitoring in the water of Harike Wetland (Ramsar Site), India. *International Journal of Scientific and Research Publications* 5(2), 1-6.
- Ortiz, L., Delgado, J., Pardo, D., Murillo, E., & Guio, A. 2015. Determinación de metales pesados e índices de calidad en aguas y sedimentos del río Magdalena – tramo Tolima, Colombia. *Tumbaga*, Vol. 2, N°10, 43-60.
- Pérez, J., Peña, E., López, R., Hernández, I., Ramírez, C., & Ortega, H. 2013. Metales pesados y calidad del agua residual en relación con el riego agrícola. *Revista del*

Centro de Hidrociencias, 1-7.

Quino, I., & Quintanilla, J. 2013. Índice de calidad del agua en la cuenca del lago Poopó-Uru Uru aplicando herramientas SIG. *Revista Boliviana de Química*, Vol. 30, N°1, 91-101.

Reza, R., & Singh, G. 2010. Heavy metal contamination and its indexing approach for river water. *International Journal of Environmental Science and Technology* 7(4), 785-792.

Rodríguez, J., Rodríguez, H., Lira, G., Martínez, J., & Lara, J. 2006. Capacidad de seis especies vegetales para acumular plomo en suelos contaminados. *XXIX*(3).

Rubio, H., Ochoa, J., Ortiz, R., Quintana, R., Saucedo, R., & Villalba, M. 2017. Calidad de agua en términos físico-químico-metales en tres sitios contrastantes del río Conchos en Chihuahua, México. *Investigación y Ciencia*, Vol. 25, N°70, 13-22.

Rubio, H., Ortiz, R., Quintana, R., Saucedo, R., Ochoa, J., & Rey, N. 2014. Índice de calidad de agua (ICA) en la presa la boquilla en Chihuahua, México. *Ecosistemas y Recursos Agropecuarios*, Vol. 1, N°2, 139-150.

Sierra, R. 2011. *Calidad del agua, evaluación y diagnóstico*. Medellín: Ediciones de la U.



## **VIII. ANEXOS**

## Anexo I. Cuadro de Resultados y Cálculo del ICA CCME

### Cuadro 1. Punto LAlca1

Parámetros	Unidad	ECA - Cat. 4	2012 agosto	2013 noviembre	2014 marzo	2015 octubre	2016 -I abril	2016 -II octubre	2017 setiembre	2018 abril	2018 agosto
pH		6.5 -9.0	9.4	8.51	9.24	9.15	8.7	8.7	9.16	8.9	9.48
Oxígeno disuelto	mg/L	5	7.1	6.42	4.76	8.79	6.4	7.07	6.18	NR	7.073
DBO	mg/L	5	NR	2	2	3	7	6	2	2	2
Fosforo total	mg/L	0.035	0.6	NR	0.035	0.03	0.03	0.019	0.08	0.08	0.068
Arsénico	mg/L	0.15	0.006	0.001	0.002	0.007	0.007	0.007	0.00228	0.0023	0.00234
Cobre	mg/L	0.1	0.007	0.0004	0.0008	0.002	0.004	0.002	0.00003	0.00043	0.00003
Mercurio	mg/L	0.0001	0.0001	0.0001	0.0001	0.0001	0.0001	0.0001	0.00001	0.00003	0.00003
Plomo	mg/L	0.0025	0.0049	0.0004	0.0004	0.001	0.001	0.001	0.0004	0.0002	0.002
Zinc total	mg/L	0.12	0.044	0.005	0.003	0.007	0.004	0.005	0.01	0.01	0.0136
Coliformes termotolerantes	NMP/100 ml	1000	1.8	7.8	2	1.8	33	2.0	1.8	1.8	1.8

■ Son los resultados que no cumplen el ECA agua sea Categoría 3 o 4 según corresponda.

RALca1- 2012 al 2015						
Alcance		Frecuencia		Amplitud		
<b>F1</b>	<b>30.0000</b>		<b>F2</b>	<b>13.51</b>	<b>F3</b>	<b>2.8825</b>
Nº de variables fallidas	3		Nº de Testeos Fallidos	5		
Nº Total de Variables	10		Nº Total de Testeos	37		
F al cuadrado	900.0000		F al cuadrado	182.62	F al cuadrado	8.3091
		<b>sumatoria</b>	<b>raíz</b>	<b>Calificación del ICA</b>		
<b>CCMEWQI</b>	<b>80.93</b>	1090.9241	33.0291	de 80 a 100	Buena	
<b>Cuando la prueba valor no supera el objetivo</b>						
Excursión <i>i</i>	0.0444	0.9600	0.0267	0.0504	0.0167	
Valores de Testeo Fallidos	9.4	0.0049	9.24	4.76	9.15	
Objetivo	9	0.0025	9	5	9	
<b>nse</b>	<b>0.02968</b>					

RAIca1- 2016 al 2018							
Alcance		Frecuencia			Amplitud		
<b>F1</b>	<b>30.0000</b>		<b>F2</b>	<b>14.29</b>		<b>F3</b>	<b>7.8694</b>
Nº de variables fallidas	3		Nº de Testeos Fallidos	7			
Nº Total de Variables	10		Nº Total de Testeos	49			
F al cuadrado	900.0000		F al cuadrado	204.08		F al cuadrado	61.9282
		<b>sumatoria</b>	<b>raíz</b>	<b>Calificación del ICA</b>			
<b>CCMEWQI</b>	<b>80.28</b>	1166.0098	34.1469	de 80 a 100	Buena		
<b>Cuando la prueba valor no supera el objetivo</b>							
<b>Excursión i</b>	0.4000	0.2000	0.0178	1.2857	1.2857	0.0533	0.9429
Valores de Testeo Fallidos	7	6	9.16	0.08	0.08	9.48	0.068
Objetivo	5	5	9	0.035	0.035	9	0.035
<b>nse</b>	<b>0.08542</b>						

RAIca1- 2012 al 2018												
Alcance		Frecuencia			Amplitud							
<b>F1</b>	<b>50.0000</b>		<b>F2</b>	<b>13.95</b>		<b>F3</b>	<b>5.7881</b>					
Nº de variables fallidas	5		Nº de Testeos Fallidos	12								
Nº Total de Variables	10		Nº Total de Testeos	86								
F al cuadrado	2500.000		F al cuadrado	194.70		F al cuadrado	33.5022					
		<b>sumatoria</b>	<b>raíz</b>	<b>Calificación del ICA</b>								
<b>CCMEWQI</b>	<b>69.8</b>	2728.2021	52.2322	de 65 a 79	Regular							
<b>Cuando la prueba valor no supera el objetivo</b>												
<b>Excursión i</b>	0.0444	0.9600	0.0267	0.0504	0.0167	0.4000	0.2000	0.0178	1.2857	1.2857	0.0533	0.9429
Valores de Testeo Fallidos	9.4	0.0049	9.24	4.76	9.15	7	6	9.16	0.08	0.08	9.48	0.068
Objetivo	9	0.0025	9	5	9	5	5	9	0.035	0.035	9	0.035
<b>nse</b>	<b>0.06144</b>											
<b>Excursión i</b>	0.0533	0.9429										
Valores de Testeo Fallidos	9.48	0.068										
Objetivo	9	0.035										

## Cuadro 2. Punto RSjua1

Parámetros	Unidad	ECA - Cat. 3	2012 agosto	2013 noviembre	2014 marzo	2015 octubre	2016 -I abril	2016-II octubre	2017 setiembre	2018 abril	2018 agosto
pH		6.5-8.5	8.67	8.41	8.64	8.51	8.03	8.5	8.69	8.81	9.043
Oxígeno Disuelto	mg/L	4	7.15	6.42	4.12	7.08	6.93	7.67	5.827	4.16	6.893
DBO	mg/L	15	6	2	2	3	4	3	2	2	2
Aluminio	mg/L	5	0.06	0.08	0.1	0.012	0.043	0.068	0.002	0.039	0.031
Arsénico	mg/L	0.1	0.005	0.001	0.001	0.007	0.007	0.007	0.0052	0.00243	0.00521
Cadmio	mg/L	0.01	0.0006	0.0004	0.0004	0.001	0.00018	NR	0.00001	0.00001	0.00001
Cobre	mg/L	0.2	0.003	0.0004	0.0014	0.002	0.002	0.002	0.00003	0.00052	0.00055
Hierro	mg/L	5	0.151	0.191	0.186	0.187	0.166	0.394	0.2016	0.133	0.231
Manganeso total	mg/L	0.2	0.32	0.0259	0.0124	0.012	0.011	0.014	0.00853	0.01362	0.01113
Plomo	mg/L	0.05	0.001	0.0004	0.001	0.001	0.001	0.001	0.0002	0.0006	0.0017
Zinc total	mg/L	2	0.003	0.003	0.003	0.019	0.012	0.004	0.01	0.01	0.01
Coliformes termotolerantes	NMP/100 ml	1000	1.8	4.5	13	2	490	33	170	240	4.5
Escherichia coli	NMP/100 ml	1000	NR	NR	NR	2	4	33	130	130	2

RSjua1- 2012 al 2015											
Alcance			Frecuencia			Amplitud					
<b>F1</b>	<b>7.6923</b>		<b>F2</b>	<b>4.08</b>		<b>F3</b>	<b>0.0744</b>				
Nº de variables fallidas	1		Nº de Testeos Fallidos	2							
Nº Total de Variables	13		Nº Total de Testeos	49							
F al cuadrado	59.1716		F al cuadrado	16.66		F al cuadrado	0.0055				
			sumatoria	raíz		Calificación del ICA					
<b>CCMEWQI</b>	<b>95.0</b>	75.8369	8.7084			de 80 a 100	Buena				
Cuando la prueba valor no supera el objetivo											
Excursión <i>i</i>	0.0200	0.0165									
Valores de Testeo Fallidos	8.67	8.64									
Objetivo	8.5	8.5									
<b>nse</b>	<b>0.00074</b>										

RSjua1- 2016 al 2018					
Alcance		Frecuencia		Amplitud	
<b>F1</b>	<b>7.6923</b>		<b>F2</b>	<b>4.69</b>	<b>F3</b> <b>0.1921</b>
Nº de variables fallidas	1		Nº de Testeos Fallidos	3	
Nº Total de Variables	13		Nº Total de Testeos	64	
F al cuadrado	59.1716		F al cuadrado	21.97	F al cuadrado 0.0369
		<b>sumatoria</b>	<b>raíz</b>	<b>Calificación del ICA</b>	
<b>CCMEWQI</b>	<b>94.80</b>	81.1812	9.0101	de 80 a 100	Buena
<b>Cuando la prueba valor no supera el objetivo</b>					
<b>Excursión <i>i</i></b>	0.0228	0.0365	0.0639		
Valores de Testeo Fallidos	8.694	8.81	9.043		
Objetivo	8.5	8.5	8.5		
<b>nse</b>	<b>0.00192</b>				

RSjua1- 2012 al 2018					
Alcance		Frecuencia		Amplitud	
<b>F1</b>	<b>7.6923</b>		<b>F2</b>	<b>4.42</b>	<b>F3</b> <b>0.1411</b>
Nº de variables fallidas	1		Nº de Testeos Fallidos	5	
Nº Total de Variables	13		Nº Total de Testeos	113	
F al cuadrado	59.1716		F al cuadrado	19.58	F al cuadrado 0.0199
		<b>sumatoria</b>	<b>raíz</b>	<b>Calificación del ICA</b>	
<b>CCMEWQI</b>	<b>94.9</b>	78.7702	8.8753	de 80 a 100	Buena
<b>Cuando la prueba valor no supera el objetivo</b>					
<b>Excursión <i>i</i></b>	0.0200	0.0165	0.0228	0.0365	0.0639
Valores de Testeo Fallidos	8.67	8.64	8.694	8.81	9.043
Objetivo	8.5	8.5	8.5	8.5	8.5
<b>nse</b>	<b>0.00141</b>				

**Cuadro 3. Punto RSjua2**

Parámetros	Unidad	ECA - Cat. 3	2012 agosto	2013 noviembre	2014 marzo	2015 octubre	2016 -I abril	2016 -II octubre	2017 setiembre	2018 abril	2018 agosto
pH		6.5-8.5	8.0	9.11	8.72	8.4	7.99	8.7	8.54	8.81	8.4
Oxígeno disuelto	mg/L	4	6.69	6.42	4.49	9.28	7.2	11.32	5.734	4.27	6.561
DBO	mg/L	15	6	2	2	3	3	3	2	2	2
Aluminio	mg/L	5	0.11	0.12	0.1	0.015	0.11	0.116	0.142	0.035	0.039
Arsénico	mg/L	0.1	0.005	0.001	0.002	0.007	0.007	0.007	0.0056	0.00295	0.00684
Cadmio	mg/L	0.01	0.0006	0.0004	0.0004	0.001	0.00018	NR	0.00001	0.035	0.00001
Cobre	mg/L	0.2	0.003	0.0004	0.0022	0.002	0.004	0.002	0.00003	0.00061	0.00044
Hierro	mg/L	5	0.238	0.306	0.173	0.323	0.207	0.508	0.2253	0.1302	0.3677
Manganeso total	mg/L	0.2	0.0159	0.0367	0.0099	0.109	0.012	0.05	0.146	0.01509	0.16674
Plomo	mg/L	0.05	0.0037	0.0004	0.0005	0.001	0.001	0.001	0.0021	0.0007	0.0024
Zinc total	mg/L	2	0.003	0.003	0.003	0.019	0.008	0.007	0.01	0.01	0.0155
Coliformes termotolerantes	NMP/100 ml	1000	1.8	4.5	130	7.8	2300	1400	2400	790	6.8
Escherichia coli	NMP/100 ml	1000	NR	NR	NR	4.5	14	1400	2400	330	2

RSjua2- 2012 al 2015 abril											
Alcance		Frecuencia		Amplitud							
<b>F1</b>	<b>7.6923</b>		<b>F2</b>	<b>4.08</b>		<b>F3</b>	<b>0.1989</b>				
Nº de variables fallidas	1		Nº de Testeos Fallidos	2							
Nº Total de Variables	13		Nº Total de Testeos	49							
F al cuadrado	59.1716		F al cuadrado	16.66		F al cuadrado	0.0396				
		<b>sumatoria</b>	<b>raíz</b>	<b>Calificación del ICA</b>							
<b>CCMEWQI</b>	<b>94.97</b>	75.8709	8.7104	de 80 a 100	Buena						
Cuando la prueba valor no supera el objetivo											
Excursión <i>i</i>	0.0718	0.0259									
Valores de Testeo Fallidos	9.11	8.72									
Objetivo	8.5	8.5									
<b>nse</b>	<b>0.00199</b>										

