



Facultad de Ingeniería
Escuela de Ingeniería en Medioambiente
Ingeniería Ambiental

**EVALUACIÓN DE LA CALIDAD DE LAS AGUAS SUPERFICIALES DE LA
CUENCA DEL RÍO CHOAPA MEDIANTE UN ÍNDICE DE CALIDAD.**

**TRABAJO DE TITULACIÓN PARA OPTAR AL TÍTULO DE
INGENIERO AMBIENTAL**

AUTOR: LUCAS GONZÁLEZ HUERTA
PROFESOR GUÍA: HERNAN GAETE OLIVARES

VALPARAÍSO, 2022

Agradecimiento

Bueno, quiero aclarar que estos agradecimientos los estoy escribiendo a 23 minutos antes de la entrega.

Voy a partir agradeciendo a mi madre, mi padre, a mi yeya y el agus, que sin ellos esta etapa y ningún momento de mi vida hubiese sido posible, siempre estuvieron presentes en cada paso que di y en el que daré.

Dejar la casa a los 18 años fue el primer paso que realice, y fue junto a mis grandes amigos, el rama, el nico, el pedro, el nazer , el nils y la Gabriela . Todos partimos ese viaje en busca de nuestros sueños.

Luego aparecieron todos los cabres que fueron compañeros de mil batallas, tanto como en estudios y vaciles.

Quizás me quedan muchas personas que agradecer los del basket los además que vivi, pero ahora quedan 15minutos para la entrega, así que los llevo en mi corazón.

Resumen

La cuenca del río Choapa desempeña un papel fundamental en el valle del Choapa, entregando diversos bienes y servicios ecosistémicos. Los principales cauces de la cuenca corresponden a recursos hídricos de uso múltiple, entre ellos se encuentran los usos para riego, abastecimiento de agua potable e industrial, minería, receptor de efluentes urbanos e industriales tratados y conservación de la biodiversidad. Esto manifiesta que en la cuenca se desarrollan múltiples actividades antrópicas que podrían estar afectando la calidad de sus aguas y comprometiendo la conservación de los ecosistemas acuáticos.

En el país, para proteger o conservar el medio ambiente se utilizan las normas secundarias de calidad ambiental, que se encuentran asociadas a redes de monitoreo, donde se registra información sobre variables que afectan la calidad y se analizan de forma individual, sin una visión integrada.

Los índices de calidad del agua son herramientas que permiten expresar información de calidad de manera integrada. Sintetizan la información entregada por una gran cantidad de variables, facilitando la evaluación de la calidad del agua. Éstos pueden ser representados por un número, un rango, una descripción verbal, un símbolo o incluso un color.

El presente trabajo tiene como objetivo evaluar la calidad de las aguas superficiales de la cuenca del río Choapa, mediante la aplicación de un índice de calidad denominado ICAS_{Ch}, en el cual los 12 parámetros seleccionados fueron a partir de la utilización Método Delphi. En la aplicación del ICAS_{Ch} fue aplicado en 7 estaciones de monitoreo de la DGA, entre los años 2017-2021, en las cuatro estaciones del año.

Los resultados al aplicar el ICAS_{Ch} indicaron una calidad regular en invierno en tan solo 3 estaciones de monitoreo y el resto de estaciones de monitoreo obtuvieron como resultado de calidad de agua regular. Estos resultados obtenidos se asociaron a la presencia de actividad antrópica como son las actividades agrícolas, mineras, asentamientos humanos, entre otras.

Este trabajo se podría utilizar como una evaluación base sobre la calidad de las aguas superficiales de la cuenca del Río Choapa.

Índice general

1	Introducción.....	1
1.1	Ecosistemas acuáticos dulceacuícolas.....	2
1.2	Contaminación del agua.....	2
1.3	Normativa de calidad ambiental en Chile.....	3
1.3.1	Normativa de calidad de agua.....	4
1.4	Índices de calidad del agua (ICA).....	5
1.4.1	Antecedentes.....	5
1.4.2	Definición de un Índice de Calidad del Agua.....	6
1.4.3	Ventajas y limitaciones de un ICA.....	6
1.5	Construcción de un ICA.....	7
1.5.1	Selección de parámetros o variables:.....	7
1.5.2	Determinación del subíndice para cada parámetro.....	8
1.5.3	Determinación del índice por agregación de los subíndices.....	8
1.6	Índices de calidad de agua desarrollados en Chile.....	9
1.6.1	ICA Objetivo (ICAOBJ).....	10
1.6.2	Índice de calidad de aguas DGA.....	11
1.6.3	Índice de calidad de agua para ecosistemas hídricos (García, 2012).....	12
1.6.4	ICA MF.....	13
1.7	Método Delphi.....	14
1.7.1	Aplicación del Método Delphi.....	14
1.8	Área de estudio.....	16
2	Problema.....	19
3	Objetivos.....	20
3.1	Objetivo General.....	20
3.2	Objetivos Específicos.....	20
4	Metodología.....	21
4.1	Selección de parámetros y su importancia mediante la aplicación del método Delphi.....	21

4.2	Determinación del método de normalización de los parámetros.....	23
4.3	Definición del índice por agregación de los subíndices.....	27
4.4	Aplicación del índice de calidad definido.....	28
5	Resultados.....	29
5.1	Selección de parámetros y su importancia mediante la aplicación del método Delphi.	29
5.1.1	Panel de expertos.....	29
5.1.2	Cuestionarios	29
5.2	Determinación del método de normalización de los parámetros.	32
5.3	Definición del índice por agregación de los subíndices.....	34
5.4	Aplicación del índice de calidad de aguas superficiales del Río Choapa.....	35
6	Discusión	40
7	Conclusión.....	44
8	Bibliografía.....	45
9	Anexos.....	47

Índice de tablas.

Tabla 1.1 Ventajas y limitaciones de los ICA (Torres et al, 2009)	6
Tabla 1.2 Fórmulas de agregación matemática utilizadas en un ICA (Samboni et al., 2007).	9
Tabla 1.3 Pesos otorgados a los parámetros según DGA.	11
Tabla 1.4 Rangos de Calidad de agua según DGA 2004.....	12
Tabla 1.5. Pesos otorgados a los parámetros según MFP.....	13
Tabla 1.6. Rangos de calidad de agua, según MFP	13
Tabla 4.1 Valores asignados para la normalización.	24
Tabla 4.2 Normalización para Oxígeno Disuelto.	24
Tabla 4.3 Normalización para Conductividad.	25
Tabla 4.4 Normalización para pH.....	25
Tabla 4.5 Normalización de parámetros a partir de la de la Guía CONAMA 2004.....	26
Tabla 4.6 Rangos de calidad de ICAS _{Ch}	28
Tabla 5.1. Porcentaje de selección de cada parámetro en el cuestionario 1.	30
Tabla 5.2. Porcentaje de selección de cada parámetro en el cuestionario 2.	31
Tabla 5.3. valor de importancia de los parámetros asignados por el panel de expertos.....	32
Tabla 5.4: Valores asignados para la normalización.....	33
Tabla 5.5: Normalización de los parámetros seleccionados.....	33

Índice de Figuras.

- Figura 1** Mapa geográfico de la Cuenca del río Choapa.**¡Error! Marcador no definido.**
- Figura 5.1** Gráfico demostrativo de respuesta al cuestionario por parte de los expertos en calidad de agua.**¡Error! Marcador no definido.**
- Figura 5.2** Mapa de la cuenca del Rio Choapa con el ICAS_{Ch} en las estaciones de monitoreo en el periodo 2017-2021 Invierno.**¡Error! Marcador no definido.**
- Figura 5.3** Mapa de la cuenca del Rio Choapa con el ICAS_{Ch} en las estaciones de monitoreo en el periodo 2017-2021 Otoño. 37
- Figura 5.4** Mapa de la cuenca del Rio Choapa con el ICAS_{Ch} en las estaciones de monitoreo en el periodo 2017-2021 Primavera.....**¡Error! Marcador no definido.**
- Figura 5.5** Mapa de la cuenca del Rio Choapa con el ICAS_{Ch} en las estaciones de monitoreo en el periodo 2017-2021 Verano.**¡Error! Marcador no definido.**

1 Introducción.

Chile es un país privilegiado en relación a la disponibilidad de agua, ésta no se distribuye de manera homogénea en el territorio, asimismo, existe una creciente demanda por este recurso ambiental, no sólo para el consumo de la población, sino también para el desarrollo productivo del país. En este contexto, se requiere avanzar hacia una gestión eficiente del agua, que permita resguardar no sólo su disponibilidad sino también su adecuada calidad. (MMA,2013).

En la actualidad, Chile enfrenta una sequía de más de doce años consecutivos en las zonas norte y centro del país, lo que muestra de manera evidente los impactos del cambio climático. Entre los efectos más significativos de este extenso período de sequía en la zona norte de Chile se observa un aumento del proceso de desertificación, mientras que hacia el sur del país el déficit de agua alcanza hasta la Región de Los Lagos. En 2015 se registraron precipitaciones muy intensas en el norte, las cuales ocasionaron aluviones en las regiones de Atacama y Coquimbo, aparejado de muchos daños para los habitantes y el medio ambiente. Se observa, además, una gran sobreexplotación de los recursos hídricos superficiales y subterráneos, especialmente producto del aumento del riego y de la disminución de la recarga de los acuíferos, a través de las precipitaciones, la nieve y el aporte de los glaciares. (MMA, 2016)

En respuesta a la condición de escasez hídrica, el país registra importantes avances en relación con la protección y conservación del medio ambiente, comenzando a manejar los recursos hídricos en una forma más integral, incluyendo aspectos económicos, sociales y ambientales. De esta manera, Chile está aumentando la cobertura de la normativa hídrica asociada a la calidad del agua y mejorando el monitoreo de los recursos hídricos, de acuerdo a las recomendaciones OCDE (2016).

1.1 Ecosistemas acuáticos dulceacuícolas.

El agua es un recurso natural renovable fundamental para el desarrollo de la humanidad y constituye una parte esencial de todos los ecosistemas. Se estima que la totalidad de recursos hídricos a nivel mundial alcanza los 1,45 millones de km³, de los cuales 90.000 km³ (2,5%) corresponden a agua dulce. De este total, solo el 1% corresponden a aguas superficiales, 30% a aguas subterráneas y 69% a aguas en forma de hielo. (MMA, 2016).

Los ecosistemas tienen importancia para la conservación de la diversidad biológica y, además, proveen de servicios que satisfacen distintas necesidades que pueden determinar el bienestar de las personas y de la sociedad. En el territorio de Chile existe una gran riqueza de ambientes ecosistémicos terrestres, acuáticos continentales, marinos y costeros, presentando una amplia extensión latitudinal, con un relieve determinado principalmente por las Cordilleras de los Andes y de la Costa, y una marcada influencia oceánica, convirtiéndolo en un país con condiciones ambientales altamente heterogéneas que sustentan su diversidad biológica (MMA, 2016).

Los cambios en los patrones de precipitación, la menor acumulación de nieve y las altas temperaturas son factores que han incrementado la sequía que Chile vive desde hace más de una década, ocasionando que cada vez haya menos agua disponible a lo largo del territorio nacional, especialmente en las zonas norte y centro del país. Asimismo, factores antrópicos sobre los acuíferos, el uso intensivo de agua y su contaminación, han potenciado la escasez del recurso, ubicando a Chile dentro de los 30 estados del mundo con mayor estrés hídrico (MMA, 2021).

1.2 Contaminación del agua

La Ley N° 19.300 sobre bases generales del medio ambiente, modificada por la Ley N° 20.417, define la contaminación como “la presencia en el ambiente de sustancias, elementos, energía o combinación de ellos, en concentraciones o concentraciones y permanencia superiores o

inferiores, según corresponda, a las establecidas en la legislación vigente”, y contaminante como “todo elemento, compuesto, sustancia, derivado químico o biológico, energía, radiación, vibración, ruido, luminosidad artificial o una combinación de ellos, cuya presencia en el ambiente, en ciertos niveles, concentraciones o períodos de tiempo, pueda constituir un riesgo a la salud de las personas, a la calidad de vida de la población, a la preservación de la naturaleza o a la conservación del patrimonio ambiental” (Ley N° 19.300, 1994). Existen diversas fuentes que generan contaminantes en los cuerpos de agua, el origen de estas fuentes de contaminación pueden ser fuentes puntuales (sitios puntuales de descargas de aguas residuales) o difusas (compuestas por una multiplicidad de pequeñas fuentes de descargas, cuyos aportes no son localizados ni continuos). Algunas de las causas de la contaminación del agua son: depósito de sedimentos por descargas de sustancias tóxicas de origen industrial, aguas servidas o por efectos de malas prácticas agrícolas, como también por los líquidos percolados provenientes de basurales, las cuales pueden perjudicar seriamente a los ecosistemas acuáticos (MMA, 2012).

1.3 Normativa de calidad ambiental en Chile

En la Ley 19.300 de Bases Generales del Medio Ambiente, modificada por la Ley N°20.417, se definen las Normas de Calidad Ambiental primarias y secundarias para el territorio nacional. Las normas de calidad primarias establecen los valores de las concentraciones y períodos, máximos o mínimos, permisibles de elementos, compuestos, sustancias, derivados químicos o biológicos, energías, radiaciones, vibraciones, ruidos, o combinación de ellos, cuya presencia o carencia en el ambiente pueda constituir un riesgo para la vida o salud de la población, definiendo los niveles que originan situaciones de emergencia. Estas normas tendrán aplicación en todo el territorio nacional. Las normas secundarias de calidad ambiental son aquellas que establecen los valores de las concentraciones y períodos, máximos o mínimos, permisibles de sustancias, elementos, energía o combinación de ellos, cuya presencia o carencia en el ambiente pueda constituir un riesgo para la protección o conservación del medio ambiente, o la preservación de la naturaleza. Las normas de calidad secundarias se aplican en todo el territorio nacional o en una parte de este (Decreto 38, 2012).

