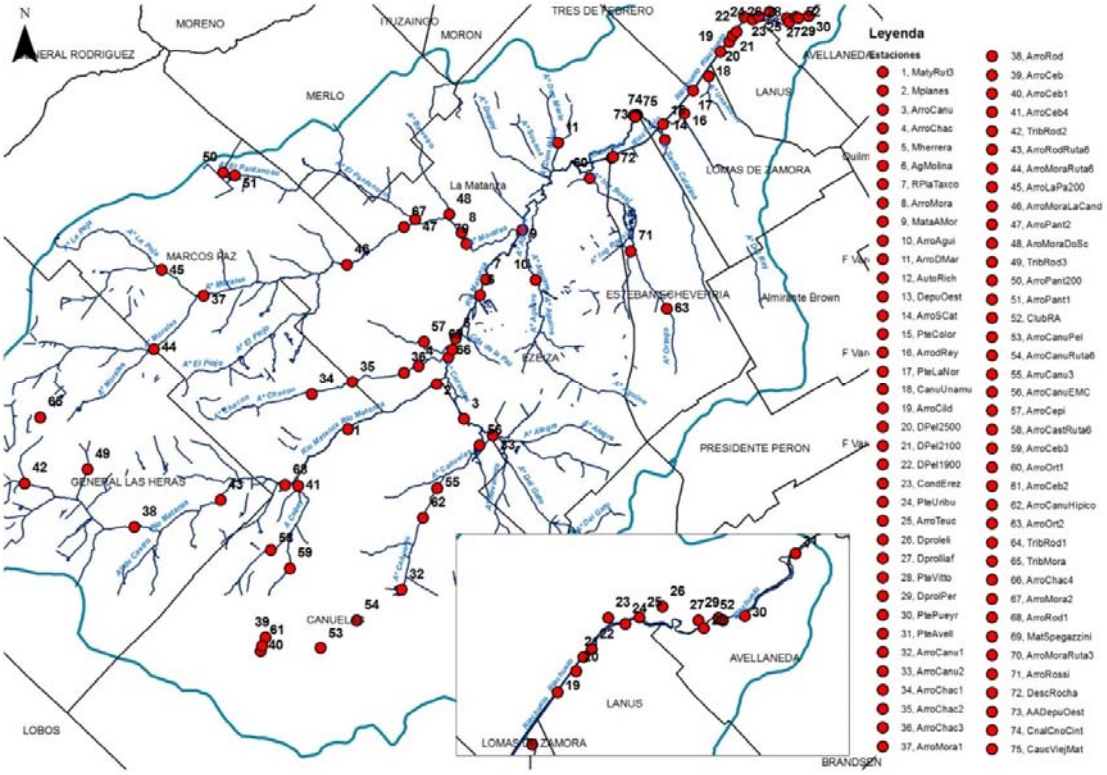
PROYECTO PARA LA EVALUACIÓN DE INDICADORES DE CALIDAD DE VIDA E ÍNDICES DE CALIDAD DE AGUAS EN LA CUENCA MATANZA RIACHUELO

CONVENIO ESPECÍFICO Nº1 - ACUMAR – UNLP

Informe Final: Índice de Calidad de Agua Superficial



UIDET Gestión Ambiental

Dpto. de Hidráulica - Fac. de Ingeniería - UNLP

Marzo de 2017

AUTORIDADES
UNIVERSIDAD NACIONAL DE LA PLATA

UNIVERSIDAD NACIONAL DE LA PLATA

PRESIDENTE: ***LIC. RAÚL ANÍBAL PERDOMO***

FACULTAD DE INGENIERÍA

DECANO: ***DR. ING. MARCOS ACTIS***

ÁREA DEPARTAMENTAL HIDRÁULICA

DIRECTOR DE CARRERA Y EJECUTIVO:

ING. SERGIO LISCIA

UIDET GESTIÓN AMBIENTAL

COORDINADOR: ***ING. MARCOS CIPPONERI***

EQUIPO DE TRABAJO

DIRECCIÓN

Ing. Hidráulico y Civil Marcos Cipponeri

ÍNDICE DE CALIDAD DE AGUA

Lic. en Biología y Especialista en Ambiente y Patología Ambiental Mónica Laura Salvioli

Magister en Ciencias del Territorio y Lic. en Biología Verónica Guerrero Borges

ÍNDICE DE CALIDAD DE VIDA

Dra. en Ciencias Sociales María Laura Henry

Lic. en Economía Valentina Bonifacio

SISTEMAS DE INFORMACIÓN GEOGRÁFICA Y BASES DE DATOS

Ing. Civil Jessica Biagioni

Sr. Guillermo Larrivey

COLABORADORES

Estudiante avanzada Ingeniería Hidráulica Fiorella Di Lucente

Estudiante avanzada Letras Laura Mordasini

MANTENIMIENTO DE SISTEMAS INFORMÁTICOS

Sr. Gustavo Monópoli

Índice de Calidad del Agua Superficial para la Cuenca Hídrica Matanza Riachuelo

Informe Final

Índice

1. Resumen Ejecutivo 11

2. Introducción 14

3. Objetivos del Índice de Calidad del Agua Superficial 18

4. Tipología de Índices Recomendados 19

5. Desarrollo del Índice de Calidad del Agua Superficial para la CHMR (ICAsup – CHMR) 24

5.1. Selección de Parámetros 24

5.1.1. Criterios de Selección de Parámetros 25

5.1.2. Parámetros Seleccionados 26

5.2. Homogeneización de Parámetros 31

5.2.1. Metodología 31

5.2.2. Propuesta de curvas y funciones de calidad desarrolladas *ad hoc* 35

5.3. Ponderación y Agregación de Parámetros 51

5.3.1. Metodología 55

5.3.2. Proceso de agregación 55

5.3.2.1. Parámetros por dimensión 55

5.3.2.2. Ponderación de las dimensiones 57

5.3.2.3. Desarrollo de escala de clases o categorías de calidad del agua superficial 67

5.3.2.4. Desarrollo de fórmula de agregación 68

5.3.2.5. Desarrollo de fórmula del ICAsup - CHMR 70

6. Aplicación del ICAsup - CHMR 72

7. Comparación del ICAsup – CHMR con el Índice de la Fundación Nacional de Saneamiento (INSF) 83

8. Estrategia de cumplimiento de metas en el marco del ICAsup - CHMR 86

9. Comparación del ICAsup – CHMR con índices bióticos 88

10. Corrección del ICAsup – CHMR en función de la medición de caudales 97

11. Desarrollo de un Índice de Calidad Multidimensional para la CHMR (ICM - CHMR) 102

12. Taller de Revisión del ICAsup – CHMR 107
12.1. Introducción 107
12.2. Metodología 108
12.2.1. Selección de los participantes 108
12.2.2. Aspectos generales sobre la organización del taller y su funcionamiento 111
12.3. Actividades posteriores al taller 113
12.3.1. Sistematización de las opiniones, datos y sugerencias 113
12.3.2. Cambios introducidos al ICAsup - CHMR, post Taller 120
12.4. Formulario de consulta 120
13. Conclusiones y Recomendaciones 121
14. Referencias Bibliográficas 123
Anexos 136
1. Desarrollo de Criterios de Selección de Parámetros 136
2. Curvas y/o funciones de calidad antecedente 165
3. Registros de calidad del agua de cursos superficiales correspondientes a la vertiente al Río de la Plata (Cuenca del Plata) 189
4. Registros de calidad del agua de la BDH de la CHMR 194
5. Valores de referencia de calidad del agua superficial y efluentes 195
6. Cuestionario - Taller de Validación del Índice de Calidad de Agua Superficial elaborado para la Cuenca Hídrica Matanza Riachuelo 220

Índice de Tablas

Tabla 1: Parámetros seleccionados para el diseño del ICAsup - CHMR 27
Tabla 2: Valores asociados a función de transformación – OD % Sat 37
Tabla 3: Valores asociados a función de transformación – OD concentración 38
Tabla 4: Valores asociados a función de transformación - DBO_5 39
Tabla 5: Valores asociados a función de transformación - DQO 40
Tabla 6: Valores asociados a función de transformación – N-NH_4 41
Tabla 7: Valores asociados a función de transformación – P total 42
Tabla 8: Valores asociados a función de transformación – *E. coli* – NMP/100ml 43
Tabla 9: Valores asociados a función de transformación – *E. coli* - UFC/100ml 44
Tabla 10: Valores asociados a función de transformación - SST 45
Tabla 11: Valores asociados a función de transformación - CE 46
Tabla 12: Valores asociados a función de transformación - pH 47
Tabla 13: Valores asociados a función de transformación – Cr total 48
Tabla 14: Valores asociados a función de transformación – Pb total 49
Tabla 15: Valores asociados a función de transformación - HCT 50

Tabla 16: Fórmulas de agregación de subíndices 52
Tabla 17: Dimensiones y parámetros 57
Tabla 18: Ejemplos de pesos relativos establecidos en ICAs antecedentes 58
Tabla 19: Escala de importancia 61
Tabla 20: Índice Aleatorio de Saaty 63
Tabla 21: Relación de Consistencia 66
Tabla 22: Relación de Consistencia 66
Tabla 23: Escala de parámetros y escala final del ICAsup - CHMR 68
Tabla 24: Clasificación de la calidad del agua para el ICAsup - CHMR 68
Tabla 25: Estadísticos generales del ICA sup - CHMR por estación (2008 – 2015) 73
Tabla 26: Calidad del agua de las estaciones por fecha en orden creciente de ICAsup (solo las que presentaron valores de clase media de calidad) 76
Tabla 27: Porcentaje y cantidad de muestras por categoría/clase de calidad del agua 77
Tabla 28: Estadísticos generales del INSF por estación (2008 – 2015) 84
Tabla 29: Índice de Diatomeas Pampeano y su relación con la calidad del agua y grado de disturbio antrópico 90
Tabla 30: Caracterización de las clases de calidad del agua basadas en amonio, DBO_5 y fosfatos (mg/l) como descriptores de contaminación orgánica y eutrofización 90
Tabla 31: Escala del IBPamp 91
Tabla 32: Estadísticos del índice de Calidad de Agua Superficial (ICAsup – CHMR) para las 25 Estaciones registradas entre 2008 a 2016 91
Tabla 33: Estadísticos del Índice de Diatomeas Pampeano (IDP) en las 25 estaciones desde 2008 a 2016 92
Tabla 34: Estadísticos del Índice Biótico para Ríos pampeanos (IBPamp) en las 25 estaciones desde 2008 a 2016 93
Tabla 35: Caudales por estaciones entre las fechas 2008-20016 (para las estaciones con valores de ICAsup e INSF) 99
Tabla 36: Lista de asistentes al Taller 110
Tabla 37: Cronograma del Taller 112

Índice de Figuras

Figura 1: Flujograma de concepción del ICAsup para la CHMR 22
Figura 2: Representación gráfica del análisis de cumplimiento de metas en el marco del ICAsup - CHMR 23
Figura 3: Curva de calidad de OD % Sat 37
Figura 4: Curva de calidad de OD - Concentración 38
Figura 5: Curva de calidad de DBO_5 39
Figura 6: Curva de calidad de DQO 40
Figura 7: Curva de calidad de N-NH_4 41
Figura 8: Curva de calidad de P total 42
Figura 9: Curva de calidad de *E. coli* NMP/100ml 43
Figura 10: Curva de calidad de E. coli UFC/100ml 44

Figura 11: Curva de calidad de SST 45
Figura 12: Curva de calidad de CE 46
Figura 13: Curva de calidad de pH 47
Figura 14: Curva de calidad de Cr total 48
Figura 15: Curva de calidad de Pb total 49
Figura 16: Curva de calidad de HCT 50
Figura 17: Resultados de la agregación de las dimensiones con diferentes a la expresión matemática 69
Figura 18: Captura de pantalla de Excel elaborado para cálculo del ICAsup - CHMR 72
Figura 19: Valores del ICA sup - CHMR por estación 74
Figura 20: Representación gráfica de valores promedio del ICAsup – CHMR 75
Figura 21: Promedio de los valores de ICAsup - CHMR por estación, para todas las fechas en orden creciente 77
Figura 22: Mapa con contribución de dimensiones al ICAsup – CHMR para una fecha 78
Figura 23: Mapa con valores de ICAsup - CHMR para una fecha 79
Figura 24: Mapa con contribución de dimensiones al ICAsup – CHMR para una fecha - primavera 2010 80
Figura 25: Mapa con valores de ICAsup - CHMR para una fecha - primavera 2010 80
Figura 26: Mapa con contribución de dimensiones al ICAsup – CHMR para una fecha - primavera 2011 80
Figura 27: Mapa con valores de ICAsup - CHMR para una fecha - primavera 2011 80
Figura 28: Mapa con contribución de dimensiones al ICAsup – CHMR para una fecha - primavera 2013 81
Figura 29: Mapa con valores de ICAsup - CHMR para una fecha - primavera 2013 81
Figura 30: Mapa con contribución de dimensiones al ICAsup – CHMR para una fecha - primavera 2014 81
Figura 31: Mapa con valores de ICAsup - CHMR para una fecha - primavera 2014 81
Figura 32: Mapa con contribución de dimensiones al ICAsup – CHMR para una fecha - primavera 2015 82
Figura 33: Mapa con valores de ICAsup - CHMR para una fecha - primavera 2015 82
Figura 34: Mapa con valores del ICAsup - CHMR - primavera 2010, 2011, 2013, 2014 y 2015 .. 83
Figura 35: Valores de media y error estándar del INSF para cada estación (diferentes registros entre los años 2008-2015) 85
Figura 36: Gráfico bi-variado del ICAsup y el INSF 86
Figura 37: ICAsup – CHMR Ejemplo de metas: meta 1 - 25% y meta 2 - 50% 88
Figura 38: Valores medios y desvíos estándar del índice de Calidad de Agua Superficial (ICAsup - CHMR) (2008-2016) 94
Figura 39: Valores medios y desvíos estándar del índice de Diatomeas Pampeano (IDP) (2008-2016) 94
Figura 40: Valores medios y desvíos estándar del índice Biótico para Ríos Pampeanos (IBPamp) (2008-2016) 95
Figura 41: Valores medios de los índices expresados de 0 a 1 (0 peor condición y 1 mejor condición) 95
Figura 42: Representación espacial del ICAsup – CHMR, el IDP y el IBPamp 96

Figura 43: Correlación entre ICAsup – CHMR e IBPamp 97
Figura 44: Correlación entre ICAsup – CHMR e IDP 97
Figura 45: Caudales para todas las estaciones monitoreadas ordenadas desde aguas arriba hacia aguas abajo 100
Figura 46: Gráfico bi-variado de caudales e índices de calidad de agua 101
Figura 47: Modelo conceptual de Calidad Integrando los Índices Biológicos y el ICAsup - CHMR 103
Figura 48: Grafica de los 138 registros de las estaciones de la CHMR dentro del diagrama de las regiones de calidad en función del ICAsup y IBPamp 106
Figura 49: Grafica de 138 registros de las estaciones de la CHMR dentro del diagrama de calidad para el ICAsup y el IDP (se grafica la inversa de IDP) 107

Índice de Ecuaciones

Ecuación 1: Matriz recíproca de comparaciones de a pares 62
Ecuación 2: Máximo valor propio de la matriz recíproca 63
Ecuación 3: Índice de consistencia 63
Ecuación 4: Relación de consistencia 63
Ecuación 5: Agregación parcial del ICAsup – CHMR - cuatro dimensiones 70
Ecuación 6: Expresión matemática del ICAsup - CHMR 71

Índice de Anexos:

Índice de Tablas

Tabla A. 1: Parámetros vinculados a usos del suelo 136
Tabla A. 2: Parámetros asociados a naturaleza de afectación 137
Tabla A. 3: Parámetros incluidos en Índices de Calidad del Agua superficial antecedentes ... 138
Tabla A. 4: Contribución de cada variable al factor. Valores de correlación de la variable. Verano 140
Tabla A. 5: Contribución de cada variable al factor. Valores de correlación de la variable. Otoño 140
Tabla A. 6: Contribución de cada variable al factor. Valores de correlación de la variable. Invierno 141
Tabla A. 7: Contribución de cada variable al factor. Valores de correlación de la variable. Primavera 141
Tabla A. 8: Estadísticos generales por parámetro o variable (unidades indicadas en los gráficos) 161
Tabla A. 9: Ordenamiento de las variables según cantidad de muestras analizadas (N) analizadas en general para todas las estaciones y fechas 162
Tabla A. 10: Criterios de zonas de uso para la CHMR 163
Tabla A. 11: Criterios de zonas de uso para parámetros complementarios 163

Tabla A. 12: Resolución 003/2009 – Anexo I – Uso IV Agua Apta para actividades recreativas pasivas, sin contacto con el agua, para la CHMR 164
Tabla A. 13: Parámetros de ríos y arroyos de llanura - Vertiente Río de la Plata - Conductividad Eléctrica, Sólidos Suspendidos Totales y Fósforo 189
Tabla A. 14: Valores estadísticos de los parámetros de la CHMR 194
Tabla A. 15: Concentraciones de referencia de Oxígeno Disuelto 195
Tabla A. 16: Concentraciones de referencia de DBO_5 198
Tabla A. 17: Concentraciones de referencia de DQO 201
Tabla A. 18: Concentraciones de referencia de Fósforo total 203
Tabla A. 19: Concentraciones de referencia de Nitrógeno amoniacal 206
Tabla A. 20: Concentraciones de referencia de Sólidos Suspendidos Totales 208
Tabla A. 21: Concentraciones de referencia de pH 211
Tabla A. 22: Concentraciones de referencia de *Escherichia coli* 213
Tabla A. 23: Concentraciones de referencia de Cromo total 215
Tabla A. 24: Concentraciones de referencia de Plomo total 217
Tabla A. 25: Concentraciones de referencia de Hidrocarburos Totales 219

Índice de Figuras

Figura A. 1: Separación de los parámetros por estación del año entre factor 1 y 2 142
Figura A. 2: Estaciones de muestreo en la CHMR 143
Figura A. 3: Valores de OD por sub-cuencas/áreas de la CHMR 144
Figura A. 4: Valores de DBO_5 por sub-cuencas/áreas de la CHMR 144
Figura A. 5: Valores de DQO por sub-cuencas/áreas de la CHMR 145
Figura A. 6: Valores de Coliformes fecales, totales y *E. coli* por sub-cuencas/áreas de la CHMR 146
Figura A. 7: Dureza Total por sub-cuencas/áreas de la CHMR 147
Figura A. 8: Valores de Fosfato y Fósforo total por sub-cuencas/áreas de la CHMR 148
Figura A. 9: Relación entre el Fósforo total y el Fósforo ortofosfato 148
Figura A. 10: Valores de Compuestos de Nitrógeno por sub-cuencas/áreas de la CHMR (Nitrato, Nitrito, N de Amoníaco, N de Kjeldahl, N Total) 151
Figura A. 11: Relación entre N de Amoníaco, N de Kjeldahl y N Total 151
Figura A. 12: Valores de Sólidos Disueltos por sub-cuencas/áreas de la CHMR 152
Figura A. 13: Valores de Sólidos Suspendidos Totales por sub-cuencas/áreas de la CHMR 152
Figura A. 14: Valores de Sólidos Totales por sub-cuencas/áreas de la CHMR 153
Figura A. 15: Valores de Turbidez por sub-cuencas/áreas de la CHMR 153
Figura A. 16: Valores de Conductividad eléctrica por sub-cuencas/áreas de la CHMR 154
Figura A. 17: Detergentes por sub-cuencas/áreas de la CHMR 154
Figura A. 18: Valores de sustancias solubles en éter etílico por sub-cuencas/áreas de la CHMR 155
Figura A. 19: Valores de Sulfatos y Sulfuros por sub-cuencas/áreas de la CHMR 156
Figura A. 20: Valores de Hidrocarburos totales por sub-cuencas/áreas de la CHMR 156
Figura A. 21: Valores de Cobre por sub-cuencas/áreas de la CHMR 157
Figura A. 22: Valores de Cadmio por subcuenca/área de la CHMR 157

Figura A. 23: Valores de Arsénico por sub-cuencas/áreas de la CHMR 158
Figura A. 24: Valores de Cromo por sub-cuencas/áreas de la CHMR 158
Figura A. 25: Valores de Plomo por sub-cuencas/áreas de la CHMR..... 159
Figura A. 26: Valores de Níquel por sub-cuencas/áreas de la CHMR..... 159
Figura A. 27: Valores de Cianuro por sub-cuencas/áreas de la CHMR..... 160
Figura A. 28: Curvas y funciones de calidad – Oxígeno disuelto 166
Figura A. 29: Curvas y funciones de calidad – DBO_5..... 169
Figura A. 30: Curvas y funciones de calidad – DQO 171
Figura A. 31: Curvas y funciones de calidad – Fósforo total 174
Figura A. 32: Curvas y funciones de calidad – Nitrógeno amoniacal 175
Figura A. 33: Curvas y funciones de calidad – Sólidos Suspendidos Totales..... 177
Figura A. 34: Curvas y funciones de calidad – Conductividad eléctrica 179
Figura A. 35: Curvas y funciones de calidad *Escherichia coli* (se identificaron mayoritariamente para coliformes fecales y totales) 183
Figura A. 36: Curvas y funciones de calidad - pH 186
Figura A. 37: Curvas de calidad – Cromo total 187
Figura A. 38: Curvas de calidad – Plomo total..... 188

1. Resumen Ejecutivo

El presente informe final contiene el desarrollo metodológico utilizado para la elaboración de un índice de calidad del agua superficial específico para la Cuenca Hídrica Matanza Riachuelo (denominado ICAsup - CHMR) y los resultados de su aplicación. Este instrumento ha sido elaborado en el marco del "Proyecto para la Evaluación de Indicadores de Calidad de Vida e Índices de Calidad de Aguas en la Cuenca Matanza Riachuelo" correspondiente al Convenio Específico Nº 1 celebrado en el año 2014 entre la ACUMAR y la Universidad Nacional de La Plata (UNLP), representada esta última por la Unidad de Investigación, Desarrollo, Extensión y Transferencia Gestión Ambiental (UIDET GA), Facultad de Ingeniería.

Previo al diseño del índice, se llevó a cabo un relevamiento y análisis de índices de calidad del agua superficial (ICAs) antecedentes y un análisis estadístico de la Base de Datos Hidrológica (BDH) de la CHMR sobre calidad del agua superficial entre los años 2008 – 2015; así como la aplicación de ICAs antecedentes seleccionados, para los valores registrados en esta BDH.

El diseño del ICAsup – CHMR incluyó en primer lugar la secuencia de tres pasos fundamentales: la selección de parámetros, su homogeneización (proceso de transformación de valores de cada parámetro a una escala adimensional de calidad del agua superficial) y su agregación o integración final mediante una fórmula o expresión matemática.

En relación al primer paso, se acordó con los Técnicos del Área de Calidad Ambiental de ACUMAR que el ICAsup - CHMR esté integrado por los siguientes parámetros: Oxígeno Disuelto (OD), Demanda Bioquímica de Oxígeno a 5 días (DBO_5), Demanda Química de Oxígeno (DQO), Fósforo Total (P total), Nitrógeno Amoniacal ($N\text{-}NH_4$), Sólidos Suspendidos Totales (SST), Conductividad Eléctrica (CE), *Escherichia coli*, pH, Cromo Total (Cr total) Plomo Total (Pb total) e Hidrocarburos Totales (HCT). Esta selección se basó en el análisis de los siguientes criterios: usos del suelo dominantes en la cuenca, parámetros indicadores de fuentes contaminantes, parámetros correspondientes a diferente naturaleza de afectación, parámetros utilizados en ICAs antecedentes analizados, parámetros más medidos en la CHMR y su

análisis estadístico y parámetros establecidos en la normativa de referencia de ACUMAR.

Siguiendo con las fases metodológicas del proceso de diseño del índice, la homogeneización de los parámetros seleccionados se llevó a cabo mediante la construcción *ad hoc* de curvas y funciones de transformación de calidad ambiental, previo a su agregación final. Con este fin, en primer lugar se realizó un análisis de antecedentes sobre curvas y/o funciones de transformación de calidad del agua, registros de calidad del agua de cursos superficiales pertenecientes a la vertiente al Río de la Plata, registros de calidad del agua de la Base de Datos Hidrológica (BDH) de la CHMR, valores de referencia establecidos en normativa regional (CHMR), provincial, nacional e internacional, valores de referencia según tipología de efluentes y valores de referencia indicadores de diferentes condiciones de calidad ecosistémica. Posteriormente, esta información de base fue utilizada para la construcción *ad hoc* de las escalas, las curvas y funciones de calidad del agua superficial, propias y elaboradas a los fines del desarrollo del ICAsup - CHMR. Las curvas se desarrollaron, para cada uno de los parámetros seleccionados, asignando valores de calidad de agua (Q) a diferentes concentraciones o valores, teniendo como referente los antecedentes indicados anteriormente, en una escala empírica de 100 (mejor calidad) a 0 (peor calidad). A partir de la relación entre valores de Q/concentración se construyeron las funciones de las curvas ajustándolas con modelos matemáticos.

El proceso de agregación de los parámetros seleccionados para incluir en el ICAsup - CHMR se desarrolló de la siguiente manera: en primer lugar, los parámetros fueron agrupados en cinco dimensiones de acuerdo con su representatividad respecto de naturaleza o tipos de afectación del recurso hídrico superficial: 1. carga orgánica, 2. riesgo sanitario, 3. compuestos nitrogenados y fosforados, 4. características físicas y sustancias disueltas, y 5. toxicidad. Seguidamente, dichas dimensiones fueron ponderadas mediante una metodología diseñada *ah hoc* que define criterios para aplicar prioridades, en el marco del método denominado Proceso Analítico Jerárquico (también conocido como AHP por sus siglas en inglés “Analytic Hierarchy Process”), introducido por Tomas Saaty en 1980.

Posteriormente, se realizó la agregación ponderada de las dimensiones mediante la aplicación de expresiones o fórmulas matemáticas simples, de amplio uso en el campo de los índices de calidad del agua superficial, y de este modo proceder a seleccionar la que más se adaptó a la realidad de la cuenca analizada. Como resultado de este análisis se seleccionó la agregación por sumatoria ponderada para cuatro dimensiones, con un ajuste de corrección final correspondiente a la dimensión toxicidad.

Como resultado de la aplicación del ICAsup – CHMR, se obtuvieron valores para la cuenca (respecto de las estaciones que pudieron utilizarse), entre los rangos de calidad muy malo y malo. Pocas estaciones reflejaron valores medios. No se presentaron valores buenos y muy buenos.

Asumiendo un nivel de deterioro de base del recurso hídrico de la Cuenca Matanza Riachuelo, y por lo tanto un valor final del ICAsup - CHMR asociado a un valor objetivo, real (y no a un valor ideal de máxima protección ecosistémica), que se corresponde con el grado de máxima calidad del agua que se considera puede ser alcanzado primariamente en la cuenca bajo la situación de intervención de base, se procedió a desarrollar una estrategia de análisis de cumplimiento de metas en el marco del ICAsup – CHMR, con el objeto de obtener resultados acordes con metas y objetivos de calidad que se puedan establecer progresivamente en la CHMR.

Se efectuó un análisis de validación del ICAsup – CHMR mediante su comparación con dos paquetes de índices biológicos desarrollados por el Instituto de Limnología "Dr. Raúl Ringuelet" de la UNLP (ILPLA) y aplicados en la CHMR: el Índice de Diatomeas Pampeano (IDP) y el Índice Biótico para Ríos Pampeanos (IBPamp). Los resultados obtenidos permitieron validar el ICAsup - CHMR, ya que los tres índices presentan resultados coherentes y con valores dominantes para la cuenca entre muy malo a malo (ICAsup – CHMR e IDP) o contaminación fuerte y muy fuerte (IBPamp); lo cual demuestra consistencia entre los tres índices.

Se parte de la suposición de que el ICAsup - CHMR ha sido desarrollado asumiendo que es representativo de la calidad del agua superficial de la estación de muestreo en el momento en que fue realizada la medición *in situ* junto con la toma de muestra, medida en relación a la subcuenca en particular

a la que pertenece o al curso principal del Río Matanza-Riachuelo. Por lo tanto, variaciones de caudal implicarían variaciones en los valores de los parámetros medidos. Con el objeto de evaluar la factibilidad de ajuste del índice a distintas condiciones de caudal del río, se efectuó un análisis de correlación entre caudales medios y el ICAsup – CHMR, obteniendo una muy baja correlación entre ambos. Por lo tanto, se desestimó la posibilidad de analizar el ajuste del índice ante variaciones de caudal.

Además, a solicitud de ACUMAR, se analizó la posibilidad de integrar el ICAsup – CHMR con los dos índices biológicos desarrollados y aplicados por el ILPLA en la CHMR (IDP e IBPamp), en un Índice de Calidad Multidimensional para la CHMR (ICM - CHMR). Para su desarrollo se implementó una metodología de agregación por reglas de decisión cualitativas de los tres índices. Por tratarse dichos índices de variables cualitativas de calidad discretizadas en categorías, fue posible construir diferentes reglas de decisión que permitieran obtener una categorización final de la calidad del ecosistema acuático de la CHMR, integrando los valores de cada índice.

Se destaca que este informe final se presenta a posteriori del "*Taller de Revisión del Índice de Calidad de Agua Superficial elaborado para la Cuenca Matanza Riachuelo*" realizado en la sede de ACUMAR en el mes de diciembre de 2016 con la participación de expertos y representantes de instituciones y organismos vinculados con la temática; esto permitió recoger opiniones y aportes para el desarrollo del ICAsup – CHMR y su integración final con índices biológicos.

2. Introducción

Este informe final presenta los resultados de la última etapa del convenio, correspondiente al proceso de desarrollo y aplicación de un índice de calidad del agua superficial (ICAsup) que contemple e incluya las particularidades relevantes de la Cuenca Hídrica Matanza Riachuelo (CHMR), al cual denominaremos ICAsup - CHMR. Se destaca que esta fase se implementa *a posteriori* del relevamiento y análisis de otros índices de calidad del agua superficial reconocidos en el ámbito internacional y local, y la aplicación de los mismos con datos generados en la CHMR, de aquellos seleccionados entre

técnicos del Área de Calidad Ambiental de ACUMAR y de la UIDET Gestión Ambiental (UNLP), para todos los valores registrados en la Base de Datos Hidrológica (BDH) de la CHMR sobre calidad del agua superficial entre los años 2008 – 2015.

Los resultados obtenidos durante esta última etapa del convenio fueron sometidos a una instancia de revisión y ajuste a través de la planificación e implementación de un taller externo con participación de expertos y representantes de instituciones y organismos vinculados con el tema; por lo tanto, para este informe final se ha realizado una reflexión y análisis de las sugerencias, opiniones, aportes y consultas recabadas, con el objeto de evaluar la viabilidad y pertinencia de ser incorporados en el ICAsup – CHMR.

Los Índices de Calidad del Agua Superficial (ICAs) son herramientas de síntesis y de gestión útiles para conocer el estado del recurso hídrico superficial, analizar la evolución o tendencias espacio-temporales, eficiencia de programas de gestión en ejecución (ej.: control de contaminación industrial, saneamiento de basurales, limpieza de márgenes, servicios de infraestructura de agua potable y cloacas, entre otros) y comunicar de una manera sencilla y de fácil interpretación los resultados obtenidos. Por lo tanto, permiten verificar la aplicación y la efectividad de las acciones que se están ejecutando en la cuenca, en el marco del Plan Integral de Saneamiento Ambiental (PISA) de ACUMAR.

Los ICAs reducen en su construcción, la información correspondiente a una gran cantidad de parámetros físicos, químicos y microbiológicos a un solo valor numérico resultante de la agregación de determinados parámetros seleccionados en base a su representatividad respecto de la calidad del recurso hídrico evaluado, dadas las particularidades conocidas de este último. Existen antecedentes de ICAs que son representados a través de un conjunto de índices, produciendo de igual forma la mencionada reducción.

La calidad del agua superficial no es un concepto absoluto, es decir, su análisis se asocia a un uso concreto preestablecido o deseable, como puede ser protección de la vida acuática, riego, consumo humano con tratamiento convencional, recreación con o sin contacto directo, entre los principales. La calidad del agua superficial según su uso, se define en función de un conjunto

de variables o parámetros, así como de sus valores de aceptación o de rechazo, que son los indicadores de la calidad de la misma. Las exigencias y/o restricciones son diferentes de acuerdo al uso preestablecido o a establecer, y por lo tanto, los índices de calidad del agua, mejor dicho, la estructura y expresión matemática de los mismos, deben tener en cuenta esta condición.

Por lo tanto, los ICAs varían según la información que refleje el valor total resultante de la agregación de parámetros. Algunos ICAs, a través de la escala o rango establecido, aportan información general que no discrimina usos, o en todo caso, brinda una idea general de usos recomendados o restricciones concretas según el caso o categoría en la que se presenta el valor final del ICA; se trata de índices generales de calidad del agua superficial. Mientras que otros ICAs permiten claramente discriminar, para un único valor, la calidad del agua y su aptitud para diferentes usos; es decir, la escala o rango jerárquico cambia según el uso.

Existen otros índices de calidad del agua más específicos que no apuntan a usos sino a causas de deterioro o tipo de contaminación. Son índices independientes entre sí y complementarios, que brindan información individual respecto de diferentes situaciones, como por ejemplo, aportes de nutrientes responsables de la eutrofización, descargas de materia orgánica, contaminación por patógenos, presencia sustancias tóxicas (biocidas, hidrocarburos, etc.).

Los ICAs son instrumentos de síntesis y, en este sentido, por sus propias características estructurales y funcionales son simplificaciones de la realidad, condicionadas por la complejidad del sistema abordado, por lo que deben utilizarse con restricciones y en asociación-combinación con otras herramientas diagnósticas.

Son muchos los índices desarrollados a nivel internacional, varios de los cuales, si bien han sido elaborados de acuerdo con las condiciones particulares de los cuerpos de agua de la región considerada, se han aplicado ampliamente en el mundo por su flexibilidad y adaptación a diferentes situaciones. De todos modos, previo a su utilización, se requiere analizar las bases metodológicas de dichos índices, puesto que en general son elaborados

para problemáticas específicas que muchas veces no guardan relación con los recursos que se requiere analizar. Por otra parte, es indiscutible la necesidad de analizar los valores de calidad ambiental establecidos para la homogeneización de los parámetros utilizados en los ICAs antecedentes; esto es así debido a que para muchos parámetros los valores de calidad varían según las características de base propias o particulares de cada región, como es el caso de parámetros como los sólidos (totales, suspendidos o disueltos) y la conductividad eléctrica.