RSjua2- 2016 al 2018									
Alcance		Frecuencia			Amplitud				
F1	23.0769	F2			F3				
Nº de variables fallidas	3	Nº de Testeos Fallidos			7				
Nº Total de Variables	13	Nº Total de Testeos			63				
F al cuadrado	532.5444	F al cuadrado			123.46				
		sumatoria	raíz	Calificación del ICA					
CCMEWQI	84.62	709.2680	26.6321	de 80 a 100	Buena				
Cuando la prueba valor no supera el objetivo									
Excursión <i>i</i>	1.3000	0.0235	0.4000	0.4000	1.4000	1.4000	1.4000	1.4000	0.0365
Valores de Testeo Fallidos	2300	8.7	1400	1400	2400	2400	2400	2400	8.81
Objetivo	1000	8.5	1000	1000	1000	1000	1000	1000	8.5
nse	0.07873								

RSjua2- 2012 al 2018									
Alcance		Frecuencia			Amplitud				
F1	23.0769	F2			F3				
Nº de variables fallidas	3	Nº de Testeos Fallidos			9				
Nº Total de Variables	13	Nº Total de Testeos			112				
F al cuadrado	532.5444	F al cuadrado			64.57				
		sumatoria	raíz	Calificación del ICA					
CCMEWQI	85.67	615.7851	24.8150	de 80 a 100	Buena				
Cuando la prueba valor no supera el objetivo									
Excursión <i>i</i>	0.0718	0.0259	1.3000	0.0235	0.4000	0.4000	1.4000	1.4000	0.0365
Valores de Testeo Fallidos	9.11	8.72	2300	8.7	1400	1400	2400	2400	8.81
Objetivo	8.5	8.5	1000	8.5	1000	1000	1000	1000	8.5
nse	0.04516								

**Cuadro 4. Punto RRagr1**

Parámetros	Unidad	ECA - Cat. 3	2012 agosto	2013 noviembre	2014 marzo	2015 octubre	2016 -I abril	2016 -II octubre	2017 setiembre	2018 abril	2018 agosto
pH		6.5-8.5	7.38	8.1	7.66	8.46	7.97	8.01	8.47	8.36	8.624
Oxígeno disuelto	mg/L	4	4.91	4.45	6.13	4.47	6.45	6.03	5.84	6.93	6.232
DBO	mg/L	15	129	6.02	19.89	8	8	4	42	NR	41
Aluminio	mg/L	5	0.7	0.58	1.53	0.32	0.614	0.812	0.767	0.558	0.276
Arsénico	mg/L	0.1	0.021	0.0316	0.08	0.028	0.044	0.022	0.0643	0.07716	0.0251
Cadmio	mg/L	0.01	0.0068	0.0062	0.0261	0.008	0.00888	NR	0.00767	0.00536	0.00216
Cobre	mg/L	0.2	0.07	0.095	0.396	0.078	0.172	0.089	0.19174	0.12767	0.03327
Hierro	mg/L	5	12.184	7.062	26.538	17.56	14.46	10.49	16.44	15.06	6.038
Manganeso total	mg/L	0.2	6.6191	6.6651	11.6291	4.404	5.135	1.832	3.441	4.392	1.518
Plomo	mg/L	0.05	0.131	0.0248	0.0752	0.029	0.001	0.063	0.2447	0.0372	0.0557
Zinc total	mg/L	2	3.786	2.486	8.709	3.289	0.001	1.985	3.993	3.351	1.487
Coliformes termotolerantes	NMP/100 ml	1000	330000	490	3300	33000	7000	490000	1700000	11000	1700000
Escherichia coli	NMP/100 ml	1000	NR	NR	NR	33000	7000	140000	1700000	7000	1100000

RRagr1- 2012 al 2015											
Alcance	Frecuencia			Amplitud							
F1	53.8462	F2		42.86	F3		91.9898				
Nº de variables fallidas	7	Nº de Testeos Fallidos		21							
Nº Total de Variables	13	Nº Total de Testeos		49							
F al cuadrado	2899.4083	F al cuadrado		1836.73	F al cuadrado		8462.1239				
		sumatoria	raíz	Calificación del ICA							
<b>CCMEWQI</b>	<b>33.67</b>	13198.2669	114.8837	de 0 a 44		Pobre					
Cuando la prueba valor no supera el objetivo											
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Excursión <i>i</i>	7.6000	1.4368	32.0955	1.6200	0.8930	329.0000	0.4124	32.3255	0.2430	0.3260	0.9800
Valores de Testeo Fallidos	129	12.184	6.6191	0.131	3.786	330000	7.062	6.6651	2.486	19.89	0.396
Objetivo	15	5	0.2	0.05	2	1000	5	0.2	2	15	0.2
<b>nse</b>	<b>11.48409</b>										
Excursión <i>i</i>	4.3076	57.1455	0.5040	3.3545	2.3000	2.5120	21.0200	0.6445	32.0000	32.0000	
Valores de Testeo Fallidos	26.538	11.6291	0.0752	8.709	3300	17.56	4.404	3.289	33000	33000	
Objetivo	5	0.2	0.05	2	1000	5	0.2	2	1000	1000	



RRagr1- 2016 al 2018											
Alcance		Frecuencia				Amplitud					
<b>F1</b>	<b>61.5385</b>			<b>F2</b>	<b>44.44</b>			<b>F3</b>	<b>99.1011</b>		
Nº de variables fallidas	8			Nº de Testeos Fallidos	28						
Nº Total de Variables	13			Nº Total de Testeos	63						
F al cuadrado	3786.98 22			F al cuadrado	1975.31			F al cuadrado	9821.02 83		
		<b>sumatoria</b>	<b>raíz</b>	<b>Calificación del ICA</b>							
<b>CCMEWQI</b>	<b>27.93</b>	15583.3192	$\sqrt{24.833}$	de 0 a 44	Pobre						
<b>Quando la prueba valor no supera el objetivo</b>		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
<b>Excursión i</b>	1.8920	24.6750	6.0000	6.0000	1.0980	8.1600	0.2600	489.0000	139.0000 0	1.8000	2.2880
Valores de Testeo Fallidos	14.46	5.135	7000	7000	10.49	1.832	0.063	490000	140000	42	16.44
Objetivo	5	0.2	1000	1000	5	0.2	0.05	1000	1000	15	5
<b>nse</b>	<b>110.247 23</b>										
<b>Excursión i</b>	16.2050	3.8940	0.9965	1699.0000	1699.0000	2.0120	20.9600	0.6755	10.0000	6.0000	0.0146
Valores de Testeo Fallidos	3.441	0.2447	3.993	1700000	1700000	15.06	4.392	3.351	11000	7000	8.624
Objetivo	0.2	0.05	2	1000	1000	5	0.2	2	1000	1000	8.5
<b>Excursión i</b>	1.7333	0.2076	6.5900	0.1140	1699.00	1099.00					
Valores de Testeo Fallidos	41	6.038	1.518	0.0557	1700000	1100000					
Objetivo	15	5	0.2	0.05	1000	1000					

RRagr1- 2012 al 2018											
Alcance		Frecuencia				Amplitud					
<b>F1</b>	<b>69.2308</b>			<b>F2</b>	<b>43.75</b>			<b>F3</b>	<b>98.530 2</b>		
Nº de variables fallidas	9			Nº de Testeos Fallidos	49						
Nº Total de Variables	13			Nº Total de Testeos	112						
F al cuadrado	4792.89 94			F al cuadrado	1914.0 6			F al cuadrado	9708.2 083		
		<b>sumatoria</b>	<b>raíz</b>	<b>Calificación del ICA</b>							
<b>CCMEWQI</b>	<b>26.0</b>	16415.17	$\sqrt{128.12}$	de 0 a 44	Pobre						
<b>Quando la prueba valor no supera el objetivo</b>		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
<b>Excursión i</b>	7.6000	1.4368	32.0955	1.6200	0.8930	329.0000	0.4124	32.3255	0.2430	0.3260	0.9800
Valores de Testeo Fallidos	129	12.184	6.6191	0.131	3.786	330000	7.062	6.6651	2.486	19.89	0.396
Objetivo	15	5	0.2	0.05	2	1000	5	0.2	2	15	0.2
<b>nse</b>	<b>67.03836</b>										
<b>Excursión i</b>	4.3076	57.1455	0.5040	3.3545	2.3000	2.5120	21.0200	0.6445	32.0000	32.0000	1.8920
Valores de Testeo Fallidos	26.538	11.6291	0.0752	8.709	3300	17.56	4.404	3.289	33000	33000	14.46
Objetivo	5	0.2	0.05	2	1000	5	0.2	2	1000	1000	5
<b>Excursión i</b>	24.6750	6.0000	6.0000	1.0980	8.1600	0.2600	489.0000 0	139.0000 0	1.8000	2.2880	16.2050
Valores de Testeo Fallidos	5.135	7000	7000	10.49	1.832	0.063	490000	140000	42	16.44	3.441

Objetivo	0.2	1000	1000	5	0.2	0.05	1000	1000	15	5	0.2
<b>Excursión i</b>	3.8940	0.9965	1699.0000	1699.0000	2.0120	20.9600	0.6755	10.0000	6.0000	0.0146	1.7333
Valores de Testeo Fallidos	0.2447	3.993	1700000	1700000	15.06	4.392	3.351	11000	7000	8.624	41
Objetivo	0.05	2	1000	1000	5	0.2	2	1000	1000	8.5	15
<b>Excursión i</b>	0.2076	6.5900	0.1140	1699.00	1099.00						
Valores de Testeo Fallidos	6.038	1.518	0.0557	1700000	1100000						
Objetivo	5	0.2	0.05	1000	1000						

**Cuadro 5. Punto RRagr2**

Parámetros	Unidad	ECA - Cat. 3	2012 agosto	2013 noviembre	2014 marzo	2015 octubre	2016 -I abril	2016 -II octubre	2017 setiembre	2018 abril	2018 agosto
pH		6.5-8.5	7.11	6.32	7.16	7.29	6.34	7.2	8.054	7.77	8.043
Oxígeno disuelto	mg/L	4	0.4	3.33	5.9	3.53	5.64	4.0	0.95	6.7	5.414
DBO	mg/L	15	494	52.17	22.88	77	4.0	220	303	55	139
Aluminio	mg/L	5	5.43	1.06	1.15	0.469	3.115	2.863	2.152	1.283	0.726
Arsénico	mg/L	0.1	0.178	0.06	0.115	0.035	0.66	0.09	0.14828	0.08945	0.03486
Cadmio	mg/L	0.01	0.011	0.0115	0.0123	0.004	0.01284	NR	0.00804	0.00723	0.00503
Cobre	mg/L	0.2	0.543	0.2538	0.4095	0.057	2.211	0.302	0.2871	0.35991	0.07724
Hierro	mg/L	5	31.668	17.526	21.898	13.35	99.25	27.55	25.85	19.27	13.21
Manganeso total	mg/L	0.2	2.7942	5.0266	3.7001	3.1	6.756	4.022	3.523	2.715	4.171
Plomo	mg/L	0.05	0.7606	0.0668	0.0483	0.029	0.216	0.264	0.1544	0.1259	0.0419
Zinc total	mg/L	2	4.341	3.89	3.979	1.529	7.129	4.199	5.152	2.858	2.419
Coliformes termotolerantes	NMP/100 ml	1000	17000000	790000	33000	330000	2300000	2300000	22000000	700000	460000
Escherichia coli	NMP/100 ml	1000	NR	NR	NR	330000	2300000	490000	7000000	460000	460000

RRagr2- 2012 al 2015											
Alcance		Frecuencia				Amplitud					
<b>F1</b>	<b>100.0000</b>		<b>F2</b>	<b>71.43</b>		<b>F3</b>	<b>99.7</b>	<b>378</b>			
Nº de variables fallidas	13		Nº de Testeos Fallidos	35							
Nº Total de Variables	13		Nº Total de Testeos	49							
F al cuadrado	10000.0000		F al cuadrado	5102.04		F al cuadrado	9947.6342				
		<b>sumatoria</b>	<b>raíz</b>	<b>Calificación del ICA</b>							
<b>CCMEWQI</b>	<b>8.62</b>	25049.67	158.2709	de 0 a 44	Pobre						
<b>Cuando la prueba valor no supera el objetivo</b>											
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
<b>Excursión i</b>	9.0000	31.9333	0.0860	0.7800	0.1000	1.7150	5.3336	12.9710	14.2120	1.1705	16999.0000
Valores de Testeo Fallidos	0.4	494	5.43	0.178	0.011	0.543	31.668	2.7942	0.7606	4.341	17000000
Objetivo	4	15	5	0.1	0.01	0.2	5	0.2	0.05	2	1000
<b>nse</b>	<b>380.42768</b>										
<b>Excursión i</b>	0.0285	0.2012	2.4780	0.1500	0.2690	2.5052	24.1330	0.3360	0.9450	789.0000	0.5253
Valores de Testeo Fallidos	6.32	3.33	52.17	0.0115	0.2538	17.526	5.0266	0.0668	3.89	790000	22.88
Objetivo	6.5	4	15	0.01	0.2	5	0.2	0.05	2	1000	15
<b>Excursión i</b>	10.5000	0.2300	1.0475	3.3796	17.5005	0.9895	32.0000	0.1331	4.1333	1.6700	14.5000
Valores de Testeo Fallidos	0.115	0.0123	0.4095	21.898	3.7001	3.979	33000	3.53	77	13.35	3.1
Objetivo	0.01	0.01	0.2	5	0.2	2	1000	4	15	5	0.2
<b>Excursión i</b>	329.0000	329.0000									
Valores de Testeo Fallidos	330000	330000									
Objetivo	1000	1000									