1.3.1 Normativa de calidad de agua.

Respecto a las Normas Secundarias de Calidad Ambiental (NSCA), el Ministerio del Medio Ambiente es el encargado de coordinar estas normas para aire, agua y suelo. Para el caso de las aguas, las NSCA aplican para ríos, lagos y aguas marinas, y su objetivo es conservar o preservar los ecosistemas acuáticos a través del mantenimiento o mejoramiento de la calidad de las aguas continentales y marinas. Las NSCA ayudan a controlar el impacto de contaminantes provenientes de fuentes puntuales y difusas en la calidad del agua y su impacto en los ecosistemas. Esto permite asegurar la provisión de bienes y servicios de los ecosistemas, además del suministro permanente de agua con condiciones adecuadas de calidad (MMA, 2017).

El año 2017 el Ministerio del Medio Ambiente creó la “Guía para la Elaboración de Normas Secundarias de Calidad Ambiental en aguas continentales y marinas”, en vista de que, en la Evaluación del Desempeño Ambiental de Chile, llevada a cabo por la OCDE en 2016, se recomendó “Seguir expandiendo la cobertura de las normas sobre calidad del agua y acelerar la implementación de la plataforma prevista de información sobre calidad del agua e información ecológica, con el propósito de recopilar y publicar sistemáticamente información sobre la calidad del agua; perfeccionar el monitoreo de la contaminación del suelo y de la extracción de agua para proteger los ecosistemas, en particular los humedales.” (MMA, 2017; OCDE, 2016).

Las Normas Secundarias de Calidad Ambiental en aguas continentales vigentes en Chile corresponden a: cuenca del río Serrano (2010), lago Llanquihue (2010), lago Villarrica (2013), cuenca del río Maipo (2015) y cuenca del río Biobío (2015).

1.4 Índices de calidad del agua (ICA)

1.4.1 Antecedentes.

Históricamente, organizaciones de varias nacionalidades involucradas en el control del recurso hídrico, han usado de manera regular índices fisicoquímicos para la valoración de la calidad del agua. Esto ha sido más notorio desde la última década del siglo XX, en la que se dio un incremento importante en su aplicación. En la actualidad existe una cantidad apreciable de formulaciones en diferentes latitudes y con propósitos que varían desde generales hasta específicos.

El empleo de un índice de calidad del agua fue propuesto inicialmente por Horton en 1965, sin embargo, los índices no fueron aceptados y utilizados sino a partir de la década de los setenta, cuando los ICA adquieren relevancia para la evaluación del recurso hídrico. Este fue el caso del índice de calidad de agua desarrollado por la Fundación de Saneamiento Nacional de los Estados Unidos (NSF), Water Quality Index (WQI), creado en 1970 bajo la metodología Delphi. Este índice es en la actualidad uno de los más utilizados por agencias e instituciones en los Estados Unidos (García, 2012). En Latinoamérica, el desarrollo y aplicación de estos índices se ha planteado con mayor relevancia en México. Tanto como Perú, Brasil y Colombia, han realizado una adaptación del índice norteamericano NSF-WQI a las condiciones propias de sus sistemas acuáticos. Los aportes más significativos hasta la fecha en Sudamérica vienen desde Colombia, con los estudios de Fernandez et al. (2003) y Samboni et al. (2007). Fernández et al. (2003) presenta un estudio comparativo de 30 índices de calidad de agua, sobre la base de su estructura matemática, similitud de parámetros y comportamiento frente a un mismo grupo de datos. Por otro lado, Samboni et al. (2007) presenta una revisión de los indicadores ICA más utilizados en algunos países de América y Europa, así como su diseño e interpretación, que se basan en parámetros físico-químicos para su evaluación.

1.4.2 Definición de un Índice de Calidad del Agua.

Un índice de calidad de agua puede definirse como una herramienta que permite reducir información sobre un gran número de parámetros físico-químicos y microbiológicos a un solo índice de una forma simple, rápida, objetiva y reproducible. El índice puede ser representado por un número, un rango, una descripción verbal, un símbolo o incluso un color. En términos simples, un ICA es un número único que expresa la calidad del recurso hídrico mediante la integración de las mediciones de determinados parámetros de calidad del agua y su uso permite una rápida interpretación y reconocimiento de las tendencias en la calidad del cuerpo de agua a lo largo del espacio y el tiempo (García, 2012).

1.4.3 Ventajas y limitaciones de un ICA.

Los Índices de Calidad de Aguas a pesar de presentar una gran cantidad de ventajas en la actualidad, aún siguen siendo criticados por presentar limitaciones de aplicación y confección. En la tabla 1.1 se muestra las principales ventajas y limitaciones que han sido reconocidas en los índices de calidad. (Torres et al, 2009).

Tabla 1.1 Ventajas y limitaciones de los ICA (Torres et al, 2009)

Ventajas	Limitaciones
Permite mostrar la variación espacial y temporal de la calidad del agua	Proporcionan un resumen de los datos
Método simple, conciso y válido para expresar la importancia de los datos generados regularmente en el laboratorio.	No proporcionan información completa sobre la calidad del agua.
Útiles en la evaluación de la calidad del agua para usos generales.	No pueden evaluar todos los riesgos presentes en el agua
Permiten a los usuarios una fácil interpretación de los datos	Pueden ser subjetivos y sesgados en su formulación

Pueden identificarse tendencias de la calidad del agua y áreas problemáticas.	No son de aplicación universal debido a las diferentes condiciones ambientales que presentan las cuencas de una región a otra
Permiten priorizar para evaluaciones de calidad del agua más detalladas.	Se basan en generalizaciones conceptuales que no son de aplicación universal.
Mejoran la comunicación con el público y aumentan su conciencia sobre las condiciones de calidad del agua.	Algunos científicos y estadísticos tienden a rechazar y criticar su metodología, lo que afecta la credibilidad de los ICA como
Ayudan en la definición de prioridades herramienta para la gestión	

1.5 Construcción de un ICA.

La metodología para la construcción de estos índices de calidad de agua básicamente consta de tres pasos consecutivos (Samboni et al., 2007): Selección de parámetros, Determinación de subíndices para cada parámetro y determinación del índice por agregación de los subíndices.

1.5.1 Selección de parámetros o variables:

Se pueden considerar entre dos o n-parámetros. La elección de los parámetros depende en gran medida del criterio de un experto, como también de la información existente, los criterios de tiempo, localización y su importancia como estándar de calidad. Además, deben representar las características propias del lugar de estudio, de tal forma que evidencien los cambios ambientales a lo largo del tiempo y el espacio.

En la selección de parámetros se recomienda abarcar distintas categorías de clasificación ambiental, para cubrir todas las áreas que produzcan posibles cambios en la calidad del agua, como lo define Dunnette (1979) con cinco categorías: nivel de oxígeno (oxígeno disuelto, demanda química de oxígeno y demanda biológica de oxígeno), eutrofización (dióxido de

nitrógeno, nitrato y fosfato), aspectos de salud (coliformes totales y fecales), características físicas (temperatura, transparencia, sólidos totales) y sustancias disueltas (cloruros, sulfatos, pH y conductividad eléctrica).

1.5.2 Determinación del subíndice para cada parámetro.

La determinación del subíndice para cada parámetro tiene como propósito la transformación de variables de una escala dimensional a una adimensional. De esta forma, cada variable, con su respectiva unidad, es llevada a una misma escala antes de ser agregada en un mismo valor.

Según Fernandez y Solano (2015), se pueden utilizar varios métodos:

- Valor nominal o numérico: es una comparación del valor del parámetro con un estándar o criterio.
- Parámetro en número decimal, diagramas o tablas de calibración: el cual se desarrolla para cada parámetro su propio diagrama, en el que se indica la correlación entre el parámetro y su valor en escala de calidad. Los diagramas de calibración pueden ser desarrollados utilizando diversas metodologías:
- Método basado en la experiencia propia: es muy subjetivo debido a que no solamente se encuentran grandes diferencias de criterio entre autores distintos, sino también entre las curvas desarrolladas por un mismo autor para distintos parámetros.
- El método Delphi: para su construcción se usa el promedio de la opinión de varios expertos.
- Curvas basadas en ecuaciones matemáticas: se parte de una fórmula matemática con la cual se desarrolla la curva de calidad respectiva para cada parámetro o a partir de las curvas generadas se desarrolla la fórmula matemática respectiva.
- Curvas basadas en la normatividad: se generan las curvas a partir de los valores de los parámetros recogidos en diferentes normatividades. El principal objetivo de este método es buscar la objetividad y la aceptación por parte de los expertos.
- Parámetro bajo formulación matemática: convierte los valores del parámetro de acuerdo a varias escalas con las que los valores del mismo conservan sus unidades originales.

1.5.3 Determinación del índice por agregación de los subíndices.

La integración de los subíndices determina el índice de calidad de agua, que se lleva a cabo por medio de fórmulas de agregación matemática que comúnmente corresponden a una función

promedio. (Tabla 1.2). Antes de utilizar las fórmulas nombradas, es común tomar en cuenta que unos parámetros son más importantes que otros, y por lo tanto se les asigna un peso relativo a cada variable, teniendo en cuenta la opinión de expertos o la importancia de los cambios de la calidad de agua.

Tabla 1.2 Fórmulas de agregación matemática utilizadas en un ICA (Samboni et al., 2007).

Método	Formula
Promedio ponderado	$ICA = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n q_i$
Promedio aritmético ponderado	$ICA = \sum_{i=1}^n q_i w_i$
Promedio geométrico no ponderado	$ICA = \left(\prod_{i=1}^n q_i \right)^{1/n}$
Promedio geométrico ponderado	$ICA = \left(\prod_{i=1}^n q_i \right)^{w_i}$
Subíndice mínimo	$ICA = \min(q_1, q_2, \dots, q_n)$
Subíndice máximo	$ICA = \max(q_1, q_2, \dots, q_n)$
Promedio no ponderado modificado	$ICA = \frac{1}{100} \left(\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n q_i \right)^2$
Promedio ponderado modificado	$ICA = \frac{1}{100} \left(\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n q_i w_i \right)^2$

1.6 Índices de calidad de agua desarrollados en Chile.

Hasta la fecha se han generado una gran cantidad de índices en el mundo, diversos países han sido pioneros en el desarrollo de distintos índices de calidad de agua con el fin de caracterizar los cuerpos de agua superficial presentes en su territorio. Muchos de estos índices, a pesar de haber sido desarrollados para las condiciones propias de una región o un país, han sido

ampliamente utilizados en el mundo y validados en diferentes estudios. A partir de estos varios autores y entidades han realizado modificaciones para adaptarlos a las condiciones específicas de diferentes ecosistemas hídricos.

En este escenario en Chile se han realizado trabajos donde proponen índices para evaluar la calidad de los recursos hídricos del país y otros para cuencas específicas. A continuación, se describen algunos índices propuesto para la aplicación en cuencas del territorio nacional.

1.6.1 ICA Objetivo (ICAOBJ).

Este índice propuesto por Sancha et al. (2001). Permite estimar el nivel de contaminación por descarga de aguas residuales y categorizar los distintos tramos de un curso de agua superficial, evaluando los impactos producidos por las descargas de aguas residuales. El ICA Objetivo permite la comparación de calidad de aguas, de cursos de aguas superficiales entre zonas de cabeceras y zonas intervenidas, tanto como espacial como temporalmente.

Los parámetros del ICAOBJ seleccionados fueron: Oxígeno disuelto (OD), Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO) y Coliformes Fecales.

El ICAOBJ se definió a través de la siguiente expresión matemática de tipo aritmética ponderada:

$$ICA_{OBJ} = \sum_{i=1}^n P_i * (ICA)_i$$

Donde n corresponde al número de parámetros seleccionados, (ICA)_i es el índice de calidad ambiental para el parámetro i y P_i es el peso atribuido al parámetro i (el peso ponderado de cada parámetro es de 0,33).

De acuerdo al valor obtenido por este índice, es posible clasificar la calidad de agua en cuatro rangos (Alta, Media, Baja y Muy baja).

1.6.2 Índice de calidad de aguas DGA.

Este índice es planteado por la DGA en 2004, el cual tiene su base en el índice elaborado por la National Sanitation Foundation (NSF) el cual utiliza el mismo modelo matemático, considerando varios de los parámetros planteados por la NSF, pero además utiliza a norma secundaria general de calidad presente en la Guía CONAMA 2004, para determina los valores de referencia y para poder categorizar la calidad del agua.

El modelo propuesto por la DGA considera dos clasificaciones de parámetros, en primer lugar, parámetros obligatorios, los cuales fueron seleccionados de acuerdo a la afectación de las cuencas por intervención antrópica y tienen en su conjunto una ponderación del 70% del total del índice (tabla 1.3) Por otro lado, el 30% restante lo complementan los parámetros relevantes, que corresponden a un listado de parámetros que exceden la clase de excepción de la cuenca en estudio y que son aquellos que más afectan la calidad del recurso.

Tabla 1.3 Pesos otorgados a los parámetros según DGA.

Parámetro	Ponderación
Oxígeno disuelto (OD)	0,12
pH	0,12
Conductividad eléctrica (CE)	0,12
Coliformes fecales (CF)	0,12
Demanda bioquímica de oxígeno (DBO5)	0,12
Solidos totales en suspensión (TSS)	0,12
Parámetros relevantes	0,3

Este modelo posee una clasificación del agua en rangos que van entre el 0 y el 100, como se aprecia en la tabla 1.4.

Tabla 1.4 Rangos de Calidad de agua según DGA 2004.

Rango ICA	Calidad
100-90	Excelente
70-90	Muy buena
70-50	Buena
50-25	Regular
25-0	Mala

1.6.3 Índice de calidad de agua para ecosistemas hídricos (García, 2012)

El estudio de García plantea la dificultad de usar un Índice de Calidad de Agua ya existente, debido a la variabilidad de ecosistemas y clima presentes a lo largo del país. Para enfrentar la situación, se propone un Índice de Calidad de Agua Global, el cual se hace modificando los índices anteriormente desarrollados en Chile, como lo son el DGA (2004) e ICA Objetivo (Sancha, 2001). Para ello se realiza una ponderación entre tres índices los cuales son los más representativos, ya que involucran distintos tipos de agua superficial, haciendo de este índice de acuerdo a lo expresado por su autor, un método más exacto. Estos índices se obtienen utilizando el mismo modelo matemático que el de la NSF, es decir,

$$IC_{Natural, potable, riego} = \sum_{i=1}^n P_i * W_i$$

Donde n es el número de parámetros seleccionados, W_i es la calidad ambiental para el parámetro i, y P_i corresponde al peso ponderado del parámetro i.