En este sentido, el desarrollo de un índice de calidad del agua superficial requiere la consideración y determinación de ciertos puntos o aspectos claves, entre los que se destacan: la definición de los objetivos o finalidad del valor de calidad del agua superficial a obtener mediante el índice, la determinación de los parámetros que formarán parte del mismo y fundamentalmente la estrategia de agregación de dichos parámetros, de modo que el resultado final obtenido, refleje la calidad del agua superficial en función de los valores obtenidos para cada uno de los parámetros que lo integran. En definitiva, una consideración y agregación de parámetros representativos que permita que el índice tenga la mayor representatividad posible.

En este informe final se desarrolla el proceso de diseño del ICAsup - CHMR, tal cual lo establecido en el presente convenio y su correspondiente plan de trabajo. Para esto se llevó a cabo un análisis detallado de antecedentes respecto de: curvas y/o funciones de transformación de calidad del agua de los parámetros seleccionados, registros de calidad del agua de cursos superficiales de la vertiente al Río de la Plata, registros de calidad del agua de la BDH de la CHMR, valores de referencia, estándares, niveles de referencia o asociados de calidad establecidos en normativa regional (CHMR), provincial, nacional e internacional, valores de referencia según tipología de efluentes y valores de referencia indicadores de diferentes condiciones de calidad ecosistémica, métodos de ponderación, valores de ponderación de parámetros, expresiones matemáticas utilizadas para la agregación, escalas o rangos de calidad del agua, entre otros.

Partiendo de la suposición de que el ICAsup - CHMR fue desarrollado asumiendo que es representativo de la calidad del agua superficial de la estación de muestreo en el momento en que fue realizada la medición *in situ* junto con la toma de muestra, medida en relación a la subcuenca particular o curso principal del Río Matanza-Riachuelo, también se analizó la posibilidad de ajuste del índice a distintas condiciones de caudal del río.

Por otra parte, a solicitud de ACUMAR, se analizó la posibilidad de integrar el ICAsup – CHMR con dos paquetes de índices biológicos desarrollados por el Instituto de Limnología "Dr. Raúl Ringuelet" de la UNLP (ILPLA) y aplicados en la CHMR: el Índice de Diatomeas Pampeano (IDP) y el Índice Biótico para Ríos Pampeanos (IBPamp), en un índice o análisis final al que denominamos Índice de Calidad Multidimensional para la CHMR (ICM – CHMR).

El presente informe contiene el desarrollo metodológico utilizado en el diseño del ICAsup – CHMR, la estrategia establecida para analizar el cumplimiento de metas en el marco del mismo y su integración final con los índices biológicos mencionados. A su vez, se presentan resultados de su aplicación con valores registrados en la Base de Datos Hidrológica (BDH) de ACUMAR.

3. Objetivos del Índice de Calidad del Agua Superficial

Los ICAs se elaboran como instrumentos o herramientas de síntesis, que permiten conocer la calidad del agua superficial en relación a objetivos particulares, por lo tanto, se requiere la definición del/los objetivos de calidad que se pretende evaluar, monitorear, con su aplicación. A continuación se presentan los objetivos de calidad recomendados para la CHMR, acordados con el área técnica respectiva de la ACUMAR, a saber:

- Determinar o conocer el nivel de cumplimiento de concentraciones de referencia y máximas permisibles o metas de calidad, establecidas en la normativa, respecto de diferentes alternativas de usos del recurso hídrico superficial. En este caso, nos referimos fundamentalmente a los valores asociados de concentración de los parámetros de calidad establecidos en la Resolución 003/2009 Anexo I, para el cumplimiento del Uso: Agua Apta para actividades recreativas pasivas, sin contacto con la misma, para la CHMR; u otros usos a establecer a futuro, en el

marco de la revisión y actualización que ACUMAR está desarrollando sobre sus Usos previstos.

- Determinar el estado o condición de la calidad del agua superficial vinculada con la ocupación efectiva del territorio en la cuenca y de las actividades antrópicas que en la misma se realizan. En este caso, nos referimos a los usos del suelo reales dominantes por tramos o subcuencas del área de estudio.

4. Tipología de Índices Recomendados

En función de los objetivos planteados, se identificaron y acordaron dos tipos generales de índices a desarrollar/aplicar en la CHMR, a saber:

- Un índice de cumplimiento de objetivos/metas de calidad del agua superficial, y por ende, asociado a niveles/rangos de concentraciones de referencia y máximas permisibles o límites establecidos por normativa.

  Básicamente nos referimos a la aplicación del índice de Canadian Council of Ministers of the Environment (WQI CCME – 2001), ya utilizado en la CHMR para el período 2008 – 2010 con datos obtenidos en la red histórica de treinta y ocho (38) estaciones de operación manual, cuyos resultados han sido presentados en el Informe de Actividades Nº 2 correspondiente al mes de enero de 2016.

  Mediante algunos ajustes que se indican más adelante en este capítulo, vinculados fundamentalmente a metodologías y unidades de medición de algunos parámetros, se recomienda su aplicación periódica con el objeto de verificar el cumplimiento de las concentraciones de parámetros de referencia considerados en la Resolución 003/2009 de ACUMAR para el Uso Agua Superficial Apta para actividades recreativas pasivas, sin contacto con el agua (USO IV), u otros usos que puedan establecerse a futuro.

  Por lo tanto, en este caso no se trata de desarrollar un índice propio, elaborado *ad hoc*, sino de aplicar un índice preexistente de amplia difusión y utilización, flexible al tipo y cantidad de parámetros a incluir y que permitirá en la CHMR verificar el nivel de cumplimiento concreto

de las concentraciones fijadas de los parámetros incluidos en su normativa para establecer el estado del recurso hídrico respecto al objetivo de usos preestablecidos.

- Un índice que permita vincular la calidad del agua superficial de la CHMR con la ocupación efectiva o real predominante del territorio y actividades antrópicas identificables que se desarrollen en el mismo, independientemente de los valores establecidos en normativa para diferentes objetivos de uso.

  Este tipo de índice no se asocia taxativamente al cumplimiento de usos regulados, si bien la calidad del agua superficial asociada a cada parámetro analizado o medido, podría estar dando cuenta de la calidad del recurso hídrico respecto de algún uso o estado particular del mismo, que se pretende alcanzar o modificar. La diferencia fundamental con el otro tipo de índice es que en este caso no se estaría evaluando el nivel de cumplimiento de lo establecido en una/s norma/s (qué, cuánto y frecuencia de incumplimiento), sino el estado o condición del recurso hídrico superficial respecto de un conjunto de parámetros representativos que aportan información sobre diferentes fuentes, naturaleza de afectación, aptitud o restricción de usos del recurso y cuya correspondencia con la calidad del agua se basa en un análisis que puede ser independiente de la normativa, y en muchos casos más conservador.

  Aquí plantearemos que el valor resultante de este tipo de índice estaría reflejando la condición de la calidad del agua superficial respecto de un *valor ideal* o situación de máxima protección o sustentabilidad ecosistémica, que para el caso que nos compete se asocia a condiciones de protección de vida acuática con exposición prolongada o de muy baja o nula intervención. Esta condición o valor ideal se considera orientativa para la construcción de las escalas de calidad del agua de cada uno de los parámetros que integrarán dicho índice, de manera tal que dicho valor ideal se corresponda con un 100% (nivel correcto o adecuado) de calidad del agua, que a su vez, fija un norte, dirección u objetivo a alcanzar a largo plazo.

La realidad es que la CHMR presenta un complejo, heterogéneo y elevado nivel de intervención, que dificulta, condiciona y en la mayoría de los casos impide alcanzar este valor ideal, razón por la cual, asumiendo un nivel de deterioro de base, el valor del ICAsup podría asociarse con un *valor objetivo*, real, que se corresponda con el grado de máxima calidad del agua que se considera puede ser alcanzado primariamente en la cuenca bajo la situación de intervención de base, que no necesariamente sea un 100% de calidad del agua. Esto parte de la premisa de que es necesario establecer cuál es el nivel de deterioro o degradación del recurso hídrico admitido en la cuenca, y por ende, cuál es el máximo nivel de calidad del agua que se puede alcanzar a corto, mediano o largo plazo. Por lo tanto, ésta mirada realista y coherente con las particularidades de la CHMR permite trabajar en forma gradual, ajustando los valores objetivo de calidad del agua superficial según distintas metas propuestas, programas o estrategias que se establezcan progresivamente en la cuenca y que se vinculen directa o indirectamente con la calidad del agua superficial. En este sentido el valor objetivo se vincularía a metas progresivas, sin perder de vista el valor ideal (100% calidad – protección de vida acuática) con el que se plantea el ICAsup – CHMR. En el siguiente diagrama de flujo conceptual se puede visualizar el análisis descripto en los párrafos anteriores.

Figura 1: Flujograma de concepción del ICAsup para la CHMR

En este sentido, el valor objetivo que se asuma como de máxima calidad del agua, podrá utilizarse para el seguimiento de metas progresivas en función de un objetivo de uso, y de este modo el 100% corresponderá al valor de meta fijado, destacando que no se refiere al máximo nivel de protección (valor ideal – protección vida acuática). Así, se podrá evaluar la condición de calidad del recurso hídrico superficial respecto de metas y objetivos de calidad, en el marco del ICAsup - CHMR.

La siguiente figura refleja este concepto, en este caso, asociado al alcance de distintas metas planteadas en el diseño del programa de monitoreo.

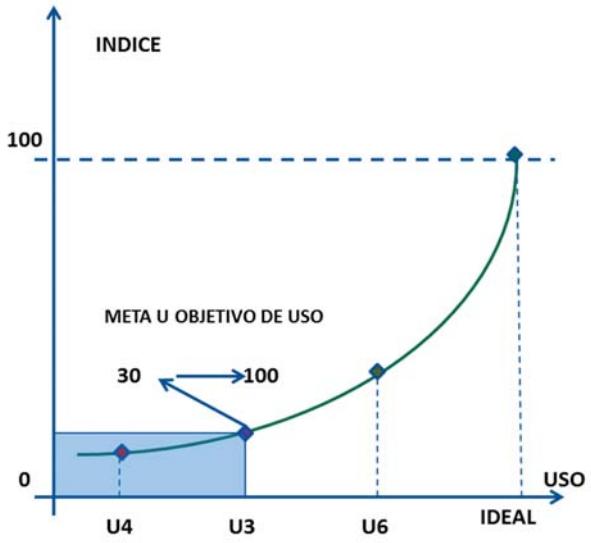


Figura 2: Representación gráfica del análisis de cumplimiento de metas en el marco del ICAsup - CHMR

El diagrama presentado es conceptual, ya que a la fecha no se cuenta con la curva de Calidad vs usos o metas. En las ordenadas se representa el valor del ICAsup – CHMR y en las abscisas los distintos usos o metas posibles del recurso hídrico superficial, cada vez más exigentes (en cuanto a calidad y vínculo humano con el agua) a medida que nos movemos hacia la derecha. El ideal representa condiciones cercanas al estado "sin intervención" de un curso de agua superficial de la vertiente río de la Plata. Los usos o metas representados son hipotéticos.

Se presenta a continuación el desarrollo efectuado respecto de este segundo tipo de índice de calidad del agua que fue elaborado *ad hoc* para la CHMR, en el marco de este convenio y plan de trabajo. A su vez, tal cual lo indicado anteriormente, se presenta también la metodología y resultados de su ajuste en función de variaciones de caudal del río, y de su integración final con dos paquetes de índices biológicos desarrollados por el Instituto de Limnología "Dr. Raúl A. Ringuelet" de la UNLP (ILPLA) y aplicados en la CHMR: el Índice de Diatomeas Pampeano (IDP) y el Índice Biótico para Ríos Pampeanos

(IBPamp), en un índice o análisis final sistémico denominado Índice de Calidad Multidimensional para la CHMR (ICM – CHMR).

5. Desarrollo del Índice de Calidad del Agua Superficial para la CHMR (ICAsup – CHMR)

A modo introductorio, el proceso general de diseño de un índice de calidad del agua superficial, abarca tres etapas o pasos fundamentales:

- Selección de parámetros representativos
- Homogeneización de parámetros (transformación de valores de medición a una escala común, mediante curvas o funciones de calidad del agua)
- Ponderación y agregación de parámetros

A continuación, se procede a desarrollar el proceso completo.

5.1. Selección de Parámetros

Este es un proceso clave, dada la relevancia de la información específica que aportan los parámetros, ya que pueden orientar respecto de fuentes y naturaleza de contaminación, procesos naturales y antrópicos que se desarrollan en el curso superficial, actividades antrópicas diversas que se implementan en la cuenca, fundamentalmente.

El proceso de selección de los parámetros se efectuó de manera conjunta entre el personal técnico del Área de Calidad Ambiental de ACUMAR y los profesionales de la UIDET Gestión Ambiental (GA) de la UNLP, mediante la modalidad de taller interno o reunión de trabajo en base al análisis previo efectuado por esta última para su posterior evaluación conjunta. Sin embargo, podría haber algún ajuste final respecto de los mismos, como consecuencia del proceso reflexivo y crítico al que lleva la ponderación y agregación de los mismos parámetros, por lo tanto, será considerado el aporte que especialistas externos puedan realizar sobre este tema.

Para su selección se tuvieron en cuenta los siguientes criterios, cuyo análisis detallado se presenta en el anexo 1 de este informe final.

5.1.1. Criterios de Selección de Parámetros

- Usos del suelo reales dominantes en la cuenca: corresponde a la identificación de las actividades u ocupación efectiva del territorio en diferentes sectores de la cuenca. Cada tipo de actividad general se corresponde con fuentes probables concretas de contaminación.
- Indicadores de fuentes: análisis de parámetros representativos de diversas fuentes contaminantes, es decir, que orientan sobre origen o actividad particular de contaminación, los cuales se corresponden con los usos del suelo dominantes en la cuenca.
- Indicadores de naturaleza o tipo de afectación: análisis de los parámetros representativos indicadores de diferente naturaleza de afectación, es decir, que se agrupan por características comunes que no necesariamente tienen vinculación directa con sus fuentes. Se trata de parámetros que pueden indicar, por ejemplo: riesgo sanitario, grado de eutrofización, toxicidad y ecotoxicidad, aportes de materia orgánica, entre otros.
- Presencia o incorporación en ICAs antecedentes: análisis e identificación de los parámetros utilizados con mayor frecuencia en los índices de calidad del agua superficial reconocidos internacionalmente, y analizados en la primera etapa del convenio.
- Inclusión en la BDH de ACUMAR: identificación de los parámetros representativos medidos con mayor frecuencia en la CHMR. Es decir, aquellos parámetros para los cuales existen mayor cantidad de datos y para los cuales, por lo tanto, es factible continuar en este sentido.
- Análisis estadístico de la BDH ACUMAR: corresponde a los resultados obtenidos del análisis estadístico de los valores registrados en la base de datos hidrológicos de ACUMAR. Este análisis permite reducir el número de parámetros e identificar aquellos que mejor explican la variabilidad entre estaciones de monitoreo operadas manualmente, para poder entonces definir aquellos que tienen mayor factibilidad de ser utilizados en la estructura del Índice de Calidad del Agua para la cuenca en estudio. Permite, además, definir agrupamientos de estaciones de monitoreo con comportamientos similares en cuanto a la calidad del agua superficial. Se puede, así, establecer, por ejemplo,

correlaciones, redundancia, etc., entre los parámetros más medidos hasta la fecha.

- Normativo: análisis normativo e identificación de los parámetros establecidos en la normativa vigente, y que cuentan con valores de concentración asociados. En este caso destacamos la Resolución 003/2009 Anexo I de ACUMAR, para el cumplimiento del Uso IV- Agua Apta para actividades recreativas pasivas, sin contacto con el agua, para la CHMR. También consideramos el resto de los usos contemplados por ACUMAR (Modelación matemática de la CMR para el estudio de alternativas de saneamiento, 2009; Evaluación de la calidad del agua en la Franja Costera Sur del Río de La Plata mediante modelación numérica, INA, 2011).
- Disponibilidad de homogeneización o estandarización: análisis de la existencia de curvas o funciones de transformación o calidad de los parámetros representativos identificados.

5.1.2. Parámetros Seleccionados

El análisis de estos criterios permitió seleccionar los siguientes parámetros que se recomendaron incluir en el diseño del ICAsup - CHMR.

Se presentan a modo de tabla en la siguiente página.

Tabla 1: Parámetros seleccionados para el diseño del ICAsup - CHMR

PARÁMETROS	TIPO O NATURALEZA DE AFECTACIÓN, USOS DEL SUELO, FUENTES CONTAMINANTES QUE REPRESENTAN	INCLUSIÓN EN ICAs ANTECEDENTES ANALIZADOS	ACUMAR – NORMATIVA, BDH
OXÍGENO DISUELTO (OD)	Indicador de salud del ecosistema y de carga orgánica (doméstica, industrias alimenticias, heces de ganado). Niveles bajos o ausencia de oxígeno disuelto en el agua puede indicar contaminación elevada, condiciones sépticas de materia orgánica o una actividad bacteriana intensa; por ello se le puede considerar como un indicador de contaminación. La presencia del OD en el agua es un condicionante fundamental para el desarrollo de la vida acuática, vegetal y animal, evitando la descomposición anaerobia de la materia orgánica. Fuentes: aireación (atmósfera) y fotosíntesis. Su solubilidad depende de la presión parcial del oxígeno en la atmósfera, el contenido de sales y la temperatura. Este último factor es el que más influye en su concentración diaria y estacional. Las variaciones en OD se presentan de acuerdo con la época del año y también, en un período de 24 horas, en relación con la temperatura y la actividad biológica.	Dominante En 90%	Medido en CHMR. Presente en Resolución 03/09. Debe incorporar la medición de % de saturación
DEMANDA BIOQUÍMICA DE OXÍGENO 5 días (DBO_5)	Cantidad de oxígeno consumido en la degradación de la materia orgánica mediante procesos biológicos aerobios. Fuentes predominantes: carga orgánica doméstica y agroalimenticia. También desechos de animales.	74%	Medido en CHMR. Presente en Resolución 03/09.
DEMANDA QUÍMICA DE OXÍGENO (DQO)	Cantidad de oxígeno consumido por las materias existentes en el agua, susceptibles de ser oxidadas en determinadas condiciones. Esta medida es una estimación de las materias oxidables presentes en el agua, cualquiera que sea su origen, orgánico o mineral. Fuentes predominantes: carga doméstica, desechos de animales, fertilizantes y efluentes industriales (sales de azufre, fósforo, cloruros, sulfuros, cianuros, etc.).	42%	Medido en CHMR. No incluido en Resolución 03/09.

FÓSFORO TOTAL (P total)	El fósforo total es una medida de todas las formas de fósforo existentes, ya sean disueltas o en partículas que incluye distintos compuestos como diversos ortofosfatos, polifosfatos y fósforo orgánico. El fósforo en las aguas naturales normalmente se encuentra en la forma de fosfatos. Indicador de la posibilidad de eutrofización. Fuentes predominantes: domésticas (cloacales, detergentes) y agropecuarias (fertilizantes y plaguicidas), fundamentalmente.	32%	Medido en CHMR. Presente en Resolución 03/09.
NITRÓGENO AMONIACAL ($N\text{-}NH_4$)	El nitrógeno amoniacal es solo una porción del nitrógeno total, cuyos otros componentes son el nitrógeno orgánico, nitrito y nitrato. Los factores principales que controlan el balance de los niveles de nitrógeno son: la naturaleza de las descargas, la disponibilidad de oxígeno, la presencia de ciertos tipos de bacterias y la temperatura. Los nitratos son indicadores de la posibilidad de eutrofización, fundamentalmente. Se correlacionan directamente con la presencia del fósforo, además, indican agotamiento de oxígeno o aporte de carga orgánica. Por lo tanto, no se recomienda utilizar por su redundancia respecto del fósforo y el OD. El N orgánico indirectamente estaría representado en la DBO_5, por lo tanto, no se recomienda utilizar por su redundancia. El amoníaco, altamente soluble, es la forma más reducida de los compuestos del nitrógeno, producto de la reducción de nitratos y nitritos en condiciones anaeróbicas. En medio acuoso, la presencia del nitrógeno amoniacal está regulada por un equilibrio químico que determina la coexistencia de dos formas: una forma no ionizada, el amoníaco (NH_3), y una forma ionizada, el ion amonio (NH_4+). Su presencia en elevadas concentraciones indica contaminación reciente o condiciones anóxicas. El nitrito es producto de la oxidación de N amoniacal o reducción de nitratos. Fuentes contaminantes predominantes: cloacal, industrial y agropecuaria (fertilizantes y heces u orina animal). Tóxico e inestable. Indica contaminación reciente por su elevada inestabilidad. Si el agua está aireada no debería tener amoníaco.	26%	Medido en CHMR. Presente en Resolución 03/09 pero sin concentraciones de referencia dado que no tiene restricciones.

SÓLIDOS SUSPENDIDOS TOTALES (SST)	Los SST (Sólidos Suspendidos Totales) son partículas sólidas orgánicas o inorgánicas que se mantienen en suspensión en el agua. Cambia las características físicas del agua (transparencia, turbidez). Es normal que luego de las lluvias la cantidad de sólidos aumente (conjuntamente con otras sustancias). Una elevada cantidad de sólidos suspendidos, sirve como matriz para la fijación de contaminantes (metales pesados, hidrocarburos, plaguicidas), que pueden sedimentar. La turbidez es el efecto óptico que se origina al dispersarse o interferirse el paso de los rayos de luz que atraviesan una muestra de agua, a causa de las partículas minerales u orgánicas que el líquido puede contener en forma de suspensión; tales como arenas, arcillas, plancton y otros organismos microscópicos. La turbidez es una propiedad óptica intrínseca de cada solución y depende del tamaño, forma e índice de refracción de las partículas suspendidas en el agua. También está dada por algunas sustancias disueltas que pueden colorear el agua. Por lo tanto, se seleccionan solo los SST como indicadores de material en suspensión que aporta a la turbidez del agua. La relación entre la turbidez y los sólidos totales en suspensión es específica para cada ecosistema acuático considerado, ya que la primera es afectada por factores como la concentración, tamaño, forma e índice de refracción de los sedimentos en suspensión y el color del agua. Además, esta relación varía estacionalmente y a lo largo del cauce del río. Fuentes predominantes: domésticas, industriales y agropecuarias. La turbidez interfiere con el uso recreacional y estético del cuerpo de agua.	37%	Medido en CHMR. Presente en Resolución 03/09.
CONDUCTIVIDAD ELÉCTRICA (CE)	La conductividad eléctrica mide la capacidad de una solución acuosa para conducir la corriente eléctrica. Relacionada directamente con la concentración de iones en solución (aniones cloruro, nitrato, sulfato y fosfato, y cationes sodio, magnesio, calcio, hierro y aluminio). Depende directamente de la concentración de sales inorgánicas disueltas en el agua. Los SDT (sólidos disueltos totales) corresponden a materiales sólidos que se disuelven totalmente en agua y no pueden ser eliminados por filtración. Existe correlación directa entre ambos, por lo tanto, se selecciona la conductividad eléctrica. Fuentes predominantes: doméstica, industrial y agropecuaria.	53%	Medido en CHMR. No incluido en Resolución 03/09.

Escherichia coli	Representan elevado riesgo sanitario para contacto humano directo con el agua. Fuentes: descargas cloacales, animales, industrias alimenticias, fundamentalmente.	32%	Medido en CHMR. Presente en Resolución 03/09. Sin concentración de referencia dado que no tiene restricciones.
pH	Concentración del ion hidrógeno (H+) en el agua. La escala de medición es logarítmica, por lo cual una unidad de variación en el pH implica un efecto diez veces superior o inferior sobre la acidez o la alcalinidad del medio. Las variaciones de pH en los cuerpos de agua naturales afectan la solubilidad y biodisponibilidad de otras sustancias presentes en el medio. Los efluentes y residuos no adecuadamente tratados y la escorrentía proveniente de áreas urbanas o sometidas a la explotación agrícola e industrial pueden contener metales, amonio u otros compuestos químicos, cuya toxicidad sobre la biota expuesta es afectada por las variaciones del pH en el medio.	68%	Medido en CHMR. Presente en Resolución 03/09.
CROMO TOTAL (Cr total) y PLOMO TOTAL (Pb total)	Compuestos tóxicos. Peligrosos. Tienden a adsorberse a material en suspensión. Se pueden encontrar en sedimentos. Fuentes: industrial y portuaria.	21%	Medidos en CHMR. Presentes en Resolución 03/09. Sin concentración de referencia dado que no tiene restricciones
HIDROCARBUROS TOTALES (HCT)	Componentes tóxicos. Peligrosos Tienden a adsorberse a material en suspensión. Se pueden encontrar en sedimentos. Fuentes: industrial y portuaria.	16%	Medido en CHMR. Presente en Resolución 03/09.

5.2. Homogeneización de Parámetros

Debido a que los parámetros seleccionados se expresan en diferentes unidades, se hace necesaria su transformación en una escala adimensional que permita su agregación posterior. Esto en general se realiza mediante fórmulas y curvas que determinan la función de calidad de cada parámetro, entendida como un subíndice, asociada a cada valor o dato obtenido. Aquí vale la pena aclarar que las asignaciones de valores de calidad del agua requieren contar en lo posible con una base de datos sobre calidad del agua del recurso analizado, que permita establecer o construir una escala de calidad asociada a diferentes valores o concentraciones de los parámetros seleccionados. En aquellos casos en que no puede darse esta condición, se suele recurrir a valores de curvas de calidad ya desarrolladas y reportadas en trabajos de amplia y reconocida aplicación. De todos modos, antes de su utilización debe revisarse que dichos valores respondan o se ajusten al sistema en estudio, o en todo caso, puedan adaptarse al mismo.

Asimismo, la opinión de expertos en el tema también es una opción válida para avanzar en esta etapa, la cual es reportada reiteradamente en la literatura y conocida como metodología Delphi, ya descripta en informes anteriores correspondientes a la primera etapa de este convenio.

Para el caso que nos compete, se procedió a efectuar una revisión detallada de la información antecedente disponible seleccionada, con el objeto de elaborar escalas adimensionales de calidad del agua superficial (Q) de los parámetros seleccionados para la construcción *ad hoc* de las curvas/funciones de calidad del agua específicas para la CHMR.

5.2.1. Metodología

En primer lugar se analizó información antecedente sobre los siguientes aspectos, vinculados con los parámetros seleccionados:

- Curvas y/o funciones de transformación de calidad del agua superficial: Con el objeto de conocer los valores antecedentes de calidad del agua superficial para los parámetros seleccionados, se consultaron las funciones y/o curvas de homogeneización reportadas en la literatura

disponible analizada sobre diferentes índices de calidad del agua superficial. Las curvas y funciones identificadas se presentan en el anexo 2.

- Registros de calidad del agua de cursos superficiales de la región, es decir, la vertiente al Río de la Plata, en diferentes condiciones ambientales de base (baja, moderada o alta intervención).

  Algunos parámetros físico-químicos informan sobre el estado de calidad del agua superficial con cierta independencia de las características del sustrato, lo cual significa que en general no aportan o no representan diferencias significativas sobre calidad aunque los recursos hídricos evaluados pertenezcan a áreas geográficas heterogéneas o diferentes entre sí. Este es el caso, por ejemplo, del oxígeno disuelto (OD), la demanda bioquímica de oxígeno (DBO_5), la concentración de compuestos tóxicos (xenobióticos), entre otros. Por otra parte, otros parámetros varían significativamente según la zona y /o región, pues están fuertemente ligados (aunque no exclusivamente) a las características del sustrato, como por ejemplo los sólidos (en suspensión, disueltos o totales), la turbidez, la conductividad eléctrica, nutrientes como el fósforo o nitrógeno (en forma de nitratos), fundamentalmente. Por lo tanto, un mismo valor o concentración registrada para dichos parámetros podrá aportar información diferente sobre la condición de calidad del agua, según la zona analizada; por ejemplo, las concentraciones naturales de base de fósforo disuelto pueden variar entre regiones, es decir, los cursos pueden diferenciarse naturalmente en su nivel o grado de trofía (oligotrofía, mesotrofía, eutrofía) y a su vez asemejarse o coincidir respecto de su condición de calidad del agua. En este sentido, es indiscutible la necesidad de contar con datos de base históricos de dichos parámetros que permitan definir su comportamiento o variabilidad natural a lo largo del tiempo, en especial en condiciones de baja o nula intervención, y así poder establecer una escala de calidad del agua. Para la cuenca en estudio esta posibilidad es prácticamente imposible, ya que se encuentra fuertemente intervenida por diferentes y variados procesos antrópicos desde hace décadas, por lo que se ha recurrido al análisis de

información antecedente de ríos y arroyos pertenecientes a cuencas de la vertiente al Río de la Plata, donde se incluyen tramos o cursos que cumplen o se acercan a esa condición.

En el anexo 3 se presentan los valores correspondientes a sólidos suspendidos totales, conductividad eléctrica y fósforo (total y/o fosfatos) reportados en la bibliografía para diferentes condiciones ambientales de base de los recursos hídricos superficiales evaluados. Estos valores se utilizaron para orientar la construcción de las escalas de calidad del agua de dichos parámetros, en especial para la determinación de condiciones de mejor calidad.

- Registros de calidad del agua superficial de la BDH de la CHMR:
  Se describieron los valores estadísticos de los muestreos realizados en la CHMR, para todos los registros (Los datos se corresponden con monitoreos efectuados tanto en la Red Histórica de 38 estaciones, como en la Red Ampliada de 73 estaciones, ambas de operación manual - histórica desde 2008 a la actualidad, 73 estaciones a partir del año 2014) presentados en la base de datos hidrológica (BDH) entre los años 2008 a 2015, sobre los parámetros seleccionados para la elaboración del ICAsup propio de esta cuenca. Estos datos fueron utilizados complementariamente a los criterios descriptos en la metodología sobre homogeneización, para construir y calibrar las curvas de calidad de agua superficial de cada uno de los parámetros. Los valores se presentan en el anexo 4.
- Valores de concentración de referencia, estándares, concentraciones permisibles o asociados de calidad establecidos en normativa regional (CHMR), provincial, nacional e internacional. Estos valores de referencia se asocian principalmente a los usos protección de vida acuática y recreacional (pasivo, contacto directo, primario, secundario, etc.), así como a concentraciones límite admisibles para descargas de efluentes. No se han considerado las concentraciones para los usos: fuente para consumo humano con tratamiento convencional, riego y bebida de ganado. Los valores se presentan en el anexo 5.

- Valores de concentración de referencia según tipología de efluentes (cloacales, industrias lácteas, mataderos, frigoríficos, curtiembres, petroquímicas, PDLC, etc.). Los valores se presentan en el anexo 5.
- Rangos, criterios, índices y valores sobre la concentración de contaminantes en agua dulce: clasificación de cursos de agua superficiales en diferentes estados tróficos, índice saprobio, criterios microbiológicos para diferentes usos, rangos de concentraciones y consecuencias ecosistémicas, entre otros. Los valores se presentan en el anexo 5.

Posteriormente esta información de base fue utilizada a modo de referencia para la construcción de las curvas y funciones de calidad propias, que se proponen para el ICAsup - CHMR, según se presenta a continuación, para los parámetros seleccionados.

5.2.2. Propuesta de curvas y funciones de calidad desarrolladas *ad hoc*

Las curvas son la esencia del diseño del índice, y tienen la capacidad de reproducir la relación entre la concentración de un parámetro y la calidad del agua superficial que la misma representa.

La metodología de construcción de las curvas siguió tres pasos. El primer paso fue la asignación empírica de escalas de calidad del agua que van entre 0 a 100 de los valores posibles que toma el parámetro analizado y teniendo como referencia los antecedentes analizados en los ítems anteriores (curvas y funciones, normativas, concentraciones registradas en cursos de la zona, efluentes típicos, rangos, criterios, índices y valores sobre concentración de contaminantes en agua dulce). El segundo paso, contando con la escala de calidad del agua establecida y consensuada, consistió en el desarrollo de las curvas. Para este procedimiento se utilizó el software Curve expert, a partir del cual se corrieron diferentes modelos de ajuste de regresiones no lineales y uno lineal solo para el parámetro % de saturación de Oxigeno. Por último, se seleccionaron las funciones que mejor ajuste presentaron, fijándose un nivel de ajuste no menor a un coeficiente de determinación de 0.95; en aquellos casos donde varias funciones presentaron un grado similar de ajuste, se seleccionó la función más sencilla para su cálculo.

Para cada caso se presentan las tablas de la relación valor de concentración del parámetro y calidad del agua (Q) en una escala de 100 (mejor calidad) a 0 (peor calidad).[1]

Es de destacar que algunos parámetros en estas escalas presentan valores para el Q 100 menos exigentes que los que se presentan en los antecedentes.

[1] Ejemplo de asignación de valores de calidad a las concentraciones de DBO_5: valores menores a 3 mg/l representan un excelente valor de calidad para la vida y conservación del ecosistema acuático (datos de las curvas antecedentes bibliográficos de la página 25), las concentraciones registradas para diversos cuerpos de agua con bajo o nulo impacto presentan estos valores, además representan valores aptos para el desarrollo de actividades recreativas con contacto directo y preservación de la vida acuática (exposición prolongada) (ACUMAR, 03/2009). Se considera que la calidad del agua disminuye siguiendo una función sigmoidea hasta valores de DBO_5 mayores a 30 mg/l donde la calidad es cero, con un valor de calidad medio para valores de 6mg/l (Comunidad Económica Europea: Directiva Nº 78/659, Índice Saprobio. Roldán Pérez. G. 1999).

Esto se debe a razones analíticas, ya que los límites de detección de equipos utilizados actualmente en el monitoreo de agua superficial de ACUMAR son superiores a los valores de referencia para algunos compuestos. A solicitud de ACUMAR, la construcción *ad hoc* de las escalas ha tenido que tener en cuenta esta condición de base, lo cual no quita que a futuro puedan revisarse las escalas de estos casos particulares. Un ejemplo, es lo ocurrido con el parámetro hidrocarburos totales.