RRagr2- 2016 al 2018											
Alcance		Frecuencia				Amplitud					
F1	92.3077	F2		65.63	F3		99.8348				
Nº de variables fallidas	12	Nº de Testeos Fallidos		42							
Nº Total de Variables	13	Nº Total de Testeos		64							
F al cuadrado	8520.7101	F al cuadrado		4306.64	F al cuadrado		9966.9859				
		sumatoria	raíz	Calificación del ICA							
CCMEWQI	12.83	22794.34	150.9779	de 0 a 44		Pobre					
Cuando la prueba valor no supera el objetivo											
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Excursión <i>i</i>	0.0252	5.6000	0.2840	10.0550	18.8500	32.7800	3.3200	2.5645	2299.0000	2299.0000	13.6667
Valores de Testeo Fallidos	6.34	0.66	0.01284	2.211	99.25	6.756	0.216	7.129	2300000	2300000	220
Objetivo	6.5	0.1	0.01	0.2	5	0.2	0.05	2	1000	1000	15
nse	604.30075										
Excursión <i>i</i>	0.5100	4.5100	19.1100	4.2800	1.0995	2299.0000	489.0000	3.2105	19.2000	0.4828	0.4355
Valores de Testeo Fallidos	0.302	27.55	4.022	0.264	4.199	2300000	490000	0.95	303	0.14828	0.2871
Objetivo	0.2	5	0.2	0.05	2	1000	1000	4	15	0.1	0.2
Excursión <i>i</i>	4.1700	16.6150	2.0880	1.5760	21999.00	6999.0000	2.6667	0.7996	2.8540	12.5750	1.5180
Valores de Testeo Fallidos	25.85	3.523	0.1544	5.152	22000000	7000000	55	0.35991	19.27	2.715	0.1259
Objetivo	5	0.2	0.05	2	1000	1000	15	0.2	5	0.2	0.05
Excursión <i>i</i>	0.4290	699.0000	459.0000	8.2667	1.6420	19.8550	0.2095	459.0000	459.0000		
Valores de Testeo Fallidos	2.858	700000	460000	139	13.21	4.171	2.419	460000	460000		
Objetivo	2	1000	1000	15	5	0.2	2	1000	1000		

RRagr2- 2012 al 2018											
Alcance		Frecuencia				Amplitud					
F1	100.0000	F2		68.14	F3		99.8032				
Nº de variables fallidas	13	Nº de Testeos Fallidos		77							
Nº Total de Variables	13	Nº Total de Testeos		113							
F al cuadrado	10000.0000	F al cuadrado		4643.28	F al cuadrado		9960.6859				
		Sumatoria	raíz	Calificación del ICA							
CCMEWQI	9.44	24603.96	156.8565	de 0 a 44		Pobre					
Cuando la prueba valor no supera el objetivo											
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Excursión <i>i</i>	9.0000	31.9333	0.0860	0.7800	0.1000	1.7150	5.3336	12.9710	14.2120	1.1705	16999.0000
Valores de Testeo	0.4	494	5.43	0.178	0.011	0.543	31.668	2.7942	0.7606	4.341	17000000
Objetivo	4	15	5	0.1	0.01	0.2	5	0.2	0.05	2	1000
nse	507.22305										
Excursión <i>i</i>	0.0285	0.2012	2.4780	0.1500	0.2690	2.5052	24.1330	0.3360	0.9450	789.0000	0.5253

Valores de Testeo	6.32	3.33	52.17	0.0115	0.2538	17.526	5.0266	0.0668	3.89	790000	22.88
Objetivo	6.5	4	15	0.01	0.2	5	0.2	0.05	2	1000	15
<b>Excursión i</b>	10.5000	0.2300	1.0475	3.3796	17.50	0.9895	2.0000	0.1331	4.1333	1.6700	14.5000
Valores de Testeo	0.115	0.0123	0.4095	21.898	3.7001	3.979	33000	3.53	77	13.35	3.1
Objetivo	0.01	0.01	0.2	5	0.2	2	1000	4	15	5	0.2
<b>Excursión i</b>	329.0000	329.0000	0.0252	5.6000	0.2840	10.0550	18.8500	32.7800	3.3200	2.5645	2299
Valores de Testeo	330000	330000	6.34	0.66	0.01284	2.211	99.25	6.756	0.216	7.129	2300000
Objetivo	1000	1000	6.5	0.1	0.01	0.2	5	0.2	0.05	2	1000
<b>Excursión i</b>	2299	13.666667	0.51	4.51	19.11	4.28	1.0995	2299	489	3.210526316	19.2
Valores de Testeo	2300000	220	0.302	27.55	4.022	0.264	4.199	2300000	490000	0.95	303
Objetivo	1000	15	0.2	5	0.2	0.05	2	1000	1000	4	15
<b>Excursión i</b>	0.4828	0.4355	4.17	16.615	2.088	1.576	21999	6999	2.666666667	0.79955	2.854
Valores de Testeo	0.14828	0.2871	25.85	3.523	0.1544	5.152	22000000	7000000	55	0.35991	19.27
Objetivo	0.1	0.2	5	0.2	0.05	2	1000	1000	15	0.2	5
<b>Excursión i</b>	12.575	1.518	0.429	699	459	8.2666667	1.642	19.855	0.2095	459	459
Valores de Testeo	2.715	0.1259	2.858	700000	460000	139	13.21	4.171	2.419	460000	460000
Objetivo	0.2	0.05	2	1000	1000	15	5	0.2	2	1000	1000

**Cuadro 6. Punto RRagr3**

Parámetros	Unidad	ECA - Cat. 3	2012 agosto	2013 noviembre	2014 marzo	2015 octubre	2016 -I abril	2016 -II octubre	2017 setiembre	2018 abril	2018 agosto
pH		6.5-8.5	7.8	8.36	7.94	8.44	8.06	8.6	8.46	8.28	8.59
Oxígeno disuelto	mg/L	4	4.67	4.0	6.14	4.3	6.17	8.24	5.43	6.68	6.367
DBO	mg/L	15	144	4.82	16.63	42	6	64	27.00	24	26
Aluminio	mg/L	5	1.88	0.6	0.93	0.558	1.037	1.238	0.47	0.863	0.272
Arsénico	mg/L	0.1	0.062	0.03	0.045	0.033	0.0983	0.077	0.031	0.07628	0.01917
Cadmio	mg/L	0.01	0.0124	0.0054	0.0073	0.007	0.00801	NR	0.006	0.00775	0.00551
Cobre	mg/L	0.2	0.7	2.1486	0.6061	0.139	0.3251	1.003	0.189	0.21	0.07
Hierro	mg/L	5	23.358	6.227	12.288	13.13	25.11	23.27	7.82	17.13	4.938
Manganeso total	mg/L	0.2	7.6839	5.9854	4.4438	3.249	5.094	2.983	8.44	9.667	29.66
Plomo	mg/L	0.05	0.259	0.0515	0.0834	0.062	0.193	0.102	0.115	0.0905	0.0233
Zinc total	mg/L	2	5.139	2.187	2.744	2.427	3.327	4.052	2.231	3.181	1.608
Coliformes termotolerantes	NMP/100 ml	1000	79000	33000	23000	490000	330000	790000	280000	70000	220000
Escherichia coli	NMP/100 ml	1000	NR	NR	NR	330000	330000	490000	170000	46000	110000

RRagr3- 2012 al 2015											
Alcance		Frecuencia				Amplitud					
<b>F1</b>	<b>69.2308</b>		<b>F2</b>	<b>57.14</b>		<b>F3</b>	<b>95.70</b>	<b>63</b>			
Nº de variables fallidas	9		Nº de Testeos Fallidos	28							
Nº Total de Variables	13		Nº Total de Testeos	49							
F al cuadrado	4792.8994		F al cuadrado	3265.31		F al cuadrado	9159.6907				
		<b>sumatoria</b>	<b>raíz</b>	<b>Calificación del ICA</b>							
<b>CCMEWQI</b>	<b>24.24</b>	17217.8963	131.2170	de 0 a 44	Pobre						
<b>Cuando la prueba valor no supera el objetivo</b>		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
<b>Excursión i</b>	8.6000	0.2400	2.5000	3.6716	37.4195	4.1800	1.5695	78.0000	9.7430	0.2454	28.9270
Valores de Testeo Fallidos	144	0.0124	0.7	23.358	7.6839	0.259	5.139	79000	2.1486	6.227	5.9854
Objetivo	15	0.01	0.2	5	0.2	0.05	2	1000	0.2	5	0.2
<b>nse</b>	<b>22.28979</b>										
<b>Excursión i</b>	0.0300	0.0935	32.0000	0.1087	2.0305	1.4576	21.2190	0.6680	0.3720	22.0000	1.8000
Valores de Testeo Fallidos	0.0515	2.187	33000	16.63	0.6061	12.288	4.4438	0.0834	2.744	23000	42
Objetivo	0.05	2	1000	15	0.2	5	0.2	0.05	2	1000	15
<b>Excursión i</b>	1.6260	15.2450	0.2400	0.2135	489.0000	329.0000					
Valores de Testeo Fallidos	13.13	3.249	0.062	2.427	490000	330000					
Objetivo	5	0.2	0.05	2	1000	1000					

RRagr3- 2016 al 2018											
Alcance		Frecuencia				Amplitud					
<b>F1</b>	<b>69.2308</b>		<b>F2</b>	<b>54.69</b>		<b>F3</b>	<b>97.9957</b>				
Nº de variables fallidas	9		Nº de Testeos Fallidos	35							
Nº Total de Variables	13		Nº Total de Testeos	64							
F al cuadrado	4792.8994		F al cuadrado	2990.72		F al cuadrado	9603.1483				
		<b>sumatoria</b>	<b>raíz</b>	<b>Calificación del ICA</b>							
<b>CCMEWQI</b>	<b>23.9</b>	17386.7706	131.8589	de 0 a 44	Pobre						
<b>Cuando la prueba valor no supera el objetivo</b>		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
<b>Excursión i</b>	0.6255	4.0220	24.4700	2.8600	0.6635	329.0000	329.0000	3.2667	4.0150	3.6540	13.9150
Valores de Testeo Fallidos	0.3251	25.11	5.094	0.193	3.327	330000	330000	64	1.003	23.27	2.983
Objetivo	0.2	5	0.2	0.05	2	1000	1000	15	0.2	5	0.2
<b>nse</b>	<b>48.89163</b>										
<b>Excursión i</b>	1.0400	1.0260	789.0000	489.0000	0.8000	0.5640	41.1850	1.2920	0.1155	279.0000	169.0000
Valores de Testeo Fallidos	0.102	4.052	790000	490000	27	7.82	8.437	0.1146	2.231	280000	170000
Objetivo	0.05	2	1000	1000	15	5	0.2	0.05	2	1000	1000
<b>Excursión i</b>	0.6000	0.0446	2.4260	47.3350	0.8100	0.5905	69.0000	45.0000	0.0106	0.7333	147.0000
Valores de Testeo Fallidos	24	0.20893	17.13	9.667	0.0905	3.181	70000	46000	8.59	26	29.6
Objetivo	15	0.2	5	0.2	0.05	2	1000	1000	8.5	15	0.2
<b>Excursión i</b>	219.0000	109.0000									
Valores de Testeo Fallidos	220000	110000									
Objetivo	1000	1000									

RRagr3- 2012 al 2018											
Alcance		Frecuencia				Amplitud					
<b>F1</b>	<b>76.9231</b>		<b>F2</b>	<b>55.75</b>		<b>F3</b>	<b>97.3929</b>				
Nº de variables fallidas	10		Nº de Testeos Fallidos	63							
Nº Total de Variables	13		Nº Total de Testeos	113							
F al cuadrado	5917.1598		F al cuadrado	3108.31		F al cuadrado	9485.3707				
		<b>sumatoria</b>	<b>raíz</b>	<b>Calificación del ICA</b>							
<b>CCMEWQI</b>	<b>21.4</b>	18510.8396	136.0545	de 0 a 44	Pobre						
<b>Cuando la prueba valor no supera el objetivo</b>		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
<b>Excursión i</b>	8.6000	0.2400	2.5000	3.6716	37.4195	4.1800	1.5695	78.0000	9.7430	0.2454	28.9270
Valores de Testeo Fallidos	144	0.0124	0.7	23.358	7.6839	0.259	5.139	79000	2.1486	6.227	5.9854

Objetivo	15	0.01	0.2	5	0.2	0.05	2	1000	0.2	5	0.2
<b>nse</b>	<b>37.35632</b>										
<b>Excursión i</b>	0.0300	0.0935	32.0000	0.1087	2.0305	1.4576	21.2190	0.6680	0.3720	22.0000	1.8000
Valores de Testeo Fallidos	0.0515	2.187	33000	16.63	0.6061	12.288	4.4438	0.0834	2.744	23000	42
Objetivo	0.05	2	1000	15	0.2	5	0.2	0.05	2	1000	15
<b>Excursión i</b>	1.6260	15.2450	0.2400	0.2135	489.0000	329.0000	0.6255	4.0220	24.4700	2.8600	0.6635
Valores de Testeo Fallidos	13.13	3.249	0.062	2.427	490000	330000	0.3251	25.11	5.094	0.193	3.327
Objetivo	5	0.2	0.05	2	1000	1000	0.2	5	0.2	0.05	2
<b>Excursión i</b>	329.0000	329.0000	3.2667	4.0150	3.6540	13.9150	1.0400	1.0260	789.0000	489.0000	0.8000
Valores de Testeo Fallidos	330000	330000	64	1.003	23.27	2.983	0.102	4.052	790000	490000	27
Objetivo	1000	1000	15	0.2	5	0.2	0.05	2	1000	1000	15
<b>Excursión i</b>	0.5640	41.1850	1.2920	0.1155	279.0000	169.0000	0.6000	0.0446	2.4260	47.3350	0.8100
Valores de Testeo Fallidos	7.82	8.437	0.1146	2.231	280000	170000	24	2.0893	17.13	9.667	0.0905
Objetivo	5	0.2	0.05	2	1000	1000	15	0.2		0.2	0.05
<b>Excursión i</b>	0.5905	69.0000	45.0000	0.0106	0.7333	147.0000	219.0000	9.0000			
Valores de Testeo Fallidos	3.181	70000	46000	8.59	26	29.6	220000	10000			
Objetivo	2	1000	1000	8.5	15	0.2	1000	1000			