Estos tres índices se ponderan para dar origen al ICA global:

$$ICA_{global} = \frac{IC_{Natural} + IC_{potable} + IC_{riego}}{3}$$

Para este ICA se definen tres rangos para evaluar los resultados, estos se ven en la tabla 1.5

1.6.4 ICA MF

Este índice es desarrollado por Fundación Chile en el marco del proyecto Mining FootPrint del año 2013, se basa tanto el ICA de la NSF como el propuesto por la DGA en 2004, y plantea al igual que este último, una diferenciación entre parámetros, otorgando una ponderación del 61% a los parámetros considerados obligatorios y el 39% restante a los parámetros relevantes, como se puede observar en la tabla 1.5.

Tabla 1.5. Pesos otorgados a los parámetros según MFP.

Parámetro	Ponderación
Oxígeno disuelto (OD)	0,17
pH	0,11
Conductividad eléctrica (CE)	0,10
Coliformes fecales (CF)	0,16
Sólidos totales en suspensión (TSS)	0,07
Parámetros relevantes	0,39

El ICA MFP varía entre 0 y 100, siendo 0 un agua de mala calidad, mientras que un valor cercano a 100 representa un agua de muy buena calidad o de excelencia, según la siguiente clasificación, como se observa en la tabla 1.6.

Tabla 1.6. Rangos de calidad de agua, según MFP

Rango ICA	Calidad	Clases
100-90	Excelente	0
70-90	Muy buena	1
70-50	Buena	2
50-25	Regular	3
25-0	Mala	4

1.7 Método Delphi.

Su origen surge en 1950 cuando la Rand Corporation realizó un estudio para la fuerza aérea de EE.UU que llamó “Proyecto Delphi”. De ahí derivó la metodología su nombre. El objetivo del estudio fue obtener el mayor consenso posible de un grupo de expertos sobre una serie de cuestiones presentadas a través de cuestionarios intensivos, a los cuales se les intercalaba una retroalimentación controlada. La metodología Delphi es una técnica enmarcada dentro de los métodos de expertos que se utiliza para obtener la opinión más consensuada posible de un grupo de personas, consideradas expertos, en relación con un determinado objetivo de investigación (Leon y Montero, 2003).

1.7.1 Aplicación del Método Delphi.

Para Astigarraga, (2001) el método Delphi procede por medio de la interrogación a expertos con la ayuda de cuestionarios sucesivos, a fin de poner de manifiesto convergencias de opiniones y deducir eventuales consensos. La encuesta se lleva a cabo de una manera anónima (actualmente es habitual realizarla haciendo uso del correo electrónico o mediante cuestionarios web establecidos al efecto) para evitar los efectos de “líderes”. El objetivo de los cuestionarios sucesivos, es “disminuir el espacio intercuartil precisando la mediana”.

Según Landeta (2006) el objetivo de la técnica es lograr un consenso fiable entre las opiniones de un grupo de expertos, a través de una serie de cuestionarios que se responden anónimamente. Se comparte el punto de vista de Howze y Dalrymple (2004), quienes sostienen que la técnica ha pasado de un enfoque predictivo sobre situaciones futuras posibles, a uno basado en identificar y/o priorizar preferencias o soluciones a problemas prácticos por parte de un grupo de expertos.

Para Landeta (2006) la técnica consiste en una comunicación grupal remota o a distancia, en que los participantes no tienen comunicación directa cara a cara. Es un proceso estructurado, en que una serie de cuestionarios son aplicados en forma secuencial en el tiempo. Es decir, los

expertos deben ser consultados al menos dos veces sobre la misma pregunta, de modo que puedan reconsiderar sus respuestas, ayudados por la información recibida de los demás expertos. De acuerdo a lo anterior, existe una retroalimentación controlada a los participantes, el intercambio de información entre los expertos no es libre, es dirigida por el coordinador del Delphi, de modo, que gradualmente la información irrelevante es eliminada. Los pasos que se llevarán a cabo para garantizar la calidad de los resultados, para lanzar y analizar la Delphi deberían ser los siguientes (Astigarraga, 2001):

1.7.1.1 Formulación del problema

Se trata de una etapa fundamental en la realización del método Delphi. En un método de expertos, la importancia de definir con precisión el campo de investigación es muy grande por cuanto que es preciso estar muy seguros de que los expertos reclutados y consultados poseen la misma noción de este campo. La elaboración del cuestionario debe ser llevada a cabo según ciertas reglas: las preguntas deben ser precisas, cuantificables e independientes.

1.7.1.2 Elección de expertos

En la elección de expertos, independiente de sus títulos, su función o su nivel jerárquico, será elegido por su capacidad de encarar el futuro y posea conocimientos sobre el tema consultado. La falta de independencia de los expertos puede constituir un inconveniente; por esta razón los expertos son aislados y sus opiniones son recogidas por vía electrónica y de forma anónima; así pues, se obtiene la opinión real de cada experto y no la opinión más o menos falseada por un proceso de grupo (se trata de eliminar el efecto de los líderes).

1.7.1.3 Elaboración y lanzamiento de los cuestionarios

Esta fase se realizó en paralelo con la elección de expertos. Los cuestionarios fueron acompañados por una nota de presentación que precisa la finalidad del estudio, la explicación del método Delphi y las condiciones prácticas del desarrollo de la encuesta, como plazo de respuesta y garantía de anonimato. Éstos se elaboraron de manera que faciliten, si es posible, la

respuesta por parte de los expertos. Se puede recurrir a respuestas categorizadas (Si/No; Muy de acuerdo/De acuerdo/Indiferente/En desacuerdo/Muy en desacuerdo), para ser tratados en términos porcentuales para ubicar a la mayoría de los consultados en una categoría. Las respuestas se categorizaron y ordenaron en función del grado de acuerdo.

1.7.1.4 Desarrollo práctico e interpretación de los resultados.

El cuestionario se envió a cierto número de expertos, hay que tener en cuenta las no-respuestas y abandonos, por lo que se recomienda que el grupo final no sea inferior a 25. El cuestionario va acompañado con el propósito del estudio a realizar, la metodología Delphi, así como las condiciones prácticas del desarrollo de la encuesta (plazo de respuesta, garantía de anonimato).

El objetivo de los cuestionarios sucesivos es disminuir la dispersión de las opiniones y precisar la opinión media consensuada. En el curso de la 2ª consulta, los expertos son informados de los resultados de la primera consulta de preguntas y deben dar una nueva respuesta y sobre todo deben justificarla en el caso de que sea fuertemente divergente con respecto al grupo. Si resulta necesaria, en el curso de la 3ª consulta se pide a cada experto comentar los argumentos de los que disienten de la mayoría.

1.8 Área de estudio.

El área de estudio (figura 1.1) tiene una superficie total de 7812 km² y se encuentra en el extremo sur de la IV Región de Coquimbo, entre las latitudes 31° 57,72' y 31° 30' S y longitudes 71° 17' y 71° 34' E. La capital regional es la ciudad de La Serena y la región está dividida administrativamente en quince comunas y tres provincias. La superficie total de la región alcanza a los 40.579,9 km², que representan el 5,37% del territorio de Chile Continental e Insular.

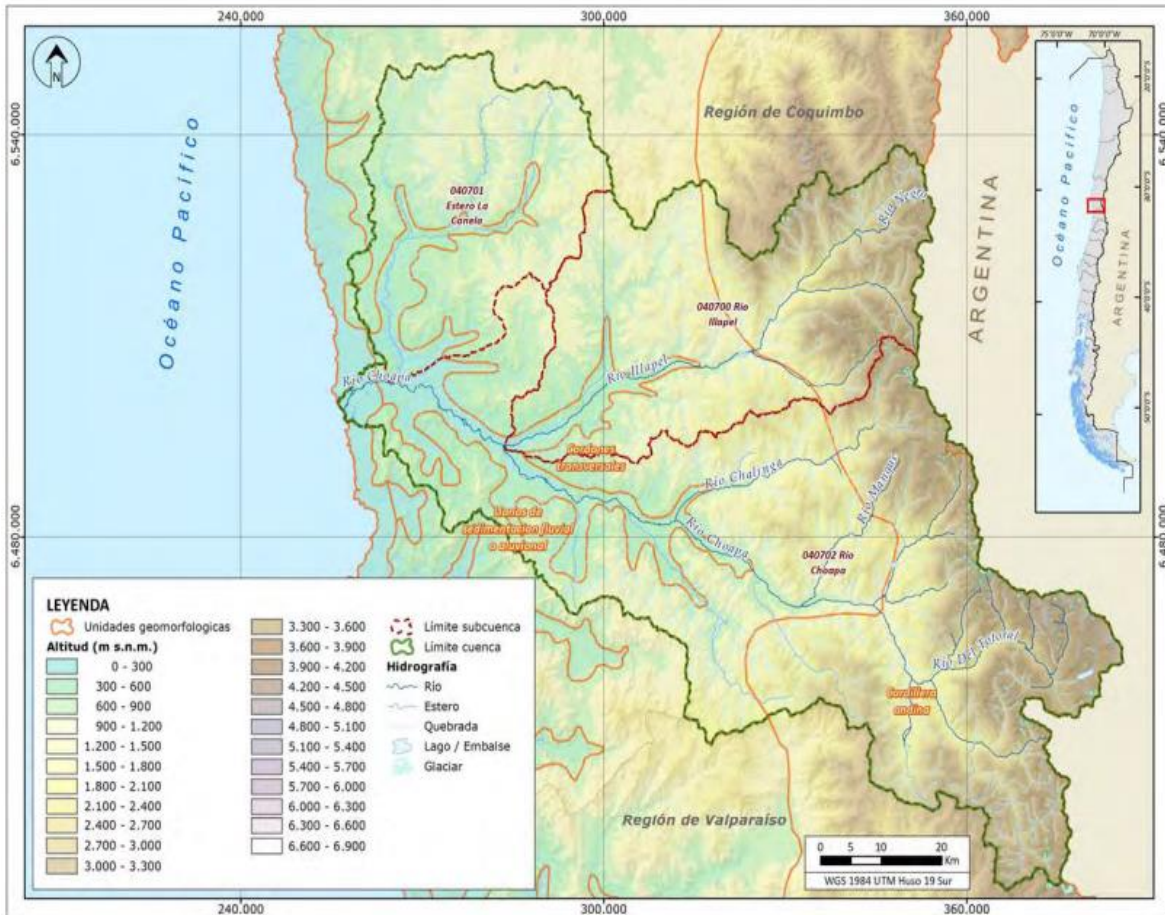


Figura 1.1 Mapa geográfico de la Cuenca del río Choapa.

La cuenca del río Choapa constituye el último de los valles transversales de la región de Coquimbo, ubicado en su extremo sur. En términos generales, los rasgos geomorfológicos no difieren mucho a los de las cuencas del río Elqui y Limarí, presentando una cuenca de sedimentación fluvial en su curso medio y bajo. El valle del río Choapa es el más estrecho con respecto a los otros valles transversales existentes en la región.

El río Choapa nace en la cordillera de Los Andes, a 1.000 m.s.n.m., el cual se forma por la confluencia de los tributarios Totoral, Leiva y del Valle, aun dentro de la cordillera, El río Choapa recibe como afluentes los ríos Cuncumen y Chalinga. Ya en el curso medio del Río en estudio, el estero Camisas es el principal aporte por el sur, en el cual se encuentra el embalse

Corrales, con una capacidad útil de 50 millones de m³. También en el curso medio del río Choapa recibe un afluente importante por parte del río Illapel que entrega sus aguas por el norte, cabe destacar que el curso de agua está regulado por el embalse El Bato, de 25,5 millones de m³ de capacidad útil. Para finalizar el curso del río Choapa desemboca al mar junto a la Caleta de Huentelauquén, a unos 140 km desde su nacimiento.

2 Problema

El crecimiento de la población en los últimos 15 años en la provincia del Choapa, ha provocado un aumento en la demanda de agua dulce por las distintas actividades humanas, como la producción de alimentos, el uso industrial y uso doméstico. Esto conlleva a generar una mayor cantidad de contaminantes provenientes de fuentes puntuales y difusas a lo largo del río Choapa, afectando su calidad y comprometiendo la conservación de los ecosistemas acuáticos. Siendo la principal amenaza de contaminación la presencia de la Minera Los Pelambres en la parte alta del río Choapa.

En Chile, para proteger y/o conservar las aguas continentales superficiales se utilizan las Normas Secundarias de Calidad Ambiental. Éstas cuentan con redes de monitoreo, asociadas al Programa de Medición y Control de la Calidad Ambiental, donde se registra una gran cantidad de información tanto física, química como biológica que requiere de un tratamiento e interpretación, lo que representa una tarea compleja. Las evaluaciones tradicionales de la calidad del agua se basan en la comparación de valores de parámetros determinados analíticamente con la normativa local existente. En muchas ocasiones, esta metodología permite identificar adecuadamente las fuentes de contaminación, y puede ser esencial para verificar el cumplimiento legal, sin embargo, no ofrece una visión integral de la calidad del agua en una cuenca hidrográfica. Por otra parte, los índices de calidad entregan un valor que hace que la información sea más fácil de comprender, en comparación a una larga lista de valores numéricos para una gran variedad de parámetros.

El presente trabajo tiene como objetivo evaluar la calidad de las aguas superficiales de la cuenca del río Choapa, mediante un índice de calidad, el cual permitirá mediante esta herramienta la facilitación de la interpretación de los datos que se miden en las estaciones de monitoreo y así se expresará la información de la calidad de las aguas de manera integrada, enfocada en la protección de esta área tanto como los ecosistemas acuáticos y sus servicios ecosistémicos.

3 Objetivos

3.1 Objetivo General

- Evaluar la calidad de las aguas superficiales de la cuenca del río Choapa, ubicada en la Región de Coquimbo, mediante un índice de calidad.

3.2 Objetivos Específicos

- Determinar los parámetros a utilizar en el índice de calidad y sus ponderaciones.
- Definir el método de normalización de los parámetros para formar parte del índice de calidad.
- Aplicar el índice de calidad de aguas superficiales definido para la cuenca del río Choapa.