Los resultados se presentan en cuadros donde se muestra el resumen de cada función, el valor de los parámetros y los estadísticos de ajuste. Se presenta la relación gráfica y la función definida para cada caso.

Oxígeno Disuelto - Porcentaje de Saturación (%)

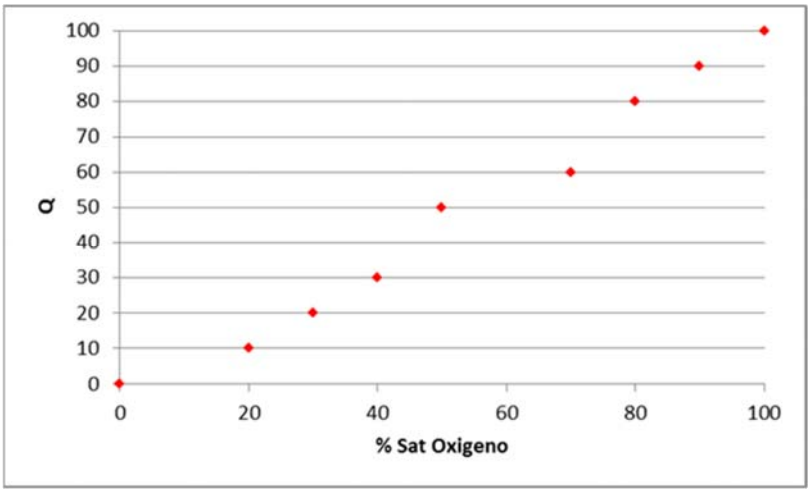
Fórmula definida para % Sat OD

$$y = a + bx$$

Tabla 2: Valores asociados a función de transformación – OD % Sat

Nombre	Lineal
Tipo	Regresión
Familia	Regresión Lineal
Ecuación	Y = a + b*x
# de Variables Independientes	1
Ponderación	Por Defecto
Desviación Estandar	5,22773302174
Coeficiente de Correlación (r)	0,990839
Coeficiente de Determinación (r^2)	0,981761238025
DOF	7
AICC	30,081198

Parámetros			
	Valor	**Error Estad.**	**Intervalo (95% de confianza)**
a	-7,536232	3,389127	-15,550244 a 0,477780
b	1,057971	0,054503	0,929092 a 1,186850



% SAT	Q
100	100
90	90
80	80
70	60
50	50
40	30
30	20
20	10
0	0

Figura 3: Curva de calidad de OD % Sat

Para intervalo 7.2 < OD % Sat < 100
Si OD% Sat ≤ 7.2, entonces Q = 0
Si OD % Sat ≥ 100, entonces Q = 100

Oxígeno Disuelto (OD) - Concentración

Fórmula definida para OD (mg/l)

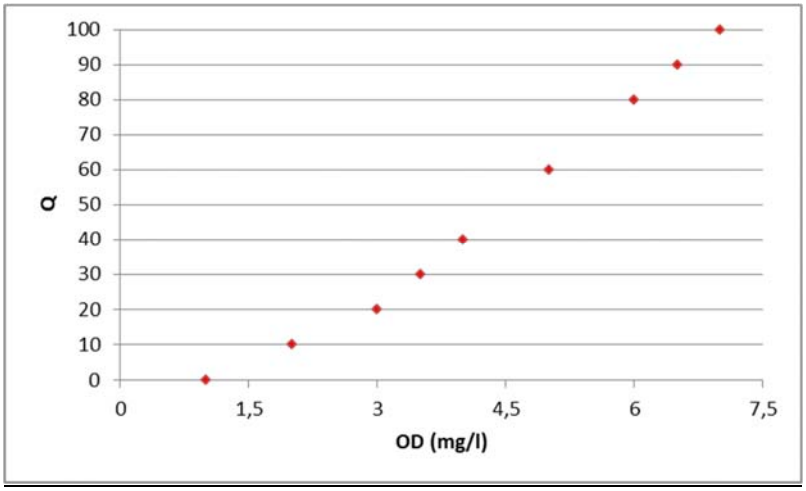
$$y = \frac{ab + cx^d}{b + x^d}$$

Tabla 3: Valores asociados a función de transformación – OD concentración

Nombre	MMF
Tipo	Regresión
Familia	Modelos Sigmoides
Ecuación	Y = (a*b + c*x^d)/(b+x^d)
# de Variables Independientes	1
Ponderación	Por Defecto
Desviación Estandar	1,16053732636
Coeficiente de Correlación (r)	0,999681
Coeficiente de Determinación (r²)	0,999362019896
DOF	5
AICC	8,189816

Parámetros

	Valor	Error Estad.	Intervalo (95% de confianza)
a	-1,443331	1,581781	-5,509430 a 2,622767
b	113,18482	15,772850	72,639419 a 153,730221
c	234,393759	52,816000	98,625910 a 370,161609
d	2,284419	0,231326	1,689777 a 2,879061



OD	Q
7	100
6,5	90
6	80
5	60
4	40
3,5	30
3	20
2	10
1	0

Figura 4: Curva de calidad de OD - Concentración

Para intervalo 1 < OD mg/l < 7
Si OD mg/l ≤ 1, entonces Q = 0
Si OD mg/l ≥ 7, entonces Q = 100

Demanda Bioquímica de Oxígeno en cinco días (DBO_5)

Fórmula definida para DBO_5 (mg/l)

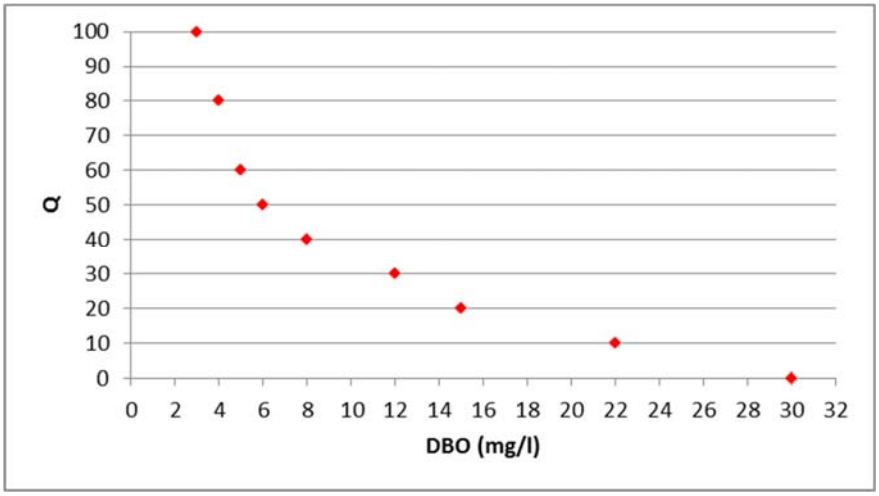
$$y = \frac{ab + cx^d}{b + x^d}$$

Tabla 4: Valores asociados a función de transformación - DBO_5

Nombre	MMF
Tipo	Regresión
Familia	Modelos sigmoides
Ecuación	Y = (a*b + c*x^d)/(b+x^d)
# de Variables Independientes	1
Ponderación	Por Defecto
Desviación Estandar	3,71697566958
Coeficiente de Correlación (r)	0,995976
Coeficiente de Determinación (r^2)	0,991967495274
DOF	5
AICC	29,142306

Parámetros

	Valor	Error Estad.	Intervalo (95 % de confianza)
a	-21,83528300	14,538710	-59,208226 a 15,537659
b	2199783,596993	2,5148E+12	-6464503295459,523400 a 6464507695026,716800
c	563575958,784645	6,44282E+14	-1656179952696552,000000 a 1656181079848469,500000
d	-0,682833	0,233639	-1,283421 a -0,082245



DBO	Q
3	100
4	80
5	60
6	50
8	40
12	30
15	20
22	10
30	0

Figura 5: Curva de calidad de DBO_5

Para intervalo $3 < DBO_5 < 30$
Si $DBO_5 \leq 3$, entonces Q = 100
Si $DBO_5 \geq 30$, entonces Q = 0

Demanda Química de Oxígeno (DQO)

Fórmula definida para DQO (mg/l)

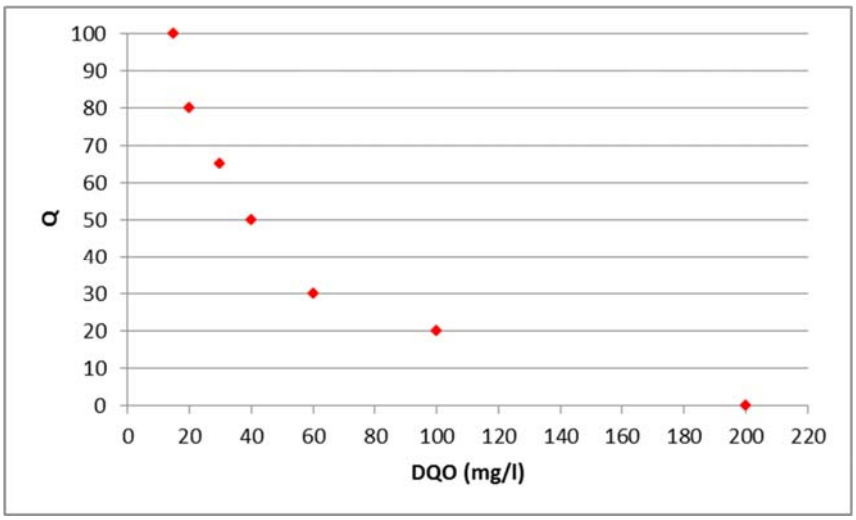
$$y = \frac{ab + cx^d}{b + x^d}$$

Tabla 5: Valores asociados a función de transformación - DQO

Nombre	MMF
Tipo	Regresión
Familia	Modelos sigmoides
Ecuación	Y = (a*b + c*x^d)/(b+x^d)
# de Variables Independientes	1
Ponderación	Por Defecto
Desviación Estandar	3,51203022283
Coeficiente de Correlación (r)	0,997504
Coeficiente de Determinación (r^2)	0,995014023445
DOF	3
AICC	25,655635

Parámetros

	Valor	Error Estad.	Intervalo (95% de confianza)
a	788,052508	6938,429988	-21293,128371 a 22869,233387
b	0,824059	10,043947	-31,140263 a 32,788381
c	-42,058391	87,729842	-321,253902 a 237,137120
d	0,513957	1,015541	-2,717948 a 3,745861



DQO	Q
15	100
20	80
30	65
40	50
60	30
100	20
200	0

Figura 6: Curva de calidad de DQO

Para intervalo 15 < DQO < 200
Si DQO ≤ 15, entonces Q = 100
Si DQO ≥ 200, entonces Q = 0

Nitrógeno Amoniacal (N-NH_4)

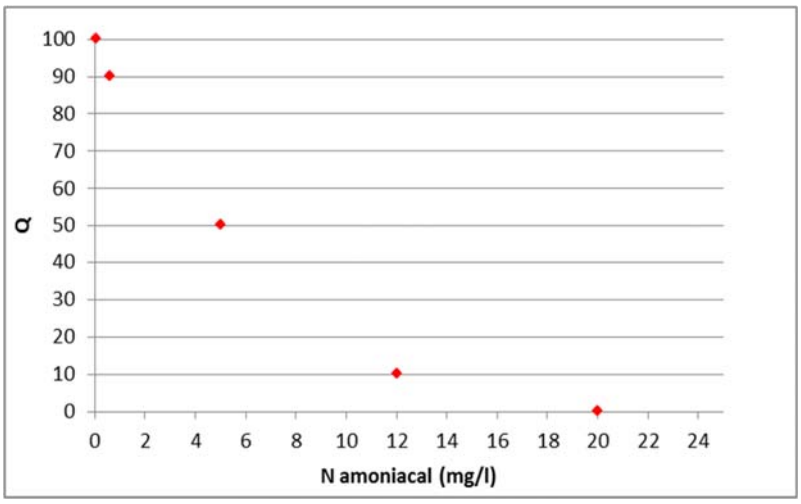
Fórmula definida para N-NH_4 (mg/l)

$$y = ae^{bx}$$

Tabla 6: Valores asociados a función de transformación – N-NH_4

Nombre	Exponencial
Tipo	Regresión
Familia	Modelos Exponenciales
Ecuación	Y= a*exp(b*x)
# de Variables Independientes	1
Ponderación	Por Defecto
Desviación Estandar	4,61572222405
Coeficiente de Correlación (r)	0,996095
Coeficiente de Determinación (r^2)	0,992205527445
DOF	3
AICC	16,073889

Parámetros			
	Valor	**Error Estad.**	**Intervalo (95% de confianza)**
a	100,915434	3,587833	89,497349 a 112,333520
b	-0,162232	0,017083	-0,216599 a -0,107866



N amoniacal	Q
0,05	100
0,6	90
5	50
12	10
20	0

Figura 7: Curva de calidad de N-NH_4

Para intervalo 0.06 < N-NH_4 < 20
Si N-NH_4 ≤ 0.06, entonces Q = 100
Si N-NH_4 ≥ 20, entonces Q = 0

Fósforo Total (P total)

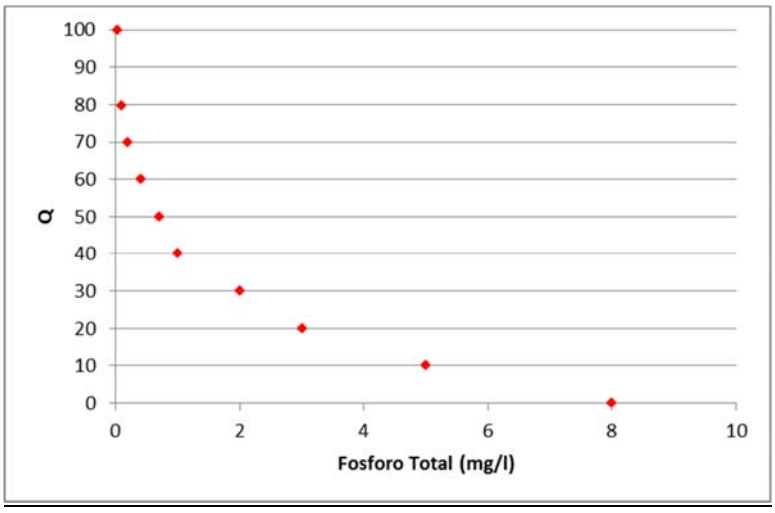
Fórmula definida para P total (mg/l)

$$y = a + b\ln(x)$$

Tabla 7: Valores asociados a función de transformación – P total

Nombre	Logaritmo Natural
Tipo	Regresión
Familia	Modelos Exponenciales
Ecuación	Y= a + b*ln(x)
# de Variables Independientes	1
Ponderación	Por Defecto
Desviación Estandar	2,52429517939
Coeficiente de Correlación (r)	0,997238
Coeficiente de Determinación (r²)	0,994483059608
DOF	8
AICC	18,787802

Parámetros			
	Valor	**Error Estad.**	**Intervalo (95% de confianza)**
a	40,257156	0,812451	38,383640 a 42,130671
b	-17,885423	0,470982	18,971511 a -16,799336



Fosforo Total (mg/l)	Q
0,03	100
0,10	80
0,20	70
0,40	60
0,70	50
1,00	40
2,00	30
3,00	20
5,00	10
8,00	0

Figura 8: Curva de calidad de P total

Para intervalo 0.04 < P total < 8
Si P total ≤ 0.04, entonces Q = 100
Si P total ≥ 8, entonces Q = 0

Escherichia coli

Fórmula definida para *E. coli* (NMP/100 ml)

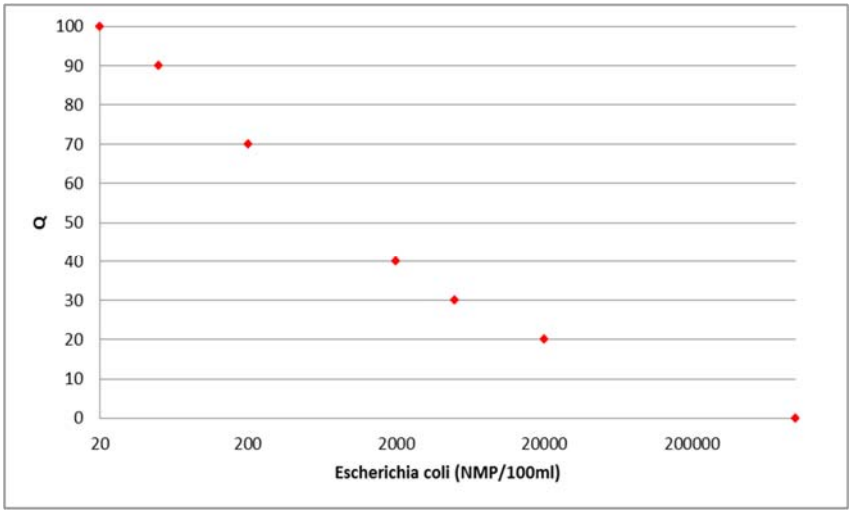
$$y = \frac{ab + cx^d}{b + x^d}$$

Tabla 8: Valores asociados a función de transformación – *E. coli* – NMP/100ml

Nombre	MMF
Tipo	Regresión
Familia	Modelos Sigmoides
Ecuación	Y = (a*b + c*x^d)/(b+x^d)
# de Variables Independientes	1
Ponderación	Por Defecto
Desviación Estandar	1,17321145942
Coeficiente de Correlación (r)	0,999754
Coeficiente de Determinación (r²)	0,999508419597
DOF	3
AICC	10,305343

Parámetros

	Valor	Error Estad.	Intervalo (95 % de confianza)
a	154,535466	16,750383	101,228270 a 207,842662
b	5,541303	2,125222	-1,222103 a 12,304708
c	-7,581407	2,883158	-16,756903 a 1,594090
d	0,338800	0,037967	0,217971 a 0,459628



E.Coli (NMP/100 ml)	Q
20	100
50	90
200	70
2000	40
5000	30
20000	20
1000000	0

Figura 9: Curva de calidad de *E. coli* NMP/100ml

Para intervalo 22 < *E coli* < 1000000
Si E. coli ≤ 22, entonces Q = 100
Si E. coli ≥ 1000000, entonces Q = 0

Escherichia coli

Fórmula definida para *E. coli* (UFC/100 ml)

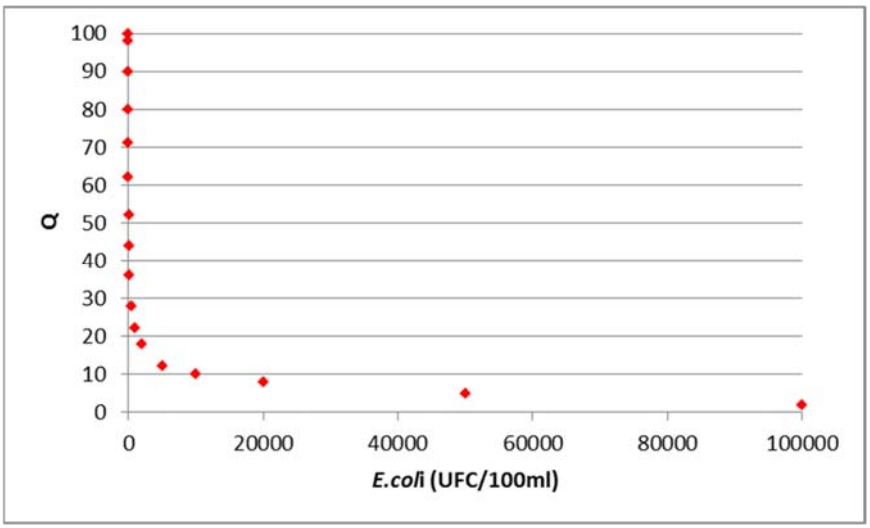
$$y = \frac{ab + cx^d}{b + x^d}$$

Tabla 9: Valores asociados a función de transformación – *E. coli* - UFC/100ml

Nombre	MMF
Tipo	Regresión
Familia	Modelos Sigmoides
Ecuación	Y = (a*b + c*x^d)/(b+x^d)
# de Variables Independientes	1
Ponderación	Por Defecto
Desviación Estandar	2,64018044013
Coeficiente de Correlación (r)	0,997589
Coeficiente de Determinación (r²)	0,995184066
DOF	3
AICC	36,294473

Parámetros

	Valor	Error Estad.	Intervalo (95% de confianza)
a	103,706884	2,41819	98,482703 a 108,931065
b	5,583307	1,260416	4,860345 a 10,306269
c	3,252454	1,877799	-0,804284 a 7,309191
d	0,519804	0,036866	0,440160 a 0,599448



E.Coli (UFC)	Q
0	100
1	98
2	90
5	80
10	71
20	62
50	52
100	44
200	36
500	28
1000	22
2000	18
5000	12
10000	10
20000	8
50000	5
100000	2

Figura 10: Curva de calidad de E. coli UFC/100ml

Para intervalo 1 < *E coli* < 100000
Si E. coli ≤ 1, entonces Q = 100
Si E. coli ≥ 100000, entonces Q = 0

Sólidos Suspendidos Totales (SST)

Fórmula definida para los SST (mg/l):

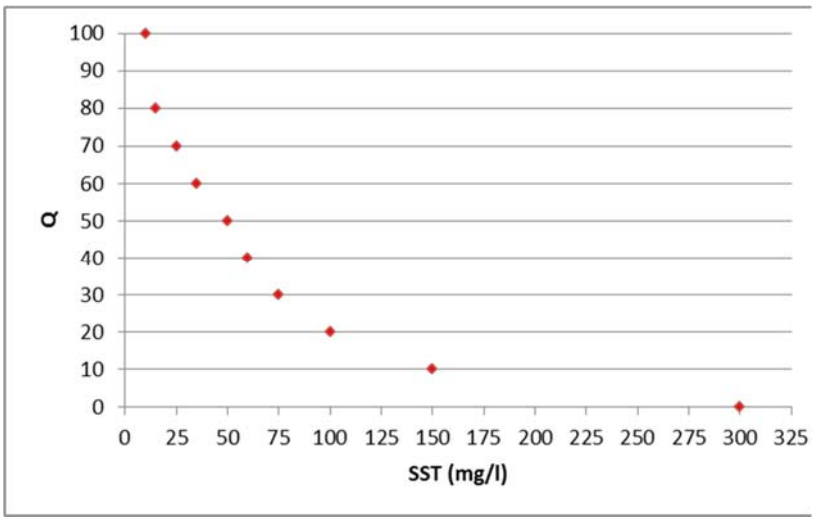
$$y = \frac{ab + cx^d}{b + x^d}$$

Tabla 10: Valores asociados a función de transformación - SST

Nombre	MMF
Tipo	Regresión
Familia	Modelos sigmoides
Ecuación	Y = (a*b + c*x^d)/(b+x^d)
# de Variables Independientes	1
Ponderación	Por Defecto
Desviación Estandar	4,05187364076
Coeficiente de Correlación (r)	0,995156
Coeficiente de Determinación (r²)	0,990335157798
DOF	7
AICC	35,238682

Parámetros

	Valor	Error Estad.	Intervalo (95 % de confianza)
a	101,874334	3,72124	93,075000 a 110,673668
b	300,552251	224,929002	-231,320323 a 832,424825
c	-7,588756	6,536018	-23,043983 a 7,866471
d	1,464323	0,204018	0,981897 a 1,946749



SST(mg/l)	Q
300	0
150	10
100	20
75	30
60	40
50	50
35	60
25	70
15	80
10	100

Figura 11: Curva de calidad de SST

Para intervalo 10 < SST < 269
Si SST ≤ 10, entonces Q = 100
Si SST ≥ 269, entonces Q = 0

Conductividad Eléctrica (CE)

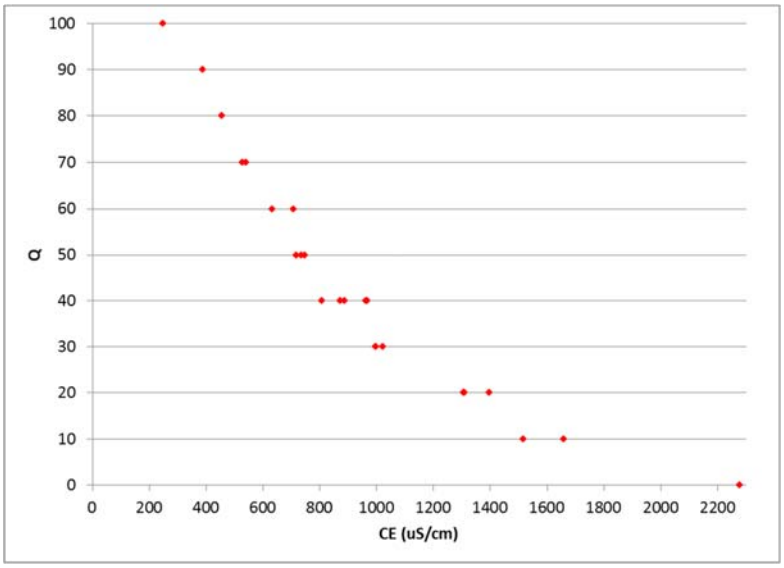
Fórmula definida para la CE (µS/cm):

$$y = q_0 (1 + bx/a)^{(-1/b)}$$

Tabla 11: Valores asociados a función de transformación - CE

Nombre	Declive Hiperbólico
Tipo	Regresión
Familia	Modelos de Declive
Ecuación	Y = q0*(1+b*x/a)^(-1/b)
# de Variables Independientes	1
Ponderación	Por Defecto
Desviación Estandar	3,19485038781
Coeficiente de Correlación (r)	0,994533
Coeficiente de Determinación (r²)	0,989096306112
DOF	24
AICC	64,043032

Parámetros			
	Valor	**Error Estad.**	**Intervalo (95 % de confianza)**
qo	137,741786	4,867059	127,696671 a 147,786902
a	845,718546	64,182451	713,252478 a 978,184614
b	-0,247793	0,081923	-0,416874 a -0,078712



CE (uS/cm)	Q
2280	0
1662	10
1520	10
1400	20
1311	20
1310	20
1308	20
1024	30
1000	30
1000	30
970	40
965	40
890	40
874	40
811	40
749	50
737	50
721	50
710	60
635	60
542	70
531	70
457	80
390	90
250	100

Figura 12: Curva de calidad de CE

Para intervalo 261 < CE < 2280
Si CE ≤ 261, entonces Q = 100
Si CE ≥ 2280, entonces Q = 0

pH

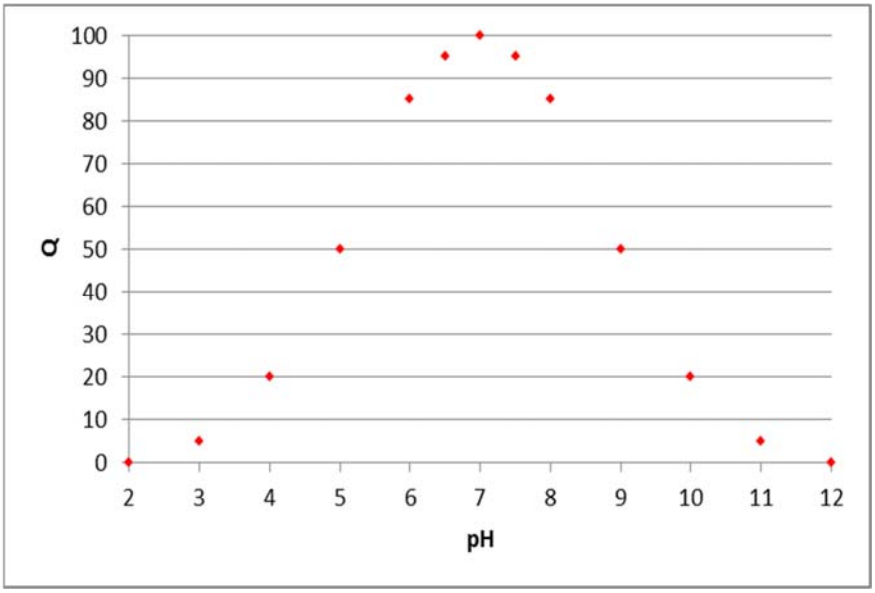
Fórmula definida para pH

$$y = \frac{a + bx}{1 + cx + dx^2}$$

Tabla 12: Valores asociados a función de transformación - pH

Nombre	Modelo Racional
Tipo	Regresión
Familia	Diversas
Ecuación	Y = (a+b*x)/(1+c*x+d*x^2)
# de Variables Independientes	1
Ponderación	Por Defecto
Desviación Estandar	9,02293477504
Coeficiente de Correlación (r)	0,981253
Coeficiente de Determinación (r²)	0,962856844692
DOF	9
AICC	61,080255

Parámetros			
	Valor	**Error Estad.**	**Intervalo (95% de confianza)**
a	5,576903	2,718770	-0,573382 a 11,727187
b	0,000036	0,402391	-0,910236 a 0,910308
c	-0,270668	0,007438	-0,287494 a -0,253842
d	0,019333	0,001058	0,016940 a 0,021727



PH	Q
2	0
3	5
4	20
5	50
6	85
6,5	95
7	100
7,5	95
8	85
9	50
10	20
11	5
12	0

Figura 13: Curva de calidad de pH

Si pH ≤ 2, entonces Q = 0
Si 2 < pH < 6.59, vale la expresión matemática de la función
Si 6.59 ≤ pH ≤ 7.41, entonces Q = 100
Si 7.41 < pH < 12, vale la expresión matemática de la función
Si pH ≥ 12, entonces Q = 0

Cromo total (Cr total)

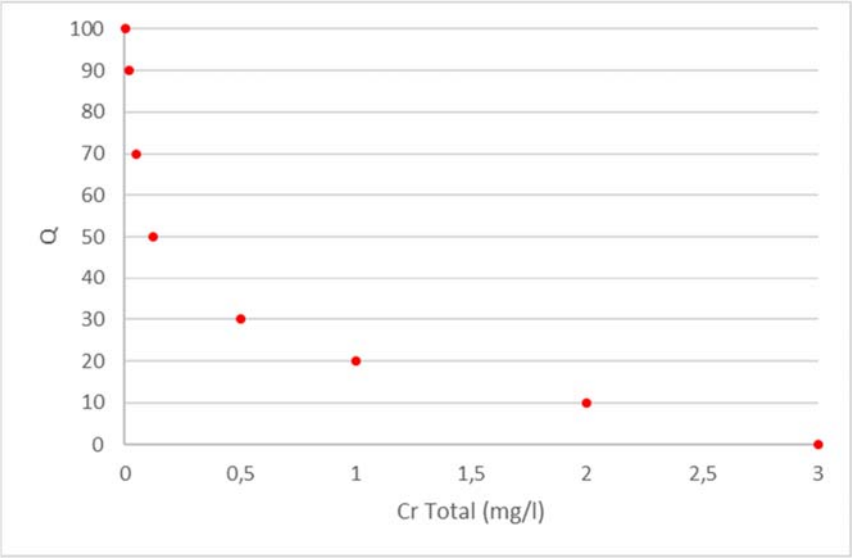
Fórmula definida para Cr total (mg/l)

$$y = \frac{ab + cx^d}{b + x^d}$$

Tabla 13: Valores asociados a función de transformación – Cr total

Nombre	MMF
Tipo	Regresión
Familia	Modelos Sigmoides
Ecuación	Y = (a*b + c*x^d)/(b + x^d)
# de Variables Independientes	1
Ponderación	Por Defecto
Desviación Estandar	4,66227724528
Coeficiente de Correlación (r)	0,995548
Coeficiente de Determinación (r²)	0,991116494
DOF	4
AICC	31,086887

Parámetros			
	Valor	**Error Estad.**	**Intervalo (95 % de confianza)**
a	108,651748	9,310773	82,800898 a 134,502597
b	0,351009	0,196772	-0,195319 a 0,897337
c	-14,866321	18,170801	-65,316553 a 35,583911
d	0,628535	0,193545	0,091167 a 1,165903



Cr	Q
0,002	100
0,02	90
0,05	70
0,125	50
0,5	30
1	20
2	10
3	0

Figura 14: Curva de calidad de Cr total

Para intervalo 0.004< Cr total < 3
Si Cr total ≤ 0.004, entonces Q = 100
Si Cr total ≥ 3, entonces Q = 0

Plomo (Pb total)

Fórmula definida para Pb total (mg/l)

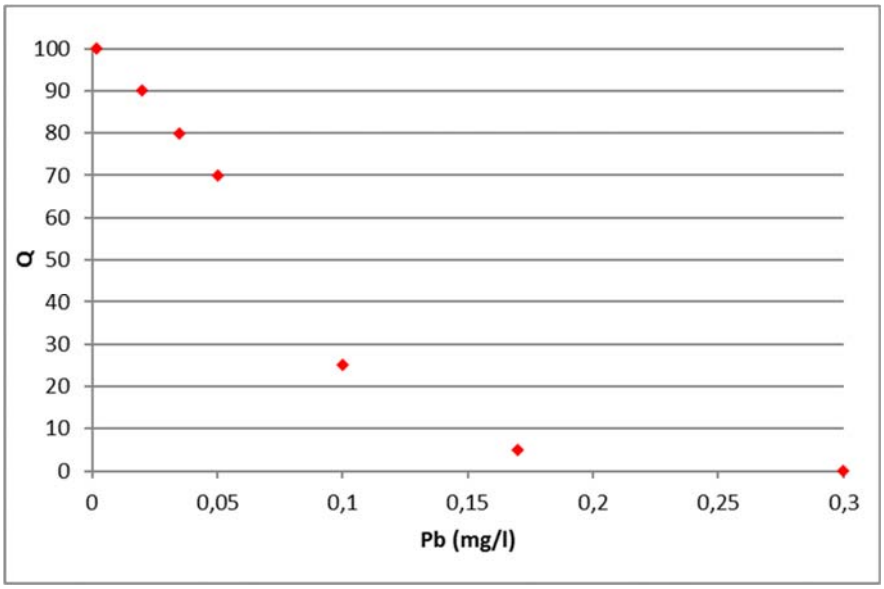
$$y = \frac{a + bx}{1 + cx + dx^2}$$

Tabla 14: Valores asociados a función de transformación – Pb total

Nombre	Modelo racional
Tipo	Regresión
Familia	Diversas
Ecuación	Y = (a + b*x)/(1 + c*x + d*x^2)
# de Variables Independientes	1
Ponderación	Por Defecto
Desviación Estandar	2,53689990765
Coeficiente de Correlación (r)	0,99851
Coeficiente de Determinación (r^2)	0,997022316
DOF	8
AICC	26,477047

Parámetros

	Valor	Error Estad.	Intervalo (95% de confianza)
a	97,721766	2,334198	92,339094 a 103,104437
b	-429,780261	48,220658	-540,977298 a -318,583225
c	-3,86327	1,65113	-7,670783 a -0,055756
d	134,282603	31,063888	62,649148 a 205,916058



Pb (mg/l)	Q
0,002	100
0,02	90
0,035	80
0,05	70
0,1	25
0,17	5
0,3	0

Figura 15: Curva de calidad de Pb total

Para intervalo 0.002< Pb total < 0.2
Si Pb total ≤ 0.002, entonces Q = 100
Si Pb total ≥ 0.2, entonces Q = 0

Hidrocarburos Totales (HCT)

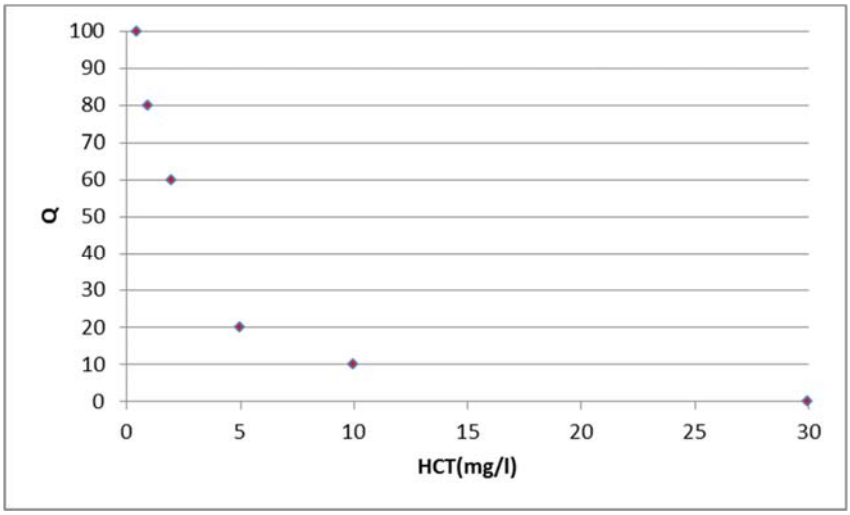
Fórmula definida para HCT (mg/l)

$$y=(a+bx)^{-1/c}$$

Tabla 15: Valores asociados a función de transformación - HCT

Nombre	Bleasdale
Tipo	Regresión
Familia	Modelos de Densidas de Rendimiento
Ecuación	Y = (a+b*x)^(-1/c)
# de Variables Independientes	1
Ponderación	Por Defecto
Desviación Estandar	3,09289506739
Coeficiente de Correlación (r)	0,998280
Coeficiente de Determinación (r²)	0,996563113809
DOF	3
AICC	17,390408

Parámetros			
	Valor	**Error Estad.**	**Intervalo (95% de confianza)**
a	0,259481	0,236827	-0,494208 a 1,013169
b	0,030878	0,003333	0,020272 a 0,041484
c	0,280695	0,187482	-0,315957 a 0,877346



HCT	Q
0,5	100
1	80
2	60
5	20
10	10
30	0

Figura 16: Curva de calidad de HCT

Para intervalo 0.5< HCT < 30
Si HCT ≤ 0.5, entonces Q = 100
Si HCT ≥ 30, entonces Q = 0

5.3. Ponderación y Agregación de Parámetros

En los métodos tradicionales utilizados para obtener un Índice de Calidad de Agua, los parámetros son normalizados con la ayuda de tablas o curvas y factores de peso (Conesa, 1995; Mitchell y Stapp, 1996; Pesce y Wunderlin, 2000; CETESB, 2004-2006; NSF, 2007) y luego son agregados a través de métodos matemáticos convencionales.