**Cuadro 7. Punto RSjua3.**

Parámetros	Unidad	ECA - Cat. 3	2012 agosto	2013 noviembre	2014 marzo	2015 octubre	2016-I abril	2016-II octubre	2017 setiembre	2018 abril	2018 agosto
pH		6.5-8.5	6.16	8.38	8.14	7.98	8.14	8.4	8.707	8.57	8.569
Oxígeno disuelto	mg/L	4	3.95	5.06	6.95	5.43	6.84	5.55	4.842	NR	7.44
DBO	mg/L	15	10	4.61	2	10	7	3	10	2	4
Aluminio	mg/L	5	0.19	0.49	0.22	5.596	0.252	0.333	0.056	0.164	0.173
Arsénico	mg/L	0.1	0.003	0.02	0.008	0.007	0.011	0.007	0.00729	0.01451	0.0085
Cadmio	mg/L	0.01	0.0475	0.0011	0.0004	0.001	0.001	NR	0.00001	0.00115	0.0018
Cobre	mg/L	0.2	0.412	0.9722	0.0728	0.245	0.065	2.538	5.9630	0.04856	1.154
Hierro	mg/L	5	16.618	2.511	1.77	5.622	2.069	1.233	0.565	2.499	1.389
Manganeso total	mg/L	0.2	48.2961	2.2638	0.6172	7.19	1.047	1.322	4.2340	1.537	27.91
Plomo	mg/L	0.05	0.0132	0.0713	0.028	0.025	0.043	0.001	0.0082	0.0225	0.0127
Zinc total	mg/L	2	19.689	0.828	0.37	0.492	0.319	1.767	3.698	0.426	0.8562
Coliformes termotolerantes	NMP/100 ml	1000	7.8	13000	17000	49	79000	79	NR	9400	46000
Escherichia coli	NMP/100 ml	1000	NR	NR	NR	49	79000	79	NR	4600	11000

RSjua3- 2012 al 2015											
Alcance		Frecuencia				Amplitud					
F1	76.9231	F2		34.69	F3		87.2938				
Nº de variables fallidas	10	Nº de Testeos Fallidos		17							
Nº Total de Variables	13	Nº Total de Testeos		49							
F al cuadrado	5917.1598	F al cuadrado		1203.67	F al cuadrado		7620.1992				
		sumatoria	raíz	Calificación del ICA							
<b>CCMEWQI</b>	<b>29.90</b>	14741.0241	121.4126	de 0 a 44	Pobre						
<b>Cuando la prueba valor no supera el objetivo</b>											
Excursión <i>i</i>	0.0552	0.0127	3.7500	1.0600	2.3236	240.4805	8.8445	3.8610	10.3190	0.4260	12.0000
Valores de Testeo Fallidos	6.16	3.95	0.0475	0.412	16.618	48.2961	19.689	0.9722	2.2638	0.0713	13000
Objetivo	6.5	4	0.01	0.2	5	0.2	2	0.2	0.2	0.05	1000
<b>nse</b>	<b>6.87014</b>										
Excursión <i>i</i>	2.0860	16.0000	0.1192	0.2250	0.1244	34.9500					
Valores de Testeo Fallidos	0.6172	17000	5.596	0.245	5.622	7.19					
Objetivo	0.2	1000	5	0.2	5	0.2					

RSjua3- 2016 al 2018											
Alcance		Frecuencia				Amplitud					
<b>F1</b>	<b>6.1538</b>		<b>F2</b>	<b>29.51</b>		<b>F3</b>	<b>7.9307</b>				
Nº de variables fallidas	6		Nº de Testeos Fallidos	18							
Nº Total de Variables	13		Nº Total de Testeos	61							
F al cuadrado	30.1775		F al cuadrado	870.73		F al cuadrado	31.8086				
			sumatoria	raíz	Calificación del ICA						
<b>CCMEWQI</b>	<b>40.19</b>	10732.7198	103.5988	de 0 a 44	Pobre						
<b>Quando la prueba valor no supera el objetivo</b>		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Excursión <i>i</i>	4.2350	78.0000	78.0000	11.6900	5.6100	0.0244	28.8150	20.1700	0.8490	0.0082	6.6850
Valores de Testeo Fallidos	1.047	79000	79000	2.538	1.322	8.707	5.963	4.234	3.698	8.57	1.537
Objetivo	0.2	1000	1000	0.2	0.2	8.5	0.2	0.2	2	8.5	0.2
<b>nse</b>	<b>28549</b>										
Excursión <i>i</i>	8.4000	3.6000	0.0081	4.7700	38.5500	5.0000	0.0000				
Valores de Testeo Fallidos	9400	4600	8.569	1.154	27.91	46000	11000				
Objetivo	1000	1000	8.5	0.2	0.2	1000	1000				

RSjua3- 2012 al 2018											
Alcance		Frecuencia				Amplitud					
<b>F1</b>	<b>84.6154</b>		<b>F2</b>	<b>31.82</b>		<b>F3</b>	<b>87.6550</b>				
Nº de variables fallidas	11		Nº de Testeos Fallidos	35							
Nº Total de Variables	13		Nº Total de Testeos	110							
F al cuadrado	7159.7633		F al cuadrado	1012.40		F al cuadrado	7683.4057				
			sumatoria	raíz	Calificación del ICA						
<b>CCMEWQI</b>	<b>27.30</b>	15855.5657	125.9189	de 0 a 44	Pobre						
<b>Quando la prueba valor no supera el objetivo</b>		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Excursión <i>i</i>	0.0552	0.0127	3.7500	1.0600	2.3236	240.4805	8.8445	3.8610	10.3190	0.4260	12.0000
Valores de Testeo Fallidos	6.16	3.95	0.0475	0.412	16.618	48.2961	19.689	0.9722	2.2638	0.0713	13000
Objetivo	6.5	4	0.01	0.2	5	0.2	2	0.2	0.2	0.05	1000
<b>nse</b>	<b>7.10047</b>										
Excursión <i>i</i>	2.0860	16.0000	0.1192	0.2250	0.1244	34.9500	4.2350	78.0000	78.0000	11.6900	5.6100
Valores de Testeo Fallidos	0.6172	17000	5.596	0.245	5.622	7.19	1.047	79000	79000	2.538	1.322
Objetivo	0.2	1000	5	0.2	5	0.2	0.2	1000	1000	0.2	0.2
Excursión <i>i</i>	0.0244	28.8150	20.1700	0.8490	0.0082	6.6850	8.4000	3.6000	0.0081	4.7700	138.5500
Valores de Testeo Fallidos	8.707	5.963	4.234	3.698	8.57	1.537	9400	4600	8.569	1.154	27.91
Objetivo	8.5	0.2	0.2	2	8.5	0.2	1000	1000	8.5	0.2	0.2
Excursión <i>i</i>	45.0000	10.0000									
Valores de Testeo Fallidos	46000	11000									
Objetivo	1000	1000									

### Cuadro 8. Punto RSjua4

Parámetros	Unidad	ECA - Cat. 3	2012 agosto	2013 noviembre	2014 marzo	2015 octubre	2016 -I abril	2016 -II octubre	2017 setiembre	2018 abril	2018 agosto
pH		6.5-8.5	6.09	8.59	8.28	8.28	7.96	8.2	8.82	8.79	
Oxígeno disuelto	mg/L	4	4.32	5.8	7	6.24	6.29	5.89	7.115	NR	
DBO	mg/L	15	6	2	2	3	3	3	2	2	
Aluminio	mg/L	5	0.21	0.65	1.47	0.107	0.161	2.312	0.054	0.512	
Arsénico	mg/L	0.1	0.005	0.008	0.009	0.007	0.007	0.007	0.00496	0.00803	
Cadmio	mg/L	0.01	0.0163	0.0004	0.0007	0.001	0.00036	NR	0.00001	0.00039	
Cobre	mg/L	0.2	0.031	0.2434	0.0297	0.154	0.024	0.345	0.04787	0.02024	
Hierro	mg/L	5	4.683	1.361	1.855	0.117	0.612	2.236	0.1277	1.141	
Manganeso total	mg/L	0.2	14.0288	1.2761	0.3987	1.883	0.405	0.854	0.7393	0.46487	
Plomo	mg/L	0.05	0.0068	0.031	0.0283	0.004	0.015	0.001	0.0017	0.0179	
Zinc total	mg/L	2	6.199	0.316	0.247	0.292	0.103	0.326	0.0398	0.1407	
Coliformes termotolerantes	NMP/100 ml	1000	1.8	1700	220	33	3300	790	49	14000	
Escherichia coli	NMP/100 ml	1000	NR	NR	NR	33	3300	230	33	11000	

RSjua4- 2012 al 2015											
Alcance		Frecuencia				Amplitud					
<b>F1</b>	<b>46.1538</b>		<b>F2</b>	<b>20.41</b>		<b>F3</b>	<b>64.1439</b>				
Nº de variables fallidas	6		Nº de Testeos Fallidos	10							
Nº Total de Variabl	13		Nº Total de Testeos	49							
F al cuadrado	2130.177		F al cuadrado	416.49		F al cuadrado	4114.4416				
			sumatoria	raíz		Calificación del ICA					
<b>CCMEWQI</b>	<b>52.88</b>	6661.1123	81.6156		de 45 a 64	Marginal					
<b>Cuando la prueba valor no supera el objetivo</b>											
Excursión <i>i</i>	0.0673	0.6300	69.1440	2.0995	0.0106	0.2170	5.3805	0.7000	0.9935	8.4150	
Valores de Testeo Fallidos	6.09	0.0163	14.0288	6.199	8.59	0.2434	1.2761	1700	0.3987	1.883	
Objetivo	6.5	0.01	0.2	2	8.5	0.2	0.2	1000	0.2	0.2	
<b>nse</b>	<b>1.78893</b>										

RSjua4- 2016 al 2018											
Alcance		Frecuencia				Amplitud					
<b>F1</b>	<b>38.46 15</b>		<b>F2</b>	<b>22.00</b>		<b>F3</b>	<b>42.3383</b>				
Nº de variables fallidas	5		Nº de Testeos Fallidos	11							
Nº Total de Variables	13		Nº Total de Testeos	50							
F al cuadrado	1479.2899		F al cuadrado	484.00		F al cuadrado	1792.5285				
		<b>sumatoria</b>	<b>raíz</b>	<b>Calificación del ICA</b>							
<b>CCMEWQI</b>	<b>64.6</b>	3755.8184	61.2847	de 65 a 79		Regular					
<b>Quando la prueba valor no supera el objetivo</b>											
Excursión <i>i</i>	1.0250	2.3000	2.3000	0.7250	3.2700	0.0376	2.6965	0.0341	1.3244	13.0000	10.0000
Valores de Testeo Fallidos	0.405	3300	3300	0.345	0.854	8.82	0.7393	8.79	0.46487	14000	11000
Objetivo	0.2	1000	1000	0.2	0.2	8.5	0.2	8.5	0.2	1000	1000
<b>nse</b>	<b>0.73425</b>										

RSjua4- 2012 al 2018											
Alcance		Frecuencia				Amplitud					
<b>F1</b>	<b>53.8462</b>		<b>F2</b>	<b>21.21</b>		<b>F3</b>	<b>55.6789</b>				
Nº de variables fallidas	7		Nº de Testeos Fallidos	21							
Nº Total de Variables	13		Nº Total de Testeos	99							
F al cuadrado	2899.4083		F al cuadrado	449.95		F al cuadrado	3100.1425				
		<b>sumatoria</b>	<b>raíz</b>	<b>Calificación del ICA</b>							
<b>CCMEWQI</b>	<b>53.63</b>	6449.5049	80.3088	de 45 a 64		Marginal					
<b>Quando la prueba valor no supera el objetivo</b>											
Excursión <i>i</i>	0.0673	0.6300	69.1440	2.0995	0.0106	0.2170	5.3805	0.7000	0.9935	8.4150	1.0250
Valores de Testeo Fallidos	6.09	0.0163	14.0288	6.199	8.59	0.2434	1.2761	1700	0.3987	1.883	0.405
Objetivo	6.5	0.01	0.2	2	8.5	0.2	0.2	1000	0.2	0.2	0.2
<b>nse</b>	<b>1.25626</b>										
Excursión <i>i</i>	2.3000	2.3000	0.7250	3.2700	0.0376	2.6965	0.0341	1.3244	13.0000	10.0000	
Valores de Testeo Fallidos	3300	3300	0.345	0.854	8.82	0.7393	8.79	0.46487	14000	11000	
Objetivo	1000	1000	0.2	0.2	8.5	0.2	8.5	0.2	1000	1000	

### Cuadro 9. Punto RSjua5

Parámetros V	Unidad	ECA - Cat. 3	2012 agosto	2013 noviembre	2014 marzo	2015 octubre	2016 -I abril	2016 -II octubre	2017 setiembre	2018 abril	2018 agosto
pH		6.5-8.5	6.71	8.94	8.26	8.03	8.13	8.3	8.76	8.79	8.812
Oxígeno disuelto	mg/L	4	5.25	5.71	7.07	6.58	6.4	5.92	7.14	NR	7.815
DBO	mg/L	15	6	2	2	6	3	3	2	2	2
Aluminio	mg/L	5	0.18	0.98	1.49	0.178	0.135	1.743	0.081	1.505	0.162
Arsénico	mg/L	0.1	0.004	0.01	0.01	0.007	0.014	0.007	0.00507	0.01158	0.00561
Cadmio	mg/L	0.01	0.0137	0.0004	0.0006	0.001	0.001	NR	0.00001	0.0006	0.00001
Cobre	mg/L	0.2	0.051	0.1849	0.0448	0.039	0.068	0.296	0.03514	0.02809	0.5447
Hierro	mg/L	5	3.741	1.732	2.052	0.383	1.73	1.462	0.1873	2.242	0.432
Manganeso total	mg/L	0.2	13.791	1.0484	0.4134	0.584	1.094	0.901	0.7059	0.5696	13.08
Plomo	mg/L	0.05	0.0087	0.0446	0.0431	0.012	0.014	0.04	0.0037	0.0186	0.0053
Zinc total	mg/L	2	5.745	0.355	0.27	0.188	0.56	0.358	0.0608	0.209	0.371
Coliformes termotolerantes	NMP/100 ml	1000	49	790	330	79	330	79	NR	17	130
Escherichia coli	NMP/100 ml	1000	NR	NR	NR	79	330	79	NR	11	33