4 Metodología.

4.1 Selección de parámetros y su importancia mediante la aplicación del método Delphi.

Sobre la base de los índices expuestos en el punto 1.5 y los datos entregados por la DGA de la Provincia del Choapa, se definieron los parámetros generales que se incluyeron en el índice que se aplicó en este estudio.

Los parámetros que se encuestaron en este índice de calidad de aguas superficiales, fueron los siguientes: oxígeno disuelto, conductividad eléctrica, pH, sulfato, fosfato, amonio, nitrato, cobre total, zinc total, hierro total, manganeso total, aluminio total, arsénico total, mercurio total, cianuro total. Estos parámetros entregan información importante relativa a la calidad del agua y, además, son monitoreados en todas las estaciones de calidad de la DGA.

Ahora para la elección de parámetros y determinar la importancia de cada uno, se utilizó la metodología de Delphi descrita por Astigarraga (2001). Dicha metodología se estructura por cuatro fases, Fase 1: Formulación del problema, Fase 2: Elección del panel de expertos, Fase 3: Elaboración y lanzamiento de los cuestionarios, Fase 4: Explotación de resultados.

4.1.1.1 Fase 1: Formulación del problema.

La fase 1 consiste en la formulación del tema a consultar al panel de expertos, donde se mencionan temas como una introducción, el objetivo del trabajo de título, las ventajas y desventajas de los índices de calidad de agua, para por último preguntarles sobre la elección de parámetros y darle la importancia correspondiente a cada uno.

4.1.1.2 Fase 2: Elección del panel de expertos.

En esta fase se eligieron a los expertos en calidad de agua y en manejo de cuencas, para éstos se consideraron profesionales o expertos de instituciones públicas y privadas, como, profesionales de consultoras presentes en la provincia, encargados de las oficinas de medio ambientes de cada una de las comunas pertenecientes a la cuenca, entre otros profesionales.

4.1.1.3 Fase 3: Elaboración y lanzamiento de los cuestionarios.

En la fase 3 se elaboró el cuestionario que fue presentado a los expertos ya seleccionados en la fase 2, este cuestionario tuvo como objetivo seleccionar los parámetros que formaron parte del índice de calidad de aguas que se implementó en el río Choapa y determinar un valor de importancia de cada uno de los parámetros.

En el momento de mostrar el primer cuestionario, este presento una introducción al tema, se explicaron brevemente el índice de calidad de agua que se aplicó en el río Choapa, se presentaron los objetivos de este estudio y de forma breve se explicó en que consiste el método Delphi, para finalmente invitarlo a rellenar un Formulario de Google.

Ya con los resultados del primer cuestionario, se realizó un segundo cuestionario, en el cual se envían los resultados del primero con el fin de que cada uno de los expertos vean como respondieron el resto de expertos encuestados, con el fin de ver si cambian su primera respuesta la cual se puede ver influenciada o bien se estudió más el tema en cuestión. Además, se solicita a los encuestados realizar una valorización de importancia de cada uno de los parámetros, con escala de del 1 al 5, siendo 1 la de menor importancia y 5 la de mayor importancia en el ICAS.

4.1.1.4 Fase 4: Interpretación de resultados.

Esta fase se llevó a cabo una vez con todos los resultados de los cuestionarios, por lo cual se desarrollo en la sección de resultados de este Informe de Título.

4.2 Determinación del método de normalización de los parámetros

Luego de seleccionar los parámetros, éstos necesitaron una escala normalizada de calidad para ser valorados y formar parte del índice de calidad como subíndice, por ende, cada parámetro fue llevado a una misma escala.

Para llevar a cabo esta tarea existen varios métodos para realizar la transformación de las variables de una escala dimensional a una adimensional para permitir su agregación, por ejemplo: Curvas basadas en ecuaciones matemáticas, se parte de una fórmula matemática con la cual se desarrolla la curva de calidad respectiva para cada parámetro o a partir de las curvas generadas se desarrolla la fórmula matemática respectiva; Valor nominal o numérico, previa comparación del valor del parámetro con un estándar o criterio; Curvas basadas en la normatividad, se generan las curvas a partir de los valores de los parámetros recogidos en diferentes normatividades; Parámetro bajo formulación matemática, con el fin de convertir los valores del parámetro de acuerdo a varias escalas con las que los valores del parámetro conservan sus unidades originales. (Samboni et al., 2007).

Para definir el método de normalización se utilizó como base a la metodología de Escenarios hídricos 2030.

La escala utilizada y el valor asignado para cada una de las clases se presentan en la Tabla 4.1. Por lo tanto, lo que se hace es asignar al rango de valores óptimo el valor 1, considerado como Clase Excepcional, el valor 2 para la Clase Buena, el valor 3 para la Clase Regular, y por último el valor 4 para la Clase Insuficiente.

Tabla 4.1 Valores asignados para la normalización Escenarios hídricos 2030.

Clase	Valor asignado al parámetro
Excepcional	1
Buena	2
Regular	3
Insuficiente	4

Normalización de Parámetros

Oxígeno Disuelto (OD)

La normalización del oxígeno disuelto se realizó tomando como referencia los valores entregados en la Guía CONAMA 2004 (tabla 4.2), Esta guía establece rangos que clasifican el parámetro en clases, de acuerdo a la concentración existente en el agua.

Tabla 4.2 Normalización para Oxígeno Disuelto.

Parámetro	Unidad	Qi			
		1	2	3	4
Oxígeno Disuelto	mg/L	>7,5	5,5 < OD ≤ 7,5	5,0 < OD ≤ 5,5	<5,0

Conductividad

Al igual que el oxígeno disuelto, se utilizó como rango de clasificación para la conductividad el rango establecido por la guía CONAMA 2004, tabla 4.3.

Tabla 4.3 Normalización para Conductividad.

Parámetro	Unidad	Qi			
		1	2	3	4
CE	$\mu\text{S}/\text{cm}$	<600	750	1500	2250

pH

Para el caso del pH, se establecieron rangos obtenidos a partir de graficas estandarizadas, en la que se encuentran definidos los máximos y mínimos permitidos para cada parámetro en la clase correspondiente (Escenarios Hídricos 2030). Este método es recomendado por la NSF.

Tabla 4.4 Normalización para pH.

Parámetro	Unidad	Qi			
		1	2	3	4
pH	-	$6,5 \leq \text{pH} \leq 8,2$	$6,0 \leq \text{pH} < 6,5$ $8,2 < \text{pH} \leq 9,0$	$5,5 \leq \text{pH} < 6,0$ $9,0 < \text{pH} \leq 9,5$	$< 5,5$ $> 9,5$

Para los demás parámetros se definieron sus valores de normalización provenientes de las normas generales de calidad (Guía CONAMA, 2004), las cuales coinciden con las normas chilenas NCh 409 para agua potable y NCh 1333. Los valores se presentan en la tabla 4.5.

Tabla 4.5 Normalización de parámetros a partir de la de la Guía CONAMA 2004.

Parámetro	Unidad	Qi			
		1	2	3	4
Nitrito	mg/L	< 0,042	0,2	0,2	> 0,2
Zinc total	mg/L	≤0,006	0,016	0,017	>0,017
Hierro total	mg/L	≤0,02	0,14	2,0	>2,0
Arsénico total	mg/L	≤0,001	0,004	0,009	>0,009
Aluminio total	mg/L	0,025	0,18	2,7	<2,7
Manganeso total	mg/L	≤0,01	0,05	0,50	>0,50
Cobre total	mg/L	≤0,002	0,008	0,04	>0,04
Mercurio total	mg/L	<0,00004	0,00005	0,001	>0,001
Sulfato	mg/L	≤146	192	284	>284
Amonio	mg/L	0,0100	0,03	0,17	>0,017

Cianuro total	mg/L	0,05			
Fosfato	mg/L	≤0,0030	0,066	0,5	>0,5

4.3 Definición del índice por agregación de los subíndices

Para la definición del índice a utilizar en la cuenca del río Choapa se realizó una revisión bibliográfica de estudios aplicados a lo largo de Chile tales como, Sancha et al. (2001), DGA (2004), Espejo (2010), García (2012), Escenarios hídricos 2030 (2018) y Diaz (2020), en la cual se decidió por utilizar la fórmula matemática de promedio aritmético ponderado, siendo esta fórmula la que se aplica con mayor frecuencia a nivel nacional. Es así como el índice de calidad de aguas superficiales de la cuenca del río Choapa o $ICAS_{Ch}$ emplea la fórmula de promedio aritmético ponderado para la integración de los subíndices.

$$ICAS_{Ch} = \sum_{i=1}^n Q_i \cdot P_i$$

Donde:

n: número de parámetros seleccionados

Q_i : valor normalizado del parámetro i

P_i : peso ponderado del parámetro i



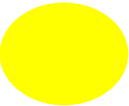

4.4 Aplicación del índice de calidad definido.

Una vez definidos los parámetros, su peso ponderado y estandarización, se procedió a aplicar el índice definido, en las 7 estaciones de monitoreo del río Choapa, en cual se selecciona un rango de datos desde al año 2017 hasta el año 2021, aplicando el $ICAS_{Ch}$ en las cuatro estaciones del año (invierno, otoño, primavera y verano), con el fin de evaluar la calidad de las aguas superficiales.

La aplicación del $ICAS_{Ch}$ propuesto se realizó teniendo en cuenta el promedio de cada una de las mediciones de los parámetros efectuados por la DGA Choapa en las estaciones evaluadas, considerando la disponibilidad de datos.

Para interpretar el valor obtenido del $ICAS_{Ch}$, el modelo se categorizó en rangos, los cuales están especificados en la tabla 4.6. El valor del $ICAS_{CH}$ obtenido permite una visualización por color de acuerdo con la calidad de agua que presenten cada una de las estaciones de monitoreo a lo largo de la cuenca del Río Choapa.

Tabla 4.6 Rangos de calidad de $ICAS_{Ch}$.

Clase de calidad	Simbología
Excepcional $ICAS_{Ch} \leq 1,0$	
Buena $1,0 < ICAS_{Ch} \leq 2,0$	
Regular $2,0 < ICAS_{Ch} \leq 3,0$	
Mala $3,0 < ICAS_{Ch} \leq 4,0$	

5 Resultados.

5.1 Selección de parámetros y su importancia mediante la aplicación del método Delphi.

5.1.1 Panel de expertos.

La selección de expertos se centro en profesionales expertos en calidad de aguas, que estaban presente en la zona de estudio, de un total de 15 expertos encuestados, tan solo 10 respondieron ambos cuestionarios, ver en la figura 5.1. El anonimato de los encuestados fue de suma importancia en esta etapa, para que no existiera una retroalimentación entre ellos.



Figura 5.1 Gráfico demostrativo de respuesta al cuestionario por parte de los expertos en calidad de agua.

5.1.2 Cuestionarios

5.1.2.1 Cuestionario 1

Luego de la realización del primer cuestionario a los expertos, se obtuvo el porcentaje de selección de cada uno de los parámetros, se presenta en la tabla 5.1.

Se puede observar en la tabla 5.1 que la totalidad de expertos encuestados seleccionaron el Oxígeno disuelto y el pH, y por otra parte el amonio, cianuro total y fosfato fueron los más bajos en cuanto a selección, los cuales quedaron excluidos del segundo cuestionario.

Tabla 5.1. Porcentaje de selección de cada parámetro en el cuestionario 1.

N°	Parámetros	Porcentaje de selección (%)
1	Oxígeno disuelto	100
2	pH	100
3	Arsénico total	90
4	Nitrito	80
5	Cobre total	70
6	Conductividad eléctrica	60
7	Zinc Total	60
8	Manganeso total	60
9	Mercurio total	60
10	Sulfato	50
11	Aluminio total	50
12	Hierro total	50
13	Amonio	30
14	Cianuro total	30
15	Fosfato	30

5.1.2.2 Cuestionario 2

Para el segundo cuestionario se excluyeron los parámetros que no superaron el 50% de selección por parte de los expertos (Amonio, Cianuro total y Fosfato), así los encuestados solo se centraron en los parámetros que superaron el 50% del cuestionario 1. Además, se solicitó a cada uno de los encuestados realizar una valoración de importancia de cada uno de los parámetros de este segundo cuestionario.

El Oxígeno disuelto, el pH, el arsénico total y la conductividad eléctrica fueron seleccionados por el 100% de los encuestados, por su parte el nitrito, mercurio total, el sulfato y el cobre total obtuvieron un 90% de selección, el zinc total con el manganeso total obtuvo un 80% de selección, mientras que el aluminio total con el hierro total obtuvo un 70% de selección, ver tabla 5.2

Tabla 5.2. Porcentaje de selección de cada parámetro en el cuestionario 2.

Nº	Parámetros	Porcentaje de selección (%)
1	Oxígeno disuelto	100
2	pH	100
3	Arsénico total	100
4	Conductividad eléctrica	100
5	Nitrito	90
6	Sulfato	90
7	Cobre total	90
9	Mercurio total	90
8	Zinc total	80
10	Manganeso total	80
11	Aluminio total	70
12	Hierro total	70

En la tabla 5.3 se puede evidenciar la importancia de los 12 parámetros seleccionados por el panel de expertos.

Tabla 5.3. valor de importancia de los parámetros asignados por el panel de expertos.

Parámetro	Importancia inicial	N° de expertos que seleccionaron el parámetro	Promedio	Importancia final (P _i)
pH	40	10	4,000	0,099
Conductividad eléctrica	38	10	3,800	0,094
Oxígeno disuelto	36	10	3,600	0,089
Arsénico total	36	10	3,600	0,089
Sulfato	31	9	3,444	0,085
Hierro total	24	7	3,429	0,085
Mercurio total	30	9	3,333	0,083
Nitrito	30	9	3,333	0,083
Aluminio total	22	7	3,143	0,078
Cobre total	28	9	3,111	0,077
Zinc total	24	8	3,000	0,074
Manganeso total	20	8	2,500	0,062
		total	40,294	1

5.2 Determinación del método de normalización de los parámetros.

Con la información obtenida por la Guía CONAMA (2004), y la de la metodología propuesta por Escenarios Hídricos 2030 (2018) se definieron 4 clases de calidad de agua:

- Clase 1: Esta clase corresponde a una calidad de agua excepcional, por su extraordinaria pureza, la cual refleja un estado natural de la cuenca siendo adecuada para la conservación de comunidades acuáticas. Siendo considerada la categoría más estricta del ICAS_{Ch}, cumpliendo con los criterios de aceptabilidad de agua potable.