La agregación de parámetros consiste en aplicar una expresión matemática que integre los subíndices obtenidos en el paso anterior (homogeneización, normalización o transformación adimensional de registros de concentraciones de monitoreo de parámetros físico-químicos y microbiológicos a un valor de calidad del agua) con el objeto de obtener el valor total final del Índice de Calidad de Agua superficial (ICAsup - CHMR).

La agregación es una etapa esencial en la estructuración del índice, y el método que se utilice para la misma determina el manejo de la información que aporta cada parámetro, ya que puede incidir en la pérdida o incorporación parcial de la información en el valor final. Por lo tanto, se requiere prudencia en la selección/desarrollo de la fórmula o método utilizado pues tiene gran influencia en el resultado final, lo cual puede llevar a valoraciones distintas para un mismo punto según el método de agregación seleccionado.

El análisis de antecedentes permitió observar que la selección de la fórmula es un factor clave. La mayoría de los métodos de agregación presentan tres defectos: ambigüedad, eclipsamiento y rigidez. La ambigüedad se presenta, por ejemplo, cuando todos los subíndices indican una calidad del agua aceptable para un uso determinado, pero el índice agregado no lo refleja. El eclipsamiento se manifiesta cuando el índice agregado no refleja la mala calidad del agua de una o más variables individuales. Existen problemas de rigidez cuando se incluyen variables adicionales en el índice para abordar problemáticas específicas de calidad del agua superficial, pero la función de agregación reduce artificialmente el valor del índice de la calidad del agua de tal manera que no refleja con exactitud la verdadera calidad del agua.

La literatura muestra que existen diversos métodos de agregación, siendo los más utilizados los que se presentan en la siguiente tabla.

Tabla 16: Fórmulas de agregación de subíndices

MÉTODO	EXPRESIÓN
Promedio Aritmético no 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	$ICA = \left(\prod_{i=1}^{n} q_i\right)^{\frac{1}{n}}$
Promedio Geométrico ponderado	$ICA = \left(\prod_{i=1}^{n} q_i\right)^{w_i}$
Raíz Cuadrada del Promedio Armónico no ponderado	$ICA = \sqrt{\frac{n}{\sum_{i=1}^{n}\frac{1}{q_i^2}}}$
Raíz Cuadrada del Promedio Armónico	$ICA = \left(\frac{1}{n}\sum_{i=1}^{n} q_i^{-2}\right)^{-0,5}$
Operador Mínimo	$ICA = \min(q_1, q_2, \ldots . q_n)$

Fuente: Tambo López, C. S. (2015)

En general todas las fórmulas presentan limitaciones, por ello en la gran mayoría de los casos su elección queda a criterio del autor. Se indican a continuación consideraciones relevantes sobre estas expresiones matemáticas, que surgen del análisis de la bibliografía antecedente recopilada hasta el momento, a saber:

Las fórmulas más sencillas de cálculo y las más utilizadas por diferentes autores son el promedio aritmético o geométrico, ponderados o no ponderados. El promedio aritmético no ponderado expresa el estado medio de los parámetros, presenta menor sensibilidad ante los cambios de parámetros individuales y su uso supone considerar la calidad del agua como un simple sistema aditivo. La ponderación del promedio aritmético puede incrementar la sensibilidad del ICA en general, sin embargo, aquellos parámetros de menor peso relativo, pueden enmascarar o eclipsar valores de baja calidad, por ejemplo cuando un subíndice muestra una calidad pobre,

pero al realizar el proceso de agregación esta baja calidad no es reflejada en el resultado final, por lo que se puede sobrestimar el valor.

Otra fórmula ampliamente utilizada es el promedio geométrico o multiplicativo, sobre todo cuando existe una gran variabilidad entre las muestras, se recomienda cuando algunos de los subíndices toman valores extremos. Es más sensible que las medias aritméticas, sobre todo ante cambios pequeños de los parámetros, pero también puede experimentar problemas de enmascaramiento o eclipsamiento cuando se le asignan pesos pequeños (cercanos a cero) a subíndices con valores bajos, convirtiéndose así en una metodología insensible puesto que no refleja los cambios de algunos parámetros individuales; el INSF (Índice de la Fundación Nacional de Saneamiento, USA) establece que este método es más exigente, refleja valores menores en términos absolutos que la sumatoria, ya que la calidad es directamente proporcional al efecto de cada uno de los parámetros, y por lo tanto, esta expresión permite obtener un valor más cercano a la realidad de la calidad del recurso. Sin embargo, con esta fórmula, un subíndice que adquiera un valor cero para al menos un parámetro de la calidad ambiental, determinará un valor cero para el ICA final, por lo tanto, si bien es más exigente, no permite reflejar el valor obtenido en el resto de los parámetros y, por ende, reflejar su evolución espacio-temporal.

De acuerdo a la literatura (Tambo López, C. S., 2015), la raíz cuadrada del promedio armónico (la media o promedio armónico de una cantidad finita de números es igual al recíproco, o inverso, de la media aritmética de los recíprocos de dichos números) no ponderado es un buen medio para la agregación de los subíndices, porque no presenta problemas de eclipsamiento ni ambigüedad. Es más sensible a cambios en las variables individuales. Permite a las variables más críticas transmitir una mayor influencia sobre el valor final del índice, situación que es más deseable a que el índice se vea influido por los subíndices a los que se les otorga mayor peso, como suele ocurrir con otras metodologías (promedio aritmético o geométrico ponderado).

El método del operador mínimo, tiene como ventajas principales ser extremadamente sensible a la variación de los parámetros y ser una fórmula abierta que permite un número indefinido de parámetros, sin embargo, al

recargar el concepto de la calidad en uno o pocos parámetros, tiende a perder de vista la idea global de la calidad y se convierte en una fórmula demasiado polarizada para el uso previsto para el cuerpo de agua.

La fórmula de agregación de los índices de contaminación y la estrategia AMOEBA utilizan logaritmos naturales, lo que las hace más sensibles e incluyen factores de ponderación iguales para cada parámetro componente.

Antes de aplicar la expresión matemática que integra los subíndices, muchos autores establecen que se debe asignar pesos o ponderaciones a las variables, de acuerdo a su incidencia en el cuerpo de agua y al uso del recurso hídrico, ya que algunos parámetros se pueden considerar más importantes que otros y pueden ser indicadores significativos del cambio de la calidad del agua.

La ponderación es un punto sensible y crítico en la agregación, ya que de acuerdo al peso relativo, el valor final cambiará. En su determinación deben intervenir expertos, entidades o administradores de gobierno del recurso hídrico y plantearse una metodología explicita.

De todos modos, algunos autores estiman que es un error asignar un peso al parámetro por algo que ya ha sido considerado al desarrollar la curva. Este argumento establece que, si es más grave la alteración producida por un parámetro que por otro, esto debería ser reflejado adecuadamente en las curvas de calidad desarrolladas y no en la ponderación.

En caso de establecer el peso o ponderación relativa de los parámetros, previo a su agregación, esta debe basarse en criterios claramente establecidos. Por ejemplo, puede realizarse en relación al uso del agua e importancia de los parámetros en relación al riesgo toxicológico o ecotoxicológico que implique un aumento o disminución de su concentración. De acuerdo a Sancha *et al*. (2001), el peso asignado a cada uno de los parámetros considerados en su ICA se estimó evaluando:

- La concentración del parámetro en aguas limpias y contaminadas.
- El impacto del contaminante en el ecosistema acuático (como aporte en el sostenimiento y la conservación de la vida acuática).
- El impacto del contaminante en el tratamiento posterior del agua.
- El impacto del contaminante en el uso riego y recreación.

Se puede ponderar a través del análisis de valores específicos de importancia reportados en la bibliografía antecedente, análisis de sensibilidad de cada parámetro seleccionado, métodos comparativos (proceso de análisis jerárquico) y opiniones de expertos en la materia.

5.3.1. Metodología

El proceso de agregación de los parámetros seleccionados para incluir en el ICAsup - CHMR se desarrolló de la siguiente manera:

En primer lugar, los parámetros fueron agrupados en diferentes dimensiones de acuerdo con su representatividad respecto de naturaleza o tipos de afectación del recurso hídrico superficial. Seguidamente, dichas dimensiones fueron ponderadas mediante una metodología diseñada *ah hoc* que define criterios para aplicar prioridades, en el marco del método denominado Proceso Analítico Jerárquico (también conocido como AHP por sus siglas en inglés "Analytic Hierarchy Process"), introducido por Tomas Saaty en 1977.

Posteriormente, se realizó la agregación ponderada de las dimensiones mediante la aplicación de expresiones o fórmulas matemáticas simples, de amplio uso en el campo de los índices de calidad del agua superficial, y de este modo proceder a seleccionar la que más se adaptó a la realidad de la cuenca analizada.

A su vez, la fórmula matemática seleccionada fue ajustada mediante un factor de corrección final, tal como se indica más adelante en el apartado siguiente correspondiente al proceso de agregación.

5.3.2. Proceso de agregación

5.3.2.1. Parámetros por dimensión

Los parámetros seleccionados para integrar el ICAsup - CHMR, que se vinculan con los usos reales del suelo o actividades que se desarrollan en la cuenca, informan sobre diversas condiciones o naturaleza de afectación de la calidad del agua superficial.

Por lo tanto, previo a la integración de dichos parámetros en una fórmula o expresión matemática, se ha procedido a diferenciarlos en conjuntos, agrupamientos o dimensiones establecidas en base a características particulares compartidas sobre la condición del recurso hídrico superficial que representan. Estas dimensiones se presentan a continuación:

- Dimensión - Carga orgánica: parámetros que indican aportes de carga orgánica procedente de diferentes fuentes, ya sea urbana como rural o industrial.
- Dimensión - Riesgo Sanitario: parámetros vinculados con presencia de microorganismos patógenos.
- Dimensión - Compuestos nitrogenados y fosforados: parámetros indicadores de diversos procesos y efectos en el agua superficial como potencial eutrofización, condiciones reductoras, toxicidad.
- Dimensión - Características físicas y sustancias disueltas: parámetros que indican condiciones de transparencia o turbidez, presencia de sustancias disueltas y potencial de hidrógeno del agua.
- Dimensión - Toxicidad: parámetros tóxicos, con potencial de bioacumulación, nula o muy baja biodegradación.

En la siguiente tabla se presentan los parámetros incluidos en cada dimensión.

Tabla 17: Dimensiones y parámetros

DIMENSIÓN	PARÁMETROS
CARGA ORGÁNICA	Oxígeno disuelto, DBO_5, DQO
RIESGO SANITARIO	*Escherichia coli*
COMPUESTOS NITROGENADOS Y FOSFORADOS	Fósforo total, Nitrógeno amoniacal
CARACTERÍSTICAS FÍSICAS Y SUSTANCIAS DISUELTAS	Sólidos totales en suspensión, Conductividad eléctrica, pH
TÓXICOS	Cromo total, Plomo total, Hidrocarburos totales

La estrategia de agrupamiento de parámetros cuenta con antecedentes en este tema, tal como se aprecia en la literatura (Dunnette, 1979; Lermontov *et al*., 2009).

5.3.2.2. Ponderación de las dimensiones

La ponderación de parámetros individuales fue analizada en el grupo interno de trabajo y después de distintos intercambios se llegó a la conclusión de que la misma se dificulta para la evaluación de los parámetros que pertenecen a una misma dimensión o agrupamiento. El principal argumento del grupo evaluador en este sentido fue que no se encontraron fundamentos significativos para establecer diferencias de importancia entre los parámetros que integran cada dimensión, razón por la cual, se decidió otorgarles la misma ponderación a todos los parámetros que integran cada dimensión.

En cambio, se encontraron diferencias de importancia relativa entre las dimensiones o agrupamientos identificados, en base a los criterios que se apuntan a continuación:

- Nivel jerárquico o de importancia relativa establecida en ICAs antecedentes: el análisis detallado de antecedentes desarrollado en la primera etapa del convenio permitió contar con esta información en esta instancia del trabajo. El nivel de importancia (o asignación de pesos relativos) de los parámetros utilizados en los índices relevados permitieron establecer el siguiente orden de prioridad, de mayor a menor jerarquía, para las dimensiones asignadas en nuestro índice:

- Primer orden: Carga orgánica
- Segundo orden: Riesgo sanitario
- Tercer orden: Compuestos nitrogenados y fosforados
- Cuarto orden: Características físicas y sustancias disueltas

Se presentan a continuación ejemplos de valores específicos de importancia relativa asignados en índices reportados en parte de la literatura analizada, que sustentan este orden jerárquico establecido, a saber:

Tabla 18: Ejemplos de pesos relativos establecidos en ICAs antecedentes

PARÁMETRO	PONDERACIÓN - ICAs antecedentes						
	INSF USA	BORDALO España-Portugal	ICAUCA Colombia	CONAGUA México	CONESA FERNÁNDEZ VÍTORA España	DINIUS USA	LEÓN VIZCAÍNO México
OD	0.17	0.19	21	5	4	0.109	0.103
DBO_5	0.10	0.15	15	5	3	0.097	0.096
DQO	-	0.15		-	-	-	0.053
FÓSFORO TOTAL	-	-	8	-	-	-	-
FOSFATOS	0.10	-	-	2	1	-	0.073
NITRÓGENO AMONIACAL	-	0.12	-	2	3	-	0.043
NITRÓGENO TOTAL	-	-	8	-	-	-	-
NITRATOS	0.10	-	-	2	2	0.09	0.053
NITRITOS	-	-	-	-	2	-	-
CONDUCT. ELECTRICA	-	0.06	-	2	-	0.079	0.079
SÓLIDOS DISUELTOS TOTALES	0.08	-	-	0.5	2	-	-
SÓLIDOS SUSP. TOTALES	-	0.07	5	1	-	-	0.033
SÓLIDOS TOTALES	-	-	7	-	4	-	-
pH	0.12	0.09	8	1	1	0.077	0.063
TURBIDEZ	0.08	-	7	0.5	2	-	-
COLIFORMES FECALES	0.15	0.12	16	4	-	0.09	0.143
Escherichia coli	-	-	-	-	-	0.116	-
COLIFORMES TOTALES	-	-	-	3	3	-	0.083
SAAM	-	-	-	3	4	-	-
GRASAS Y ACEITES	-	-	-	2	1	-	-
CLORUROS	-	-	-	0.5	1	0.074	0.068

PARÁMETRO	PONDERACIÓN - ICAs antecedentes						
	INSF USA	BORDALO España-Portugal	ICAUCA Colombia	CONAGUA México	CONESA FERNÁNDEZ VÍTORA España	DINIUS USA	LEÓN VIZCAÍNO México
SULFATOS	-	-	-	-	2		-
ALCALINIDAD	-	-	-	1	-	0.063	0.055
DUREZA	-	-	-	1	1	0.065	0.058
CALCIO	-	-	-		1	-	-
MAGNESIO	-	-	-	-	1	-	-
COD	-	-	-	-	3	-	-
FENOLES	-	-	-	-	-	-	0.033
TEMPERATURA	0.10	0.05	-	-	1	0.077	0.043
COLOR	-	-	5	1	-	0.063	-

Se observa en general cierta coincidencia entre diferentes autores (Brown et al., 1970; Dinius, 1987; León Vizcaíno, 1998; Bordaló et al., 2001; Patiño et al., 2009; CONAGUA - México, 2008; Conesa Fdez-Vitora V., 1995) respecto del nivel jerárquico o de importancia que asignan a los parámetros que integran en sus índices, y que se vinculan con las dimensiones que se han establecido en este trabajo para el diseño del ICAsup - CHMR.

Es de destacar que los ICAs antecedentes en general no incorporan metales pesados o hidrocarburos totales. Los escasos índices que los consideran, los utilizan en índices individuales que representan exclusivamente carga industrial o fuentes concretas de contaminación por metales pesados o hidrocarburos (ejemplos: índices de contaminación (ICO) de Colombia (Ramírez, A. *et. al*, 1997) o Estrategia AMOEBA (A General Method Of Ecological and Biological Assessment) de los Países Bajos (Fernández Parada, N. *et al*, 2003), separados de parámetros que representan aportes orgánicos biodegradables, riesgo microbiológico, nutrientes, etc., y que se integran en otros índices específicos con los cuales se complementan. Es decir, no se han encontrado ICAs que integren HCT y metales pesados con estos tipos de parámetros físico-químicos y microbiológicos en un único índice. Por esta razón, la dimensión correspondiente a tóxicos no se incluye en el orden jerárquico establecido, según análisis de antecedentes.

A su vez, los índices mencionados (Estrategia AMOEBA e ICOs) no realizan ponderación de parámetros.

- Impactos en el ecosistema acuático (como aporte en el sostenimiento y la conservación de la vida acuática): algunas dimensiones son determinantes para el desarrollo de la biota acuática puesto que garantizan su posibilidad de supervivencia. Valores alejados de los requeridos para el desarrollo de la vida acuática ponen en riesgo la supervivencia del sistema.
- Impactos en el uso recreación o contacto directo: se vinculan fundamentalmente con el riesgo sanitario microbiológico.

Metodología de ponderación de dimensiones:

Para determinar los pesos de cada dimensión que incluirá los parámetros seleccionados, se ha aplicado una metodología diseñada *ad hoc* que define los criterios para aplicar prioridades, en el marco de la metodología AHP (por sus siglas en inglés "Analytic Hierarchy Process") o Proceso Analítico Jerárquico, introducido por Tomas Saaty en 1977.

Este método es una de las técnicas multicriterio con mayor implantación práctica en casi todos los ámbitos de la toma de decisiones, siendo en general las causas de su aplicación la flexibilidad técnica; la adecuación de diversas situaciones reales a la selección multicriterio entre alternativas; a su facilidad de uso; y a la posibilidad de aplicarlo de manera individual o en grupo, entre otras.

Este método estructura el proceso de decisión a través de prioridades que llevan a una decisión más eficiente, incorporando aspectos cualitativos y cuantitativos, con el fin de ordenar los componentes en una estructura jerárquica, y así poder asignarle valores numéricos (Pacheco y Contreras, 2008). En el proceso se destacan tres principios:

A. Construcción de Jerarquías

Es el esquema que conducirá al objetivo final. En primer lugar, hay que definir el objetivo o foco, luego los criterios que permiten conocer los ámbitos en la

consecución de los objetivos y finalmente las alternativas que son evaluadas según los criterios iniciales.

B. Establecimiento de Prioridades

El cálculo de la prioridad se realiza en función de las comparaciones de a pares con respecto a un criterio dado. Los elementos son comparados a través de una matriz mediante la siguiente pregunta: ¿En cuánto supera este elemento al otro? en relación a la importancia según el objetivo planteado. De esta forma se realiza una evaluación ordinal de los elementos, pero además se busca cuantificar la importancia de uno sobre el otro.

La escala utilizada es la siguiente:

Tabla 19: Escala de importancia

Intensidad	Definición	Explicación
1	De igual Importancia	2 actividades contribuyen de igual forma al objetivo
3	Moderada importancia	La experiencia y el juicio favorecen levemente a una actividad sobre la otra
5	Importancia fuerte	La experiencia y el juicio favorecen fuertemente una actividad sobre la otra
7	Muy fuerte o demostrada	Una actividad es mucho más favorecida que la otra; su predominancia se demostró en la práctica
9	Extrema	La evidencia que favorece una actividad sobre la otra, es absoluta y totalmente clara
2,4,6,8	Valores intermedios	Cuando se necesita un compromiso de las partes entre valores adyacentes
Recíprocos	aij=1/aji	Hipótesis del método

Este proceso de comparación debe ser consensuado por los expertos, los cuales deberán justificar sus decisiones.

Una vez construido el modelo jerárquico con los diferentes criterios y alternativas relevantes para el proceso de decisión, el problema se reduce al cálculo de valores y vectores propios, que representarán las prioridades, y el índice de consistencia del proceso.

Ecuación 1: Matriz recíproca de comparaciones de a pares

$$\boldsymbol{A} * \boldsymbol{w} = \boldsymbol{\lambda} * \boldsymbol{w}$$

A=Matriz recíproca de comparaciones a pares (Juicios de importancia/ preferencia de un criterio sobre otro)

w= Vector propio que representa el ranking u orden de prioridad

λ =Máximo valor propio que representa una medida de la consistencia de los juicios.

C. Consistencia lógica

Por supuesto, es necesario cierto grado de consistencia en la fijación de prioridades para los elementos o actividades con respecto de algún criterio para obtener resultados válidos en el mundo real.

El criterio de consistencia implica transitividad y proporcionalidad. La primera es que deben respetarse las relaciones de orden entre los elementos, tal que si A es mayor que C y C es mayor que B entonces la lógica dice que A es mayor que B. La segunda es que las proporciones entre los órdenes de magnitud de estas preferencias también deben cumplirse con un rango de error permitido.

El AHP mide la inconsistencia global de los juicios mediante la Proporción de Consistencia, que es el resultado de la relación entre el Índice de Consistencia y el Índice Aleatorio. El Índice de Consistencia es una medida de la desviación de consistencia de la matriz de comparaciones a pares; y el Índice Aleatorio es el índice de consistencia de una matriz recíproca aleatoria, con recíprocos forzados, del mismo rango de escala de 1 hasta 9.

El valor de esta proporción de consistencia no debe superar el 10%, para que sea evidencia de un juicio informado. Esto dependerá del tamaño de la matriz de comparación a pares.

Primero se debe definir:

Ecuación 2: Máximo valor propio de la matriz recíproca

$$\boldsymbol{\lambda_{max} = V * B}$$

λ_{max} : es el máximo valor propio de la matriz de comparaciones a pares.

V: es el vector de prioridades o vectores propios, que ya obtuvimos, de la matriz de comparaciones.

B: es una matriz fila, correspondiente a la suma de los elementos de cada columna de la matriz de comparaciones a pares. Es una matriz de mx1, donde m es el número de columnas de la matriz de comparaciones.

El índice de Consistencia (IC) es:

Ecuación 3: Índice de consistencia

$$\boldsymbol{IC = \frac{\lambda_{max} - n}{n - 1}}$$

Para finalmente obtener la Relación de Consistencia (RC), se requiere conocer el Índice Aleatorio (IA). Este elemento depende del tamaño de la matriz y se obtiene a partir de la siguiente tabla (Saaty):

Tabla 20: Índice Aleatorio de Saaty

Tamaño Matriz	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Índice Aleatorio	0	0	0.58	0.90	1.12	1.24	1.32	1.41	1.45	1.49

Finalmente, se presenta la Relación de Consistencia como:

Ecuación 4: Relación de consistencia

$$\boldsymbol{RC = \frac{IC}{IA}}$$

Los juicios de valor realizados son consistentes cuando la Relación de consistencia es menor a 0.1. En tal caso, es evidencia suficiente para afirmar que los juicios están bien informados y no es necesario reevaluarlos. En caso contrario, si la Relación de Consistencia fuera mayor, se haría necesario reevaluar los juicios. Esto significaría que se vuelva a consultar a los expertos.

Proceso de ponderación de dimensiones mediante el método AHP

Se realizó la ponderación de las siguientes dimensiones: carga orgánica, riesgo sanitario, compuestos nitrogenados y fosforados y características físicas y sustancias disueltas.

La dimensión correspondiente a tóxicos no fue incorporada en el proceso de ponderación, por tratarse de un grupo de parámetros que presenta diferencias significativas en relación al resto de los parámetros seleccionados, y para el cual es difícil establecer comparaciones, en especial prioridades, en relación al resto, por lo que se decide un tratamiento distintivo en la integración final. A continuación, se presentan las razones o criterios que sustentan esta decisión respecto de los tóxicos (hidrocarburos totales y metales pesados: cromo y plomo):

- Se trata de compuestos de naturaleza irreversible. Sin intervención humana es prácticamente imposible eliminarlos del sistema una vez incorporados en el mismo, debido a que no pueden degradarse química o biológicamente (excepto ciertos hidrocarburos de estructura química simple foto o biodegradables). Esto representa una diferencia sustancial con respecto al resto de las dimensiones, para las cuales sus valores normales en el agua superficial pueden ser restablecidos en caso de eliminarse descargas o aportes contaminantes.
- Tienden a bioacumularse y biomagnificarse.
- Interfieren con procesos fisiológicos y/o ecológicos esenciales para la sustentabilidad de las especies y del ecosistema. Generan efectos tóxicos diversos en la biota, son numerosos los estudios

ecotoxicológicos en diversas especies de invertebrados, peces, algas, etc. que respaldan los valores de no supervivencia poblacional (LC_{50})[2]

- Los ICAs antecedentes en general no incorporan estos compuestos. Los escasos índices que los consideran, los utilizan en índices individuales que representan exclusivamente carga industrial o fuentes concretas de contaminación por metales pesados o hidrocarburos (ejemplos: índices de contaminación (ICO) o Estrategia AMOEBA), separados de parámetros que representan aportes orgánicos biodegradables, nutrientes, riesgo microbiológico, etc., y que se integran en otros índices específicos con los cuales se complementan. Es decir, no se han encontrado ICAs que agreguen dentro de la formula ponderada HCT y metales pesados con estos tipos de parámetros físico-químicos y microbiológicos en un único índice.

Aclarado esto, se presenta el procedimiento y desarrollo de comparación de las dimensiones: carga orgánica, riesgo sanitario, compuestos nitrogenados y fosforados y características físicas y sustancias disueltas.

Las dimensiones que se han ponderado comparten ciertas características en común: son reversibles, no bioacumulativos y temporales. A su vez, son dependientes de otros factores del medio, como la temperatura, las horas del día, las precipitaciones, el caudal del curso superficial, entre otros. Por lo que dichos parámetros presentan elevada variabilidad en función de las particularidades de los factores ambientales en cuestión.

El criterio utilizado en este trabajo para la comparación de a pares de las cuatro dimensiones, fue el orden jerárquico prácticamente generalizado que ha asignado la literatura antecedente sobre el tema a los parámetros pertenecientes a las dimensiones utilizadas en nuestro ICAsup – CHMR, tal como se indica en el apartado 5.3.2.2. Es decir, este proceso de ponderación cuenta con un sólido respaldo académico y técnico resultante de análisis y debates de especialistas procedentes de diferentes regiones y cuencas

[2] Universidad Nacional de La Plata – Facultad de Ciencias Exactas (2015). *Evaluación de la sensibilidad de diferentes especies acuáticas, presentes en la Cuenca Matanza Riachuelo, expuestas a diversos contaminantes determinados en la misma.* Informe Final. ACUMAR.

hídricas (ejemplos: Brown *et al.*, 1970; Dinius, 1987; Cude, 2001; Vizcaíno, 1998; Bordaló *et al*., 2001; Patiño *et al*., 2009; CONAGUA - México, 2008).

A continuación, se presenta la matriz de comparación de a pares donde se detalla el procedimiento para la obtención de los pesos relativos de cada parámetro.

Item		1	2	3	4
		P. Físicas	Orgánico	Nutrientes	Sanitario
1	P. físicas	1,00	0,25	0,50	0,33
2	Orgánico	4,00	1,00	3,00	2,00
3	Nutrientes	2,00	0,33	1,00	0,50
4	Sanitario	3,03	0,50	2,00	1,00
	Suma	**10,03**	**2,08**	**6,50**	**3,83**

Tabla 21: Relación de Consistencia

Ítem		1	2	3	4	Suma	Suma Peso
		Caract. físicas	Carga orgánica	Comp. N y P	Riesgo sanitario		
1	Caract. físicas	0,10	0,12	0,08	0,09	0,38	4,02
2	Carga orgánica	0,38	0,47	0,48	0,56	1,89	4,05
3	Comp. N y P	0,19	0,16	0,16	0,14	0,65	4,02
4	Riesgo sanitario	0,29	0,23	0,32	0,28	1,12	4,04

Tabla 22: Relación de Consistencia

Ítems:	n =	4
I máx:	I máx =	4,031
Índice de Consistencia:	IC =	0,010
Índice Aleatorio:	IA =	0,90
Relación de Consistencia:	RC =	**0,01**

El resultado de la metodología es el peso relativo o subíndice que corresponde al peso de cada dimensión donde los valores de peso resultaron 0.096 para la dimensión física, 0.466 para la dimensión orgánica, 0.161 para la dimensión de compuestos nitrogenados y fosforados y 0.277 para la dimensión sanitaria (bacteriológica).

5.3.2.3. Desarrollo de escala de clases o categorías de calidad del agua superficial

El valor numérico final resultante de la agregación de los parámetros en el ICAsup - CHMR tendrá como objetivo aportar información respecto de la calidad del agua superficial. En este sentido, previamente se debe contar con una asignación de rangos numéricos que establezcan las diferentes clases de calidad del agua superficial, desde una condición mala a una muy buena.

Esta escala debe estar en concordancia con el desarrollo de las curvas de los subíndices, con el fin de que los sistemas puedan leerse por separado desde los subíndices y guarden armonía con el totalizado. Es decir, cada curva de cada subíndice (valor Q asignado a cada parámetro) debe haberse desarrollado con el mismo sistema de clasificación final que permita, por ejemplo, que si para el Oxígeno Disuelto el valor de calidad de 50, está en una categoría de calidad de agua media, todas las demás variables incluidas en el índice, tengan la misma equivalencia respecto de la misma categoría (valor Q: 50 para categoría media). De otra manera, puede darse el caso de contrariedades en la clasificación final.