RSjua5- 2012 al 2015							
Alcance		Frecuencia			Amplitud		
<b>F1</b>	<b>30.7692</b>		<b>F2</b>	<b>14.29</b>		<b>F3</b>	<b>61.2582</b>
Nº de variables fallidas	4		Nº de Testeos Fallidos	7			
Nº Total de Variables	13		Nº Total de Testeos	49			
F al cuadrado	946.7456		F al cuadrado	204.08		F al cuadrado	3752.5628
		<b>sumatoria</b>	<b>raíz</b>	<b>Calificación del ICA</b>			
<b>CCMEWQI</b>	<b>59.6</b>	4903.3900	70.0242	de 45 a 64	Marginal		
<b>Cuando la prueba valor no supera el objetivo</b>							
Excursión <i>i</i>	0.3700	67.9550	1.8725	0.0518	4.2420	1.0670	1.9200
Valores de Testeo Fallidos	0.0137	13.791	5.745	8.94	1.0484	0.4134	0.584
Objetivo	0.01	0.2	2	8.5	0.2	0.2	0.2
<b>nse</b>	<b>1.58119</b>						

RSjua5- 2016 al 2018										
Alcance		Frecuencia				Amplitud				
<b>F1</b>	<b>23.0769</b>		<b>F2</b>	<b>16.39</b>		<b>F3</b>	<b>56.4464</b>			
Nº de variables fallidas	3		Nº de Testeos Fallidos	10						
Nº Total de Variables	13		Nº Total de Testeos	61						
F al cuadrado	532.5444		F al cuadrado	268.74		F al cuadrado	3186.1997			
			sumatoria	raíz	Calificación del ICA					
<b>CCMEWQI</b>	<b>63.5</b>		3987.4890	63.1466	de 45 a 64	Marginal				
<b>Cuando la prueba valor no supera el objetivo</b>										
<b>Excursión i</b>	4.4700	0.4800	3.5050	0.0306	2.5295	0.0341	1.8480	0.0367	1.7235	64.4000
Valores de Testeo Fallidos	1.094	0.296	0.901	8.76	0.7059	8.79	0.5696	8.812	0.5447	13.08
Objetivo	0.2	0.2	0.2	8.5	0.2	8.5	0.2	8.5	0.2	0.2
<b>nse</b>	<b>1.29602</b>									

RSjua5- 2012 al 2018											
Alcance		Frecuencia				Amplitud					
<b>F1</b>	<b>38.4615</b>		<b>F2</b>	<b>15.45</b>		<b>F3</b>	<b>58.7297</b>				
Nº de variables fallidas	5		Nº de Testeos Fallidos	17							
Nº Total de Variables	13		Nº Total de Testeos	110							
F al cuadrado	1479.2899		F al cuadrado	238.84		F al cuadrado	3449.1809				
			sumatoria	raíz	Calificación del ICA						
<b>CCMEWQI</b>	<b>58.50</b>		5167.3138	71.8840	de 45 a 64	Marginal					
<b>Cuando la prueba valor no supera el objetivo</b>											
<b>Excursión i</b>	0.3700	67.9550	1.8725	0.0518	4.2420	1.0670	1.9200	4.4700	0.4800	3.5050	0.0306
Valores de Testeo Fallidos	0.0137	13.791	5.745	8.94	1.0484	0.4134	0.584	1.094	0.296	0.901	8.76
Objetivo	0.01	0.2	2	8.5	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	8.5
<b>nse</b>	<b>1.42305</b>										
<b>Excursión i</b>	2.5295	0.0341	1.8480	0.0367	1.7235	64.4000					
Valores de Testeo Fallidos	0.7059	8.79	0.5696	8.812	0.5447	13.08					
Objetivo	0.2	8.5	0.2	8.5	0.2	0.2					

### Cuadro 10. Punto RAnda1

Parámetros	Unidad	ECA - Cat. 3	2012 agosto	2013 diciembre	2014 marzo	2015 octubre	2016 -I abril	2016 -II octubre	2017 setiembre	2018 abril	2018 agosto
pH		6.5-8.5	4.62	6.28	8.64	3.87	8.01	8.4	8.71	8.28	8.097
Oxígeno disuelto	mg/L	4	5.65	4.57	5.81	5.25	7.58	5.38	6.54	NR	7.62
DBO	mg/L	15	6	2	8.06	48	3	3	2	10	8
Aluminio	mg/L	5	9.26	11.29	3.67	228.6	0.047	0.576	0.036	0.068	0.012
Arsenico	mg/L	0.1	0.008	0.098	0.053	1.687	0.007	0.007	0.002	0.00693	0.00189
Cadmio	mg/L	0.01	0.0097	0.0039	0.0036	0.742	0.0007	NR	0.002	0.00034	0.00001
Cobre	mg/L	0.2	1.81	4.3797	4.4252	87.55	0.025	0.154	0.394	0.14307	0.14357
Hierro	mg/L	5	16.164	21.319	6.031	1496	0.047	0.833	0.073	0.1826	0.0297
Manganeso total	mg/L	0.2	2.2163	0.8673	0.691	25.28	0.013	1.11	1.247	0.06365	0.1616
Plomo	mg/L	0.05	0.0383	0.4981	0.166	1.553	0.001	0.001	0.008	0.0075	0.0017
Zinc total	mg/L	2	4.832	1.909	1.334	271.2	0.257	0.739	0.233	0.1187	0.1617
Coliformes tototolerantes	NMP/100 ml	1000	1.8	79	1.8	1.8	1	1.8	NR	1.8	1.8
Escherichia coli	NMP/100 ml	1000	NR	NR	NR	1.8	1	1.8	NR	1.8	1.8

RAnda1- 2012 al 2015											
Alcance		Frecuencia				Amplitud					
<b>F1</b>	<b>76.9231</b>		<b>F2</b>	<b>55.10</b>		<b>F3</b>	<b>96.1808</b>				
Nº de variables fallidas	10		Nº de Testeos Fallidos	27							
Nº Total de Variables	13		Nº Total de Testeos	49							
F al cuadrado	917.1598		F al cuadrado	3036.23		F al cuadrado	250.7513				
		<b>sumatoria</b>	<b>raíz</b>	<b>Calificación del ICA</b>							
<b>CCMEWQI</b>	<b>22.10</b>	18204.1459	34.9227	de 0 a 44		Pobre					
<b>Quando la prueba valor no supera el objetivo</b>		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
<b>Excursión i</b>	0.4069	8520	500	2328	9815	160	350	580	8985	2638	365
Valores de Testeo Fallidos	4.62	9.26	81	6.164	163	832	28	29	3797	1.319	673
Objetivo	6.5	5	0.2	5	0.2	2	6.5	5	0.2	5	0.2
<b>nse</b>	<b>25.18367</b>										
<b>Excursión i</b>	8.9620	90165	1260	2062	550	200	796	9000	17200	2736	2000
Valores de Testeo Fallidos	0.4981	8.64	252	1.031	691	166	87	48	28.6	1.687	742
Objetivo	0.05	8.5	0.2	5	0.2	0.05	6.5	15	5	1.742	0.1
<b>Excursión i</b>	436.7500	8.2000	4000	1.0600	6000						
Valores de Testeo Fallidos	87.55	1496	128	1.553	1.2						
Objetivo	0.2	5	0.2	0.05	2						

RAnda1- 2016 al 2018									
Alcance		Frecuencia				Amplitud			
<b>F1</b>	<b>23.0769</b>		<b>F2</b>	<b>6.56</b>		<b>F3</b>	<b>0204</b>		
Nº de variables fallidas	3		Nº de Testeos Fallidos	4					
Nº Total de Variables	13		Nº Total de Testeos	61					
F al cuadrado	532.5444		F al cuadrado	43.00		F al cuadrado	225.6114		
		<b>sumatoria</b>	<b>raíz</b>	<b>Calificación del ICA</b>					
<b>CCMEWQI</b>	<b>83.66</b>	801.1550	28.3047	de 80 a 100 Buena					
<b>Cuando la prueba valor no supera el objetivo</b>									
<b>Excursión i</b>	4.5500	0.0247	0.9722	5.2350					
Valores de Testeo Fallidos	1.11	8.71	0.3944	1.247					
Objetivo	0.2	8.5	0.2	0.2					
<b>nse</b>	<b>0.17675</b>								

RAnda1- 2012 al 2018											
Alcance		Frecuencia				Amplitud					
<b>F1</b>	<b>76.9231</b>		<b>F2</b>	<b>28.18</b>		<b>F3</b>	<b>91.8806</b>				
Nº de variables fallidas	10		Nº de Testeos Fallidos	31							
Nº Total de Variables	13		Nº Total de Testeos	110							
F al cuadrado	5917.1598		F al cuadrado	794.21		F al cuadrado	8442.0467				
		<b>sumatoria</b>	<b>raíz</b>	<b>Calificación del ICA</b>							
<b>CCMEWQI</b>	<b>28.93</b>	15153.4214	123.0992	de 0 a 44		Pobre					
<b>Cuando la prueba valor no supera el objetivo</b>											
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
<b>Excursión i</b>	0.4069	0.8520	8.0500	2.2328	10.0815	1.4160	0.0350	1.2580	20.8985	3.2638	3.3365
Valores de Testeo Fallidos	4.62	9.26	1.81	16.164	2.2163	4.832	6.28	11.29	4.3797	21.319	0.8673
Objetivo	6.5	5	0.2	5	0.2	2	6.5	5	0.2	5	0.2
<b>nse</b>	<b>11.31620</b>										
<b>Excursión i</b>	8.9620	0.0165	21.1260	0.2062	2.4550	2.3200	0.6796	2.2000	44.7200	1.2736	73.2000
Valores de Testeo Fallidos	0.4981	8.64	4.4252	6.031	0.691	0.166	3.87	48	228.6	1.687	0.742
Objetivo	0.05	8.5	0.2	5	0.2	0.05	6.5	15	5	0.742	0.01
<b>Excursión i</b>	436.7500	298.2000	125.4000	30.0600	134.6000	4.5500	0.0247	0.9722	5.2350		
Valores de Testeo Fallidos	87.55	1496	25.28	1.553	271.2	1.11	8.71	0.3944	1.247		
Objetivo	0.2	5	0.2	0.05	2	0.2	8.5	0.2	0.2		



**Cuadro 11. Punto RSjua6**

Parámetros	Unidad	ECA - Cat. 3	2012 agosto	2013 noviembre	2014 marzo	2015 octubre	2016 -I abril	2016 -II octubre	2017 setiembre	2018 abril	2018 agosto
pH		6.5-8.5	6.19	8.43	8.25	7.51	8.14	8.0	8.69	8.61	8.684
Oxígeno disuelto	mg/L	4	5.62	5.89	6.75	5.63	6.31	6.17	7.28	NR	7.684
DBO	mg/L	15	6	2	2	6	3	3	3	2	3
Aluminio	mg/L	5	0.34	0.67	0.99	1.166	0.165	0.841	0.083	0.919	0.166
Arsénico	mg/L	0.1	0.005	0.006	0.007	0.014	0.01	0.007	0.00511	0.01425	0.00495
Cadmio	mg/L	0.01	0.0146	0.0004	0.0006	0.003	0.00088	NR	0.00001	0.00086	0.00001
Cobre	mg/L	0.2	0.151	0.2756	0.0508	0.346	0.093	0.291	0.06907	0.04797	0.9305
Hierro	mg/L	5	4.552	1.369	1.416	4.42	1.361	0.641	0.1857	2.193	0.3453
Manganeso total	mg/L	0.2	13.9829	1.2026	0.3974	0.896	0.845	0.9572	0.7463	0.6422	8.747
Plomo	mg/L	0.05	0.0132	0.0313	0.0357	0.034	0.014	0.001	0.0047	0.0201	0.0058
Zinc total	mg/L	2	5.986	0.301	0.227	0.734	0.389	0.294	0.0802	0.3073	0.3314
Coliformes termotolerantes	NMP/100 ml	1000	9.3	2300	330	33	790	130	11	460	11
Escherichia coli	NMP/100 ml	1000	NR	NR	NR	23	790	49	11	170	4.5

RSjua6- 2012 al 2015											
Alcance		Frecuencia				Amplitud					
<b>F1</b>	<b>46.1538</b>		<b>F2</b>	<b>20.41</b>		<b>F3</b>	<b>62.9645</b>				
Nº de variables fallidas	6		Nº de Testeos Fallidos	10							
Nº Total de Variables	13		Nº Total de Testeos	49							
F al cuadrado	2130.1775		F al cuadrado	416.49		F al cuadrado	3964.5314				
		<b>sumatoria</b>	<b>raíz</b>	<b>Calificación del ICA</b>							
<b>CCMEWQI</b>	<b>53.41</b>	6511.2021	80.6920	de 45 a 64	Marginal						
<b>Cuando la prueba valor no supera el objetivo</b>											
Excursión <i>i</i>	0.0501	0.4600	68.9145	$\frac{1.993}{0}$	0.3780	5.0130	1.3000	0.9870	0.7300	3.4800	
Valores de Testeo Fallidos	6.19	0.0146	13.9829	5.986	0.2756	1.2026	2300	0.3974	0.346	0.896	
Objetivo	6.5	0.01	0.2	2	0.2	0.2	1000	0.2	0.2	0.2	
<b>nse</b>	<b>1.70011</b>										

RSjua6- 2016 al 2018 abril										
Alcance		Frecuencia				Amplitud				
<b>F1</b>	<b>23.0769</b>		<b>F2</b>	<b>15.87</b>		<b>F3</b>	<b>48.2983</b>			
Nº de variables fallidas	3		Nº de Testeos Fallidos	10						
Nº Total de Variables	13		Nº Total de Testeos	63						
F al cuadrado	532.5444		F al cuadrado	251.95		F al cuadrado	2332.7291			
		<b>sumatoria</b>	<b>raíz</b>	<b>Calificación del ICA</b>						
<b>CCMEWQI</b>	<b>67.76</b>	3117.2261	55.8321	de 65 a 79	Regular					
<b>Cuando la prueba valor no supera el objetivo</b>										
<b>Excursión i</b>	3.2250	0.4550	3.7860	0.0224	2.7315	0.0129	2.2110	0.0216	3.6525	42.7350
Valores de Testeo Fallidos	0.845	0.291	0.9572	8.69	0.7463	8.61	0.6422	8.684	0.9305	8.747
Objetivo	0.2	0.2	0.2	8.5	0.2	8.5	0.2	8.5	0.2	0.2
<b>nse</b>	<b>0.93417</b>									