- Clase 2: Indica una buena calidad de agua, adecuada para la protección y conservación de las comunidades acuáticas, presenta alta biodiversidad de especies. Además, se considera apta para el riego.
- Clase 3: clase indicadora de una calidad de agua regular, con un ecosistema perturbado, el cual presenta un ecosistema con disminución de biodiversidad. Esta indica un agua adecuada para ser bebida por animales y para riego restringido.
- Clase 4: indica una mala calidad, con ecosistemas altamente perturbados, con una condición no adecuada para la conservación de las comunidades acuáticas o su aprovechamiento para los usos prioritarios sin un tratamiento adecuado.

En la tabla 5.4 se presentan los valores según las clases de calidad (Q_i), que corresponde a la escala adimensional.

Tabla 5.4: Valores asignados para la normalización.

Clase	Valor asignado al parámetro (Q_i)
Clase 1: Excepcional	1
Clase 2: Buena	2
Clase 3: Regular	3
Clase 4: Mala	4

Para finalizar se presentan los parámetros seleccionados y respectiva normalización, en la tabla 5.5.

Tabla 5.5: Normalización de los parámetros seleccionados.

Parámetro	Unidad	Q_i			
		1	2	3	4
pH	Unidad de pH	$6,5 \leq \text{pH} \leq 8,2$	$6,1 < \text{pH} < 6,5$	$5,5 \leq \text{pH} < 6,1$	$< 5,5$
			$8,2 < \text{pH} \leq 9,0$	$9,0 < \text{pH} \leq 9,2$	$> 9,2$

Conductividad	μS/cm	≤475	541	830	>830
Oxígeno Disuelto	mg/L	≥17,4	10,4	6,0	<6,0
Sulfato	mg/L	≤146	192	284	>284
Nitrato	mg/L	≤0,22	2,03	3,9	>3,9
Cobre total	mg/L	≤0,002	0,008	0,04	>0,04
Hierro total	mg/L	≤0,02	0,14	2,0	>2,0
Zinc total	mg/L	≤0,006	0,016	0,17	>0,17
Manganeso total	mg/L	≤0,01	0,05	0,50	>0,50
Arsénico total	mg/L	≤0,001	0,004	0,009	>0,009
Aluminio total	mg/L	0,025	0,18	2,7	<2,7
Mercurio total	mg/L	<0,00004	0,00005	0,001	>0,001

5.3 Definición del índice por agregación de los subíndices.

El índice de calidad de aguas superficiales de la cuenca del río Choapa o $ICAS_{Ch}$ emplea la fórmula de promedio aritmético ponderado para la integración de los subíndices.

$$ICAS_{Ch} = \sum_{i=1}^n Q_i \cdot P_i$$

Donde:

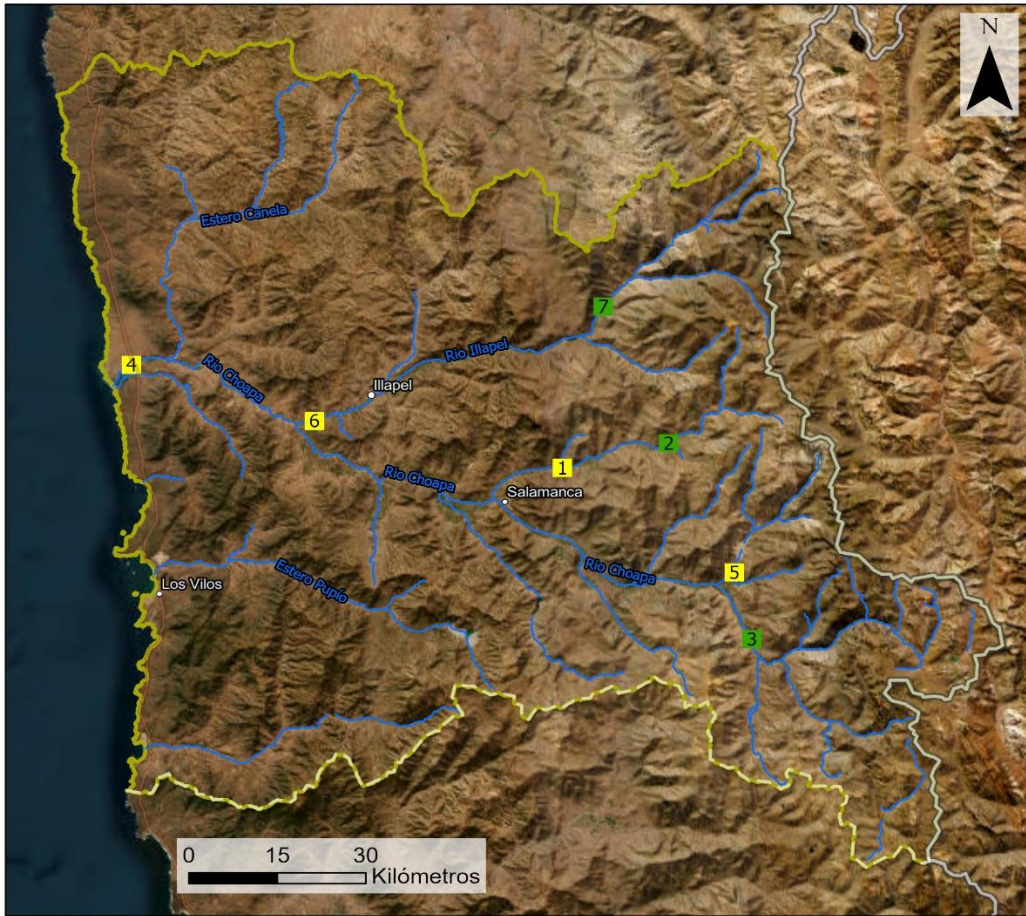
n: número de parámetros seleccionados

Q_i : valor normalizado del parámetro i

P_i : peso ponderado del parámetro i

5.4 Aplicación del índice de calidad de aguas superficiales del Río Choapa

Ya una vez con la selección de los parámetros, el peso y la normalización realizada, se procedió a aplicar el índice ocupando los datos obtenidos de las 7 estaciones de monitoreo de la DGA presentes en la cuenca del río Choapa ver Anexo 1, se llevó a cabo la determinación de la calidad de las aguas superficiales de la cuenca del río Choapa en el periodo de tiempo de 2017-2021, dando como resultado lo presentado en la figuras 5.2, 5.3, 5.4 y 5.5.



ID	Estacion	ICAS (INVIERNO)
1	RIO CHALINGA EN BOCATOMA CANAL CUNLAGUA	2,124
2	RIO CHALINGA EN LA PALMILLA	1,9
3	RIO CHOAPA EN CUNCUMEN	1,973
4	RIO CHOAPA EN HUENTELAUQUEN (CA)	2,324
5	RIO CUNCUMEN ANTES JUNTA CHOAPA (CHACAY)	2,46
6	RIO ILLAPEL EN EL PERAL	2,501
7	RIO ILLAPEL EN LAS BURRAS	1,946

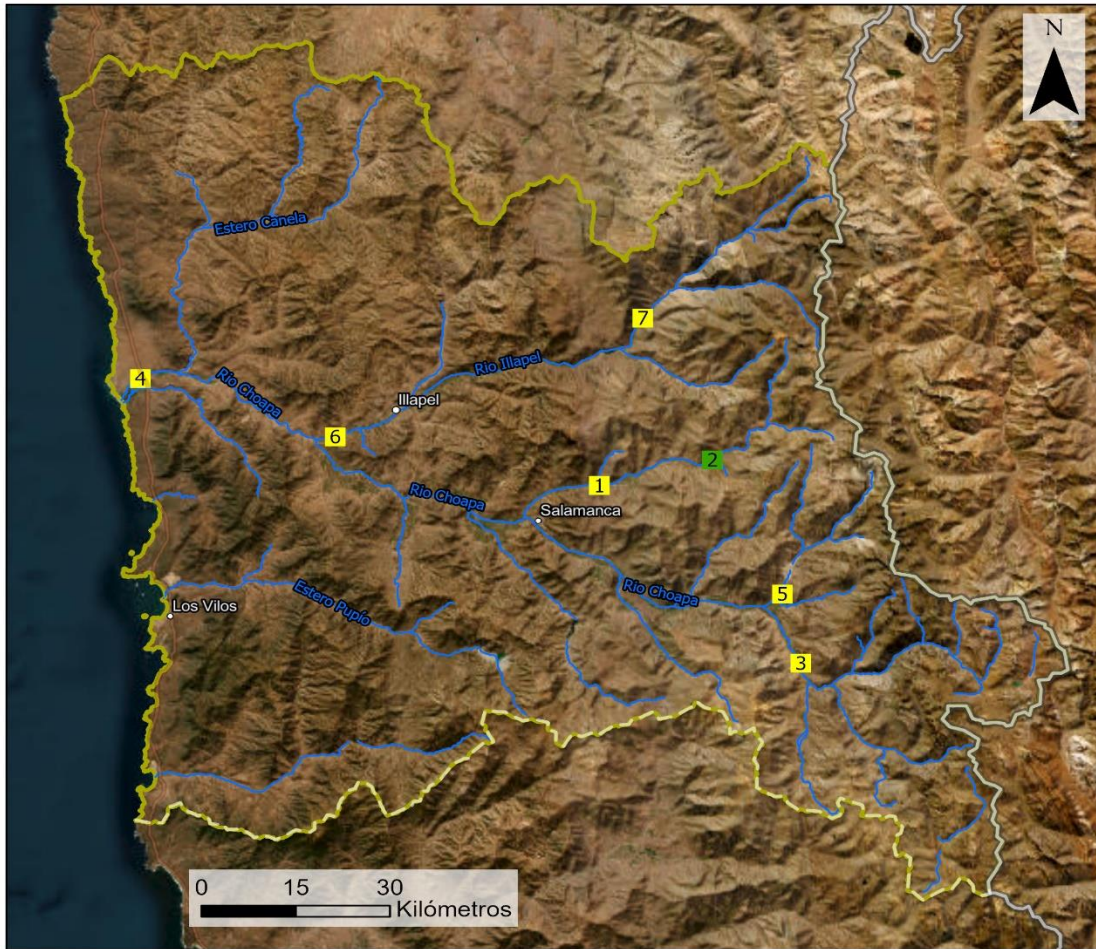
Clase de calidad ICAS

- Excepcional (ICAS ≤ 1)
- Buena (1,0 < ICAS ≤ 2,0)
- Regular (2,0 < ICAS ≤ 3,0)
- Mala (3,0 < ICAS ≤ 4,0)

Simbología

- Ríos y esteros
- ▭ Provincia del Choapa

Figura 5.2 Mapa de la cuenca del Rio Choapa con el ICAS_{Ch} en las estaciones de monitoreo en el periodo 2017-2021 Invierno.



ID	Estacion	ICAS (OTOÑO)
1	RIO CHALINGA EN BOCATOMA CANAL CUNLAGUA	2,202
2	RIO CHALINGA EN LA PALMILLA	1,811
3	RIO CHOAPA EN CUNCUMEN	2,134
4	RIO CHOAPA EN HUENTELAUQUEN (CA)	2,104
5	RIO CUNCUMEN ANTES JUNTA CHOAPA (CHACAY)	2,344
6	RIO ILLAPEL EN EL PERAL	2,646
7	RIO ILLAPEL EN LAS BURRAS	2,097

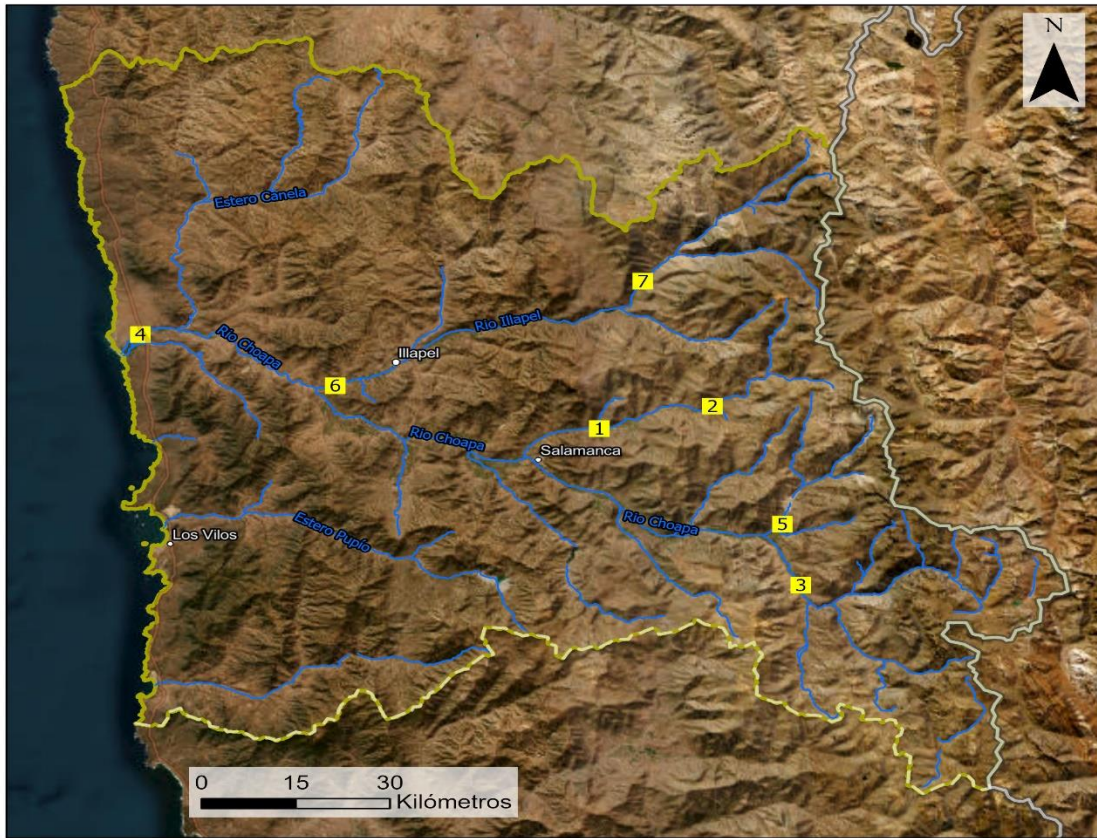
Clase de calidad ICAS

- Excepcional (ICAS ≤ 1)
- Buena (1,0 < ICAS ≤ 2,0)
- Regular (2,0 < ICAS ≤ 3,0)
- Mala (3,0 < ICAS ≤ 4,0)

Simbología

- Ríos y esteros
- Provincia del Choapa

Figura 5.3 Mapa de la cuenca del Rio Choapa con el ICAS_{Ch} en las estaciones de monitoreo en el periodo 2017-2021 Otoño.



