



**UNIVERSIDAD ANDINA DEL CUSCO**  
**ESCUELA DE POSGRADO**  
**DOCTORADO EN MEDIO AMBIENTE Y DESARROLLO**  
**SOSTENIBLE**



**TESIS**

---

---

**“FORMULACIÓN DE UN ÍNDICE DE CALIDAD DE AGUA (ICA) PARA UN RÍO  
ALTOANDINO A TRAVÉS DEL MÉTODO DELPHI: CASO RÍO DE LA  
MICROCUENCA DEL CHUMBAO, ANDAHUAYLAS, APURÍMAC, PERÚ, 2019”**

---

---

PARA OPTAR EL GRADO ACADÉMICO DE  
DOCTOR EN MEDIO AMBIENTE Y  
DESARROLLO SOSTENIBLE

**Presentado por:**

David Choque Quispe

**Asesor:**

Dra. Mery Luz Masco Arriola

**CUSCO - PERÚ**

**2020**

## RESUMEN

Los ríos al atravesar por una zona urbana pueden transportar aguas residuales municipales, industriales y escorrentía agrícola, tornándose vulnerables a la contaminación antrópica, es así que conocer la calidad del agua superficial es de suma importancia para su conservación. El objetivo de la investigación fue formular un índice de calidad de agua (ICA) para un río altoandino a través del método Delphi. El estudio se realizó tomando como caso el río de la microcuenca del Chumbao, Andahuaylas, Apurímac, Perú, a lo largo de 40.5 Km que abarca 143 km<sup>2</sup> de cuenca desde 4081 a 2500 m.s.n.m., considerándose 02 puntos lénticos y 08 puntos lóticos. La aplicación del método Delphi estuvo a cargo de 07 expertos en el tema de recursos hídricos altoandinos, quienes evaluaron 43 parámetros físicos, químicos, biológicos y microbiológicos de calidad de agua. Las muestras de agua fueron analizadas a través de la metodología APHA; la formulación del ICA<sub>Altoandino</sub> fue calculada como una ecuación ponderada, cuyo rango de calidad se basó en la escala de la NSF (2006). A través de la metodología Delphi fueron seleccionados 20 parámetros clasificados en Físicoquímicos: Temperatura, Turbiedad, STD, pH, Conductividad, Dureza, Color, Nitratos, Nitritos, Amonio y Fosfatos; Metales: Pb, Cr, Zn y Fe; Materia orgánica: DQO, OD, DBO, Coliformes Termotolerantes y Coliformes Totales; así los valores de los parámetros clasificados varían a lo largo del río Chumbao, siendo que los niveles de estos son alterados considerablemente conforme atraviesa el río zonas urbanas, agrícolas y ganaderas. En cuanto a la construcción del ICA<sub>Altoandino</sub>, se consideró tres subíndices de calidad: Calidad fisicoquímica ( $Q_{\text{Físicoquímico}}$ ), Calidad por metales ( $Q_{\text{Metales}}$ ) y Calidad por materia orgánica ( $Q_{\text{Materia orgánica}}$ ), a los cuales se les atribuyo ponderaciones de 0.3, 0.3 y 0.4 respectivamente, debido a la importancia e impacto que generan sobre el río Chumbao, en ese sentido los niveles de calidad del agua del río, se encuentran entre Excelente a Media para la temporada de estiaje, y para lluvias (avenidas) entre Excelente a Mala.

**Palabras clave:** Método Delphi, río altoandino, fisicoquímicos, metales, materia orgánica, ICA.

**ABSTRAC**

The rivers crossing an urban area can transport municipal, industrial wastewater and agricultural runoff, becoming vulnerable to anthropic contamination, so knowing the quality of surface water is of utmost importance for its conservation. The objective of the research was to formulate a water quality index (WQI) for a high andean river through the Delphi method. The study was carried out taking as a case the river of the microbasin of Chumbao, Andahuaylas, Apurímac, Peru, along 40.5 km that covers 143 km<sup>2</sup> of basin from 4081 to 2500 m.a.s.l., considering 02 slow points and 08 lotic points. The application of the Delphi method was carried out by 07 experts in the subject of high Andean water resources, who evaluated 43 physical, chemical, biological and microbiological parameters of water quality. Water samples were analyzed through the APHA methodology; the WQI<sub>high andean</sub> formulation was calculated as a weighted equation, whose quality range was based on the NSF scale (2006). Through the Delphi methodology, 20 parameters were selected, classified as Physicochemical: Temperature, Turbidity, STD, pH, Conductivity, Hardness, Color, Nitrates, Nitrites, Ammonium and Phosphates; Metals: Pb, Cr, Zn and Fe; Organic matter: COD, OD, BOD, Thermotolerant Coliforms and Total Coliforms; thus the values of the classified parameters vary along the Chumbao River, since their levels are altered considerably as urban, agricultural and livestock areas cross the river. Regarding the construction of the WQI<sub>high andean</sub>, three quality sub-indices were considered: Physicochemical quality ( $Q_{\text{Physicochemical}}$ ), Quality by metals ( $Q_{\text{Metals}}$ ) and Quality by organic matter ( $Q_{\text{Organic matter}}$ ), to which weights were attributed to 0.3, 0.3 and 0.4 respectively, due to the importance and impact they generate on the Chumbao river, in that sense the water quality levels of the river, are between Excellent to Average for the dry season, and for rains between Excellent to Bad.

**Keywords:** Delphi method, high andean river, physicochemical, metals, organic matter, WQI.