RSjua6- 2012 al 2018											
Alcance		Frecuencia				Amplitud					
<b>F1</b>	<b>46.1538</b>		<b>F2</b>	<b>17.86</b>		<b>F3</b>	<b>55.9330</b>				
Nº de variables fallidas	6		Nº de Testeos Fallidos	20							
Nº Total de Variables	13		Nº Total de Testeos	112							
F al cuadrado	30.1775		F al cuadrado	18.88		F al cuadrado	128.5021				
		<b>sumatoria</b>	<b>raíz</b>	<b>Calificación del ICA</b>							
<b>CCMEWQI</b>	<b>56.88</b>	5577.5571	74.6830	5 a 64	Marginal						
<b>Cuando la prueba valor no supera el objetivo</b>											
<b>Excursión i</b>	0.0501	0.4600	68.9145	1.9930	0.3780	5.0130	1.3000	0.9870	0.7300	3.4800	3.2250
Valores de Testeo Fallidos	6.19	0.0146	13.9829	5.986	0.2756	1.2026	2300	0.3974	0.346	0.896	0.845
Objetivo	6.5	0.01	0.2	2	0.2	0.2	1000	0.2	0.2	0.2	0.2
<b>nse</b>	<b>1.26927</b>										
<b>Excursión i</b>	0.4550	3.7860	0.0224	2.7315	0.0129	2.2110	0.0216	3.6525	42.7350		
Valores de Testeo Fallidos	0.291	0.9572	8.69	0.7463	8.61	0.6422	8.684	0.9305	8.747		
Objetivo	0.2	0.2	8.5	0.2	8.5	0.2	8.5	0.2	0.2		

**Cuadro 12. Punto RSjua7**

Parámetros	Unidad	ECA - Cat. 3	2012 agosto	2013 noviembre	2014 marzo	2015 octubre	2016 -I abril	2016 -II octubre	2017 setiembre	2018 abril	2018 agosto
pH		6.5-8.5	7.37	8.94	8.25	8.52	8.15	8.3	8.63	8.7	8.684
Oxígeno disuelto	mg/L	4	4.44	6.4	6.27	6.15	6.47	6.7	6.27	NR	7.684
DBO	mg/L	15	6	2	2	6	3	3	2	2	3
Aluminio	mg/L	5	0.89	0.94	7.63	0.219	0.185	1.404	0.623	0.201	0.166
Arsénico	mg/L	0.1	0.007	0.007	0.013	0.007	0.009	0.007	0.00707	0.00804	0.00495
Cadmio	mg/L	0.01	0.0059	0.0004	0.0004	0.002	0.00087	NR	0.00001	0.00001	0.00001
Cobre	mg/L	0.2	0.211	0.1544	0.0409	0.0967	0.0971	0.578	0.17186	0.11	0.9305
Hierro	mg/L	5	2.745	1.036	9.434	0.978	1.133	0.541	0.6391	0.914	0.3453
Manganeso total	mg/L	0.2	8.3743	0.3387	0.5983	2.048	0.769	0.757	0.7081	0.42748	8.747
Plomo	mg/L	0.05	0.0184	0.0215	0.0494	0.01	0.018	0.001	0.0118	0.0057	0.0058
Zinc total	mg/L	2	2.234	0.166	0.166	0.443	0.374	0.305	0.1135	0.186	0.3314
Coliformes termotolerante	NMP/100 ml	1000	1.8	17	330	7.8	790	1.8	11.0	2	11
Escherichia coli	NMP/100 ml	1000	NR	NR	NR	7.8	790	1.8	7.8	1.8	4.5

RSjua7- 2012 al 2015											
Alcance		Frecuencia				Amplitud					
<b>F1</b>	<b>30.7692</b>	<b>F2</b>		<b>14.29</b>	<b>F3</b>		<b>51.9703</b>				
Nº de variables fallidas	4	Nº de Testeos Fallidos		7							
Nº Total de Variables	13	Nº Total de Testeos		49							
F al cuadrado	946.7456	Fal cuadrado		204.08	Fal cuadrado		2700.9148				
		<b>sumatoria</b>	<b>raíz</b>	<b>Calificación del ICA</b>							
<b>CCMEWQI</b>	<b>64.17</b>	3851.7420	62.0624	de 45 a 64	Marginal						
<b>Cuando la prueba valor no supera el objetivo</b>											
<b>Excursión i</b>	0.0550	40.8715	0.1170	0.0518	0.6935	1.9915	9.2400				
Valores de Testeo Fallidos	0.211	8.3743	2.234	8.94	0.3387	0.5983	2.048				
Objetivo	0.2	0.2	2	8.5	0.2	0.2	0.2				
<b>nse</b>	<b>1.08205</b>										

RSJua7- 2016 al 2018										
Alcance		Frecuencia				Amplitud				
<b>F1</b>	<b>23.0769</b>		<b>F2</b>	<b>15.87</b>		<b>F3</b>	<b>47.7811</b>			
Nº de variables fallidas	3		Nº de Testeos Fallidos	10						
Nº Total de Variables	13		Nº Total de Testeos	63						
F al cuadrado	532.5444		F al cuadrado	251.95		F al cuadrado	2283.0293			
		<b>sumatoria</b>	<b>raíz</b>	<b>Calificación del ICA</b>						
<b>CCMEWQI</b>	<b>68.02</b>	3067.5263	55.3853	de 65 a 79	Regular					
<b>Cuando la prueba valor no supera el objetivo</b>										
<b>Excursión <math>i</math></b>	2.8450	1.8900	1.7850	0.0153	2.5405	0.0235	1.1374	0.0216	3.6525	42.7350
Valores de Testeo Fallidos	0.769	0.578	0.757	8.63	0.7081	8.7	0.42748	8.684	0.9305	8.747
Objetivo	0.2	0.2	0.2	8.5	0.2	8.5	0.2	8.5	0.2	0.2
<b>nse</b>	<b>0.91501</b>									

**Anexo 2. Tabla de resultados y Cálculo del HPI.**

**Cuadro 13. Punto LAlca1.**

Parámetros	Unidad	ECA - Cat. 4	2012 agosto	2013 noviembre	2014 marzo	2015 octubre	Promedio	2016 -I abril	2016 -II octubre	2017 septiembre	2018 abril	2018 agosto	Promedio
Aluminio	mg/L		0.11	NR	0.01	0.017		0.017	0.005	0.013	0.002		
Cadmio	mg/L	0.0025	0.0006	0.0004	0.0004	0.001		0.00018	NR	0.00001	0.00001		
Cobre	mg/L	0.1	0.007	0.0004	0.0008	0.002	0.0026	0.004	0.002	0.00003	0.00043	0.00003	0.0013
Hierro	mg/L		0.242	NR	0.11	0.086		0.248	0.148	0.103	0.106		
Manganeso total	mg/L		0.1473	NR	0.0734	0.053		0.097	0.077	0.07151	0.06836		
Plomo	mg/L	0.0025	0.0049	0.0004	0.0004	0.001	0.0017	0.001	0.001	0.0004	0.0002	0.002	0.0009
Zinc total	mg/L	0.12	0.044	0.005	0.003	0.007	0.0148	0.004	0.005	0.01	0.01	0.0136	0.0085

Periodo 2012 al 2015.						Periodo 2016 al 2018.					
Vi	Si	Wi	Qi	Wi x Qi	lca -1	Vi	Si	Wi	Qi	Wi x Qi	Lalca -1
0.0026	0.1	10	2.55	25.50		0.0013	0.1	10	1.30	12.98	
0.0017	0.0025	400	67.00	26800.00		0.0009	0.0025	400	36.80	14720.00	
0.0148	0.12	8.3333	12.29	102.43		0.0085	0.12	8.3333	7.10	59.17	
		<b>418.3</b>		<b>26927.9</b>	<b>64.37</b>			<b>418.3</b>		<b>14792.1</b>	<b>35.36</b>

Año 2012 al 2018.					
Vi	Si	Wi	Qi	Wi x Qi	LAlca -1
0.0000	0.00025	4000	0.00	0.00	
0.0019	0.1	10	1.85	18.54	
0.0013	0.0025	400	50.22	20088.89	
0.0113	0.12	8.3333	9.41	78.40	
		<b>4418.3</b>		<b>1185.8</b>	<b>4.57</b>

**Cuadro 14. Punto RSjua1**

Parámetros	Unidad	ECA - Cat. 3	2012 agosto	2013 oviembre	2014 marzo	2015 octubre	Promedio	2016 -I abril	2016 -II octubre	2017 setiembre	2018 abril	2018 agosto	Promedio
Aluminio	mg/L	5	0.06	0.08	0.1	0.012	0.0630	0.043	0.068	0.002	0.039	0.031	0.0366
Cadmio	mg/L	0.01	0.0006	0.0004	0.0004	0.001	0.0006	0.00018	NR	0.00001	0.00001	0.00001	0.0000
Cobre	mg/L	0.2	0.003	0.0004	0.0014	0.002	0.0017	0.002	0.002	0.00003	0.00052	0.00055	0.0010
Hierro	mg/L	5	0.151	0.191	0.186	0.187	0.1788	0.166	0.394	0.2016	0.133	0.231	0.2251
Manganeso total	mg/L	0.2	0.0132	0.0259	0.0124	0.012	0.0159	0.011	0.014	0.008	0.01362	0.01113	0.0116
Plomo	mg/L	0.05	0.001	0.0004	0.001	0.001	0.0009	0.001	0.001	0.0002	0.0006	0.0017	0.0009
Zinc total	mg/L	2	0.003	0.003	0.003	0.019	0.0070	0.012	0.004	0.01	0.01	0.01	0.0092

Periodo 2012 al 2015.						Periodo 2016 al 2018.					
Vi	Si	Wi	Qi	Wi x Qi	HPI RSjua-1	Vi	Si	Wi	Qi	Wi x Qi	HPI RSjua-1
0.0630	5	0.2	1.26	0.25		.03660	5	0.2	0.73	0.15	
0.0006	0.01	100	6.00	600.00		.00004	0.01	100	0.42	42.00	
0.0017	0.2	5	0.85	4.25		.00102	0.2	5	0.51	2.55	
0.1788	5	0.2	3.58	0.72		.22512	5	0.2	4.50	0.90	
0.0159	0.2	5	7.94	39.69		.01155	0.2	5	5.78	28.88	
0.0009	0.05	20	1.70	34.00		.00090	0.05	20	1.80	36.00	
0.0070	2	0.5	0.35	0.18		.00920	2	0.5	0.46	0.23	
		<b>130.9</b>		<b>679.1</b>	<b>5.19</b>			<b>130.9</b>		<b>110.7</b>	<b>0.85</b>

Año 2012 al 2018.					
Vi	Si	Wi	Qi	Wi x Qi	HPI Rsjua-1
0.048333	5	0.2	0.97	0.19	
0.00029	0.01	100	2.90	290.00	
0.001322	0.2	5	0.66	3.31	
0.204511	5	0.2	4.09	0.82	
0.013472	0.2	5	6.74	33.68	
0.000878	0.05	20	1.76	35.11	
0.008222	2	0.5	0.41	0.21	
		<b>130.9</b>		<b>363.3</b>	<b>2.78</b>

**Cuadro 15. Punto RSjua2**

Parámetros	Unidad	ECA - Cat. 3	2012 agosto	2013 noviembre	2014 marzo	2015 octubre	Promedio	2016 -I abril	2016 -II octubre	2017 setiembre	2018 abril	2018 agosto	Promedio
Aluminio	mg/L	5	0.11	0.12	0.1	0.015	0.0863	0.11	0.116	0.142	0.035	0.039	0.0884
Cadmio	mg/L	0.01	0.0006	0.0004	0.0004	0.001	0.0006	0.00018	NR	0.00001	0.00001	0.00001	0.00036
Cobre	mg/L	0.2	0.003	0.0004	0.0022	0.002	0.0019	0.004	0.002	0.00003	0.00061	0.00044	0.00184
Hierro	mg/L	5	0.238	0.306	0.173	0.323	0.2600	0.207	0.508	0.2253	0.1302	0.3677	0.30424
Manganeso total	mg/L	0.2	0.0159	0.0367	0.0099	0.109	0.0429	0.012	0.05	0.146	0.01509	0.16674	0.06713
Plomo	mg/L	0.05	0.0037	0.0004	0.0005	0.001	0.0014	0.001	0.001	0.0021	0.0007	0.0024	0.00158
Zinc total	mg/L	2	0.003	0.003	0.003	0.019	0.0070	0.008	0.007	0.01	0.01	0.0155	0.00950

Periodo 2012 al 2015.						Periodo 2016 al 2018.					
Vi	Wi	Qi	Wi x Qi	HPI Rsjua-2		Vi	Wi	Qi	Wi x Qi		HPI Rsjua-2
0.0863	0.2	1.73	0.35			0.0884	0.2	1.77	0.35		
0.0006	100	6.00	600.00			0.0004	100	3.57	356.6		
0.0019	5	0.95	4.75			0.0018	5	0.92	4.61		
0.2600	0.2	5.20	1.04			0.3042	0.2	6.08	1.22		
0.0429	5	21.44	107.19			0.0671	5	33.57	167.8		
0.0014	20	2.80	56.00			0.0016	20	3.16	11		
0.0070	0.5	0.35	0.18			0.0095	0.5	0.48	0.24		
	<b>130.9</b>		<b>769.5</b>	<b>5.88</b>			<b>130.9</b>		<b>10.0</b>	<b>4.54</b>	

Año 2012 al 2018.					
Vi	Si	Wi	Qi	Wi x Qi	HPI Rsjua-2
0.087444	5	0.2	1.75	0.35	
0.00029	0.01	100	2.90	290.00	
0.001631	0.2	5	0.82	4.08	
0.275356	5	0.2	5.51	1.10	
0.06237	0.2	5	31.19	155.93	
0.001422	0.05	20	2.84	56.89	
0.008722	2	0.5	0.44	0.22	
		<b>130.9</b>		<b>508.6</b>	<b>3.89</b>

**Cuadro 16. Punto RSjua3**

Parámetros	Unidad	ECA - Cat 3	2012 agosto	2013 noviembre	2014 marzo	2015 octubre	Promedio	2016 -I abril	2016 -II octubre	2017 setiembre	2018 abril	2018 agosto	Promedio
Aluminio	mg/L	5	0.19	0.49	0.22	5.5	1.6240	0.2	0.333	0.056	0.164	0.173	0.1956
Cadmio	mg/L	0.01	0.0475	0.0011	0.0004	0.0	0.0125	0.0	NR	0.00001	0.0012	0.0018	0.0008
Cobre	mg/L	0.2	0.412	0.9722	0.0728	0.2	0.4255	0.0	2.538	5.9630	0.049	1.154	1.9537
Hierro	mg/L	5	16.618	2.511	1.77	5.6	6.6303	2.0	1.233	0.565	2.499	1.389	1.5510
Manganeso total	mg/L	0.2	48.2961	2.2638	0.6172	7.	14.5918	1.0	1.322	4.2340	1.537	27.910	7.2100
Plomo	mg/L	0.05	0.0132	0.0713	0.028	0.0	0.0344	0.0	0.001	0.0082	0.023	0.013	0.0175
Zinc total	mg/L	2	19.689	0.828	0.37	0.4	5.3448	0.3	1.767	3.698	0.426	0.856	1.4132