ID	Estacion	ICAS (PRIMAVERA)	Clase de calidad ICAS
1	RIO CHALINGA EN BOCATOMA CANAL CUNLAGUA	2,49	Excepcional (ICAS ≤ 1)
2	RIO CHALINGA EN LA PALMILLA	2,308	Buena (1,0 < ICAS ≤ 2,0)
3	RIO CHOAPA EN CUNCUMEN	2,471	Regular (2,0 < ICAS ≤ 3,0)
4	RIO CHOAPA EN HUENTELAUQUEN (CA)	2,136	Regular (2,0 < ICAS ≤ 3,0)
5	RIO CUNCUMEN ANTES JUNTA CHOAPA (CHACAY)	2,444	Regular (2,0 < ICAS ≤ 3,0)
6	RIO ILLAPEL EN EL PERAL	2,585	Regular (2,0 < ICAS ≤ 3,0)
7	RIO ILLAPEL EN LAS BURRAS	2,229	Regular (2,0 < ICAS ≤ 3,0)

Simbología

- Ríos y esteros
- Provincia del Choapa

Figura 5.4 Mapa de la cuenca del Rio Choapa con el ICASCh en las estaciones de monitoreo en el periodo 2017-2021 Primavera.



ID	Estacion	ICAS (VERANO)	Clase de calidad ICAS
1	RIO CHALINGA EN BOCATOMA CANAL CUNLAGUA	2,394	■ Excepcional (ICAS ≤1)
2	RIO CHALINGA EN LA PALMILLA	2,391	■ Buena (1,0 < ICAS ≤ 2,0)
3	RIO CHOAPA EN CUNCUMEN	2,525	■ Regular (2,0 < ICAS ≤ 3,0)
4	RIO CHOAPA EN HUENTELAUQUEN (CA)	2,285	■ Mala (3,0 < ICAS ≤ 4,0)
5	RIO CUNCUMEN ANTES JUNTA CHOAPA (CHACAY)	2,27	
6	RIO ILLAPEL EN EL PERAL	2,495	
7	RIO ILLAPEL EN LAS BURRAS	2,124	

Simbología

- Ríos y esteros
- ▭ Provincia del Choapa

Figura 5.5 Mapa de la cuenca del Rio Choapa con el ICASCh en las estaciones de monitoreo en el periodo 2017-2021 Verano.

6 Discusión

En relación a la selección de los parámetros mediante el método Delphi, en cuanto a la cantidad de encuestados que respondieron ambas encuestas (10) se considera apropiado ya que, como señalan Reguant-Álvarez y Torrado-Fonseca (2016), el tamaño del panel suele oscilar entre 6-30 participantes.

En el cuestionario 1, los expertos encuestados seleccionaron en un 100% los parámetros de oxígeno disuelto y pH, esto se puede respaldar, ya que en los índices de calidad de aguas superficiales nacionales (DGA, 2004; García, 2012; Escenarios hídricos 2030, 2018), estos parámetros son los que mayor importancia tienen dentro de cada uno de los índices. Además, los parámetros que fueron seleccionados sobre el 50%, son parte de estos estudios recién mencionados, como son el arsénico total, conductividad eléctrica, nitrito, sulfato, cobre total, mercurio total, zinc total, manganeso total, aluminio total y hierro total.

Por parte de los parámetros que no alcanzaron el 50% de selectividad como fue el amonio, cianuro total y fosfato, fueron excluidos del cuestionario 2, lo que permitió al panel de expertos centrarse en los parámetros de mayor selectividad. Con esta decisión hubo una retroalimentación positiva que permite el método Delphi, esto se ve reflejado en el aumento de parámetros que alcanzaron el 100% de selectividad, la conductividad eléctrica y el arsénico total se sumaron al oxígeno disuelto y al pH, los demás parámetros también subieron su porcentaje de selectividad.

En cuanto a la importancia de cada uno de los parámetros, los que obtuvieron un mayor nivel de importancia en el ICAS_{Ch}, fueron el pH, la conductividad eléctrica y el oxígeno disuelto, estos coinciden con los parámetros que se consideran parámetros principales (DGA, 2004; Escenarios hídricos 2030, 2018) o indicadores de calidad natural (García, 2012).

Para la realización del método de normalización de los parámetros se tomó en consideración los estudios de la DGA, 2004, siendo utilizado para los parámetros: sulfato, nitrito, cobre total, hierro total, zinc total, manganeso total, arsénico total, aluminio total y mercurio. Para el pH, la conductividad eléctrica y el oxígeno disuelto se utilizó la metodología de normalización de parámetros propuesta por Escenarios hídricos 2030, 2018. Estos permitieron establecer todos los parámetros en una escala adimensional que consta de cuatro clases; clase 1: excepcional; clase 2: buena; clase 3: regular; clase 4: mala. Lo que permitió realizar una escala adimensional de cada uno de los parámetros que se utilizó en el ICAS_{Ch},

Para definir el índice, el método de agregación de los subíndices seleccionado fue promedio aritmético ponderado, siendo esta fórmula matemática más utilizada a nivel nacional para formular índices de calidad de aguas superficiales (Sancha et al., 2001; DGA, 2004; Espejo, 2010; García, 2012; Escenarios hídricos 2030, 2018). Esto se corrobora con el trabajo de Samboni et al., (2007), donde dice que la integración de los subíndices puede darse por medio de fórmulas de agregación que comúnmente corresponden a una función promedio.

La aplicación del ICAS_{Ch}, se efectuó en el periodo de tiempo desde el año 2017 hasta el 2021, con la información obtenida por las mediciones realizadas por la DGA Choapa, el índice se aplicó en 7 de las 9 estaciones presentes en la provincia, esta determinación fue debido a la falta de datos de ciertos parámetros (Mercurio y Nitrito), en las estaciones denominadas Río Choapa en Salamanca y Río Choapa en Puente Negro.

Al aplicar el ICAS_{Ch} por las estaciones del año, se pudo realizar una comparación de cada una de las estaciones de monitoreo, dependiendo de la época del año en el cual se efectuaron las mediciones de los parámetros por parte de la DGA.

En la estación de monitoreo Río Choapa en Cuncumen, cuando fue aplicado el ICAS_{Ch}, en invierno arrojó un resultado de calidad de agua buena (1,973), en cambio en las demás estaciones del año la calidad del agua que se estableció fue como regular, esto ocurrió debido a que en invierno el pH fue categorizado en clase 1 excepcional, siendo este parámetro el que posee el mayor peso ponderado de todos los parámetros del índice.

En la estación de monitoreo Río Chalinga en la Palmilla, al ser aplicado el ICAS_{Ch}, se obtuvo como resultado, que tanto como en invierno y otoño la calidad del agua se considera como buena, esto se debe a que las mediciones de conductividad eléctrica realizadas en verano y en primavera fueron categorizadas en clase 3 regular, en cambio en invierno y verano fue categorizado como clase 1 excepcional.

En la estación de monitoreo Río Illapel en las Burras, al ser aplicado el ICAS_{Ch} en invierno arrojó como resultado de calidad de agua buena, en cambio en las demás estaciones del año la calidad del agua que se estableció fue como regular, esto ocurrió debido a que en invierno el Oxígeno Disuelto fue categorizado en clase 1 excepcional.

En estas 3 estaciones de monitoreo que se obtuvo una calidad del agua buena, se dejó en evidencia que el peso ponderado de los parámetros otorgados por el panel de expertos mediante el método Delphi, fue de gran importancia, ya que tanto como el pH, la conductividad eléctrica y el oxígeno disuelto, fueron los parámetros que poseían un mayor peso ponderado, y al momento de que varió la categorización de los parámetros también hubo variación del resultado del ICAS_{Ch}.

Por su parte la estación de monitoreo Río Cuncumen antes junta Choapa, posee independiente de la estación del año en el cual se realizó las mediciones de los parámetros presentó una calidad del agua regular al aplicar el ICAS_{Ch}, teniendo uno de los resultados más altos del índice, esto

se puede inferir a la fuerte presión que recibe esta zona por la presencia de la gran Minera Los Pelambres, que se ubica a muy pocos metros de esta estación.

Al igual que la estación recién mencionada, la estación de monitoreo Río Illapel en el Peral, al momento que fue aplicado el ICAS_{Ch}, dio como resultado independiente de la estación del año en el que se realizaron las mediciones presentó una calidad del agua regular, presentando los mayores resultados del índice en todas las demás estaciones de monitoreo, esto se puede asociar a la presencia de varios canales de descarga de las empresas que se dedican a la gran agricultura de paltos en la zona. Esto puede dejar en evidencia que la calidad de las aguas puede ser influenciada por las presiones antrópicas que rodean a los cuerpos loticos de la cuenca del Río Choapa.

7 Conclusión.

Los parámetros pH, conductividad eléctrica, oxígeno disuelto, arsénico total, mercurio total, aluminio, hierro total, nitrito, sulfato, cobre total, zinc total y manganeso total son las variables que forman parte del ICAS_{Ch}. Los cuales son demostrativos en cuanto a la alteración del estado natural del cuerpo de agua presente en la zona, ante la actividad antrópica que ocurre a su alrededor. Algunos se encuentran presentes de forma natural y se ven afectados por presión antrópica presente como son el sulfato, hierro, manganeso y cobre. Por otra parte, están los que no se encuentran de forma natural e indican intervención antrópica como son el nitrito, fosfato arsénico y zinc.

La normalización de parámetros se llevó a cabo mediante valores específicos para la cuenca del Río Choapa, utilizando estudios previos para la determinación de las clases de calidad. Por su parte la agregación de los subíndices para la definición del índice, se eligió la fórmula de promedio aritmético ponderado, que corresponde a la utilizada con mayor frecuencia para el cálculo de los índices de calidad de aguas nacionales, lo cual generó un base para poder realizar comparaciones con estudios similares aplicados a lo largo de Chile.

La evaluación de las aguas superficiales de la cuenca del Río Choapa mediante la aplicación de ICAS_{Ch}, dejó en evidencia el peso ponderado de los parámetros otorgados por el panel de expertos mediante el método Delphi, fue de gran importancia, ya que independiente de la estación del año en la cual se aplique, si es que existe una variación en la categorización de un parámetro, este se vio reflejado en el resultado final del índice. Además, los valores mas altos obtenidos como resultados se asociaron a la fuerte presión antrópica existente en la zona, con actividades mineras, agrícolas, relaves mineros, ciudades y localidades, entre otras.

La realización de este índice de calidad de aguas superficiales en la cuenca del Río Choapa, permitirá ser una base de comparación a futuro. Además, deja en evidencia la importancia de dictación de Normas secundarias de calidad de aguas en la cuenca.

8 Bibliografía.

Astigarraga, E. (2001). El método Delphi. Universidad de Deusto, Facultad de Ciencias Empresariales.

https://www.academia.edu/1778724/El_M%C3%A9todo_Delphi_Universidad_de_Deusto

Biblioteca del Congreso Nacional de Chile (2013). Decreto 38 “Aprueba reglamento para la dictación de normas de calidad ambiental y de emisión.

<https://www.bcn.cl/leychile/navegar?idNorma=1053036>

D. Dunnette 1979, “A Geographically Variable Water Quality Index Used In Oregon,” Journal of the Water Pollution Control Federation, vol. 51, pp. 53-61.

Escenarios Hídricos 2030. (2018). Metodología de Construcción de Índice de Calidad para aguas superficiales. Fundación Chile. [chrome-extension://efaidnbmninnibpcajpcglclefindmkaj/https://escenarioshidricos.cl/wp-content/uploads/2021/06/XZ-ICAS_-Girardi-et-al.-2017-v.0-7.pdf](https://escenarioshidricos.cl/wp-content/uploads/2021/06/XZ-ICAS_-Girardi-et-al.-2017-v.0-7.pdf)

Espejo, L. (2010). Cálculo de índices de calidad de aguas superficiales y análisis de la red de monitoreo en las cuencas de Huasco, Elqui, Limarí y Choapa (Memoria para optar al Título de Ingeniero Civil Ambiental). Universidad de La Serena.

<https://es.slideshare.net/MitziLaurin/indice-de-calidadaguassuperficialestesis>

Fernandez, N., Ramirez, A., Solano, F., Indices fisicoquimicos de Calidad del agua, un estudio comparativo., Conferencia Internacional Usos Múltiples del Agua: Para la Vida y el Desarrollo Sostenible, Agua 2003, Universidad del Valle Ciénaga, 2003.

García, T. (2012). Propuesta de Índices de Calidad de Agua para Ecosistemas Hídricos de Chile (Tesis para optar al título de Ingeniero Civil). Universidad de Chile.

http://repositorio.uchile.cl/bitstream/handle/2250/112367/cf-garcia_tq.pdf?sequence=1

Comisión Nacional del Medio Ambiente (CONAMA). (2004). Guía CONAMA para el establecimiento de las normas secundarias de calidad ambiental para aguas continentales superficiales marinas file:///C:/Users/Usuario/Downloads/Guia_norma_secundaria.pdf

Landeta, J. (1999). El método Delphi. Una técnica de previsión para la incertidumbre Ed. Ariel, Barcelona.

León, O. G. y Montero, I. (2003). Métodos de investigación en psicología y educación (3ª ed.) Madrid: McGraw-Hill.