Tabla 23: Escala de parámetros y escala final del ICAsup - CHMR

	Parametro	Clase I	Clase II	Clase III	Clase IV	Clase V
Dimensión Física	SST (mg/l)	<8	8-23	23-46	46-88	>88
	CE (uS/cm)	<300	300-384	384-758	758-1176	>1176
	pH	6,5 a 7,5	5,94<x<6,5 o 7,5 <x<8,06	5,26<x<5,94 o 8,06 <x<8,74	4,03<x<5,94 o 8,06<x<9,97	x<4,03 o x<9,97
Dimensión Orgánica	% OD	>97	97-78	78-54,5	54,5-30,75	<30,75
	DBO_5 (mg/l)	<3,16	3,16-4,16	4,16-6,43	6,43-12,04	>12,04
	DQO (mg/l)	<16,07	16,07-23,08	23,08-39,4	39,4-77,86	<77,86
Dimensión Comps. de N y P	N-amoniacal (mg/l)	<0,37	0,37-1,83	1,83-4,33	4,33-8,06	>8,06
	FT (mg/l)	.<0,047	0,047-0,143	0,143-0,58	0,58-2,35	>2,35
Dimensión Sanitaria	*E.coli* (NMP/100ml)	<31,43	31,43-140,17	140,17-910,44	910,44-10325,33	>10325,33
Dimensión Tóxicos	Cr (mg/l)	<0,008	0,008-0,043	0,043-0,117	0,117-0,277	>0,277
	Pb (mg/l)	<0,0036	0,0036-0,011	0,011-0,027	0,027-0,0588	>0,0588
	HCT (mg/l)	<0,62	0,62-1,235	1,235-2,397	2,397-4,72	>4,72

Tabla 24: Clasificación de la calidad del agua para el ICAsup - CHMR

Rango Índice (Q)	Clase	Clasificación
96-100	I	Muy Buena
76-95	II	Buena
51-75	III	Media
26-50	IV	Mala
0-25	V	Muy Mala

5.3.2.4. Desarrollo de fórmula de agregación

Con el objeto de efectuar la agregación general de los parámetros seleccionados, se ha procedido a evaluar dos expresiones o fórmulas matemáticas ampliamente reportadas en la bibliografía: la media aritmética (ponderada y no ponderada) y la media geométrica (ponderada y no ponderada). Se pretendió determinar la sensibilidad de los métodos de agregación seleccionados ante los cambios de las diferentes variables de calidad del agua, y la sensibilidad de las ponderaciones aplicadas.

Dichas fórmulas fueron utilizadas para agregar las cuatro dimensiones ponderadas: carga orgánica, riesgo sanitario, compuestos nitrogenados y fosforados y propiedades físicas y sustancias disueltas.

Para evaluar la sensibilidad de las diferentes fórmulas matemáticas de agregación de los parámetros estandarizados (Q_i), se calcularon para las estaciones de la cuenca seleccionadas por contar con registros de la componente biológica (utilizada en índices biológicos aplicados por el

Instituto de Limnología "Dr. Raúl A. Ringuelet" de la UNLP) y a su vez con todos los valores de los parámetros físico-químicos y bacteriológicos que integran el ICAsup - CHMR, los valores de las cuatro primeras dimensiones agregadas (Q_{ica}) utilizando la media aritmética y la media geométrica sin ponderar y las medias ponderadas con los valores del w_i obtenidos del procedimiento de análisis de a pares para cada dimensión.

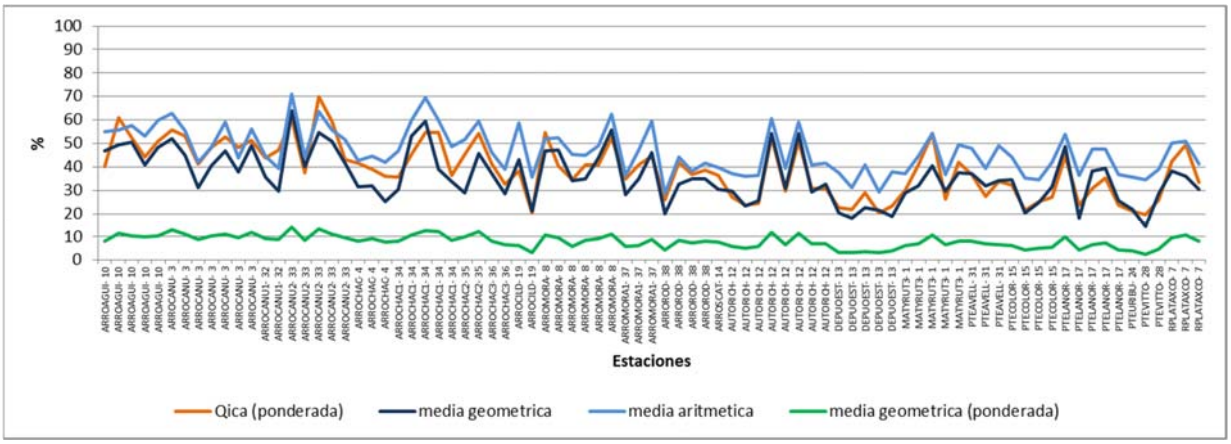


Figura 17: Resultados de la agregación de las dimensiones con diferentes a la expresión matemática

Los resultados muestran (según se aprecia en la figura 17) que en general el cálculo utilizando la multiplicación, baja el valor del índice respecto de la media aritmética, más aún al ponderar las dimensiones (línea color verde). Los valores más altos de calidad están representados por la expresión de la media aritmética sin ponderación (línea celeste); los valores obtenidos por sumatoria ponderada (línea naranja) se encuentran en una situación intermedia entre esta última y la geométrica sin ponderación (línea azul oscura). Se observa que se respetan las diferencias entre las estaciones, cabe aclarar que no se han representado los valores de extremos bajos ya que en alguno de los parámetros se presentaron valores de cero. Recordemos que en este cálculo no se ha integrado aun la dimensión correspondiente a los tóxicos.

Debido a que, entre estaciones no se ha registrado gran variabilidad del comportamiento de la calidad del agua superficial en general, existen varias estaciones con valores de Q cero, y a que, además, las diferencias no fueron

altamente significativas respecto de los resultados (con excepción del caso de la fórmula multiplicativa ponderada, la cual baja demasiado el valor de calidad), se ha seleccionado el método de la media aritmética ponderada como fórmula de agregación de las dimensiones.

Como resultado de este análisis se seleccionó la agregación por sumatoria ponderada para cada dimensión como se indica en la ecuación ***(5)***

Ecuación 5: Agregación parcial del ICAsup – CHMR - cuatro dimensiones

$$Qica = \sum_i^n Qi * wi \quad \textbf{(5)}$$

Dónde: Qi es el valor del subíndice de calidad para cada dimensión

wi es el peso dado al subíndice i

5.3.2.5. Desarrollo de fórmula del ICAsup - CHMR

Los valores de los parámetros estandarizados (Q_i) de cada dimensión fueron el resultado del cálculo de la media aritmética de cada variable simple. Una vez obtenidos los valores para cada grupo o dimensión (física (Q_f) orgánica (Q_o), compuestos nitrogenados y fosforados (Q_n), y sanitaria (Q_s)), se agregaron utilizando la sumatoria ponderada por los pesos asignados a cada dimensión resultado del proceso del análisis jerárquico de a pares (AHP), donde los valores de peso resultaron 0.096 para la dimensión física, 0.466 para la dimensión orgánica, 0.161 para la dimensión de compuestos nitrogenados y fosforados y 0.277 para dimensión sanitaria (bacteriológica). El resultado de la sumatoria ponderada es un valor entre 0 a 100 denominado Q_{ica}, donde 100 representa la mejor condición de calidad del agua superficial y el 0 la peor condición. Las concentraciones de las variables de Cr, Pb y HCT que componen la dimensión tóxicos (denominada Q_t), no se consideraron dentro de esta agregación; esta última dimensión se propone como un factor de corrección del Q_{ica}. Al resultado del Q_{ica} se lo multiplica por el factor de corrección λQ_t, expresión *(2)*, el cual puede tomar valores de 1, 0.75, 0.50 o 0.25 en función de las siguientes definiciones o reglas de decisión:

Regla 1: Si al menos uno de los parámetros tóxicos tiene valores de Q_t menor a 25, entonces el valor obtenido de Q_{ica} se lo multiplica por λQ_t=0.25, o sea se reduce al 25 por ciento.

Regla 2: Si al menos uno de los parámetros tóxicos se encuentra en la categoría de Q_t entre 25 a 50 (o sea es de categoría II) entonces el valor del índice de Q_{ica} se multiplica por λQ_t=0.5 (o sea es el 50% del valor calculado).

Regla 3: si al menos uno de los parámetros tóxicos se encuentra entre la categoría 50 a 75, entonces el Q_{ica} se multiplica por λQ_t=0.75(o sea es el 75% del valor calculado).

Regla 4: Si ningún parámetro está por debajo de valores de Q_t de 75 se multiplica por 1, entonces queda el valor del Q_{ica}.

Ecuación 6: Expresión matemática del ICAsup - CHMR

$$\text{ICA}_{sup} = [\sum_i^n (Qi * wi)] * \lambda Q_t \quad \textbf{(6)}$$

$$\text{ICA}_{sup} = [Q_F * 0.096 + Q_O * 0.466 + Q_N * 0.161 + Q_S * 0.277] * \lambda Q_t \quad \textbf{(6)}$$

Donde λQt =

- 1 si $Q_t \geq 75$
- 0.75 si $50 < Q_t < 75$
- 0.50 si $25 < Q_t < 50$
- 0.25 si $Q_t \leq 25$

Se desarrolló un archivo en formato Excel con macros programadas para facilitar el cálculo del índice.

Se incluye una captura de pantalla para visualizarlo.

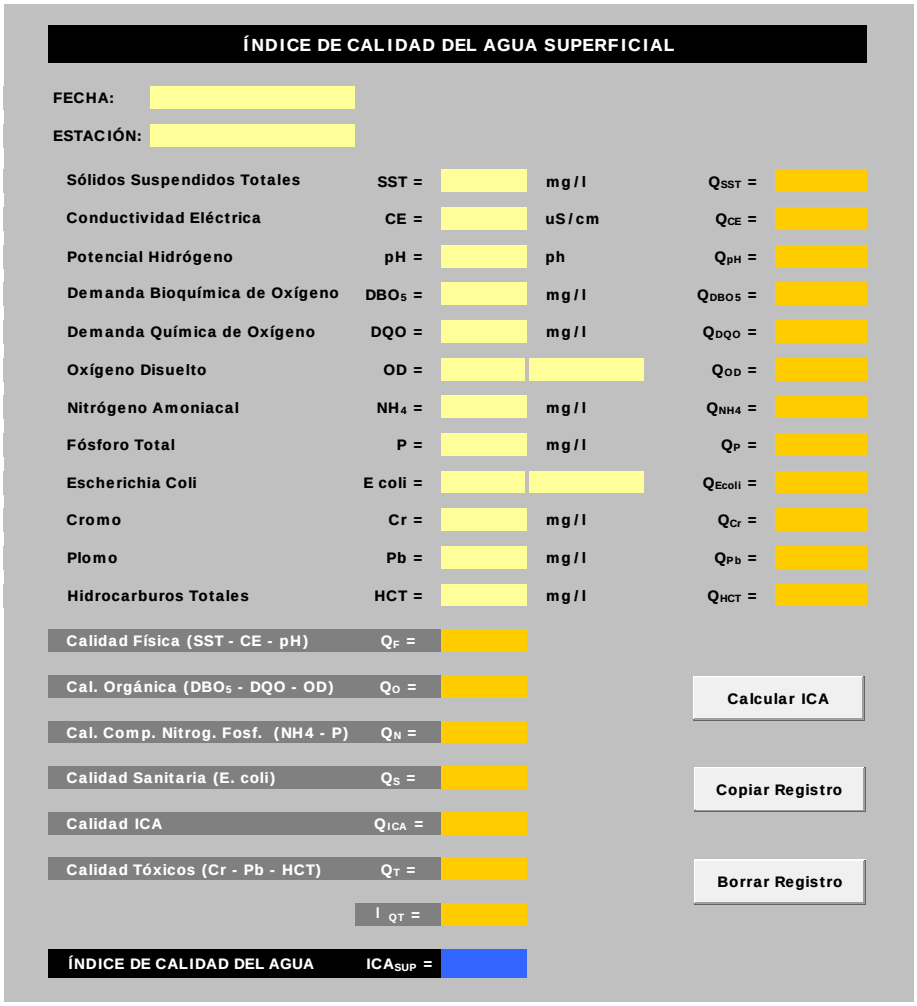


Figura 18: Captura de pantalla de Excel elaborado para cálculo del ICAsup - CHMR

6. Aplicación del ICAsup - CHMR

Se procedió a la aplicación del ICAsup - CHMR con valores registrados en la BDH de ACUMAR.

Para esta aplicación se seleccionaron 38 estaciones con registros de variables físico-químicas y microbiológicas que contaron con todos los parámetros necesarios para el cálculo del índice de calidad de agua. Las estaciones seleccionadas incluyeron registros entre los años 2008 - 2016. Los estadísticos se calcularon para cada estación a partir de todos los registros obtenidos de la BDH en las 38 estaciones seleccionadas. La ubicación espacial de la red completa de estaciones de muestreo de ACUMAR se presenta en el anexo 1.

El cálculo del ICAsup se realizó según la expresión (2); los estadísticos generales (todas las estaciones en forma conjunta) se muestran en la tabla 25 y figura 19.

Tabla 25: Estadísticos generales del ICA sup - CHMR por estación (2008 – 2015)

Estaciones	N	Media	Des.Est	Error	-95%	+95%
AGMOLINA- 6	9	30,974	14,281	4,7603	19,997	41,951
ARROAGUI- 10	6	44,089	18,259	7,4542	24,927	63,250
ARROCANU- 3	19	40,324	19,442	4,4603	30,953	49,694
ARROCANU1- 32	4	36,421	18,103	9,0514	7,616	65,227
ARROCANU2- 33	3	51,599	11,965	6,9082	21,876	81,323
ARROROD- 38	9	34,342	10,305	3,4350	26,421	42,263
ARROCEB- 39	4	6,490	2,094	1,0472	3,157	9,823
ARROCHAC1- 34	5	39,431	7,887	3,5272	29,638	49,224
ARROCHAC2- 35	1	45,144				
ARROCHAC3- 36	7	35,326	17,499	6,6139	19,142	51,509
ARROCHAC- 4	23	31,469	11,441	2,3857	26,521	36,417
ARROMORA1- 37	8	29,879	12,667	4,4785	19,289	40,469
ARROMORA- 8	20	36,421	14,471	3,2359	29,648	43,194
MATYRUT3- 1	10	34,977	13,122	4,1496	25,590	44,364
MPLANES- 2	10	41,783	13,932	4,4058	31,817	51,750
MHERRERA- 5	11	30,006	15,561	4,6917	19,552	40,459
RPLATAXCO- 7	7	34,133	17,246	6,5184	18,183	50,083
ARRODMAR- 11	11	35,405	8,670	2,6141	29,580	41,230
AUTORICH- 12	9	29,138	10,536	3,5121	21,039	37,237
DEPUOEST- 13	16	19,863	10,626	2,6566	14,200	25,525
ARROSCAT- 14	14	21,867	14,124	3,7749	13,712	30,022
ARRODREY- 16	11	23,675	12,684	3,8245	15,154	32,197
PTECOLOR- 15	17	19,309	13,356	3,2393	12,442	26,176
PTELANOR- 17	11	21,896	10,952	3,3023	14,538	29,253
CANUNAMU- 18	8	20,085	6,684	2,3633	14,497	25,673
ARROCILD- 19	7	23,379	14,474	5,4707	9,993	36,765
DPEL2500- 20	15	8,265	5,359	1,3837	5,297	11,232
DPEL2100- 21	8	14,499	7,403	2,6173	8,310	20,687
DPEL1900- 22	6	9,513	11,029	4,5024	-2,061	21,087
CONDEREZ- 23	10	7,980	8,149	2,5769	2,151	13,810
PTEURIBU- 24	7	12,172	6,713	2,5374	5,963	18,381
ARROTEUC- 25	5	15,183	8,558	3,8271	4,558	25,809
DPROLELI- 26	10	16,197	9,885	3,1258	9,126	23,268
DPROLLAF- 27	4	17,175	19,755	9,8777	-14,260	48,611
PTEVITTO- 28	4	18,339	8,151	4,0755	5,369	31,310
DPROLPER- 29	10	21,828	13,823	4,3713	11,939	31,716
PTEPUEYR- 30	4	16,448	13,147	6,5733	-4,471	37,367
PTEAVELL- 31	2	39,125	13,490	9,5388	-82,077	160,327

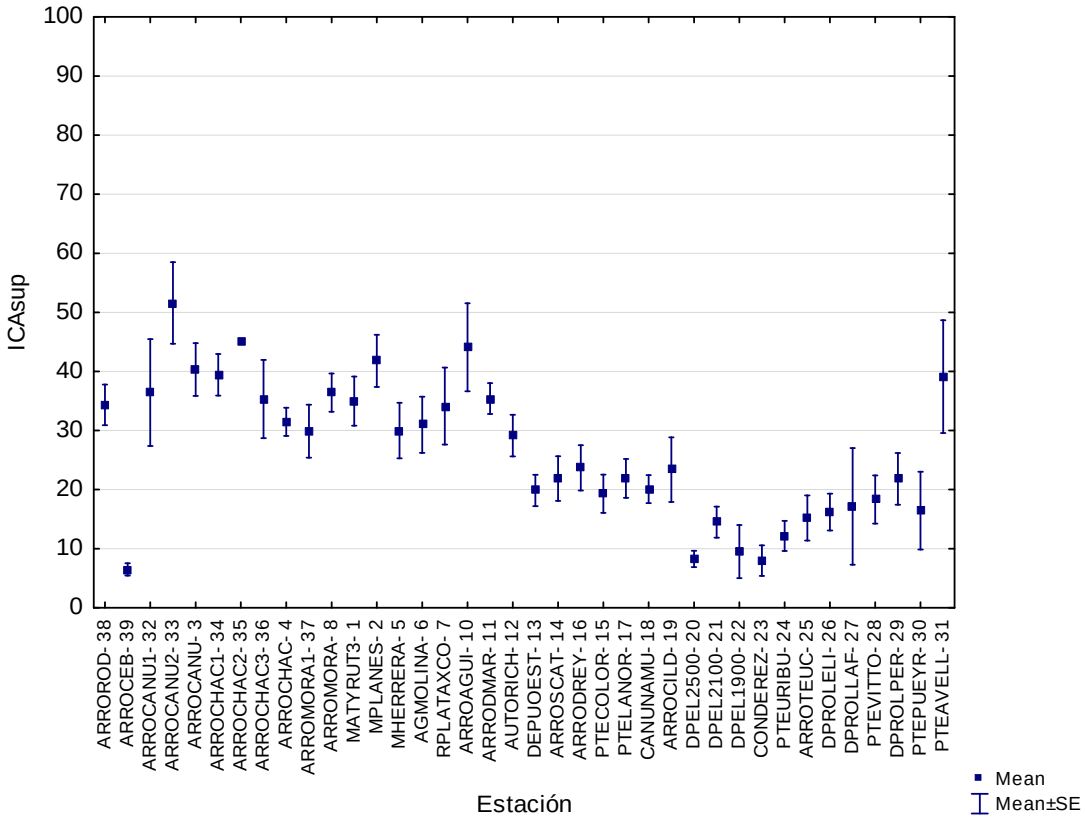


Figura 19: Valores del ICA sup - CHMR por estación

Como resultado de la aplicación del ICAsup – CHMR, se observa que en general todas las estaciones presentan una alta variabilidad por fechas. Las estaciones del tramo superior y medio presentan valores medios para el índice, en la categoría MALA de calidad del agua, mientras que el tramo inferior cuenta con valores promedio de MUY MALA calidad. Se destacan excepciones como la estación 39 (ARROCEB) en el tramo superior, donde la calidad es muy mala, así como la estación 31 (PTEAVELL) en sector inferior, donde el valor es superior al resto de las estaciones en este tramo, probablemente influenciado por aportes del Río de la Plata. La única estación con valores medios de calidad de agua en la categoría MEDIA, es la estación 33 (ARROCANU2) en cuenca superior. Ver figura 19.

No se encontraron estaciones, sobre las 38 analizadas, con valores medios de ICAsup de buena o muy buena calidad.

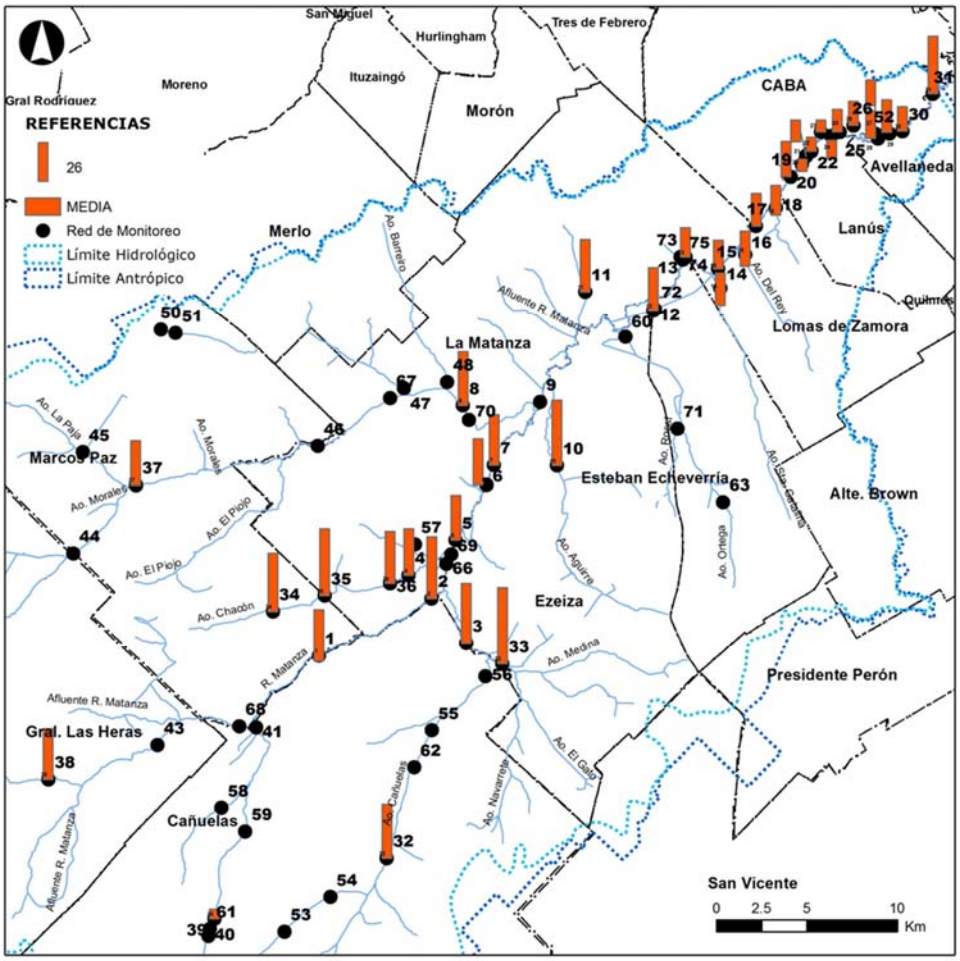


Figura 20: Representación gráfica de valores promedio del ICAsup – CHMR

Las estaciones y fechas de la tabla 26, fueron los registros con valores por encima del 50% de calidad, caracterizadas por calidad media. Sin embargo, no se registraron estaciones con valores buenos o muy buenos de calidad. De las estaciones analizadas, las que presentaron mayores valores de calidad fueron las del Arroyo Cañuelas (ARROCANU-3, ARROCANU1-32 y ARROCANU2-33), el Arroyo Chacón (ARROCHAC1-34 y ARROCHAC2-35), y el arroyo Morales (ARROMORA-8).

Tabla 26: Calidad del agua de las estaciones por fecha en orden creciente de ICAsup (solo las que presentaron valores de clase media de calidad)

Estacion	Fecha	ICAsup
RPLATAXCO- 7	nov-10	50,055
ARROCANU- 3	abr-16	50,283
ARROMORA- 8	abr-16	50,439
ARROCANU- 3	sep-14	50,547
ARROCANU1- 32	jun-10	50,702
ARROCHAC3- 36	jun-10	50,736
RPLATAXCO- 7	may-14	51,002
ARROCANU- 3	jul-12	51,152
ARROCANU- 3	nov-15	51,480
AUTORICH- 12	jun-10	51,595
ARROMORA1- 37	dic-12	51,860
ARROCHAC- 4	nov-10	52,077
ARROCANU- 3	may-11	52,104
ARROCANU1- 32	nov-10	52,547
MATYRUT3- 1	jul-12	52,639
ARROCANU- 3	nov-10	52,714
ARROCHAC3- 36	dic-12	52,935
PTEAVELL- 31	sep-10	53,310
ARROAGUI- 10	nov-13	53,362
ARROAGUI- 10	may-14	53,514
ARROCHAC3- 36	nov-10	53,528
ARROSCAT- 14	dic-14	53,734
ARROCHAC2- 35	jun-10	53,863
ARROCHAC1- 34	jun-10	54,189
ARROCANU- 3	jun-10	55,221
ARROMORA- 8	nov-15	55,351
ARROMORA- 8	nov-15	56,288
ARROCANU2- 33	abr-12	57,078
ARROCANU- 3	nov-14	58,816
ARROCANU2- 33	nov-15	59,177
ARROCANU2- 33	jun-10	59,844
ARROMORA- 8	abr-12	60,488
ARROCANU1- 32	feb-12	60,746
ARROMORA- 8	dic-12	61,134
ARROAGUI- 10	ago-12	61,232
ARROCANU- 3	nov-14	61,704
MHERRERA- 5	sep-10	62,281
ARROCHAC2- 35	sep-10	62,951
ARROCHAC3- 36	sep-14	63,535
ARROCANU- 3	sep-14	63,732
MPLANES- 2	sep-10	63,911

Según la siguiente tabla, de las 38 estaciones utilizadas para la aplicación del ICAsup - CHMR, se registró un 50,69 % de las muestras con categoría Muy Mala de calidad, un 41,26 % Mala, un 8,06 % de calidad Media, mientras que no se registraron muestras en categorías superiores.

Tabla 27: Porcentaje y cantidad de muestras por categoría/clase de calidad del agua

Clase	Categoría	Registros	%
V	**Muy Mala**	258	50,69
IV	**Mala**	210	41,26
III	**Media**	41	8,06
III	**Buena**	0	0,00
I	**Muy Buena**	0	0,00

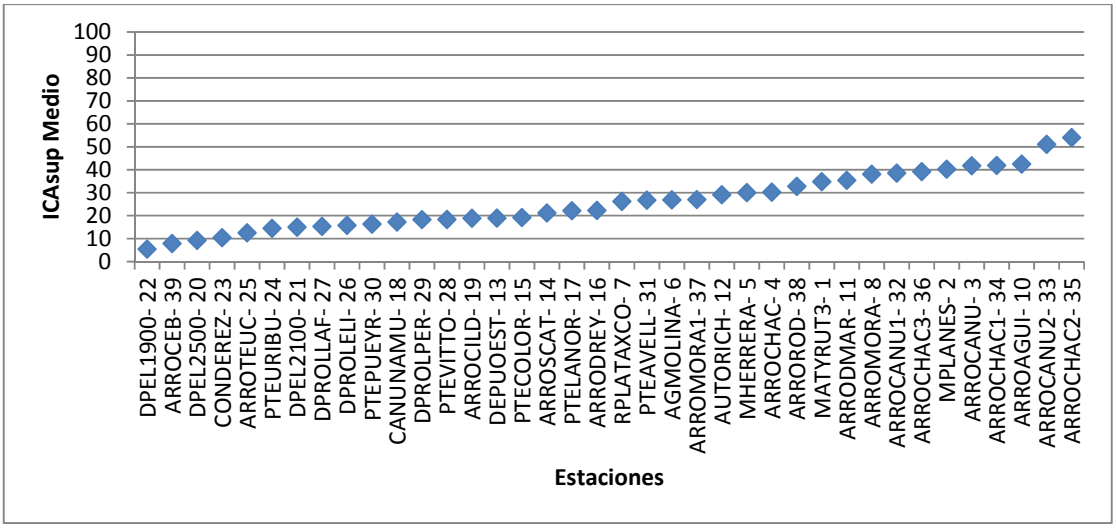


Figura 21: Promedio de los valores de ICAsup - CHMR por estación, para todas las fechas en orden creciente

El modo de cálculo del ICAsup, según se ha desarrollado en el macro de Excel (figura 18), permite visualizar el grado de contribución de cada dimensión al ICAsup para cada uno de los registros independientes, lo que posibilita el análisis en detalle de las dimensiones, por ejemplo, cuál sería la dimensión que aporta con más intensidad al valor del ICAsup; esto brinda mayor definición sobre en qué componentes priorizar en la toma de decisiones. En la figura 22 se observa, de forma gráfica, la contribución de cada dimensión, en una fecha determinada para cada estación, respecto del valor del ICAsup que se presenta en la figura 23. Dicha fecha fue seleccionada por contar con la mayor cantidad de registros en relación con los parámetros que integran nuestro índice y que se corresponden con estaciones localizadas en el tramo inferior de la cuenca. Se debe aclarar que la representación gráfica de valores medios del ICAsup - CHMR no puede descomponerse en dimensiones debido

a que este es un valor estadístico, y que no es el resultado de una medición completa en la estación.

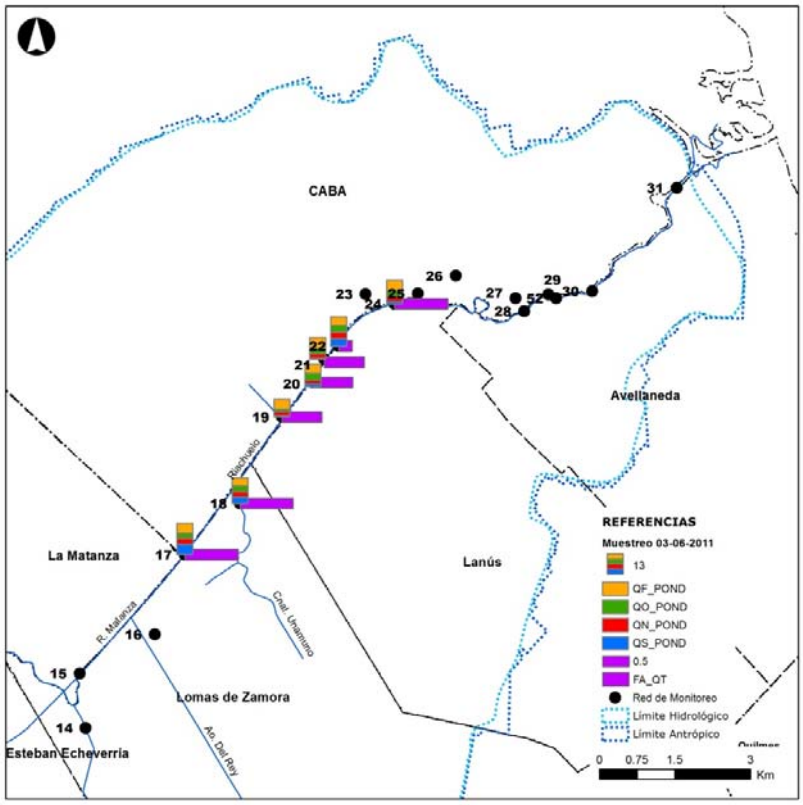


Figura 22: Mapa con contribución de dimensiones al ICAsup – CHMR para una fecha

Como se puede observar en la figura 22, a la dimensión "tóxicos" se le da un tratamiento diferenciado, ello responde a la forma matemática seleccionada para el ICAsup – CHMR (ver ecuación 6 en el punto anterior), en la cual dicha dimensión influye sobre las otras cuatro.

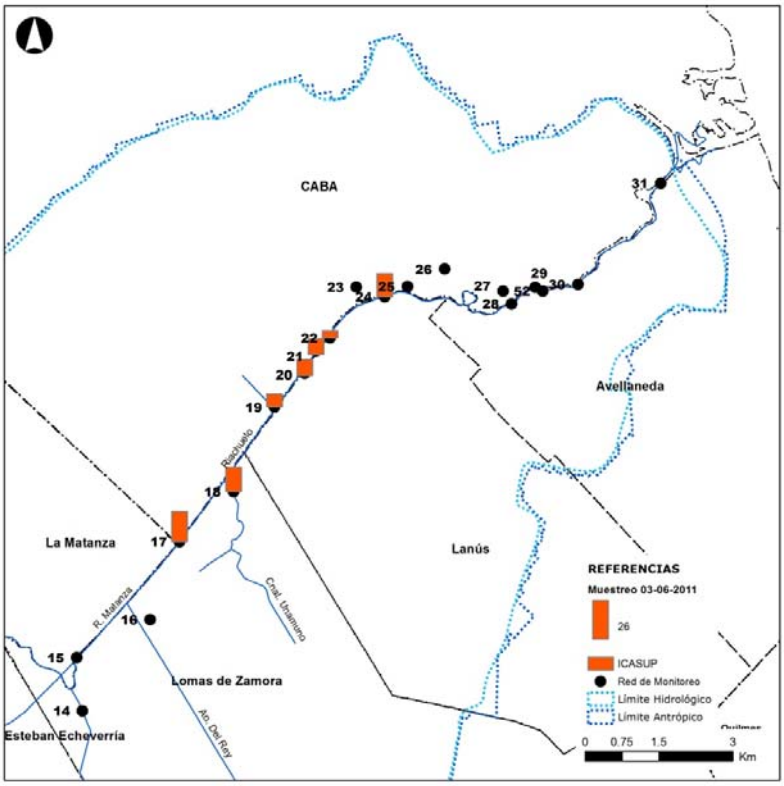


Figura 23: Mapa con valores de ICAsup - CHMR para una fecha

Se pueden realizar representaciones gráficas que permitan efectuar análisis espaciales y temporales, como es el caso del ejemplo que se presenta a continuación. En base a los datos disponibles, se representó (figuras 24 – 33), para una misma estación del año (primavera), la información obtenida en los años 2010, 2011, 2013, 2014 y 2015, en estaciones correspondientes a la cuenca superior y media, tanto respecto del valor final del ICAsup - CHMR como de la contribución porcentual de cada dimensión a dicho valor final.