Periodo 2012 al 2015.						Periodo 2016 al 2018.					
Vi	Si	Wi	Qi	Wi x Qi	HPI Rsjua-3	Vi	Si	Wi	Qi	Wi x Qi	HPI Rsjua-3
1.6240	5	0.2	32.48	6.50		0.1956	5	0.2	3.91	0.78	
0.0125	0.01	100	125.00	12500.00		0.0008	0.01	100	7.92	792.00	
0.4255	0.2	5	212.75	1063.75		1.9537	0.2	5	976.86	4884.28	
6.6303	5	0.2	132.61	26.52		1.5510	5	0.2	31.02	6.20	
14.5918	0.2	5	7295.89	36479.44		7.2100	0.2	5	3605.00	18025.00	
0.0344	0.05	20	68.75	1375.00		0.0175	0.05	20	34.96	699.20	
5.3448	2	0.5	267.24	133.62		1.4132	2	0.5	70.66	35.33	
		<b>130.9</b>		<b>51584.8</b>	<b>394.08</b>			<b>130.9</b>		<b>24442.8</b>	<b>186.73</b>

Año 2012 al 2018.					
Vi	Si	Wi	Qi	Wi x Qi	HPI Rsjua-3
0.830444	5	0.2	16.61	3.32	
0.005996	0.01	100	59.96	5995.56	
1.274507	0.2	5	637.25	3186.27	
3.808444	5	0.2	76.17	15.23	
10.49079	0.2	5	5245.39	26226.97	
0.024989	0.05	20	49.98	999.56	
3.160578	2	0.5	158.03	79.01	
		<b>130.9</b>		<b>36505.9</b>	<b>278.88</b>



**Cuadro 17. Punto RSjua4**

Parámetros	Unidad	ECA - Cat. 3	2012 agosto	2013 oviembre	2014 marzo	2015 octubre	Promedio	2016 -I abril	2016 -II octubre	2017 etiembre	2018 abril	2018 agosto	Promedio
Aluminio	mg/L	5	0.21	0.65	1.47	0.107	0.6093	0.161	2.312	0.054	0.512		0.7598
Cadmio	mg/L	0.01	0.0163	0.0004	0.0007	0.001	0.0046	0.00036	NR	0.00001	0.00039		0.0002
Cobre	mg/L	0.2	0.031	0.2434	0.0297	0.154	0.1145	0.024	0.345	0.04787	0.02024		0.0874
Hierro	mg/L	5	4.683	1.361	1.855	0.117	2.0040	0.612	2.236	0.1277	1.141		0.8233
Manganeso total	mg/L	0.2	14.0288	1.2761	0.3987	1.883	4.3967	0.405	0.854	0.7393	0.465		0.4926
Plomo	mg/L	0.05	0.0068	0.031	0.0283	0.004	0.0175	0.015	0.001	0.0017	0.0179		0.0071
Zinc total	mg/L	2	6.199	0.316	0.247	0.292	1.7635	0.103	0.326	0.0398	0.141		0.1219

Periodo 2012 al 2015.						Periodo 2016 al 2018.					
Vi		Wi	Qi	Wi x Qi	HPI Rsjua-4	Vi	Si	Wi	Qi	Wi x Qi	HPI Rsjua-4
0.6093	5	0.2	12.19	2.44		0.7598	5	0.2	15.20	3.04	
0.0046	0.01	100	46.00	4600.00		0.0002	0.01	100	1.52	152.00	
0.1145	0.2	5	57.26	286.31		0.0874	0.2	5	43.71	218.56	
2.0040	5	0.2	40.08	8.02		0.8233	5	0.2	16.47	3.29	
4.3967	0.2	5	2198.33	10991.63		0.4926	0.2	5	246.32	1231.59	
0.0175	0.05	20	35.05	701.00		0.0071	0.05	20	14.24	284.80	
1.7635	2	0.5	88.18	44.09		0.1219	2	0.5	6.10	3.05	
		<b>130.9</b>		<b>16633.5</b>	<b>127.07</b>			<b>130.9</b>		<b>1896.3</b>	<b>14.49</b>

Año 2012 al 2018.					
Vi	Si	Wi	Qi	Wi x Qi	HPI Rsjua-3
0.830444	5	0.2	16.61	3.32	
0.005996	0.01	100	59.96	5995.56	
1.274507	0.2	5	637.25	3186.27	
3.808444	5	0.2	76.17	15.23	
10.49079	0.2	5	5245.39	26226.97	
0.024989	0.05	20	49.98	999.56	
3.160578	2	0.5	158.03	79.01	
		<b>130.9</b>		<b>36505.9</b>	<b>278.88</b>

### Cuadro 18. Punto RSjua5

Parámetros	Unidad	ECA - Cat. 3	2012 agosto	2013 noviembre	2014 marzo	2015 octubre	Promedio	2016 -I abril	2016 -II octubre	2017 setiembre	2018 abril	2018 agosto	Promedio
Aluminio	mg/L	5	0.18	0.98	1.49	0.178	0.7070	0.135	1.1	0.081	1.505	0.162	0.7252
Cadmio	mg/L	0.01	0.0137	0.0004	0.0006	0.001	0.0039	0.001		0.00001	0.0006	0.00001	0.0003
Cobre	mg/L	0.2	0.051	0.1849	0.0448	0.039	0.0799	0.068	0.1	0.03514	0.0281	0.5447	0.1944
Hierro	mg/L	5	3.741	1.732	2.052	0.383	1.9770	1.73	1.4	0.1873	2.242	0.432	1.2107
Manganeso total	mg/L	0.2	13.791	1.0484	0.4134	0.584	3.9592	1.094	0.9	0.7059	0.5696	13.0800	3.2701
Plomo	mg/L	0.05	0.0087	0.0446	0.0431	0.012	0.0271	0.014	0	0.0037	0.0186	0.0053	0.0163
Zinc total	mg/L	2	5.745	0.355	0.27	0.188	1.6395	0.56	0.1	0.0608	0.2090	0.3710	0.3118

Periodo 2012 al 2015.						Periodo 2016 al 2018.					
Vi	Si	Wi	Qi	Wi x Qi	HPI Rsjua-5	Vi	Si	Wi	Qi	Wi x Qi	HPI Rsjua-5
0.7070	5	0.2	14.14	2.83		0.7252	5	0.2	14.50	2.90	
0.0039	0.01	100	39.25	3925.00		0.0003	0.01	100	3.24	324.00	
0.0799	0.2	5	39.96	199.81		0.1944	0.2	5	97.19	485.97	
1.9770	5	0.2	39.54	7.91		1.2107	5	0.2	24.21	4.84	
3.9592	0.2	5	979.60	9898.00		3.2701	0.2	5	635.05	8175.25	
0.0271	0.05	20	54.20	1084.00		0.0163	0.05	20	32.64	652.80	
1.6395	2	0.5	81.98	40.99		0.3118	2	0.5	15.59	7.79	
		<b>130.9</b>		<b>15158.5</b>	<b>115.80</b>			<b>130.9</b>		<b>9653.6</b>	<b>73.75</b>

Año 2012 al 2018.					
Vi		Wi	Qi	Wi x Qi	HPI Rsjua-5
0.717111		0.2	14.34	2.87	
0.001924		100	19.24	1924.44	
0.143514		5	71.76	358.79	
1.551256		0.2	31.03	6.21	
3.576367		5	1788.18	8940.92	
0.021111		20	42.22	844.44	
0.901867		0.5	45.09	22.55	
		<b>130.9</b>		<b>12100.2</b>	<b>92.44</b>

**Cuadro 19. Punto RSjua6**

Parámetros	Unidad	ECA - Cat. 3	2012 agosto	2013 noviembre	2014 marzo	2015 octubre	Promedio	2016 -I abril	2016 -II octubre	2017 setiembre	2018 abril	2018 agosto	Promedio
Aluminio	mg/L	5	0.34	0.67	0.99	1.166	0.7915	0.165	0.841	0.62	0.083	0.166	0.3756
Cadmio	mg/L	0.01	0.0146	0.0004	0.0006	0.003	0.0047	0.00088	NR	0.00	0.00001	0.00001	0.0002
Cobre	mg/L	0.2	0.151	0.2756	0.0508	0.346	0.2059	0.093	0.291	0.17186	0.06907	0.9305	0.3111
Hierro	mg/L	5	4.552	1.369	1.416	4.42	2.9393	1.361	0.641	0.6391	0.1857	0.3453	0.6344
Manganeso total	mg/L	0.2	13.9829	1.2026	0.3974	0.896	4.1197	0.845	0.9572	0.7081	0.7463	8.747	2.4007
Plomo	mg/L	0.05	0.0132	0.0313	0.0357	0.034	0.0286	0.014	0.001	0.0118	0.0047	0.0058	0.0075
Zinc total	mg/L	2	5.986	0.301	0.227	0.734	1.8120	0.389	0.294	0.1135	0.0802	0.3314	0.2416

Periodo 2012 al 2015.						Periodo 2016 al 2018.					
Vi	Si	Wi	Qi	Wi x Qi	HPI Rsjua-6	Vi	Si	Wi	Qi	Wi x Qi	HPI Rsjua-6
0.7915	5	0.2	15.83	3.17		0.3756	5	0.2	7.51	1.50	
0.0047	0.01	100	46.50	4650.00		0.0002	0.01	100	1.82	182.00	
0.2059	0.2	5	102.93	514.63		0.3111	0.2	5	155.54	777.72	
2.9393	5	0.2	58.79	11.76		0.6344	5	0.2	12.69	2.54	
4.1197	0.2	5	2059.86	10299.31		2.4007	0.2	5	1200.36	6001.80	
0.0286	0.05	20	57.10	1142.00		0.0075	0.05	20	14.92	298.40	
1.8120	2	0.5	90.60	45.30		0.2416	2	0.5	12.08	6.04	
		<b>130.9</b>		<b>16666.2</b>	<b>127.32</b>			<b>130.9</b>		<b>7270.0</b>	<b>55.54</b>

Año 2012 al 2018.					
Vi	Si	Wi	Qi	Wi x Qi	HPI Rsjua-6
0.560444	5	0.2	11.21	2.24	
0.002168	0.01	100	21.68	2167.78	
0.264314	0.2	5	132.16	660.79	
1.658789	5	0.2	33.18	6.64	
3.164722	0.2	5	1582.36	7911.81	
0.016833	0.05	20	33.67	673.33	
0.939567	2	0.5	46.98	23.49	
		<b>130.9</b>		<b>11446.1</b>	<b>87.44</b>

**Cuadro 20. Punto RSjua7**

Parámetros	Unidad	ECA - Cat. 3	2012 agosto	2013 noviembre	2014 marzo	2015 octubre	Promedio	2016 -I abril	2016 -II octubre	2017 setiembre	2018 abril	2018 agosto	Promedio
Aluminio	mg/L	5	0.89	0.94	7.63	0.219	2.4198	0.185	1.404	0.623	0.201	0.082	0.4990
Cadmio	mg/L	0.01	0.0059	0.0004	0.0004	0.002	0.0022	0.00087	NR	0.00001	0.00001	0.00001	0.0002
Cobre	mg/L	0.2	0.211	0.1544	0.0409	0.0967	0.1258	0.0971	0.578	0.17186	0.10997	0.09001	0.2094
Hierro	mg/L	5	2.745	1.036	9.434	0.978	3.5483	1.133	0.541	0.6391	0.914	0.1999	0.6854
Manganeso total	mg/L	0.2	8.3743	0.3387	0.5983	2.048	2.8398	0.769	0.757	0.7081	0.42748	0.6516	0.6626
Plomo	mg/L	0.05	0.0184	0.0215	0.0494	0.01	0.0248	0.018	0.001	0.0118	0.0057	0.0046	0.0082
Zinc total	mg/L	2	2.234	0.166	0.166	0.443	0.7523	0.374	0.305	0.1135	0.186	0.1205	0.2198

Periodo 2012 al 2015.						Periodo 2016 al 2018.					
Vi	Si	Wi	Qi	Wi x Qi	HPI Rsjua-7	Vi	Si	Wi	Qi	Wi x Qi	HPI Rsjua-7
2.4198	5	0.2	48.40	9.68		0.4990	5	0.2	9.98	2.00	
0.0022	0.01	100	21.75	2175.00		0.0002	0.01	100	1.80	180.00	
0.1258	0.2	5	62.88	314.38		0.2094	0.2	5	104.69	523.47	
3.5483	5	0.2	70.97	14.19		0.6854	5	0.2	13.71	2.74	
2.8398	0.2	5	1419.91	7099.56		0.6626	0.2	5	331.32	1656.59	
0.0248	0.05	20	49.65	993.00		0.0082	0.05	20	16.44	328.80	
0.7523	2	0.5	37.61	18.81		0.2198	2	0.5	10.99	5.50	
		<b>130.9</b>		<b>10624.6</b>	<b>81.17</b>			<b>130.9</b>		<b>2699.1</b>	<b>20.62</b>

Año 2012 al 2018.					
Vi	Si	Wi	Qi	Wi x Qi	HPI Rsjua-7
1.352667	5	0.2	27.05	5.41	
0.001067	0.01	100	10.67	1066.67	
0.172216	0.2	5	86.11	430.54	
1.957778	5	0.2	39.16	7.83	
1.630276	0.2	5	815.14	4075.69	
0.0156	0.05	20	31.20	624.00	
0.456444	2	0.5	22.82	11.41	
		<b>130.9</b>		<b>6221.5</b>	<b>47.53</b>

## Cuadro 21. Punto RAnda1

Parámetros	Unidad	ECA-Cat. 3	2012 agosto	2013 noviembre	2014 marzo	2015 octubre	Promedio	2016-I abril	2016-II octubre	2017 setiembre	2018 abril	2018 agosto	Promedio
Aluminio	mg/L	5	9.26	11.29	3.67		6.0550	0.047	0.576	0.036	0.068	0.036	0.1526
Cadmio	mg/L	0.01	0.0097	0.0039	0.0036		0.0043	0.00070		0.00181	0.00034	0.00001	0.0006
Cobre	mg/L	0.2	1.81	4.3797	4.4252		2.6537	0.025	0.154	0.39444	0.14307	0.14357	0.1720
Hierro	mg/L	5	16.164	21.319	6.031		10.8785	0.047	0.833	0.0725	0.1826	0.0297	0.2330
Manganeso total	mg/L	0.2	2.2163	12.9	0.6910		3.9518	0.013	1.11	1.247	0.06365	0.1616	0.5191
Plomo	mg/L	0.05	0.0383	0.4981	0.1660		0.1756	0.001	0.001	0.0079	0.0075	0.0017	0.0038
Zinc total	mg/L	2	4.832	1.909	1.334		2.0188	0.257	0.739	0.2334	0.1187	0.1617	0.3020

Resultados de octubre del 2015, se quita por resultados absurdos.