Ley N° 19.300 de 1994 del Ministerio Secretaría General de la Presidencia. Ley sobre bases generales del Medio Ambiente. Modificada por la Ley N° 20.417. Artículos 2, 32

Ministerio del Medio Ambiente (MMA). (2013). Primer Reporte del estado del Medio Ambiente. <https://sinia.mma.gob.cl/wp-content/uploads/2017/08/M2500MIN2013.pdf>

Ministerio del Medio Ambiente (MMA). (2016). Informe del estado del Medio Ambiente. <https://sinia.mma.gob.cl/wp-content/uploads/2017/08/IEMA2016.pdf>

Ministerio del Medio Ambiente (MMA). (2017). Guía para la Elaboración de Normas Secundarias de Calidad Ambiental en Aguas continentales y Marinas. Departamento de Conservación de Ecosistemas Acuáticos. <http://catalogador.mma.gob.cl:8080/geonetwork/srv/spa/resources.get?uuid=57f4f33c-e43c495d-a82a-8f081ec981d3&fname=Guia%20NSCA%20Agua.pdf&access=public>

Ministerio del Medio Ambiente (MMA). (2021). Sexto Reporte del Estado del Medio Ambiente. <https://sinia.mma.gob.cl/wp-content/uploads/2022/04/REMA2021-comprimido.pdf>

Okoli, C. y Pawlowski, S.D. (2004) The Delphi method as a research tool: an example, design considerations and applications. Information y Management, <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0378720603001794>

Samboni N., Carvajal Y., Escobar J., Revisión de parámetros fisicoquímicos como indicadores de calidad y contaminación del agua. (2007). http://www.scielo.org.co/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0120-56092007000300019

Sancha, A. Espinoza, C. 2001. Determinación de contenido natural e índices de calidad: ¿Presente y futuro de calidad de aguas? XIV Congreso Chileno de Ingeniería Sanitaria y Ambiental, AIDIS-CHILE. Santiago, Chile.

Torres P, Hernan C, Patiño P., índices de calidad de agua en fuentes superficiales utilizadas en la producción de agua para consumo humano, una revisión crítica, 2009. Universidad de Medellín 2009. <https://revistas.udem.edu.co/index.php/ingenierias/article/view/59/43>

9 Anexos

Anexo 1

Estación de monitoreo RIO CHALINGA EN BOCATOMA CANAL

Verano

Parámetro	Importancia inicial	N° de expertos que seleccionaron el parámetro	Promedio	Importancia final (P _i)	Parámetro normalizado	peso ponderado del parámetro
Conductividad eléctrica	38	10	3,8	0,094	1	0,094
Oxígeno disuelto	36	10	3,6	0,089	3	0,267
Arsénico total	36	10	3,6	0,089	4	0,356
Sulfato	31	9	3,444	0,085	1	0,085
Mercurio total	30	9	3,333	0,083	3	0,249
Nitrito	30	9	3,333	0,083	1	0,083
Hierro total	24	7	3,429	0,085	3	0,255
Aluminio total	22	7	3,143	0,078	3	0,234
Cobre total	28	9	3,111	0,077	3	0,231
Zinc total	24	8	3	0,074	2	0,148
Manganeso total	20	8	2,5	0,062	2	0,124

2,126

Primavera

Parámetro	Importancia inicial	N° de expertos que seleccionaron el parámetro	Promedio	Importancia final (Pi)	Parámetro normalizado	peso ponderado del parámetro
pH	40	10	4	0,099	2	0,198
Conductividad eléctrica	38	10	3,8	0,094	1	0,094
Oxígeno disuelto	36	10	3,6	0,089	3	0,267
Arsénico total	36	10	3,6	0,089	4	0,356
Sulfato	31	9	3,444	0,085	1	0,085
Mercurio total	30	9	3,333	0,083	4	0,332
Nitrito	30	9	3,333	0,083	2	0,166
Hierro total	24	7	3,429	0,085	3	0,255
Aluminio total	22	7	3,143	0,078	3	0,234
Cobre total	28	9	3,111	0,077	3	0,231
Zinc total	24	8	3	0,074	2	0,148
Manganeso total	20	8	2,5	0,062	2	0,124

2,49

Invierno

Parámetro	Importancia inicial	N° de expertos que seleccionaron el parámetro	Promedio	Importancia final (P _i)	Parámetro normalizado	peso ponderado del parámetro
pH	40	10	4	0,099	1	0,099
Conductividad eléctrica	38	10	3,8	0,094	1	0,094
Oxígeno disuelto	36	10	3,6	0,089	1	0,089
Arsénico total	36	10	3,6	0,089	3	0,267
Sulfato	31	9	3,444	0,085	1	0,085
Mercurio total	30	9	3,333	0,083	4	0,332
Nitrito	30	9	3,333	0,083	2	0,166
Hierro total	24	7	3,429	0,085	3	0,255
Aluminio total	22	7	3,143	0,078	3	0,234
Cobre total	28	9	3,111	0,077	3	0,231
Zinc total	24	8	3	0,074	2	0,148
Manganeso total	20	8	2,5	0,062	2	0,124

2,124

Otoño

Parámetro	Importancia inicial	N° de expertos que seleccionaron el parámetro	Promedio	Importancia final (Pi)	Parámetro normalizado	peso ponderado del parámetro
pH	40	10	4	0,099	2	0,198
Conductividad eléctrica	38	10	3,8	0,094	1	0,094
Oxígeno disuelto	36	10	3,6	0,089	1	0,089
Arsénico total	36	10	3,6	0,089	3	0,267
Sulfato	31	9	3,444	0,085	1	0,085
Mercurio total	30	9	3,333	0,083	4	0,332
Nitrito	30	9	3,333	0,083	1	0,083
Hierro total	24	7	3,429	0,085	3	0,255
Aluminio total	22	7	3,143	0,078	3	0,234
Cobre total	28	9	3,111	0,077	3	0,231
Zinc total	24	8	3	0,074	2	0,148
Manganeso total	20	8	2,5	0,062	3	0,186

2,202

Estación de monitoreo RIO CHALINGA EN LA PALMILLA

Verano

Parámetro	Importancia inicial	N° de expertos que seleccionaron el parámetro	Promedio	Importancia final (Pi)	Parámetro normalizado	peso ponderado del parámetro
pH	40	10	4	0,099	1	0,099
Conductividad eléctrica	38	10	3,8	0,094	1	0,094
Oxígeno disuelto	36	10	3,6	0,089	3	0,267
Arsénico total	36	10	3,6	0,089	4	0,356
Sulfato	31	9	3,444	0,085	1	0,085
Mercurio total	30	9	3,333	0,083	4	0,332
Nitrito	30	9	3,333	0,083	2	0,166
Hierro total	24	7	3,429	0,085	3	0,255
Aluminio total	22	7	3,143	0,078	3	0,234
Cobre total	28	9	3,111	0,077	3	0,231
Zinc total	24	8	3	0,074	2	0,148
Manganeso total	20	8	2,5	0,062	2	0,124
						2,391

Primavera

Parámetro	Importancia inicial	N° de expertos que seleccionaron el parámetro	Promedio	Importancia final (Pi)	Parámetro normalizado	peso ponderado del parámetro
pH	40	10	4	0,099	1	0,099
Conductividad eléctrica	38	10	3,8	0,094	1	0,094
Oxígeno disuelto	36	10	3,6	0,089	3	0,267
Arsénico total	36	10	3,6	0,089	4	0,356
Sulfato	31	9	3,444	0,085	1	0,085
Mercurio total	30	9	3,333	0,083	3	0,249
Nitrito	30	9	3,333	0,083	2	0,166
Hierro total	24	7	3,429	0,085	3	0,255
Aluminio total	22	7	3,143	0,078	3	0,234
Cobre total	28	9	3,111	0,077	3	0,231
Zinc total	24	8	3	0,074	2	0,148
Manganeso total	20	8	2,5	0,062	2	0,124
						2,308

Invierno

Parámetro	Importancia inicial	N° de expertos que seleccionaron el parámetro	Promedio	Importancia final (Pi)	Parámetro normalizado	peso ponderado del parámetro
pH	40	10	4	0,099	1	0,099
Conductividad eléctrica	38	10	3,8	0,094	1	0,094
Oxígeno disuelto	36	10	3,6	0,089	1	0,089
Arsénico total	36	10	3,6	0,089	4	0,356
Sulfato	31	9	3,444	0,085	1	0,085
Mercurio total	30	9	3,333	0,083	3	0,249
Nitrito	30	9	3,333	0,083	1	0,083
Hierro total	24	7	3,429	0,085	2	0,17
Aluminio total	22	7	3,143	0,078	3	0,234
Cobre total	28	9	3,111	0,077	3	0,231
Zinc total	24	8	3	0,074	2	0,148
Manganeso total	20	8	2,5	0,062	1	0,062

1,9

Otoño

Parámetro	Importancia inicial	N° de expertos que seleccionaron el parámetro	Promedio	Importancia final (Pi)	Parámetro normalizado	peso ponderado del parámetro
pH	40	10	4	0,099	1	0,099
Conductividad eléctrica	38	10	3,8	0,094	1	0,094
Oxígeno disuelto	36	10	3,6	0,089	1	0,089
Arsénico total	36	10	3,6	0,089	3	0,267
Sulfato	31	9	3,444	0,085	1	0,085
Mercurio total	30	9	3,333	0,083	3	0,249
Nitrito	30	9	3,333	0,083	1	0,083
Hierro total	24	7	3,429	0,085	2	0,17
Aluminio total	22	7	3,143	0,078	3	0,234
Cobre total	28	9	3,111	0,077	3	0,231
Zinc total	24	8	3	0,074	2	0,148
Manganeso total	20	8	2,5	0,062	1	0,062
						1,811

Estación de monitoreo RIO CHOAPA EN CUNCUMEN

Verano

Parámetro	Importancia inicial	N° de expertos que seleccionaron el parámetro	Promedio	Importancia final (Pi)	Parámetro normalizado	peso ponderado del parámetro
pH	40	10	4	0,099	2	0,198
Conductividad eléctrica	38	10	3,8	0,094	1	0,094
Oxígeno disuelto	36	10	3,6	0,089	3	0,267
Arsénico total	36	10	3,6	0,089	4	0,356
Sulfato	31	9	3,444	0,085	1	0,085
Mercurio total	30	9	3,333	0,083	3	0,249
Nitrito	30	9	3,333	0,083	1	0,083
Hierro total	24	7	3,429	0,085	4	0,34
Aluminio total	22	7	3,143	0,078	3	0,234
Cobre total	28	9	3,111	0,077	3	0,231
Zinc total	24	8	3	0,074	3	0,222
Manganeso total	20	8	2,5	0,062	3	0,186
						2,545

Primavera

Parámetro	Importancia inicial	N° de expertos que seleccionaron el parámetro	Promedio	Importancia final (Pi)	Parámetro normalizado	peso ponderado del parámetro
pH	40	10	4	0,099	2	0,198
Conductividad eléctrica	38	10	3,8	0,094	1	0,094
Oxígeno disuelto	36	10	3,6	0,089	3	0,267
Arsénico total	36	10	3,6	0,089	4	0,356
Sulfato	31	9	3,444	0,085	2	0,17
Mercurio total	30	9	3,333	0,083	3	0,249
Nitrito	30	9	3,333	0,083	1	0,083
Hierro total	24	7	3,429	0,085	3	0,255
Aluminio total	22	7	3,143	0,078	3	0,234
Cobre total	28	9	3,111	0,077	3	0,231
Zinc total	24	8	3	0,074	2	0,148
Manganeso total	20	8	2,5	0,062	3	0,186
						2,471

Invierno

Parámetro	Importancia inicial	N° de expertos que seleccionaron el parámetro	Promedio	Importancia final (Pi)	Parámetro normalizado	peso ponderado del parámetro
pH	40	10	4	0,099	1	0,099
Conductividad eléctrica	38	10	3,8	0,094	1	0,094
Oxígeno disuelto	36	10	3,6	0,089	1	0,089
Arsénico total	36	10	3,6	0,089	4	0,356
Sulfato	31	9	3,444	0,085	1	0,085
Mercurio total	30	9	3,333	0,083	3	0,249
Nitrito	30	9	3,333	0,083	1	0,083
Hierro total	24	7	3,429	0,085	3	0,255
Aluminio total	22	7	3,143	0,078	3	0,234
Cobre total	28	9	3,111	0,077	3	0,231
Zinc total	24	8	3	0,074	1	0,074
Manganeso total	20	8	2,5	0,062	2	0,124

1,973

Otoño

Parámetro	Importancia inicial	N° de expertos que seleccionaron el parámetro	Promedio	Importancia final (Pi)	Parámetro normalizado	peso ponderado del parámetro
pH	40	10	4	0,099	2	0,198
Conductividad eléctrica	38	10	3,8	0,094	1	0,094
Oxígeno disuelto	36	10	3,6	0,089	1	0,089
Arsénico total	36	10	3,6	0,089	4	0,356
Sulfato	31	9	3,444	0,085	1	0,085
Mercurio total	30	9	3,333	0,083	3	0,249
Nitrito	30	9	3,333	0,083	1	0,083
Hierro total	24	7	3,429	0,085	3	0,255
Aluminio total	22	7	3,143	0,078	3	0,234
Cobre total	28	9	3,111	0,077	3	0,231
Zinc total	24	8	3	0,074	1	0,074
Manganeso total	20	8	2,5	0,062	3	0,186

2,134

Estación de monitoreo RIO CHOAPA EN HUENTELAUQUEN (CA

Verano

Parámetro	Importancia inicial	N° de expertos que seleccionaron el parámetro	Promedio	Importancia final (Pi)	Parámetro normalizado	peso ponderado del parámetro
pH	40	10	4	0,099	1	0,099
Conductividad eléctrica	38	10	3,8	0,094	3	0,282
Oxígeno disuelto	36	10	3,6	0,089	1	0,089
Arsénico total	36	10	3,6	0,089	2	0,178
Sulfato	31	9	3,444	0,085	1	0,085
Mercurio total	30	9	3,333	0,083	4	0,332
Nitrito	30	9	3,333	0,083	2	0,166
Hierro total	24	7	3,429	0,085	3	0,255
Aluminio total	22	7	3,143	0,078	3	0,234
Cobre total	28	9	3,111	0,077	3	0,231
Zinc total	24	8	3	0,074	2	0,148
Manganeso total	20	8	2,5	0,062	3	0,186
						2,285