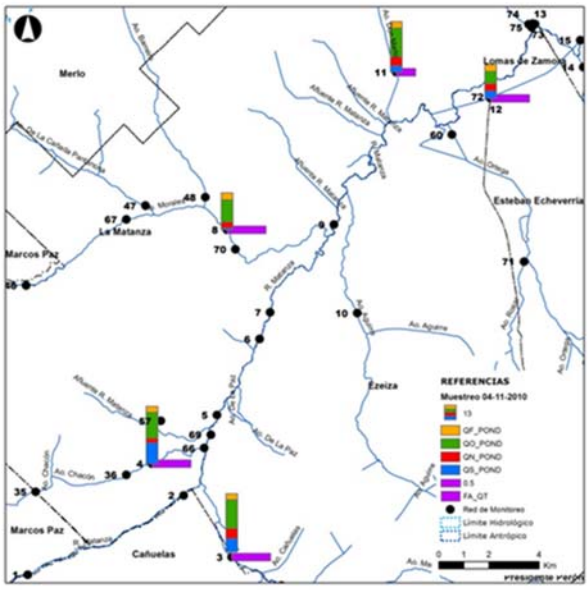


Figura 24: Mapa con contribución de dimensiones al ICAsup – CHMR para una fecha - primavera 2010

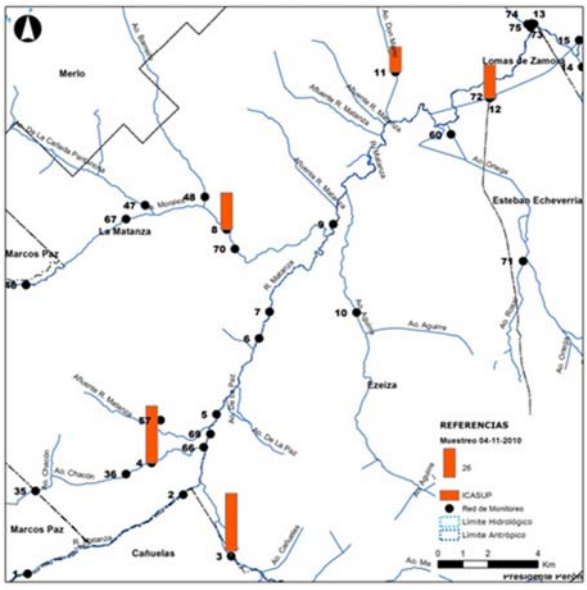


Figura 25: Mapa con valores de ICAsup - CHMR para una fecha - primavera 2010

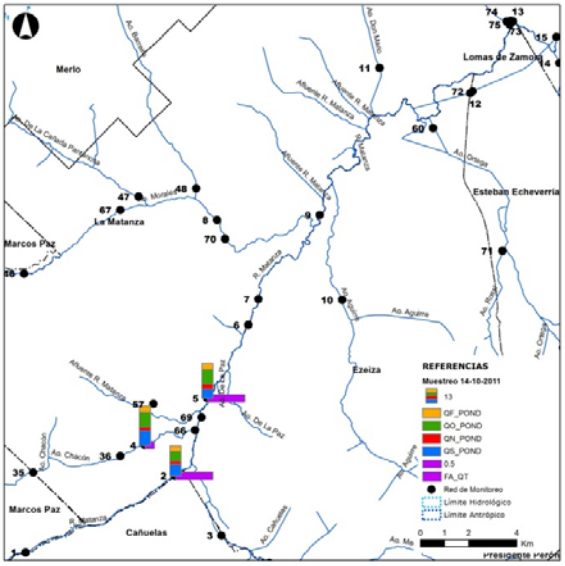


Figura 26: Mapa con contribución de dimensiones al ICAsup – CHMR para una fecha - primavera 2011

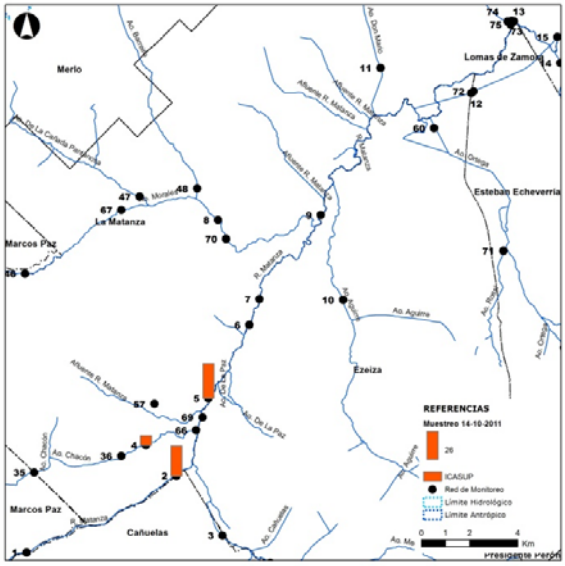


Figura 27: Mapa con valores de ICAsup - CHMR para una fecha - primavera 2011

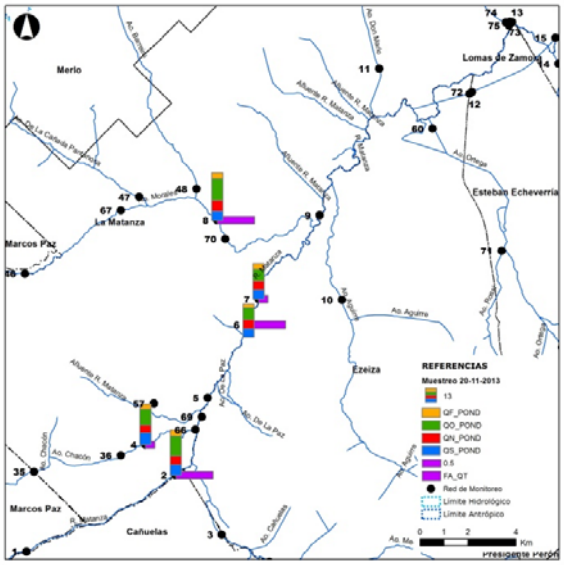


Figura 28: Mapa con contribución de dimensiones al ICAsup – CHMR para una fecha - primavera 2013

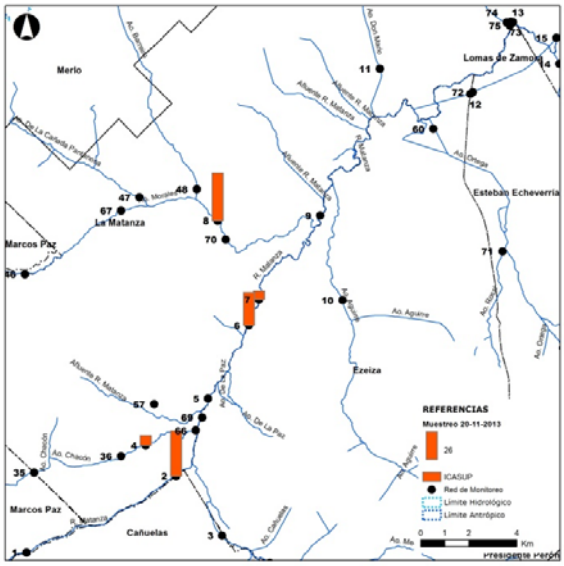


Figura 29: Mapa con valores de ICAsup - CHMR para una fecha - primavera 2013

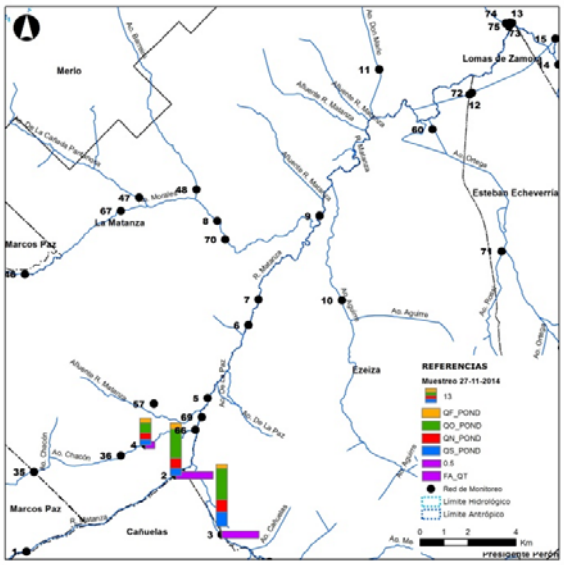


Figura 30: Mapa con contribución de dimensiones al ICAsup – CHMR para una fecha - primavera 2014

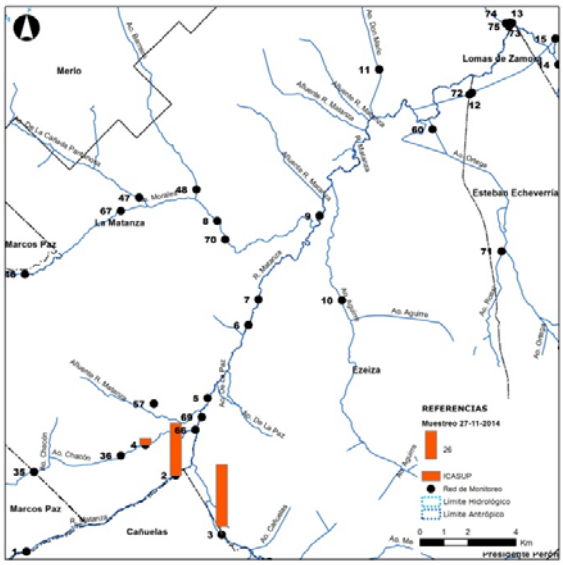


Figura 31: Mapa con valores de ICAsup - CHMR para una fecha - primavera 2014

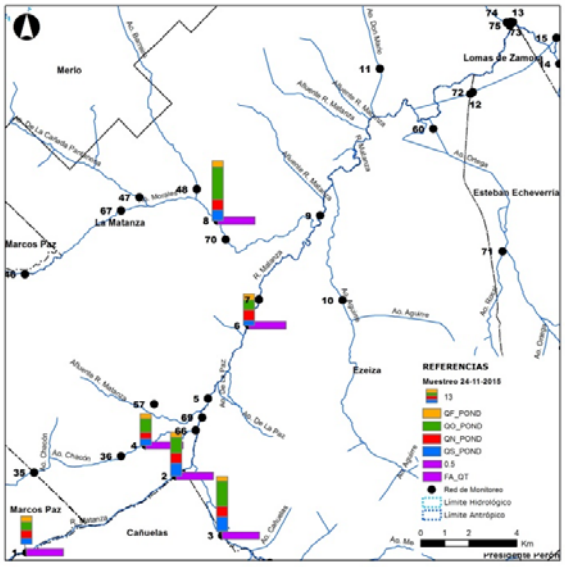


Figura 32: Mapa con contribución de dimensiones al ICAsup – CHMR para una fecha - primavera 2015

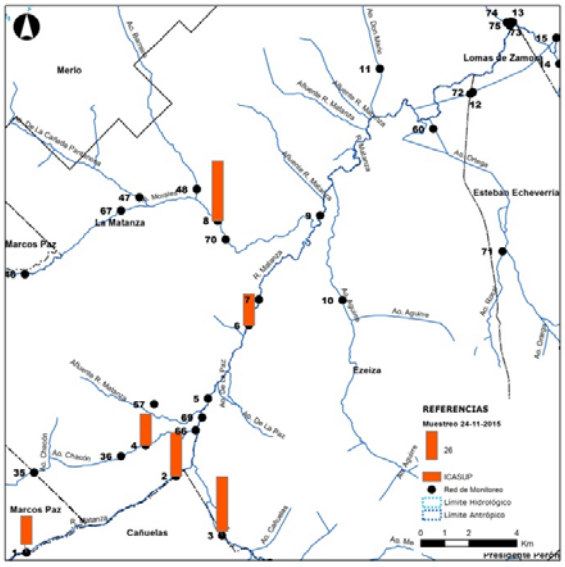


Figura 33: Mapa con valores de ICAsup - CHMR para una fecha - primavera 2015

El análisis de a pares de las figuras mencionadas (por ejemplo, las 24 y 25), permiten profundizar en las causas de la degradación de la calidad del agua como asimismo observar el valor momentáneo del ICAsup – CHMR; el análisis extendido en el tiempo (a través de la observación de otros pares de figuras que representan otro momento) permite agregar la dimensión temporal.

En la siguiente figura se representa el valor del ICAsup – CHMR para la primavera de los años 2010, 2011, 2013, 2014 y 2015.

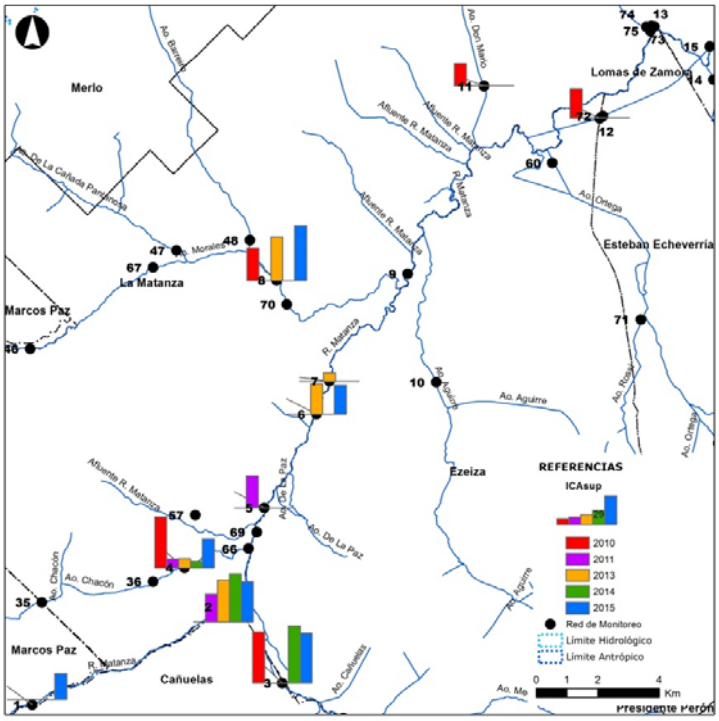


Figura 34: Mapa con valores del ICAsup - CHMR - primavera 2010, 2011, 2013, 2014 y 2015

7. Comparación del ICAsup – CHMR con el Índice de la Fundación Nacional de Saneamiento (INSF)

Una vez aplicado el ICAsup – CHMR en las 38 estaciones de la BDH de ACUMAR, se procedió a comparar sus resultados con los obtenidos con el INSF (Brown *et al*., 1970) en las mismas estaciones durante la segunda etapa del presente convenio.

Se obtuvieron los valores estadísticos del INSF para el período 2008 – 2015, según se aprecia en la siguiente tabla y se grafica en la figura 35.

Tabla 28: Estadísticos generales del INSF por estación (2008 – 2015)

Estaciones	N	Media	Des.Est	Error	-95%	95%
	345	48,307	8,498	0,458	47,407	49,207
AGMOLINA- 6	9	46,444	7,963	2,654	40,323	52,565
ARROAGUI- 10	6	61,303	5,095	2,080	55,956	66,651
ARROCANU- 3	19	53,462	10,237	2,349	48,528	58,396
ARROCANU1- 32	4	57,311	4,247	2,123	50,554	64,069
ARROCANU2- 33	3	60,495	8,950	5,167	38,263	82,727
ARROROD- 38	9	46,391	4,908	1,636	42,619	50,164
ARROCEB- 39	4	38,779	3,464	1,732	33,268	44,290
ARROCHAC1- 34	5	57,260	5,848	2,615	49,998	64,521
ARROCHAC2- 35	1	66,992				
ARROCHAC3- 36	7	54,029	10,420	3,938	44,393	63,666
ARROCHAC- 4	23	51,398	5,432	1,133	49,049	53,747
ARROMORA1- 37	8	49,670	9,380	3,316	41,828	57,512
ARROMORA- 8	20	52,776	8,796	1,967	48,659	56,892
MATYRUT3- 1	10	50,467	7,629	2,413	45,010	55,925
MPLANES- 2	10	52,482	4,248	1,343	49,444	55,521
MHERRERA- 5	11	46,025	7,114	2,145	41,246	50,805
RPLATAXCO- 7	7	48,526	9,129	3,450	40,083	56,969
ARRODMAR- 11	11	54,428	6,745	2,034	49,897	58,960
AUTORICH- 12	9	45,728	7,457	2,486	39,996	51,460
DEPUOEST- 13	16	48,180	5,139	1,285	45,441	50,918
ARROSCAT- 14	14	44,165	8,772	2,344	39,100	49,230
ARRODREY- 16	11	47,802	9,445	2,848	41,457	54,147
PTECOLOR- 15	17	46,455	6,776	1,643	42,972	49,939
PTELANOR- 17	11	46,684	5,591	1,686	42,927	50,440
CANUNAMU- 18	8	43,378	6,446	2,279	37,989	48,766
ARROCILD- 19	7	46,222	9,926	3,752	37,042	55,402
DPEL2500- 20	15	41,356	2,864	0,739	39,770	42,942
DPEL2100- 21	8	41,655	6,802	2,405	35,969	47,342
DPEL1900- 22	6	42,162	5,150	2,103	36,757	47,567
CONDEREZ- 23	10	37,364	6,631	2,097	32,620	42,107
PTEURIBU- 24	7	45,377	7,292	2,756	38,632	52,121
ARROTEUC- 25	5	43,162	6,364	2,846	35,260	51,064
DPROLELI- 26	10	46,125	4,037	1,277	43,237	49,012
DPROLLAF- 27	4	50,561	8,783	4,392	36,585	64,536
PTEVITTO- 28	4	46,057	5,195	2,598	37,791	54,324
DPROLPER- 29	10	48,317	10,052	3,179	41,127	55,508
PTEPUEYR- 30	4	45,919	6,712	3,356	35,239	56,599
PTEAVELL- 31	2	55,779	6,394	4,521	-1,672	113,229

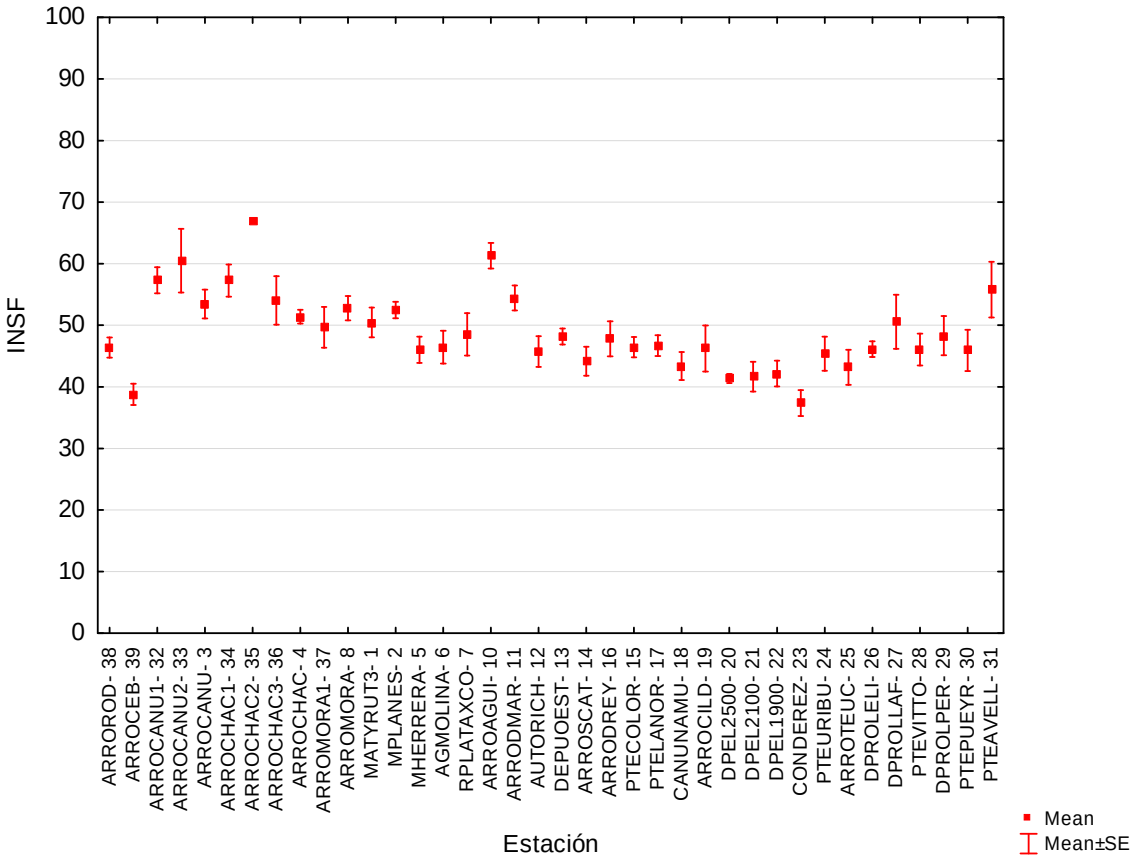


Figura 35: Valores de media y error estándar del INSF para cada estación (diferentes registros entre los años 2008-2015)

Ambos índices responden a un mismo comportamiento si comparamos cada estación (figuras 19 y 35). Sin embargo, en general, el INSF presenta valores de calidad mayores que el ICAsup – CHMR y un menor poder de discriminación entre estaciones, los valores son más homogéneos entre estaciones, mientras que el ICAsup logra mejor separación entre estaciones, resultando tener en una mayor sensibilidad que el INSF. Esto se debe a la selección de los parámetros, los pesos relativos de cada dimensión, y la incorporación de los tóxicos al índice. Algunas de las estaciones muestran menores valores debido a que presentan una alta carga de tóxicos que en el INSF no se consideran.

En la figura 36 se observa una correlación significativa (R =0,7654) entre ambos índices.

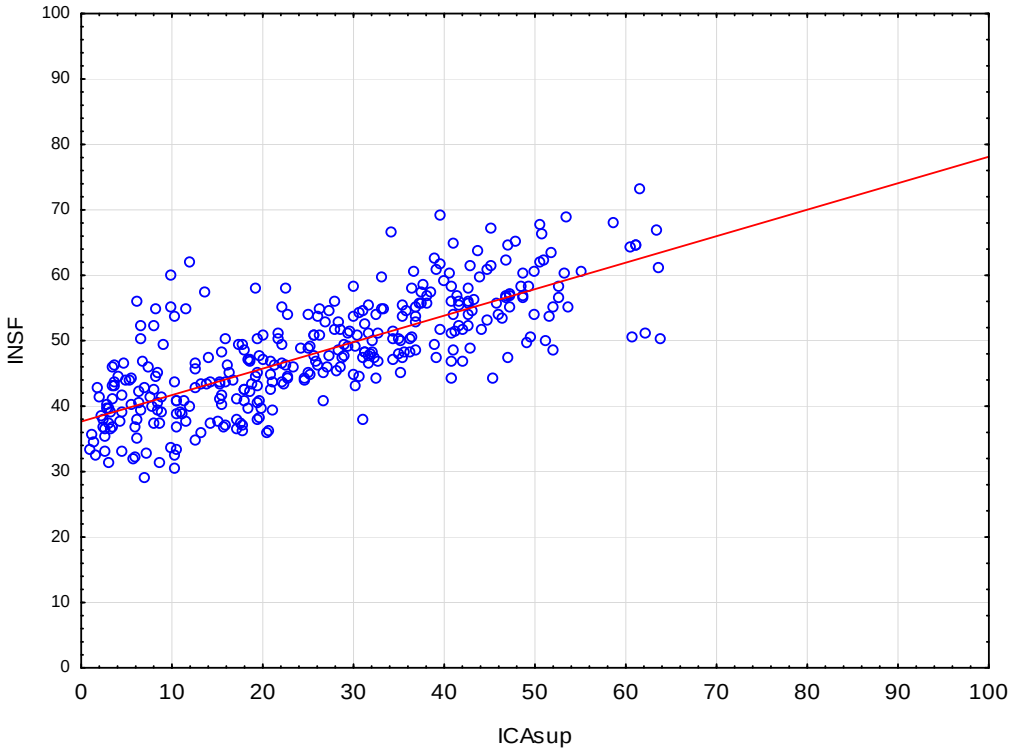


Figura 36: Gráfico bi-variado del ICAsup y el INSF

Valores de coeficiente de correlación

Múltiple R =0,7654 F = 485,301

R^2= 0,585 df = 1,343

No. de casos: 345 p = 0,000000

Error estándar de la estimación: 10,294

8. Estrategia de cumplimiento de metas en el marco del ICAsup - CHMR

Con el objetivo de evaluar el cumplimiento de metas de calidad de corto, medio y largo plazo respecto de la escala de calidad del ICAsup – CHMR, se pueden establecer valores objetivos que responden al % de calidad máximo que se puede alcanzar en la cuenca en un determinado plazo en base al nivel de degradación y metas propuestas.

Esta estrategia parte de la concepción de que la CHMR presenta un complejo, heterogéneo y elevado nivel de intervención, que dificulta, condiciona y en la

mayoría de los casos impide alcanzar un *valor ideal* de calidad del agua superficial o situación de máxima protección o sustentabilidad ecosistémica, que se correspondería con un 100% (nivel correcto o adecuado) de calidad del agua superficial. En este sentido, se asume un nivel de deterioro de base, y por lo tanto un valor del ICAsup que podría asociarse con un *valor objetivo*, real, que se corresponda con el grado de máxima calidad del agua que se considera puede ser alcanzado primariamente en la cuenca bajo la situación de intervención de base, y que no necesariamente sea un 100% de calidad del agua. Esto parte de la premisa de que es necesario establecer cuál es el nivel de deterioro o degradación del recurso hídrico admitido en la cuenca, y, por ende, cuál es el máximo nivel de calidad del agua que se puede alcanzar a corto, mediano o largo plazo. Por lo tanto, ésta mirada realista y coherente con las particularidades de la CHMR permite trabajar en forma gradual, ajustando los valores objetivo de calidad del agua superficial según distintas metas propuestas, programas o estrategias que se establezcan progresivamente en la cuenca y que se vinculen directa o indirectamente con la calidad del agua superficial. En este sentido el valor objetivo se vincularía a metas progresivas (que se asuma se puedan alcanzar), sin perder de vista el valor ideal (100% calidad – protección de vida acuática) con el que se plantea el ICAsup – CHMR.

Esta propuesta es una adaptación de la planteada en la literatura antecedente, como es el caso de la Estrategia AMOEBA de los Países Bajos (Fernández Parada, N. *et al*, 2003).

Como ejemplo se presenta la figura 37 donde las líneas rojas corresponden al máximo de calidad que se puede alcanzar en la cuenca en función de metas. Así se aprecian las estaciones que las han superado o no.

Estableciendo diferentes metas a alcanzar para diversos intervalos de tiempo se podrían analizar las mejoras en la calidad del agua.

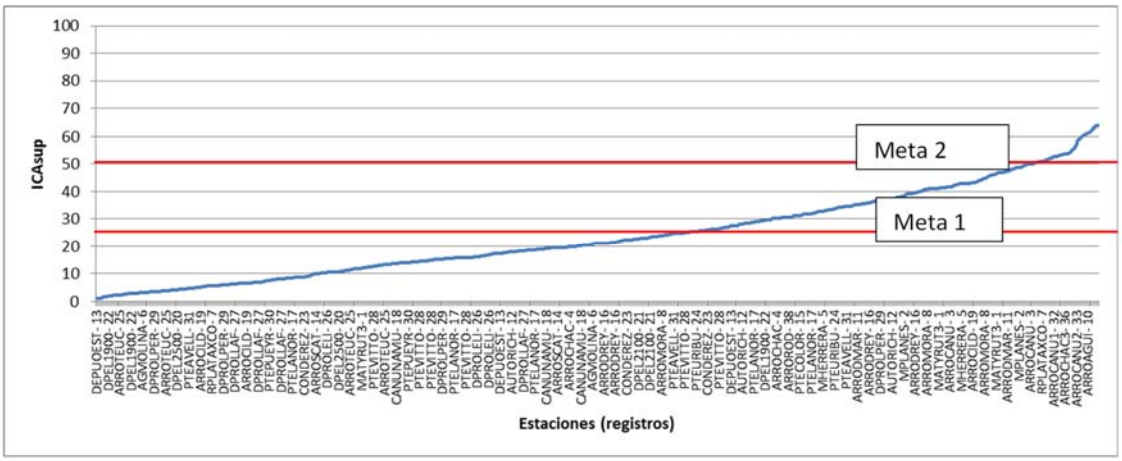


Figura 37: ICAsup – CHMR Ejemplo de metas: meta 1 - 25% y meta 2 - 50%

Se aclara que las metas no se corresponden concretamente con el Uso IV – recreativo pasivo (establecido por Resolución 003/2009 Anexo I) u otros usos a establecer a futuro, en el marco de la revisión y actualización que ACUMAR se encuentra desarrollando, ya que los mismos no consideran todos los parámetros incluidos en el ICAsup, y a su vez, en caso de establecerse un valor aproximado de referencia de calidad para cada uso, alcanzar dicho valor no garantiza necesariamente que se cumplan con los valores asociados de calidad para cada parámetro respecto de un uso específico, puesto que la integración matemática admite compensaciones entre parámetros. Por lo tanto, para el análisis de cumplimiento de los usos del agua superficial se recomienda utilizar el índice de Canadian Council of Ministers of the Environment (WQI CCME – 2001), cuya finalidad es el cumplimiento de objetivos/metas de calidad del agua superficial, y, por ende, se asocia a niveles/rangos de concentraciones de referencia y máximas permisibles o límites regulados por norma.

9. Comparación del ICAsup – CHMR con índices bióticos

Con la finalidad de evaluar el comportamiento del índice desarrollado en el presente trabajo y los índices biológicos desarrollados por el Instituto de Limnología "Dr. Raúl A. Ringuelet" de la UNLP (ILPLA) para la CHMR, se procedió a comparar el ICAsup – CHMR con dos paquetes de índices biológicos desarrollados y aplicados por este instituto en la CHMR: el Índice de Diatomeas Pampeano (IDP - Gómez & Licursi, 2001) y el Índice Biótico para

Ríos Pampeanos (IBPamp - Rodríguez Capítulo *et al*., 2001). Dichos biodescriptores se midieron en 25 estaciones, donde a su vez se contó con datos sobre todos los parámetros que integran el ICAsup - CHMR.

El Índice de Diatomeas Pampeano fue diseñado con la finalidad de evaluar la eutrofización y contaminación orgánica de los ríos y arroyos del área pampeana. Este índice regional surgió como consecuencia de que muchos de los taxa hallados en los sistemas lóticos estudiados en esta zona exhibían preferencias ecológicas distintas a las propuestas en los listados de valores indicadores de las especies del Hemisferio Norte. Para su desarrollo se analizaron 164 muestras de epipelon (procedentes de 50 sitios de muestreo con distintas problemáticas ambientales) y su relación con las variables físico-químicas. Para esta finalidad a cada taxón se le asignó un valor de sensibilidad a la contaminación y eutrofización, teniendo en cuenta variables estrechamente relacionadas con estas condiciones, como amonio, demanda bioquímica de oxígeno (DBO_5) y el fósforo reactivo soluble. Estas definieron 5 clases de calidad del agua (Tabla 29). Para su cálculo se empleó la siguiente fórmula:

$$IDP = \frac{\sum_{j=1}^{n} I_{idp\,j} \cdot A_j}{\sum_{j=1}^{n} A_j}$$

I idp: valor del IDP para la especie (fluctúa entre 0 y 4)

Aj: abundancia relativa de la especie

Los valores del índice fluctúan entre 0 y 4.

Tabla 29: Índice de Diatomeas Pampeano y su relación con la calidad del agua y grado de disturbio antrópico

Valor del IDP	Calidad del agua	Código de color	Características del agua	Grado de disturbio
0-0,5	Muy buena		Sin polución, estado natural, pocos nutrientes y poco enriquecimiento orgánico.	Mínimo: baja influencia humana
>0,5-1,5	Buena		Polución y eutrofización leve, bajos niveles de nutrientes y materia orgánica.	Leve: ganadería extensiva y agricultura
>1,5-2	Aceptable		Polución y eutrofización moderada: altas concentraciones de nutrientes y materia orgánica.	Moderado: actividad industrial y/o ganadería intensiva
>2-3	Mala		Polución y eutrofización fuerte, presencia de materia orgánica parcialmente degradada, nitritos, amonio y aminoácidos.	Fuerte: agricultura intensiva y ganadería, actividad industrial y densidad poblacional
>3-4	Muy mala		Polución y eutrofización muy fuerte, altas concentraciones de materia orgánica, predominio de procesos reductivos y presencia de productos industriales.	Muy fuerte: actividad industrial intensiva y gran densidad poblacional

Tabla 30: Caracterización de las clases de calidad del agua basadas en amonio, DBO_5 y fosfatos (mg/l) como descriptores de contaminación orgánica y eutrofización

Clases de calidad del agua	DBO_5	$NH_4^+ - N$	$PO_4^{3-} - P$
0	≤ 3	≤ 0.1	≤ 0.05
I	> 3-8	> 0.1-0.5	> 0.05-0.1
II	> 8-15	> 0.5-0.9	> 0.1-0.5
III	> 15-25	> 0.9-2	> 0.5-1
IV	> 25	> 2	> 1

El Índice Biótico para Ríos Pampeanos se trata de un índice regional propuesto para ríos y arroyos del área pampeana, el cual considera los diferentes grados de sensibilidad de los macroinvertebrados acuáticos autóctonos, como así también el número de especies presentes en cada sitio evaluado.

Combina la riqueza de taxa y la sensibilidad de invertebrados mediante una tabla de doble entrada en la que se establece una calificación de calidad, considerando familias y géneros regionales y el número de unidades sistemáticas totales presentes. La escala varía entre 1 y 13; valores del índice cercanos a 13 indican buena calidad. Se basa en la tolerancia diferencial de los organismos a la contaminación.

Tabla 31: Escala del IBPamp

Valor índice IBPAMP	Significado
1-3.9	Contaminación muy fuerte
4-5.9	Contaminación fuerte
6-7.9	Contaminación moderada
8-9.9	Contaminación leve
10-13	Contaminación no detectada

Resultados de análisis comparativo entre el ICAsup - CHMR, el IDP y el IBPamp:

Se analizaron los valores de los tres índices en 25 estaciones a partir de los datos obtenidos de la BDH de ACUMAR para las fechas entre abril del año 2008 a abril del 2016. Las estaciones registradas se detallan en la tabla 31. En total se calcularon 186 registros entre dichas fechas para las 25 estaciones.

En general las estaciones mostraron una alta variabilidad entre fechas para los índices ICAsup - CHMR e IBPamp, y una menor variabilidad para el IDP (Figuras 38, 39 y 40). Los valores de los índices para los tres casos muestran que la mayoría de las estaciones se encuentra en las categorías de muy mala y mala calidad para el ICAsup – CHMR e IDP y dentro de la categoría de contaminación fuerte y muy fuerte para el IBPamp, lo cual demuestra consistencia entre los tres índices (Figura 41). Si se observa en detalle, las estaciones ARROCEB-39, CONDEREZ- 23, MHERRERA- 5 Y PTEURIBU-24, resultaron con los valores de calidad más bajos y de contaminación más elevados.