Periodo 2012 al 2015.						Periodo 2016 al 2018.					
Vi	Si	Wi	Qi	Wi x Qi	HPI RAnda-1	Vi	Si	Wi	Qi	Wi x Qi	HPI RAnda-1
6.0550	5	0.2	121.10	24.22		0.1526	5	0.2	3.05	0.61	
0.0043	0.01	100	43.00	4300.00		0.0006	0.01	100	5.72	572.00	
2.6537	0.2	5	1326.86	6634.31		0.1720	0.2	5	86.01	430.04	
10.8785	5	0.2	217.57	43.51		0.2330	5	0.2	4.66	0.93	
3.9518	0.2	5	1975.91	9879.56		0.5191	0.2	5	259.53	1297.63	
0.1756	0.05	20	351.20	7024.00		0.0038	0.05	20	7.64	152.80	
2.0188	2	0.5	100.94	50.47		0.3020	2	0.5	15.10	7.55	
		<b>130.9</b>		<b>27956.1</b>	<b>213.57</b>			<b>130.9</b>		<b>2461.6</b>	<b>18.80</b>

Año 2012 al 2018.					
Vi	Si	Wi	Qi	Wi x Qi	HPI RAnda-1
2.775889	5	0.2	55.52	11.10	
0.002229	0.01	100	22.29	2228.89	
1.274998	0.2	5	637.50	3187.49	
4.964311	5	0.2	99.29	19.86	
2.044728	0.2	5	1022.36	5111.82	
0.080167	0.05	20	160.33	3206.67	
1.064978	2	0.5	53.25	26.62	
		<b>130.9</b>		<b>13792.5</b>	<b>105.37</b>

**Cuadro 22. Punto RRagr1**

Parámetros	Unidad	ECA-Cat. 3	2012 agosto	2013 noviembre	2014 marzo	2015 octubre	Promedio	2016 -I abril	2016 -II octubre	2017 setiembre	2018 abril	2018 agosto	Promedio
Aluminio	mg/L	5	0.7	0.58	1.53	0.32	0.7825	0.614	0.812	0.767	0.558	0.276	0.6054
Cadmio	mg/L	0.01	0.0068	0.0062	0.0261	0.008	0.0118	0.00888	...	0.00767	0.00536	0.00216	0.0048
Cobre	mg/L	0.2	0.07	0.095	0.396	0.078	0.1598	0.172	0.089	0.19174	0.12767	0.03327	0.1227
Hierro	mg/L	5	12.184	7.062	26.538	17.56	15.8360	14.46	10.49	16.44	15.06	6.038	12.4976
Manganeso total	mg/L	0.2	6.6191	6.6651	11.6291	4.404	7.3293	5.135	1.832	3.441	4.392	1.518	3.2636
Plomo	mg/L	0.05	0.131	0.0248	0.0752	0.029	0.0650	0.001	0.063	0.2447	0.0372	0.0557	0.0803
Zinc total	mg/L	2	3.786	2.486	8.709	3.289	4.5675	3.495	1.985	3.993	3.351	1.487	2.8622

Periodo 2012 al 2015.						Periodo 2016 al 2018.					
Vi	Si	Wi	Qi	Wi x Qi	IPI RRagra-1	Vi	Si	Wi	Qi	Wi x Qi	IPI RRagra-1
0.7825	5	0.2	15.65	3.13		0.6054	5	0.2	12.11	2.42	
0.0118	0.01	100	117.75	11775.00		0.0048	0.01	100	48.14	4814.00	
0.1598	0.2	5	79.88	399.38		0.1227	0.2	5	61.37	306.84	
15.8360	5	0.2	316.72	63.34		12.4976	5	0.2	249.95	49.99	
7.3293	0.2	5	664.66	18323.31		3.2636	0.2	5	631.80	8159.00	
0.0650	0.05	20	130.00	2600.00		0.0803	0.05	20	160.64	3212.80	
4.5675	2	0.5	228.38	114.19		2.8622	2	0.5	143.11	71.56	
		<b>130.9</b>		<b>33278.3</b>	<b>254.23</b>			<b>130.9</b>		<b>16616.6</b>	<b>126.94</b>

Año 2012 al 2018.					
Vi	Si	Wi	Qi	Wi x Qi	IPI RRagra-1
0.684111	5	0.2	13.68	2.74	
0.007908	0.01	100	79.08	7907.78	
0.139187	0.2	5	69.59	347.97	
13.98133	5	0.2	279.63	55.93	
5.070589	0.2	5	2535.29	12676.47	
0.073511	0.05	20	147.02	2940.44	
3.620111	2	0.5	181.01	90.50	
		<b>130.9</b>		<b>24021.8</b>	<b>183.51</b>

**Cuadro 23. Punto RRagr2**

Parámetros	Unidad	ECA - Cat. 3	2012 agosto	2013 noviembre	2014 marzo	2015 octubre	Promedio	2016-I abril	2016-II octubre	2017 setiembre	2018 abril	2018 agosto	Promedio
Aluminio	mg/L	5	5.43	1.06	1.15	0.469	2.0273	3.115	2.863	2.152	1.283	0.726	2.0278
Cadmio	mg/L	0.01	0.011	0.0115	0.0123	0.004	0.0097	0.01284	...	0.00804	0.00723	0.00503	0.0066
Cobre	mg/L	0.2	0.543	0.2538	0.4095	0.057	0.3158	2.211	0.302	0.28971	0.35991	0.07724	0.6480
Hierro	mg/L	5	31.668	17.526	23.898	13.35	21.6105	99.25	27.55	25.85	19.27	13.21	37.0260
Manganeso total	mg/L	0.2	2.7942	5.0266	3.7001	3.1	3.6552	6.756	4.022	3.523	2.715	4.171	4.2374
Plomo	mg/L	0.05	0.7805	0.0668	0.0483	0.029	0.2312	0.216	0.264	0.1544	0.1259	0.0419	0.1604
Zinc total	mg/L	2	4.341	3.89	3.979	1.529	3.4348	7.129	4.199	5.152	2.858	2.419	4.3514

Periodo 2012 al 2015.						Periodo 2016 al 2018.					
Vi	Si	Wi	Qi	Wi x Qi	HPI RRagra-2	Vi	Si	Wi	Qi	Wi x Qi	HPI RRagra-2
2.0273	5	0.2	40.55	8.11		2.0278	5	0.2	40.56	8.11	
0.0097	0.01	100	97.00	9700.00		0.0066	0.01	100	66.28	6628.00	
0.3158	0.2	5	157.91	789.56		0.6480	0.2	5	323.99	1619.93	
21.6105	5	0.2	432.21	86.44		37.0260	5	0.2	740.52	148.10	
3.6552	0.2	5	1827.61	9138.06		4.2374	0.2	5	2118.70	10593.50	
0.2312	0.05	20	462.30	9246.00		0.1604	0.05	20	320.88	6417.60	
3.4348	2	0.5	171.74	85.87		4.3514	2	0.5	217.57	108.79	
		<b>130.9</b>		<b>29054.0</b>	<b>221.96</b>			<b>130.9</b>		<b>25524.0</b>	<b>194.99</b>

Año 2012 al 2018.					
Vi	Si	Wi	Qi	Wi x Qi	HPI RRagra-2
.02755556	5	0.2	40.55	8.11	
.00799333	0.01	100	79.93	7993.33	
.50035111	0.2	5	250.18	1250.88	
0.1746667	5	0.2	603.49	120.70	
.97865556	0.2	5	1989.33	9946.64	
.19186667	0.05	20	383.73	7674.67	
3.944	2	0.5	197.20	98.60	
		<b>130.9</b>		<b>27092.9</b>	<b>206.97</b>

**Cuadro 24. Punto RRagr3**

Parámetros	Unidad	ECA - Cat. 3	2012 agosto	2013 noviembre	2014 marzo	2015 octubre	Promedio	2016 -I abril	2016 -II octubre	2017 setiembre	2018 abril	2018 agosto	Promedio
Aluminio	mg/L	5	1.88	0.6	0.93	0.121	0.8828	1.037	1.238	0.466	0.863	0.272	0.7752
Cadmio	mg/L	0.01	0.0124	0.0054	0.0073	0.001	0.0065	0.00801	...	0.00551	0.00775	0.00551	0.0054
Cobre	mg/L	0.2	0.7	2.1486	0.6061	0.139	0.8984	0.3251	1.003	0.18888	0.20893	0.06781	0.3587
Hierro	mg/L	5	23.358	6.227	12.288	13.13	13.7508	25.11	23.27	7.82	17.13	4.938	15.6536
Manganeso total	mg/L	0.2	7.6839	5.9854	4.4438	3.249	5.3405	5.094	2.983	8.437	9.667	29.66	11.1682
Plomo	mg/L	0.05	0.259	0.0515	0.0834	0.062	0.1140	0.193	0.102	0.1146	0.0905	0.0233	0.1047
Zinc total	mg/L	2	5.139	2.187	2.744	2.427	3.1243	3.327	4.052	2.231	3.181	1.608	2.8798

■ Son los resultados que no cumplen el ECA agua sea Categoría 3 o 4 según corresponda.

Periodo 2012 al 2015.						Periodo 2016 al 2018.					
Vi	Si	Wi	Qi	Wi x Qi	HPI RRagra-3	Vi	Si	Wi	Qi	Wi x Qi	HPI RRagra-3
0.8828	5	0.2	17.66	3.53		0.7752	5	0.2	15.50	3.10	
0.0065	0.01	100	65.25	6525.00		0.0054	0.01	100	53.56	5356.00	
0.8984	0.2	5	449.21	2246.06		0.3587	0.2	5	179.37	896.86	
13.7508	5	0.2	275.02	55.00		15.6536	5	0.2	313.07	62.61	
5.3405	0.2	5	2670.26	13351.31		11.1682	0.2	5	5584.10	27920.50	
0.1140	0.05	20	227.95	4559.00		0.1047	0.05	20	209.36	4187.20	
3.1243	2	0.5	156.21	78.11		2.8798	2	0.5	143.99	72.00	
		<b>130.9</b>		<b>26818.0</b>	<b>204.87</b>			<b>130.9</b>		<b>38498.3</b>	<b>294.10</b>

Año 2012 al 2018.					
Vi	Si	Wi	Qi	Wi x Qi	HPI RRagra-3
0.823	5	0.2	16.46	3.29	
0.005876	0.01	100	58.76	5875.56	
0.598602	0.2	5	299.30	1496.51	
14.80789	5	0.2	296.16	59.23	
8.578122	0.2	5	4289.06	21445.31	
0.108811	0.05	20	217.62	4352.44	
2.988444	2	0.5	149.42	74.71	
		<b>130.9</b>		<b>33307.0</b>	<b>254.45</b>



### Anexo 3. Registro Fotográfico



Foto N°01: Rio San Juan se observa el equipo para monitoreo de calidad de agua en el punto de muestreo RSjua1, en el año 2016.



Foto N°02: Toma de muestra en el rio San Juan en el punto de muestreo RSjua3 en el año 2018, las aguas se encuentran turbias.



Foto N°03: Toma de muestra en el rio San Juan en el punto de muestreo RSjua4 en el año 2018.



Foto N°04: Rio San Andacancha antes de tributar al rio San Juan en el punto de muestreo RAnda1.



Foto N°05: Rio San Juan se observa al suscrito al lado derecho de la foto con tapa boca tomando muestra de agua en el punto RSjua 7.



Foto N°06: Rio San Juan se observa el equipo para monitoreo de calidad de agua y al suscrito al lado izquierdo de la foto en el punto de muestreo RSjua 7.

**Cuadro 25. Criterios generales de calidad del agua para los diferentes usos del agua.<sup>1</sup>**

Uso del Agua	OD	PH	DBO <sub>5</sub>	SST	SD	NH <sub>3</sub>	P total	PO <sub>4</sub>	CF	CT	T°C	Fenol	Aceites y Grasas	Flotan-tes	MS
Asimilación de desechos.															
Drenaje y transporte de desechos.															X
Navegación														X	X
Estéticos	2		30										X	X	X
Explotación mecánica de materiales de construcción.	2														
Enfriamiento Industrial.	2	5-9	5000	1000		30	5	4							
Irrigación o riego restringido.		5-9			5000	5		10	10	1000	5000				
Explotación manual de materiales de construcción.	2	5-9				3	1	1			5000	±6		X	X
Recreación contacto restringido	2	5-9				3	1	1			5000	±6			
Agua para procesos industriales	2	6-8.5	1000	120		10					5000	<38			
Irrigación o riego no restringido.	2	5-9			5000					1000	5000				
Abasto de agua nopotable.	4				500	0.5	10	0.5	0.5	2000		±5			
Recreación contacto no restringido.	5		20		500	2.5		0.5	0.5	200		±5			
Piscicultura.	>4		5		100- 400	1		0.1	0.1	100		±3	1	0.01	

<sup>1</sup> Todos los valores están expresados en mg/L a no ser que se especifique lo contrario.

<sup>2</sup> Usos y parámetros no incluidos en esta tabla.

<sup>3</sup> CF, CT: Coliformes fecales y totales en NMP/100 ml.

<sup>4</sup> Diferencia de la temperatura con respecto a la temperatura anual promedio del ambiente.

<sup>5</sup> Dependiendo de la especie. MS:

Materiales sedimentables.

Los espacios vacíos significan que el parámetro no es significativo para el uso. Fuente: Sierra (2011). AA