Primavera

Parámetro	Importancia inicial	N° de expertos que seleccionaron el parámetro	Promedio	Importancia final (Pi)	Parámetro normalizado	peso ponderado del parámetro
pH	40	10	4	0,099	2	0,198
Conductividad eléctrica	38	10	3,8	0,094	2	0,188
Oxígeno disuelto	36	10	3,6	0,089	1	0,089
Arsénico total	36	10	3,6	0,089	2	0,178
Sulfato	31	9	3,444	0,085	1	0,085
Mercurio total	30	9	3,333	0,083	3	0,249
Nitrito	30	9	3,333	0,083	1	0,083
Hierro total	24	7	3,429	0,085	3	0,255
Aluminio total	22	7	3,143	0,078	3	0,234
Cobre total	28	9	3,111	0,077	3	0,231
Zinc total	24	8	3	0,074	3	0,222
Manganeso total	20	8	2,5	0,062	2	0,124

2,136

Invierno

Parámetro	Importancia inicial	N° de expertos que seleccionaron el parámetro	Promedio	Importancia final (Pi)	Parámetro normalizado	peso ponderado del parámetro
pH	40	10	4	0,099	2	0,198
Conductividad eléctrica	38	10	3,8	0,094	3	0,282
Oxígeno disuelto	36	10	3,6	0,089	1	0,089
Arsénico total	36	10	3,6	0,089	2	0,178
Sulfato	31	9	3,444	0,085	1	0,085
Mercurio total	30	9	3,333	0,083	3	0,249
Nitrito	30	9	3,333	0,083	2	0,166
Hierro total	24	7	3,429	0,085	4	0,34
Aluminio total	22	7	3,143	0,078	3	0,234
Cobre total	28	9	3,111	0,077	3	0,231
Zinc total	24	8	3	0,074	2	0,148
Manganeso total	20	8	2,5	0,062	2	0,124

2,324

Otoño

Parámetro	Importancia inicial	N° de expertos que seleccionaron el parámetro	Promedio	Importancia final (Pi)	Parámetro normalizado	peso ponderado del parámetro
pH	40	10	4	0,099	2	0,198
Conductividad eléctrica	38	10	3,8	0,094	2	0,188
Oxígeno disuelto	36	10	3,6	0,089	1	0,089
Arsénico total	36	10	3,6	0,089	4	0,356
Sulfato	31	9	3,444	0,085	1	0,085
Mercurio total	30	9	3,333	0,083	3	0,249
Nitrito	30	9	3,333	0,083	1	0,083
Hierro total	24	7	3,429	0,085	3	0,255
Aluminio total	22	7	3,143	0,078	3	0,234
Cobre total	28	9	3,111	0,077	3	0,231
Zinc total	24	8	3	0,074	1	0,074
Manganeso total	20	8	2,5	0,062	1	0,062
						2,104

Estación de monitoreo RIO CUNCUMEN ANTES JUNTA CHOAPA

Verano

Parámetro	Importancia inicial	N° de expertos que seleccionaron el parámetro	Promedio	Importancia final (Pi)	Parámetro normalizado	peso ponderado del parámetro
pH	40	10	4	0,099	1	0,099
Conductividad eléctrica	38	10	3,8	0,094	1	0,094
Oxígeno disuelto	36	10	3,6	0,089	3	0,267
Arsénico total	36	10	3,6	0,089	2	0,178
Sulfato	31	9	3,444	0,085	1	0,085
Mercurio total	30	9	3,333	0,083	3	0,249
Nitrito	30	9	3,333	0,083	2	0,166
Hierro total	24	7	3,429	0,085	2	0,17
Aluminio total	22	7	3,143	0,078	3	0,234
Cobre total	28	9	3,111	0,077	4	0,308
Zinc total	24	8	3	0,074	4	0,296
Manganeso total	20	8	2,5	0,062	2	0,124

2,27

Primavera

Parámetro	Importancia inicial	N° de expertos que seleccionaron el parámetro	Promedio	Importancia final (Pi)	Parámetro normalizado	peso ponderado del parámetro
pH	40	10	4	0,099	1	0,099
Conductividad eléctrica	38	10	3,8	0,094	1	0,094
Oxígeno disuelto	36	10	3,6	0,089	3	0,267
Arsénico total	36	10	3,6	0,089	3	0,267
Sulfato	31	9	3,444	0,085	1	0,085
Mercurio total	30	9	3,333	0,083	3	0,249
Nitrito	30	9	3,333	0,083	2	0,166
Hierro total	24	7	3,429	0,085	3	0,255
Aluminio total	22	7	3,143	0,078	3	0,234
Cobre total	28	9	3,111	0,077	4	0,308
Zinc total	24	8	3	0,074	4	0,296
Manganeso total	20	8	2,5	0,062	2	0,124

2,444

Invierno

Parámetro	Importancia inicial	N° de expertos que seleccionaron el parámetro	Promedio	Importancia final (Pi)	Parámetro normalizado	peso ponderado del parámetro
pH	40	10	4	0,099	2	0,198
Conductividad eléctrica	38	10	3,8	0,094	1	0,094
Oxígeno disuelto	36	10	3,6	0,089	3	0,267
Arsénico total	36	10	3,6	0,089	3	0,267
Sulfato	31	9	3,444	0,085	1	0,085
Mercurio total	30	9	3,333	0,083	3	0,249
Nitrito	30	9	3,333	0,083	1	0,083
Hierro total	24	7	3,429	0,085	3	0,255
Aluminio total	22	7	3,143	0,078	3	0,234
Cobre total	28	9	3,111	0,077	4	0,308
Zinc total	24	8	3	0,074	4	0,296
Manganeso total	20	8	2,5	0,062	2	0,124

2,46

Otoño

Parámetro	Importancia inicial	N° de expertos que seleccionaron el parámetro	Promedio	Importancia final (Pi)	Parámetro normalizado	peso ponderado del parámetro
pH	40	10	4	0,099	2	0,198
Conductividad eléctrica	38	10	3,8	0,094	1	0,094
Oxígeno disuelto	36	10	3,6	0,089	1	0,089
Arsénico total	36	10	3,6	0,089	3	0,267
Sulfato	31	9	3,444	0,085	1	0,085
Mercurio total	30	9	3,333	0,083	3	0,249
Nitrito	30	9	3,333	0,083	1	0,083
Hierro total	24	7	3,429	0,085	3	0,255
Aluminio total	22	7	3,143	0,078	3	0,234
Cobre total	28	9	3,111	0,077	4	0,308
Zinc total	24	8	3	0,074	4	0,296
Manganeso total	20	8	2,5	0,062	3	0,186

2,344

Estación de monitoreo RIO ILLAPEL EN EL PERAL

Verano

Parámetro	Importancia inicial	N° de expertos que seleccionaron el parámetro	Promedio	Importancia final (Pi)	Parámetro normalizado	peso ponderado del parámetro
pH	40	10	4	0,099	1	0,099
Conductividad eléctrica	38	10	3,8	0,094	4	0,376
Oxígeno disuelto	36	10	3,6	0,089	2	0,178
Arsénico total	36	10	3,6	0,089	3	0,267
Sulfato	31	9	3,444	0,085	1	0,085
Mercurio total	30	9	3,333	0,083	4	0,332
Nitrito	30	9	3,333	0,083	2	0,166
Hierro total	24	7	3,429	0,085	3	0,255
Aluminio total	22	7	3,143	0,078	3	0,234
Cobre total	28	9	3,111	0,077	3	0,231
Zinc total	24	8	3	0,074	2	0,148
Manganeso total	20	8	2,5	0,062	2	0,124

2,495

Primavera

Parámetro	Importancia inicial	N° de expertos que seleccionaron el parámetro	Promedio	Importancia final (Pi)	Parámetro normalizado	peso ponderado del parámetro
pH	40	10	4	0,099	2	0,198
Conductividad eléctrica	38	10	3,8	0,094	3	0,282
Oxígeno disuelto	36	10	3,6	0,089	3	0,267
Arsénico total	36	10	3,6	0,089	2	0,178
Sulfato	31	9	3,444	0,085	2	0,17
Mercurio total	30	9	3,333	0,083	4	0,332
Nitrito	30	9	3,333	0,083	2	0,166
Hierro total	24	7	3,429	0,085	3	0,255
Aluminio total	22	7	3,143	0,078	3	0,234
Cobre total	28	9	3,111	0,077	3	0,231
Zinc total	24	8	3	0,074	2	0,148
Manganeso total	20	8	2,5	0,062	2	0,124

2,585

Invierno

Parámetro	Importancia inicial	N° de expertos que seleccionaron el parámetro	Promedio	Importancia final (Pi)	Parámetro normalizado	peso ponderado del parámetro
pH	40	10	4	0,099	2	0,198
Conductividad eléctrica	38	10	3,8	0,094	4	0,376
Oxígeno disuelto	36	10	3,6	0,089	1	0,089
Arsénico total	36	10	3,6	0,089	2	0,178
Sulfato	31	9	3,444	0,085	2	0,17
Mercurio total	30	9	3,333	0,083	4	0,332
Nitrito	30	9	3,333	0,083	2	0,166
Hierro total	24	7	3,429	0,085	3	0,255
Aluminio total	22	7	3,143	0,078	3	0,234
Cobre total	28	9	3,111	0,077	3	0,231
Zinc total	24	8	3	0,074	2	0,148
Manganeso total	20	8	2,5	0,062	2	0,124

2,501

Otoño

Parámetro	Importancia inicial	N° de expertos que seleccionaron el parámetro	Promedio	Importancia final (Pi)	Parámetro normalizado	peso ponderado del parámetro
pH	40	10	4	0,099	2	0,198
Conductividad eléctrica	38	10	3,8	0,094	4	0,376
Oxígeno disuelto	36	10	3,6	0,089	1	0,089
Arsénico total	36	10	3,6	0,089	2	0,178
Sulfato	31	9	3,444	0,085	2	0,17
Mercurio total	30	9	3,333	0,083	4	0,332
Nitrito	30	9	3,333	0,083	3	0,249
Hierro total	24	7	3,429	0,085	3	0,255
Aluminio total	22	7	3,143	0,078	3	0,234
Cobre total	28	9	3,111	0,077	3	0,231
Zinc total	24	8	3	0,074	2	0,148
Manganeso total	20	8	2,5	0,062	3	0,186

2,646

Estación de monitoreo RIO ILLAPEL EN LAS BURRAS

Verano

Parámetro	Importancia inicial	N° de expertos que seleccionaron el parámetro	Promedio	Importancia final (Pi)	Parámetro normalizado	peso ponderado del parámetro
pH	40	10	4	0,099	1	0,099
Conductividad eléctrica	38	10	3,8	0,094	1	0,094
Oxígeno disuelto	36	10	3,6	0,089	3	0,267
Arsénico total	36	10	3,6	0,089	1	0,089
Sulfato	31	9	3,444	0,085	1	0,085
Mercurio total	30	9	3,333	0,083	4	0,332
Nitrito	30	9	3,333	0,083	2	0,166
Hierro total	24	7	3,429	0,085	3	0,255
Aluminio total	22	7	3,143	0,078	3	0,234
Cobre total	28	9	3,111	0,077	3	0,231
Zinc total	24	8	3	0,074	2	0,148
Manganeso total	20	8	2,5	0,062	2	0,124

2,124

Primavera

Parámetro	Importancia inicial	N° de expertos que seleccionaron el parámetro	Promedio	Importancia final (Pi)	Parámetro normalizado	peso ponderado del parámetro
pH	40	10	4	0,099	1	0,099
Conductividad eléctrica	38	10	3,8	0,094	1	0,094
Oxígeno disuelto	36	10	3,6	0,089	3	0,267
Arsénico total	36	10	3,6	0,089	2	0,178
Sulfato	31	9	3,444	0,085	1	0,085
Mercurio total	30	9	3,333	0,083	4	0,332
Nitrito	30	9	3,333	0,083	2	0,166
Hierro total	24	7	3,429	0,085	3	0,255
Aluminio total	22	7	3,143	0,078	4	0,312
Cobre total	28	9	3,111	0,077	3	0,231
Zinc total	24	8	3	0,074	2	0,148
Manganeso total	20	8	2,5	0,062	1	0,062

2,229

Invierno

Parámetro	Importancia inicial	N° de expertos que seleccionaron el parámetro	Promedio	Importancia final (Pi)	Parámetro normalizado	peso ponderado del parámetro
pH	40	10	4	0,099	1	0,099
Conductividad eléctrica	38	10	3,8	0,094	1	0,094
Oxígeno disuelto	36	10	3,6	0,089	1	0,089
Arsénico total	36	10	3,6	0,089	1	0,089
Sulfato	31	9	3,444	0,085	1	0,085
Mercurio total	30	9	3,333	0,083	4	0,332
Nitrito	30	9	3,333	0,083	2	0,166
Hierro total	24	7	3,429	0,085	3	0,255
Aluminio total	22	7	3,143	0,078	3	0,234
Cobre total	28	9	3,111	0,077	3	0,231
Zinc total	24	8	3	0,074	2	0,148
Manganeso total	20	8	2,5	0,062	2	0,124

1,946

Otoño

Parámetro	Importancia inicial	N° de expertos que seleccionaron el parámetro	Promedio	Importancia final (Pi)	Parámetro normalizado	peso ponderado del parámetro
pH	40	10	4	0,099	1	0,099
Conductividad eléctrica	38	10	3,8	0,094	1	0,094
Oxígeno disuelto	36	10	3,6	0,089	1	0,089
Arsénico total	36	10	3,6	0,089	2	0,178
Sulfato	31	9	3,444	0,085	1	0,085
Mercurio total	30	9	3,333	0,083	4	0,332
Nitrito	30	9	3,333	0,083	2	0,166
Hierro total	24	7	3,429	0,085	3	0,255
Aluminio total	22	7	3,143	0,078	3	0,234
Cobre total	28	9	3,111	0,077	3	0,231
Zinc total	24	8	3	0,074	2	0,148
Manganeso total	20	8	2,5	0,062	3	0,186

2,097