Tabla 32: Estadísticos del índice de Calidad de Agua Superficial (ICAsup – CHMR) para las 25 Estaciones registradas entre 2008 a 2016

ICAsup - CHMR						
Estación	**N**	**Media**	**desvío**	**Error**	**-95%**	**+95%**
TOTAL	186	26.57	16.84	1.23	24.13	29.0
ARROROD- 38	5	31.90	14.43	6.45	13.98	49.82
ARROCEB- 39	8	10.60	6.90	2.44	4.84	16.37
ARROCANU1- 32	6	54.28	9.60	3.92	44.21	64.36
ARROCANU2- 33	5	53.98	13.42	6.00	37.31	70.65
ARROCANU- 3	11	37.63	21.95	6.62	22.88	52.38
ARROCHAC1- 34	9	38.03	10.18	3.39	30.21	45.85
ARROCHAC2- 35	2	49.84	6.15	4.35	-5.40	105.09

ARROCHAC3- 36	3	30.83	11.24	6.49	2.91	58.76
ARROCHAC- 4	8	35.34	12.39	4.38	24.98	45.70
ARROMORA1- 37	5	30.08	14.71	6.58	11.81	48.35
ARROMORA- 8	8	39.40	10.80	3.82	30.37	48.44
MATYRUT3- 1	8	35.02	11.54	4.08	25.36	44.67
MHERRERA- 5	3	8.69	7.09	4.09	-8.92	26.30
RPLATAXCO- 7	11	23.67	15.45	4.66	13.29	34.05
ARROAGUI- 10	5	36.32	18.16	8.12	13.78	58.87
AUTORICH- 12	11	28.71	10.02	3.02	21.97	35.44
DEPUOEST- 13	11	15.25	11.22	3.38	7.71	22.78
ARROSCAT- 14	11	19.47	10.10	3.04	12.68	26.25
PTECOLOR- 15	9	15.05	10.84	3.61	6.72	23.38
PTELANOR- 17	8	23.46	14.05	4.97	11.71	35.20
ARROCILD- 19	10	15.89	10.56	3.34	8.34	23.45
CONDEREZ- 23	1	1.30				
PTEURIBU- 24	9	10.42	4.86	1.62	6.68	14.16
PTEVITTO- 28	8	13.86	7.62	2.69	7.49	20.22
PTEAVELL- 31	11	24.70	15.53	4.68	14.27	35.13

Tabla 33: Estadísticos del Índice de Diatomeas Pampeano (IDP) en las 25 estaciones desde 2008 a 2016

IDP						
Estación	**N**	**Media**	**Desvío**	**Error**	**-95%**	**+95%**
Total	182	3.38	0.35	0.03	3.33	3.43
ARROROD- 38	5	3.40	0.38	0.17	2.93	3.87
ARROCEB- 39	8	3.27	0.30	0.10	3.02	3.51
ARROCANU1- 32	6	3.16	0.56	0.23	2.57	3.75
ARROCANU2- 33	5	3.05	0.49	0.22	2.44	3.65
ARROCANU- 3	11	3.14	0.38	0.12	2.88	3.40
ARROCHAC1- 34	9	3.05	0.57	0.19	2.62	3.49
ARROCHAC2- 35	2	2.30	0.23	0.16	0.27	4.33
ARROCHAC3- 36	3	3.69	0.04	0.02	3.60	3.79
ARROCHAC- 4	8	3.11	0.15	0.05	2.98	3.24
ARROMORA1- 37	5	3.36	0.27	0.12	3.03	3.69
ARROMORA- 8	8	3.52	0.11	0.04	3.43	3.61
MATYRUT3- 1	8	3.38	0.24	0.09	3.17	3.58
MHERRERA- 5	3	2.83	0.14	0.08	2.49	3.17
RPLATAXCO- 7	11	3.48	0.34	0.10	3.25	3.70
ARROAGUI- 10	4	3.25	0.26	0.13	2.83	3.67
AUTORICH- 12	11	3.59	0.12	0.04	3.51	3.66
DEPUOEST- 13	8	3.61	0.11	0.04	3.51	3.70
ARROSCAT- 14	11	3.52	0.17	0.05	3.41	3.64
PTECOLOR- 15	9	3.52	0.18	0.06	3.38	3.66
PTELANOR- 17	8	3.58	0.13	0.05	3.47	3.69
ARROCILD- 19	10	3.42	0.25	0.08	3.24	3.60
CONDEREZ- 23	1	3.62				
PTEURIBU- 24	9	3.58	0.20	0.07	3.42	3.73
PTEVITTO- 28	8	3.44	0.25	0.09	3.23	3.65
PTEAVELL- 31	11	3.48	0.21	0.06	3.34	3.62

Tabla 34: Estadísticos del Índice Biótico para Ríos pampeanos (IBPamp) en las 25 estaciones desde 2008 a 2016

IBPamp						
Estaciones	**N**	**Media**	**Desvío**	**Error**	**-95%**	**+95%**
Total	181	3.27	2.06	0.15	2.96	3.57
ARROROD- 38	5	5.00	1.22	0.55	3.48	6.52
ARROCEB- 39	8	1.83	1.13	0.40	0.89	2.78
ARROCANU1- 32	6	5.11	1.65	0.68	3.37	6.85
ARROCANU2- 33	5	7.40	1.67	0.75	5.32	9.48
ARROCANU- 3	11	5.36	1.12	0.34	4.61	6.12
ARROCHAC1- 34	9	6.00	1.12	0.37	5.14	6.86
ARROCHAC2- 35	2	6.00	0.00	0.00	6.00	6.00
ARROCHAC3- 36	3	4.67	0.58	0.33	3.23	6.10
ARROCHAC- 4	8	5.13	0.99	0.35	4.30	5.95
ARROMORA1- 37	5	4.40	1.52	0.68	2.52	6.28
ARROMORA- 8	8	3.71	1.86	0.66	2.16	5.26
MATYRUT3- 1	8	4.38	1.41	0.50	3.20	5.55
MHERRERA- 5	3	1.33	0.58	0.33	-0.10	2.77
RPLATAXCO- 7	11	3.27	1.27	0.38	2.42	4.13
ARROAGUI- 10	4	5.50	0.58	0.29	4.58	6.42
AUTORICH- 12	11	2.21	1.05	0.32	1.51	2.91
DEPUOEST- 13	8	2.54	1.14	0.40	1.59	3.49
ARROSCAT- 14	11	2.55	1.04	0.31	1.85	3.24
PTECOLOR- 15	9	2.19	1.07	0.36	1.36	3.01
PTELANOR- 17	8	2.50	1.51	0.53	1.24	3.76
ARROCILD- 19	10	1.23	0.63	0.20	0.78	1.68
CONDEREZ- 23	1	1.00				
PTEURIBU- 24	9	1.33	0.71	0.24	0.79	1.88
PTEVITTO- 28	7	1.00	0.58	0.22	0.47	1.53
PTEAVELL- 31	11	0.97	0.46	0.14	0.66	1.28

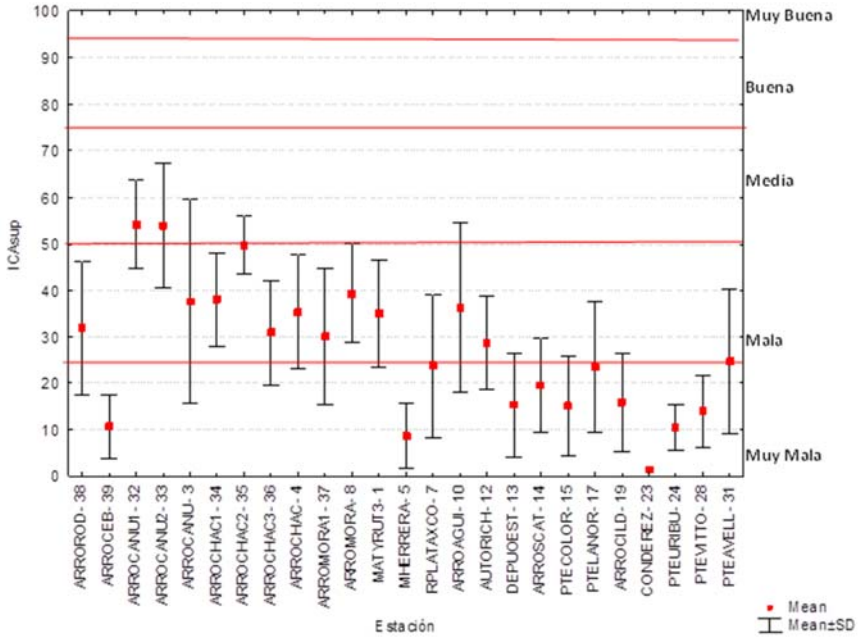


Figura 38: Valores medios y desvíos estándar del índice de Calidad de Agua Superficial (ICAsup - CHMR) (2008-2016)

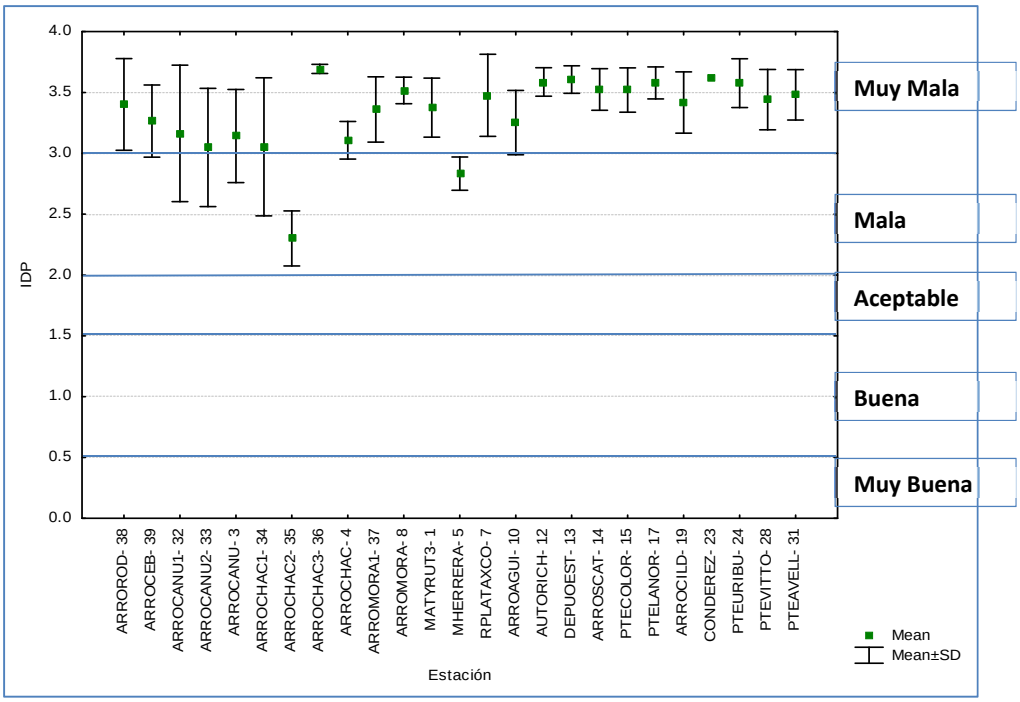


Figura 39: Valores medios y desvíos estándar del índice de Diatomeas Pampeano (IDP) (2008-2016)

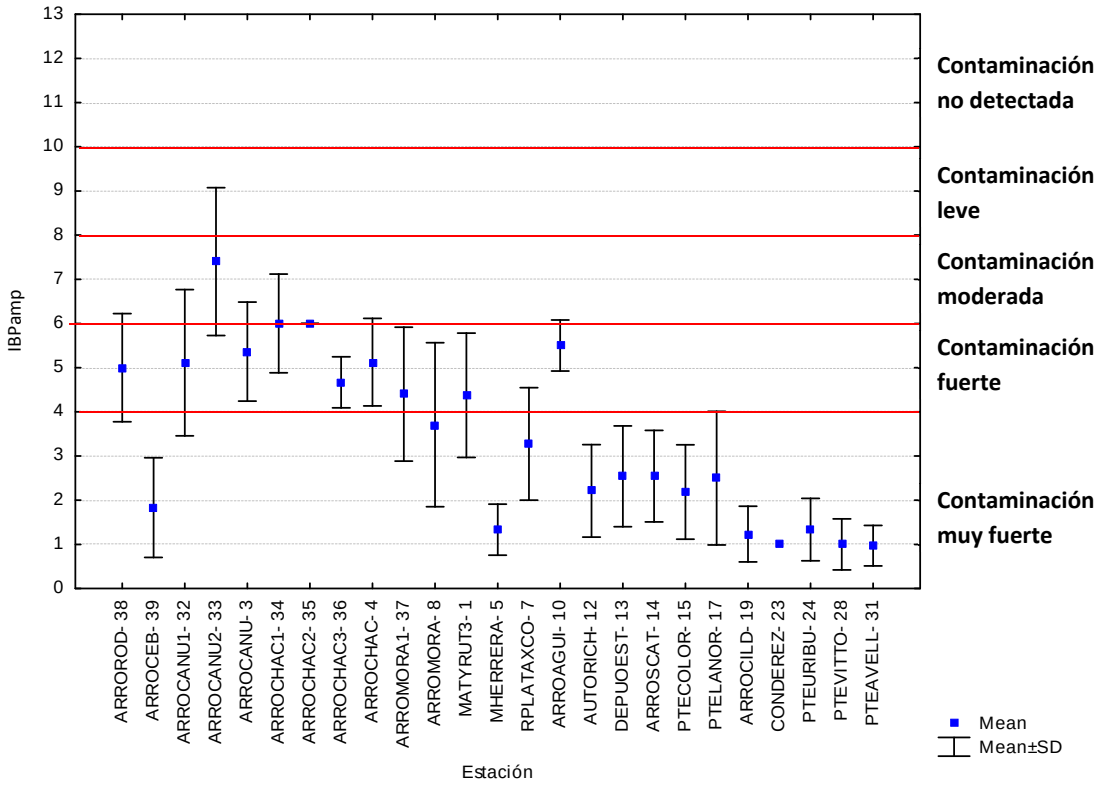


Figura 40: Valores medios y desvíos estándar del índice Biótico para Ríos Pampeanos (IBPamp) (2008-2016)

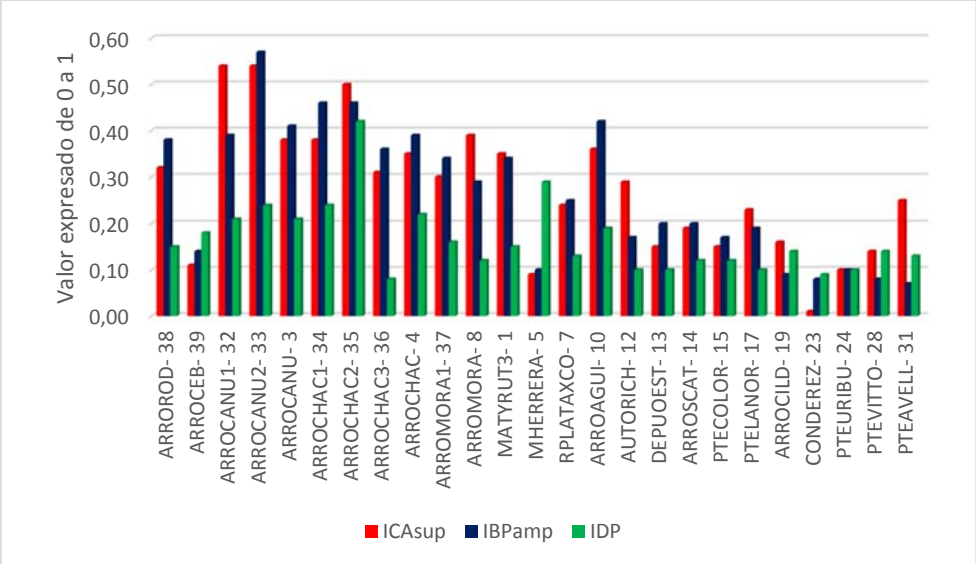


Figura 41: Valores medios de los índices expresados de 0 a 1 (0 peor condición y 1 mejor condición)

La figura 42 muestra la representación espacial de los valores medios de los tres índices conjuntos en cada estación. Estos índices fueron homogeneizados para que sus valores varíen entre 0 y 1. Se destaca que dado que el IDP cuenta con una escala inversa a los restantes (es decir, a mayor valor de IDP peor situación), se optó por graficar su valor complementario (1 – IDP) para que los tres reflejen el mismo comportamiento.

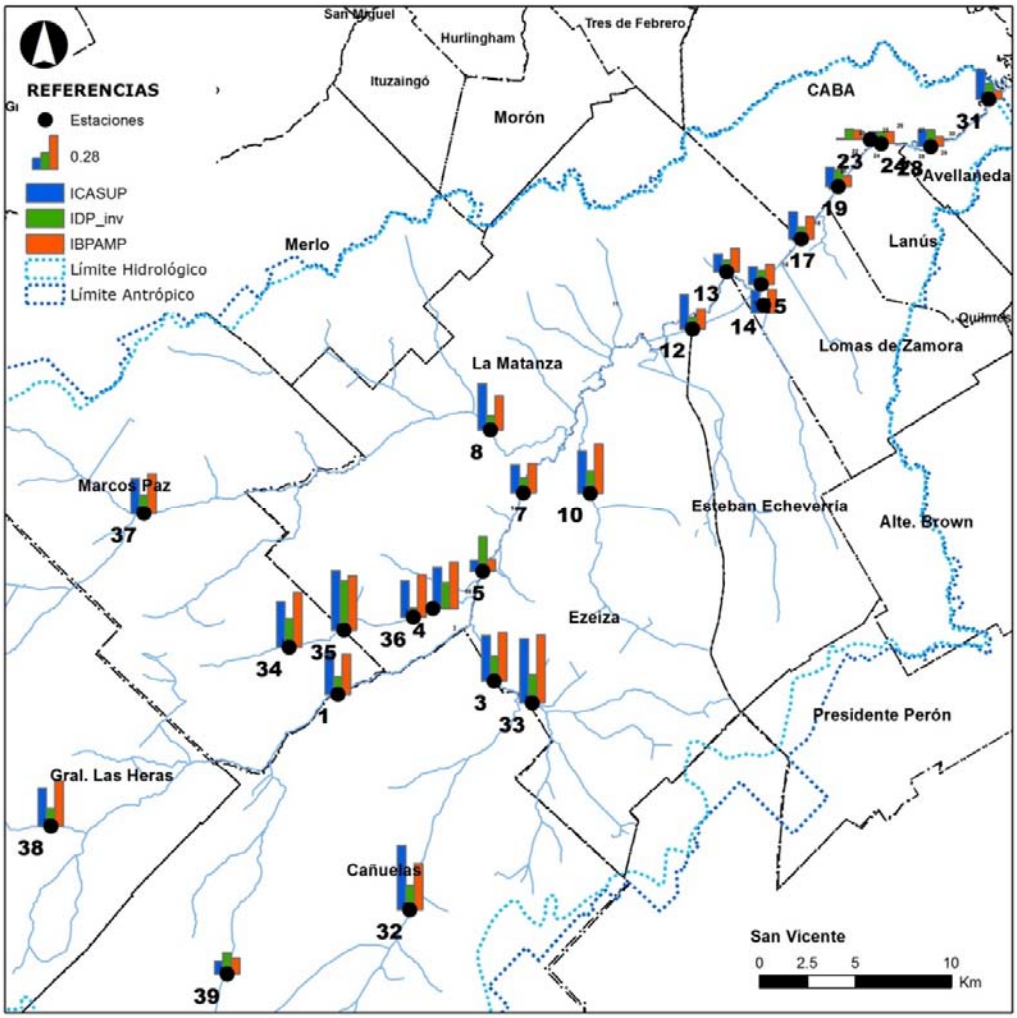


Figura 42: Representación espacial del ICAsup – CHMR, el IDP y el IBPamp

Se observa que los valores de IDP son relativamente menores que el ICAsup y el IBPamp, sin embargo, existe consistencia entre los tres índices, es decir que las estaciones con valores de baja calidad del agua presentan valores

menores de los índices biológicos y las mejores estaciones presentan valores mayores para los tres índices.

Las figuras 43 y 44 muestran que existe buena correlación entre el IBPamp y el ICAsup – CHMR; mientras que es muy baja entre este último y el IDP para las estaciones analizadas.

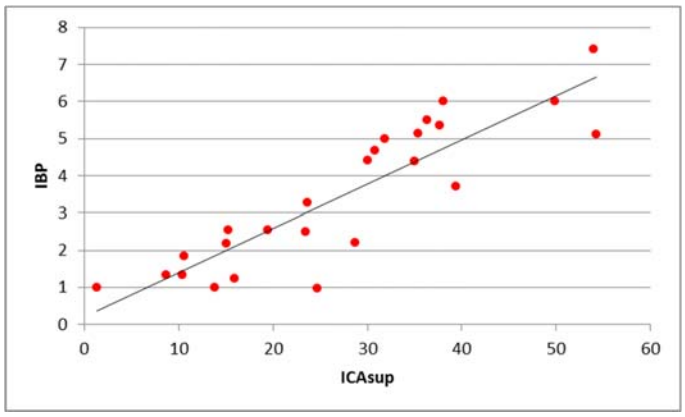


Figura 43: Correlación entre ICAsup – CHMR e IBPamp

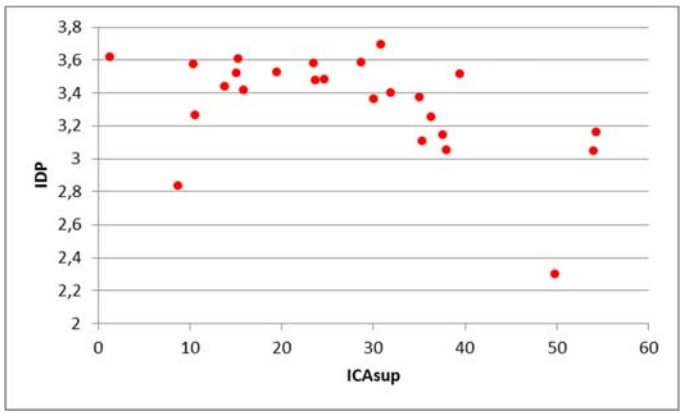


Figura 44: Correlación entre ICAsup – CHMR e IDP

10. Corrección del ICAsup – CHMR en función de la medición de caudales

El ICAsup - CHMR ha sido desarrollado asumiendo que es representativo de la calidad del agua superficial de la estación de muestreo en el momento en que fue realizada la medición *in situ* junto con la toma de muestra, medida

en relación al módulo (caudal medio) de tributarios o subcuenca particular o curso principal del Río Matanza-Riachuelo.

El hecho de que se estén midiendo caudales (al momento del muestreo) y que algunos parámetros se diluyan o concentren según cuanto se aparte el caudal instantáneo respecto del módulo del río en el punto de medición, hace que sea útil hacer el análisis sobre si es factible corregir el ICAsup – CHMR por caudales, tomando como caudal de referencia el mencionado módulo (Qm).

En primera instancia se puede mencionar que en caso de superarse el caudal del módulo (Qm) habrá un efecto de dilución (disminución en las concentraciones de distintos parámetros) que podría tenerse en cuenta en algunos de los parámetros que constituyen el ICAsup-CHMR, ya que se modificará su calidad (Q).

Los parámetros del ICAsup - CHMR que se miden en concentraciones son: SST, DBO_5, DQO, $N\text{-}NH_4$, P total, *E. coli*; Cr total, Pb total, Hidrocarburos totales, OD (si bien también como % de saturación), mientras que CE y pH no son concentraciones.

Los parámetros que se diluyen por el aumento de caudales son: DBO_5, DQO, $N\text{-}NH_4$, P total, *E. coli*; Cr total, Pb total, Hidrocarburos totales.

Los SST podrían aumentar, en una primera instancia, si el aumento de caudales se debe a una precipitación, por ejemplo, por el efecto de arrastre, y luego disminuir, lo que torna en difícilmente predecible lo que ocurre con los mismos.

Contrariamente, en el caso del OD a mayor caudal puede haber mayor concentración, por la mayor transferencia que se produce entre la atmósfera y la superficie del agua. Asimismo, esta mayor concentración de oxígeno podría disminuir la DBO_5 y la DQO.

Los casos de la CE y el pH son más complejos de analizar ya que no hay una relación predecible y/o directa entre la variación de caudales y la modificación de dichos parámetros.

En definitiva, de los 12 parámetros que componen el ICAsup – CHMR, ocho de ellos se diluirían producto del aumento de caudales, mientras que respecto de los otros cuatro habría un nivel de incertidumbre bastante significativo.

Este panorama plantea un alto grado de incertidumbre al momento de plantearse corrección del ICAsup – CHMR por caudales.

Por otro lado, la bibliografía no menciona ejemplos en este sentido, por lo tanto, en este marco se efectuó un análisis de correlación entre caudales y resultados de la aplicación del ICAsup – CHMR y el INSF (índice de calidad general de la Fundación Nacional de Saneamiento de USA, aplicado en la cuenca) en las estaciones indicadas anteriormente. No se ha utilizado el índice canadiense puesto que sus resultados no reflejan calidad general del agua sino nivel de cumplimiento de normativas o valores de referencia, no comparables con el índice desarrollado en este convenio para la CHMR.

En primer lugar, se procedió a obtener los valores estadísticos de caudales en todas las estaciones donde se contó con este registro, graficándose los valores medios, según se aprecia en la figura 45.

Tabla 35: Caudales por estaciones entre las fechas 2008-20016 (para las estaciones con valores de ICAsup e INSF)

Estaciones	N	Media	Des. Est.	Error	-95%	+95%
AGMOLINA- 6	5	6,936	9,526	4,260	-4,891	18,7638
ARROAGUI- 10	4	0,466	0,398	0,199	-0,168	1,0986
ARROCANU- 3	8	1,461	2,602	0,920	-0,714	3,6355
ARROCANU1- 32	2	0,232	0,030	0,021	-0,033	0,4977
ARROCANU2- 33	2	0,038	0,010	0,007	-0,049	0,1249
ARROROD- 38	5	3,663	7,193	3,217	-5,269	12,5942
ARROCEB- 39	3	0,158	0,035	0,020	0,071	0,2453
ARROCHAC1- 34	1	0,006				
ARROCHAC3- 36	1	0,034				
ARROCHAC- 4	8	0,394	0,174	0,061	0,249	0,5391
ARROMORA1- 37	5	0,872	0,649	0,290	0,066	1,6770
ARROMORA- 8	8	7,329	11,924	4,216	-2,640	17,2970
MATYRUT3- 1	3	1,752	2,437	1,407	-4,302	7,8065
MPLANES- 2	4	4,654	4,588	2,294	-2,647	11,9542
MHERRERA- 5	4	1,246	0,188	0,094	0,946	1,5446
RPLATAXCO- 7	3	3,108	3,538	2,043	-5,682	11,8974
ARRODMAR- 11	3	0,708	0,614	0,354	-0,816	2,2327
AUTORICH- 12	1	61,352				
DEPUOEST- 13	5	2,843	1,030	0,461	1,564	4,1226
ARROSCAT- 14	5	0,779	0,552	0,247	0,093	1,4638
ARRODREY- 16	4	0,906	0,262	0,131	0,488	1,3236
PTECOLOR- 15	2	74,015	9,465	6,693	-11,022	159,0521
PTELANOR- 17	1	89,700				
CANUNAMU- 18	3	0,042	0,051	0,030	-0,086	0,1702

ARROCILD- 19	2	0,514	2,602	1,840	-22,865	23,8927
DPEL2500- 20	2	0,380	0,220	0,156	-1,597	2,3564
DPEL2100- 21	2	0,246	0,145	0,103	-1,057	1,5495
DPEL1900- 22	2	0,457	0,073	0,052	-0,199	1,1125
CONDEREZ- 23	1	0,157				
PTEURIBU- 24	2	59,560	49,713	35,152	-387,093	506,2127
PTEVITTO- 28	1	46,495				
DPROLPER- 29	1	0,322				
PTEPUEYR- 30	1	48,991				
PTEAVELL- 31	1	44,602				

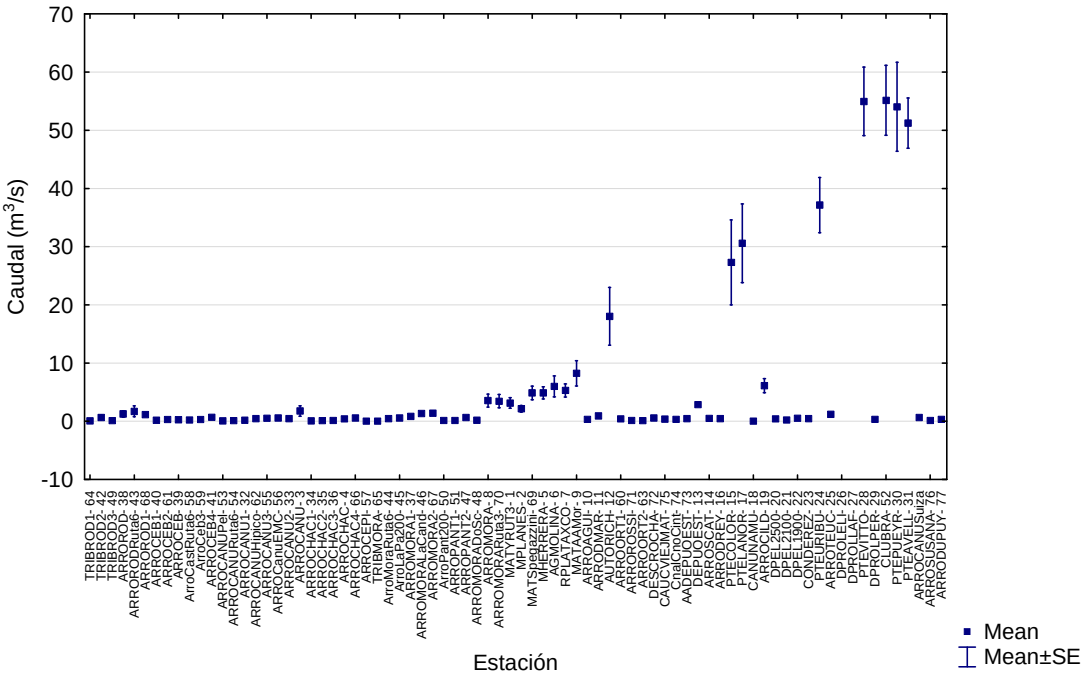


Figura 45: Caudales para todas las estaciones monitoreadas ordenadas desde aguas arriba hacia aguas abajo

Los caudales analizados presentan valores con mayor frecuencia en caudales pequeños, mostrando las estaciones del curso principal aguas abajo en el sector rectificado del Riachuelo un aumento significativo, observándose en estas últimas estaciones una inversión de la dirección del flujo en algunos registros, producto de la entrada de agua del Río de La Plata.

Posteriormente se efectuó un análisis de correlación entre caudales y los valores medios de los índices ICAsup e INSF.

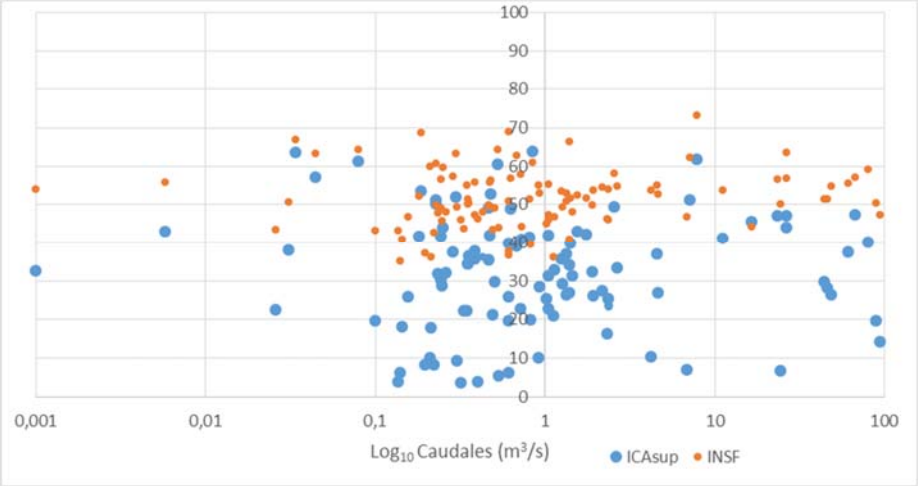


Figura 46: Gráfico bi-variado de caudales e índices de calidad de agua

No se observa correlación significativa entre los valores registrados de caudales y el índice ICAsup. Sin embargo, habría que analizar en forma más detallada las estaciones con caudales mayores aguas abajo sobre el Riachuelo (PTECOLOR- 15; PTELANOR- 17; PTEURIBU- 24; PTEVITTO-28; PTEPUEYR-30; PTEAVELL- 31) ya que los valores del índice ICAsup si bien son bajos (calidad muy mala y mala) parecerían tener un leve incremento que podrían deberse a los mayores caudales registrados en estas estaciones. Esto amerita un análisis en detalle de estos sitios.

En la estación del PTEAVELL- 31 (la última aguas abajo sobre el Riachuelo) se observa para todos los índices un aumento en el valor de calidad respecto a la tendencia que trae en las estaciones del riachuelo. Esto podría deberse a la influencia del agua de ingreso del Río de La Plata. Coincide con los valores registrados para los índices bióticos y los reportes de peces.

Tampoco hay correlación significativa entre los caudales y las concentraciones de los parámetros utilizados en el índice.

Todo esto estaría justificando la decisión de no profundizar en estrategias de ajuste del ICAsup – CHMR a variaciones de caudal.

11. Desarrollo de un Índice de Calidad Multidimensional para la CHMR (ICM - CHMR)

Con la finalidad de construir un índice final que denominaremos Índice de Calidad Multidimensional para la CHMR (ICM - CHMR), se integraron el ICAsup- CHMR aquí desarrollado y los índices biológicos indicados anteriormente (IDP y IBPamp), mediante el desarrollo de una nueva expresión de agregación y su análisis de sensibilidad mediante pruebas de aplicación con datos reales de la BDH de ACUMAR.

Las limitaciones y la complejidad de los modelos determinísticos, así como las aproximaciones implicadas en los métodos tradicionales, además de la acumulación de la incertidumbre a lo largo del proceso de desarrollo del índice de calidad, requiere del desarrollo de un método de evaluación capaz de integrar y dar cuenta de los resultados inexactos, vagos y cualitativos que a menudo rodea a la calidad del agua. Debido a que las técnicas de agregación no nos permiten o dificultan la interpretación de los resultados cuando se quieren integrar variables que responden a diversos factores de diversa índole, se ha sugerido la aplicación de una metodología de agregación utilizando reglas de decisión.

Esta metodología se basa en el desarrollo de reglas de decisión que consideran aspectos cualitativos de la interferencia humana sin un análisis cuantitativo preciso, aspectos que los diferencian de los modelos tradicionales, que son determinísticos, puesto que ignoran los procesos estocásticos, y tratan de dar una interpretación física de los diversos subprocesos involucrados, utilizando un gran número de parámetros, haciendo del modelo una tarea compleja y exigente en el tiempo.

Para el desarrollo del ICM- CHMR se ha implementado la metodología de agregación por reglas de decisión cualitativas de los tres índices. Dado que se trata de variables cualitativas de calidad discretizadas en 5 categorías, es posible construir diferentes reglas de decisión que permitan llegar a una categorización final de la calidad del ecosistema acuático de la CHMR.

Del análisis conjunto de los tres índices podemos cruzar las áreas de intersección, y establecer las siguientes reglas de decisión para el valor final del índice integrado, definiendo un modelo conceptual de forma gráfica en el cual quedan definidas las zonas o áreas de calidad: Pésima, Muy Mala, Mala,

Media, Buena y Muy Buena calidad para el Índice Integrado (ICM - CHMR); el modelo conceptual se muestra en la figura 47.

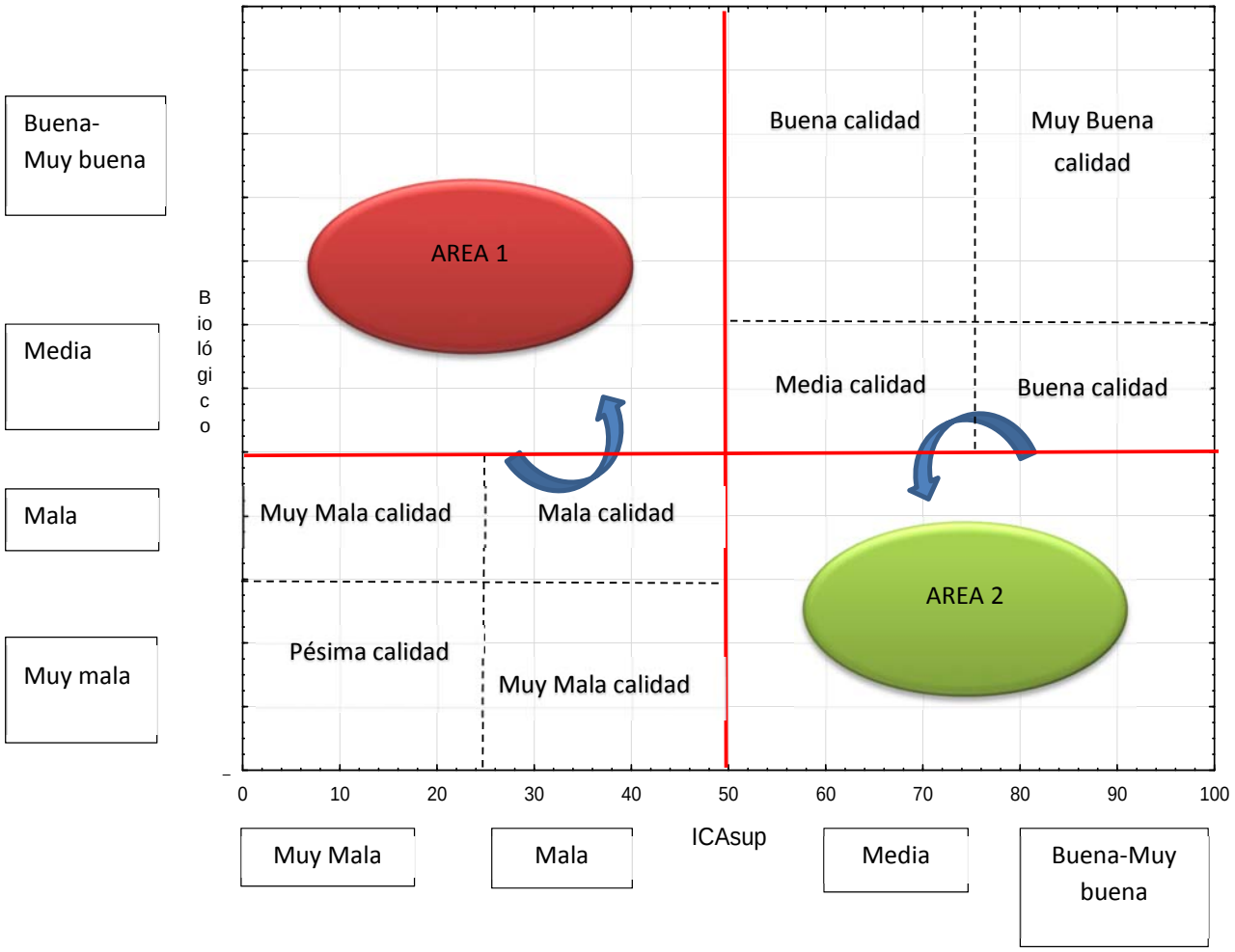


Figura 47: Modelo conceptual de Calidad Integrando los Índices Biológicos y el ICAsup - CHMR

Las áreas 1 y 2 del modelo conceptual representarían estadios de un proceso de mejora o deterioro del recurso o situaciones puntuales o momentáneas de mejora o deterioro. En el área 1 se podría estar dando comienzo a un proceso de pérdida de calidad, mientras que en el área 2 podría estar dándose un proceso de mejora de la calidad del agua. Esto podría deberse al retardo en la respuesta de los componentes biológicos a cambios en el ambiente. En el caso del área 1 podría comenzar a perderse la calidad o ser un hecho puntual que no ha afectado todavía o no persistió lo suficiente para deteriorar la

calidad del componente biológico. Mientras que en el área 2 podría estar generándose una mejora en las condiciones de calidad fisicoquímica o ser una condición puntual donde el aumento de la calidad del agua no se ve reflejado instantáneamente en una mejora de la condición biótica (retardo de respuesta).

Reglas de decisión para el valor del índice de calidad integral, Índice de Calidad Multidimensional (ICM - CHMR):

Del cruce entre los Índices de ICAsup e IBPamp se definen las siguientes zonas o áreas de calidad (no se incluyen las áreas 1 y 2):

1. Pésima Calidad: Si ICAsup<25 y IBPamp<4
2. Muy Mala Calidad: Si (25<ICAsup<50) y IBPamp<4 ó ICAsup<25 y (4<IBPamp<6)
3. Mala Calidad: Si 25<ICAsup<50 y (4<IBPamp<6)
4. Media Calidad: Si (50<ICAsup<75) y (6<IBPamp<8)
5. Buena Calidad: Si (50<ICAsup<75) y IBPamp>8 ó ICAsup>75 y (6<IBPamp<8)
6. Muy Buena Calidad: Si ICAsup>75 y IBPamp>8

Del cruce entre los Índices de ICAsup e IDP se definen las siguientes zonas o áreas de calidad (no se incluyen las áreas 1 y 2):

1. Muy Buena: Si ICAsup>75 y IDP <1,5
2. Buena: Si ICAsup>75 y (1,5<IDP<2) ó (75<ICAsup<50) y IDP<1,5
3. Media: Si (75<ICAsup<50) y (1,5<IDP<2)
4. Mala: Si (25<ICAsup<50) y (2<IDP<3)
5. Muy Mala: Si ICAsup<25 y (3<IDP<4) ó (25<ICAsup<50) y (IDP>4)
6. Pésima: Si ICAsup<25) e IDP>4)

Finalmente, de la combinación de estos dos gráficos o dimensiones, se establecen reglas de decisión del índice final, como ejemplo se plantan algunas a continuación:

- Regla 1: Si el ICAsup/IBPamp es Muy Malo y ICAsup/IDP es Muy Malo, entonces el ICM es **PESIMO**
- Regla 2: Si el ICAsup/IBPamp es Muy Malo y ICAsup/IDP es Malo, entonces el ICM es **MUY MALO**
- Regla 3. Si el ICAsup/IBPamp es Muy Malo y ICAsup/IDP es Malo, entonces el ICM es MUY **MALO**
- Regla 4. Si el ICAsup/IBPamp es Malo y ICAsup/IDP es Muy Malo, entonces el ICM es MUY **MALO**
- Regla 5. Si el ICAsup/IBPamp es Malo y ICAsup/IDP es Malo, entonces el ICM es **MALO**
- Regla 6. Si el ICAsup/IBPamp es Muy Bueno y ICAsup/IDP es Muy Bueno, entonces el ICM es **MUY BUENO**
- Regla 7: Si el ICAsup/IBPamp es Muy Bueno y ICAsup/IDP es Bueno, entonces el ICM es **MUY BUENO**
- Regla 8. Si el ICAsup/IBPamp es Bueno y ICAsup/IDP es Bueno, entonces el ICM es **BUENO**
- Regla 9. Si el ICAsup/IBPamp es Medio y ICAsup/IDP es Muy Bueno, entonces el ICM es **BUENO**
- Regla 10. Si el ICAsup/IBPamp es Medio y ICAsup/IDP es Bueno, entonces el ICM es **BUENO**
- Regla 11. Si el ICAsup/IBPamp es Medio y ICAsup/IDP es Medio, entonces el ICM es **MEDIO**

Estas serían algunas de las opciones que podrían plantearse en las combinaciones de los índices. Este tipo de análisis sugiere el uso de un sistema de computación, el cual podría ser implementado para un mejor y más rápido análisis y obtención de los resultados si se quiere mostrar un valor final del índice respecto de la calidad del agua.

En la figura 48 que representa el ICAsup – CHMR con el IBPamp, se observa que la mayor cantidad de los registros analizados para el cruce entre ambos se encuentra en la región de mala y muy mala calidad y fuerte y muy fuerte contaminación, encontrándose algunos pocos registros en el cuadrante de calidad regular y media, y uno solo en buena. Mientras que algunos puntos de muestreo cayeron en la región del área 1, con mala calidad del agua para

el ICAsup y condiciones de contaminación moderada para IBPamp; esta situación podría deberse a un caso puntual o temporario de deterioro del recurso superficial en sus componente físico-químicos pero que no se ve reflejado en su componente biológico o que se está iniciando un proceso de deterioro del recurso hídrico. Algunas muestras se registraron en el cuadrante del área 2, lo que estaría indicando una mejora en la situación físico química del agua pero que no se ve reflejada en la condición de contaminación puesto que esta es fuerte, lo cual podría explicarse por una situación puntual o momentánea de mejora en la calidad del agua que no se llega a ver reflejada en la calidad biótica.

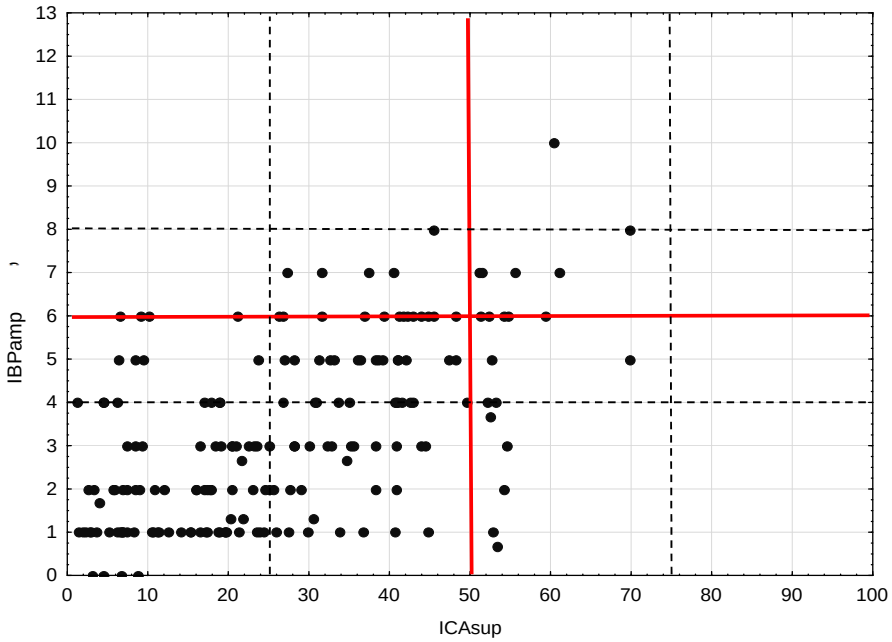


Figura 48: Grafica de los 138 registros de las estaciones de la CHMR dentro del diagrama de las regiones de calidad en función del ICAsup y IBPamp

En la figura 49 que grafica los valores del ICAsup – CHMR respecto al IDP se observa que el valor para la mayoría de los registros se encuentra en el cuadrante de muy mala a mala calidad. Al igual que en la condición anterior se observan valores que registran una mejor calidad del agua, no así de la condición del índice biológico (IDP), es otra de las situaciones dentro del cuadrante definida como área 2, una mejora en la calidad del agua que no se ve reflejada en la mejora en la calidad biótica, lo que podría explicarse, nuevamente con la condición de retardo en la respuesta al cambios en las

condiciones ambientales del recurso, lo cual podría marcar una tendencia a la mejora si se continua y sostiene en el tiempo.

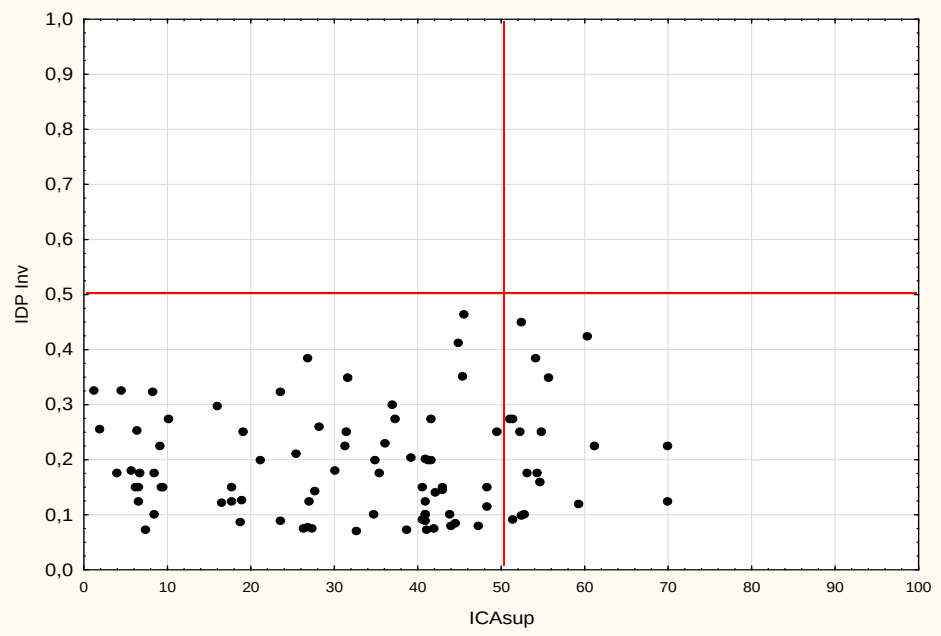


Figura 49: Grafica de 138 registros de las estaciones de la CHMR dentro del diagrama de calidad para el ICAsup y el IDP (se grafica la inversa de IDP)

12. Taller de Revisión del ICAsup – CHMR

12.1. Introducción

El jueves 15 de diciembre de 2016 se llevó a cabo el "*Taller de Revisión del Índice de Calidad de Agua Superficial elaborado para la Cuenca Matanza Riachuelo*" en la sede de ACUMAR, en la Ciudad Autónoma de Buenos Aires.

El objetivo del taller fue recoger opiniones y aportes para el desarrollo del ICAsup – CHMR, a partir de la presentación y discusión con representantes de grupos específicos que harán uso del instrumento y/o con expertos en la temática de calidad de agua.

12.2. Metodología

12.2.1. Selección de los participantes

En reuniones internas del equipo de investigación, y también con representantes de ACUMAR, se consensuaron los criterios para definir los participantes del taller. Al respecto, se buscó que los mismos correspondiesen a dos extracciones:

1. Representantes de instituciones, con conocimiento sobre la temática bajo análisis y que harán uso práctico del índice bajo diseño:

- ACUMAR. Representantes del Área de Calidad Ambiental del organismo.

- Representantes de la Defensoría del Pueblo de la Nación

- Organizaciones no gubernamentales, ocupadas de la problemática ambiental y social en la CHMR.

2. Expertos del mundo académico y de organismos estatales:

- Profesionales de universidades nacionales e instituciones académicas, con conocimiento sobre la temática de calidad de agua y/o el diseño de índices.
- También profesionales de organismos estatales (secretarías, ministerios) con conocimiento en estadística, diseño de indicadores y desarrollo de políticas públicas en el territorio bajo análisis, así como consultores independientes.

Tomando como referencia los dos perfiles descriptos, se elaboró una lista de invitados para participar en el Taller de las siguientes instituciones:

- Defensoría del Pueblo de la Nación (DPN)
- Instituto Nacional del Agua (INA)
- Subsecretaria de Recursos Hídricos de la Nación (SSRH)
- Ministerio de Ambiente de la Nación
- Fundación Ambiente y Recursos Naturales (FARN)
- ACUMAR: Área de Calidad Ambiental - Área de Evaluación de Impacto Ambiental y Social y Dirección General Ambiental
- Autoridad del Agua de la Provincia de Buenos Aires (ADA)
- Organismo Provincial para el Desarrollo Sostenible de la Provincia de Buenos Aires (OPDS)
- Agencia de Protección Ambiental (APRA) – CIFA Ministerio de Ambiente y Espacio Público - G.C.B.A.
- Instituto de Limnología "Dr. Raúl A. Ringuelet" (ILPLA) – CONICET - UNLP
- Universidad de Flores (UFLO)
- Facultad de Ciencias Naturales y Museo - Universidad Nacional de La Plata (UNLP)
- CETA. Fac. Veterinaria. CONICET-UBA
- Facultad de Arquitectura, Diseño y Urbanismo de la UBA
- Universidad Católica Argentina (UCA)
- Universidad Nacional de General San Martín
- Facultad de Agronomía- UBA
- Consultores independientes

Las invitaciones las realizó la UIDET Gestión Ambiental a través del envío de una carta formal y un correo electrónico, en los cuáles se indicó el objetivo del Taller y el carácter de la participación pretendida. Luego, quienes confirmaban asistencia, recibían la versión borrador del Informe Final del Índice de Calidad del Agua Superficial para la Cuenca Hídrica Matanza Riachuelo.

En función de la lectura de dicho Informe se requirió a los participantes que envíen tres preguntas por escrito con dudas y/o consultas sobre el índice a la dirección de correo electrónico responsable del envío de la invitación y del

informe. Se les explicó que dichas preguntas se incorporarían a la dinámica del Taller y serían respondidas durante el mismo por los profesionales del equipo de investigación.

Cabe señalar que, en días anteriores al Taller, se reforzó la instancia de invitaciones y se re-envió la convocatoria para así favorecer la asistencia.

De los invitados al encuentro, finalmente asistieron los que se enumeran a continuación, entre los cuales se incluyen asistentes que se sumaron al listado original:

Tabla 36: Lista de asistentes al Taller

	Nombre	Institución
1	Andrés Carsen	ACUMAR / Calidad Ambiental
2	Eugenio Coconier	ACUMAR / Calidad Ambiental
3	Claudio Patat	ACUMAR / Calidad Ambiental
4	Cecilia Valea	ACUMAR / Calidad Ambiental
5	Juan Pablo Barabino	ACUMAR / Calidad Ambiental
6	Yanil Hepp	ACUMAR / Calidad Ambiental
7	Leandro García Silva	Defensoría del Pueblo de la Nación / Área Ambiental
8	Agustina Fernández	Defensoría del Pueblo de la Nación / Área Ambiental
9	Cecilia Corrales	Autoridad del Agua de la Provincia de Buenos Aires
10	Alicia Rodríguez	Ministerio de Ambiente de la Nación
11	Alexis Naha	Ministerio de Ambiente de la Nación
12	Quaini, Karina	Ministerio de Ambiente de la Nación
13	María Raquel Herrera	Ministerio de Ambiente de la Nación
14	Santiago Cerutti	Ministerio de Economía Pcia. Bs As
15	Florencia Goycoa	Ministerio de Economía Pcia. Bs As
15	Laura Urgu	APRA – G.C.B.A.
17	Victoria Bottazzi	APRA – G.C.B.A.
18	Ernesto Di Marco	APRA – G.C.B.A.
19	Nora Gómez	ILPLA - UNLP
20	Alberto Rodríguez Capítulo	ILPLA - UNLP
21	Constanza LLorente	CETA. Fac. Vet. CONICET-UBA
22	Julio Fuch	Facultad de Cs Exactas - UBA
23	Martha Bargiela	Facultad de Agronomía - UBA
24	Enrique Angheben	Facultad de Ingeniería - UNLP
25	Marcos Cipponeri	Facultad de Ingeniería - UNLP
26	Mónica Salvioli	Facultad de Ingeniería - UNLP
27	Verónica Guerrero Borges	Facultad de Ingeniería - UNLP
28	Guillermo Larrivey	Facultad de Ingeniería - UNLP
29	Laura Mordasini	Facultad de Ingeniería - UNLP

En cuanto al contenido de las preguntas enviadas por correo, se tuvo un muy bajo nivel de recepción. Solo se recibieron por parte de una de las personas convocadas al taller, las cuales fueron respondidas durante las instancias de preguntas orales.

12.2.2. Aspectos generales sobre la organización del taller y su funcionamiento

El Taller se desarrolló en una sola sesión de trabajo, que tuvo una duración de cuatro horas (de 13 a 17 hs).

Además de los participantes invitados, el encuentro contó con la presencia de miembros de la UNLP, a saber:

- Moderador: su función fue ordenar el debate, indicar las actividades planificadas y favorecer que los participantes expresen sus opiniones sobre los temas bajo consulta. Este rol fue ocupado por el Ing. Enrique Angheben, docente del Departamento de Hidráulica.
- Equipo de investigación de la UNLP: se encargó de realizar la presentación técnica del índice, responder oralmente las consultas enviadas previamente por correo, las que iban surgiendo durante el Taller y también, de registrar (por medio de notas) los aportes y sugerencias de los participantes durante el encuentro. Específicamente, se contó con la presencia de la Lic. Mónica Salvioli, la Lic. Verónica Guerrero Borges, el Ing. Marcos Cipponeri, el Técnico Guillermo Larrivey y la estudiante avanzada en Letras Laura Mordasini.

El programa que se estableció para el Taller se presenta en la tabla siguiente:

Tabla 37: Cronograma del Taller

Horario	Parte	Actividad
13 hs		Recepción - Inscripción - Ágape
13.30 hs	1° momento	Bienvenida – Inicio Formal Pautas, objetivos, consignas, cuestionario Presentación de los participantes Marco Institucional Presentación técnica del ICAsup
14.30 hs	2° momento	Preguntas al equipo / Comentarios
15.15 hs		Break- café
15.30 hs	3° momento	Debate "horizontal" y de intercambio abierto entre equipo y participantes
16.30 hs	4° momento	Llenado del cuestionario
16.50 hs	5° momento	Reflexión final - Cierre
17 hs		Agradecimientos y despedida

- Primer momento:

Esta parte incluyó varias actividades que ayudaron a dar un marco de funcionamiento al Taller:

- Presentación del moderador, del equipo de investigación y de los participantes (nombres e institución que representaban).
- Explicitación de los objetivos del Taller y de las pautas de funcionamiento del mismo.
- Presentación del marco institucional de desarrollo del trabajo
- Sintética presentación del ICAsup, a cargo del equipo de investigación, para relatar las fases de su diseño y remarcar sus características más salientes.
- Se distribuyó entre los participantes un cuestionario de consulta para ser llenado al final de Taller y que podían ir revisando o anotando desde el inicio.

- Segundo momento:

El moderador alentó la formulación de preguntas orales sobre cualquier aspecto del ICAsup que quisieran abordar los participantes. Asimismo, el equipo de investigación respondió de manera oral las pocas preguntas que se habían enviado por correo previamente. Asimismo, se sucedieron algunas consultas puntuales que fueron surgiendo espontáneamente a raíz de la presentación y lectura previa del material.

- Tercer momento:

El moderador alentó el debate horizontal respecto de preguntas orales, consultas, puntos de vista, sobre cualquier aspecto del ICAsup que quisieran abordar los participantes. Se desarrolló una discusión abierta donde incluso hubo fructíferos intercambios entre los mismos participantes.

- Cuarto momento:

Se pidió a los participantes que se tomen este espacio para completar individualmente el Cuestionario (ver en el Anexo 6 el formato del mismo). Allí pudieron volcar sus opiniones y sugerencias sobre distintos aspectos del ICAsup - CHMR.

- Quinto momento:

Se explicó a los participantes que los insumos recolectados durante el Taller (preguntas, sugerencias, opiniones) serían objeto de revisión por parte del equipo de investigación para evaluar internamente la inclusión de los cambios que se considerasen necesarios en el ICAsup - CHMR. Finalmente, se procedió a realizar una reflexión final por parte de ACUMAR, la DPN y la UIDET GA, así como los agradecimientos y la despedida formal.

12.3. Actividades posteriores al taller

12.3.1. Sistematización de las opiniones, datos y sugerencias

Como instancia posterior, se realizó una reunión interna del equipo de investigación donde se ordenaron y revisaron las sugerencias vertidas oralmente durante el Taller y las que fueron volcadas en los formularios de consulta. A continuación se enumeran las temáticas emergentes:

- ***Aspectos surgidos durante el debate oral del Taller***

Las siguientes temáticas se debatieron a partir de las preguntas espontáneas que fueron realizando los participantes, donde se incluyeron las pocas enviadas por mail previamente al Taller.

Sobre los Parámetros seleccionados:

Se consultó por qué no se utilizó fósforo inorgánico en lugar de fósforo total. Se respondió que el segundo es el más medido en la cuenca y que es representativo de potencial de eutrofización.

Sobre una consulta sobre la no inclusión de plaguicidas, se indicó que al tratarse de una herramienta de síntesis, el índice debe integrar parámetros que puedan presentarse en diferentes sectores de la cuenca; por otra parte, los plaguicidas tienen gran capacidad de adsorción a material particulado y por ende no ser detectados en agua superficial, lo cual estaría fundamentado en el hecho de que en la cuenca se registran valores bajos.

Se consultó si los hidrocarburos totales se midieron en agua o en sedimento, para lo cual se respondió que todos los parámetros se midieron en el agua superficial. Los ICA no incluyen medición de sedimentos, ya que es otro compartimento.

Se consultó por qué no se incluyó nitrato y sí el amonio. Al respecto se debatió sobre esto. Algunos presentes indicaron que el amonio fue bien elegido, ya que aporta información sobre toxicidad, fundamentalmente. Los nitratos son redundantes en cuanto a potencial de eutrofización que estaría reflejada en el fósforo total. Se busca reducir redundancia.

Se indicó que se debería evaluar la incorporación de clorofila a en el índice, como factor de corrección. Se comentó que es un parámetro que viaja en la cuenca, indica eutrofización, que es un serio problema en la cuenca. Desde ACUMAR indicaron que se está trabajando para comenzar a medir con mayor frecuencia este parámetro. De todos modos también se respondió que estaría brindando información aportada por otros parámetros presentes en el índice (compuestos de fósforo y nitrógeno).

Sobre las curvas *ad hoc* de calidad del agua superficial:

Consultaron sobre algunos valores correspondientes al 100% de calidad de parámetros como hidrocarburos totales, que no se corresponden con valores de referencia de normativa para protección de vida acuática. Al respecto, se respondió que oportunamente se desarrollaron otras curvas más restrictivas

que las actuales, que debieron modificarse para ser acordes a los valores de detección de los equipos utilizados actualmente en las técnicas analíticas de laboratorio.

Sobre el re-escalamiento del ICAsup - CHMR:

Muchos indicaron que esto no debería utilizarse, sobre todo para comunicación a la sociedad, ya que puede ser confuso y llevar a interpretaciones erróneas. Comentaron que se debería respetar el norte fijado en las curvas de calidad del agua superficial, de protección de vida acuática. Desde ACUMAR se comentó que, si bien también se utilizará el índice canadiense de cumplimiento de normativa, el re-escalamiento permitiría ver si se reflejan cambios en la cuenca. Al respecto, algunos participantes dijeron que, si va bien, se trabaja bien, los cambios se van a ver, más vale que se mueva poquito la aguja, pero que sea real. Se comentó también que desde hace mucho tiempo que se está pidiendo una herramienta que sea entendible, pero que no es negociable avanzar con un instrumento que mida otra cosa; si existen atajos, que sirvan para otros fines. Existen antecedentes de comunicación errónea de calidad del agua sin indicar con claridad que los datos respondían a cumplimiento de metas o usos en la cuenca. Se sugirió que se puede cambiar el nombre, usar otra semántica. Representación separada, pero no hablar de re-escalamiento del ICAsup – CHMR.

Sobre la integración final del ICAsup con índices bióticos:

Se sugirió cambiar el nombre de este índice final (ICEco), ya que los índices que lo componen serían insuficientes en este sentido. Es un nombre demasiado superador, respecto de los parámetros o índices que se incluyen. No se sugirieron nombres al respecto.

También se sugirió que se incluyan otros índices bióticos y de calidad de hábitat en este índice final.

Sobre la metodología no se hicieron consultas ni aportes.

Sobre otros aspectos del ICAsup

Respecto de la presentación de los resultados del ICAsup, se recomendó graficar el mismo mediante una escala de colores que permita visualizar la contribución de cada una de las dimensiones que integran el índice.

- ***Aspectos relevados a través del Formulario de consulta***

En total, los participantes confeccionaron doce formularios, cuyos resultados principales describimos a continuación.

1. Arquitectura del índice: los parámetros

- El 92% consideró pertinentes los parámetros que componen el ICAsup. Un participante indicó que cambiaría el fósforo total por fósforo inorgánico por la simplicidad de determinación a nivel químico.
- Respecto de la consulta si debería agregarse algún otro parámetro, la mitad respondió no, mientras que otros, en función de lo comentado en el debate sobre la clorofila a, sugirieron su incorporación por ser indicador de eutrofización en la cuenca. Otros indicaron los enterococos en la dimensión riesgo sanitario y cadmio entre los tóxicos. Un participante indicó como sugerencia "sin seguridad absoluta" que incorporaría nitratos y agroquímicos en la dimensión compuestos nitrogenados y fosforados, carbono orgánico total en lugar de la DBO_5.
- Un participante consultó por qué no se incorporaron parámetros vinculados con la calidad "atmosférica", ejemplificando esto con algunos gases, material particulado y precipitaciones.

2. Arquitectura del índice: agregación

- Al consultarse sobre el grado de representatividad (alta, media o baja) de los parámetros respecto de cada una de las dimensiones del ICAsup, las respuestas fueron variadas, si bien se puede generalizar lo siguiente: sobre la carga orgánica se consideró "alta", sobre el riesgo sanitario se consideró "media", sobre los compuestos nitrogenados y

fosforados se evaluó entre "alta y media", sobre las características físicas y sustancias disueltas la mitad la consideró alta y el resto entre media y baja, lo mismo que para los tóxicos.

- En el formulario se consultó a los participantes si agregarían otra dimensión al índice. Al respecto, el 83% de las respuestas fueron negativas. Un participante sugirió incluir la dimensión eutrofización con el parámetro clorofila a. Otro participante sugirió las dimensiones biológicas (peces y vegetación) e hidrológicas (caudal), pero dichas dimensiones estarían vinculadas con el índice integrado final que agrega el ICAsup – CHMR a índices bióticos ya aplicados en la cuenca.
- Respecto de la consulta sobre el manejo diferencial de la dimensión tóxicos en la agregación final, todos respondieron que es apropiada, salvo un participante que indicó que esto es bueno en caso de que se busque comparar el ICAsup con ICAs internacionales.

3. Re-escalamiento del ICAsup

- En el formulario se indagó a los participantes si consideraban apropiada la estrategia utilizada originalmente para evaluar el alcance de metas. Aproximadamente el 50% respondió que no la consideran apropiada o apropiada con limitaciones. Los comentarios en este sentido fueron: "responde a necesidades políticas de ACUMAR y deja de ser una herramienta de síntesis transparente para informar a la ciudadanía no especializada"; "para el público en general puede ser mal entendido"; "depende de cómo se entregue la información, no debe descartarse la meta general para no perder la comparación con otras cuencas"; "modificaría la sintaxis para diferenciar el ICAsup en si"; "depende del uso estratégico para la implementación de políticas públicas" "si, en función del objetivo".

4. Integración final – Índice de Calidad Ecosistémica (ICEco – CHMR)

- Se consultó si la integración del ICAsup – CHMR con índices biológicos es conceptualmente apropiada. Al respecto el 92% respondió afirmativamente.

- Respecto de la pertinencia de la metodología de integración utilizada para el diseño del ICEco – CHMR, los que respondieron, lo hicieron afirmativamente.

5. ICAsup – CHMR y caudales

- Respecto de la pertinencia de realizar una corrección del valor del ICAsup – CHMR en función del caudal medido en el momento de la medición o muestreo de agua superficial, la mayor parte de las respuestas fueron negativas, si bien algunos no respondieron y otros indicaron que sí, argumentando este hecho en la zona con mayor influencia del Río de la Plata, o porque las diluciones son diferentes. Otros participantes comentaron que este sería un factor más de ruido al índice, que resulta complicada la relación. Se recomendó analizar esto en momento de estiaje.

6. Comunicación

- Sobre la capacidad de comunicación del ICAsup y su facilidad de comprensión general para el público, un 33% indicó que es "alta". El resto lo valoró como "media". Razones: "consideran compleja la comunicación del re-escalamiento y la justificación del armado de un nuevo índice, dada la existencia de otros reconocidos a nivel internacional. Son los dos puntos que deben quedar muy bien explicados para el público en general"; "importante la distinción por subcuencas, presentado a través de un mapa, incorporar el peso de cada parámetro"; "no saben aún"; "si se usa el re-escalamiento, habría que mostrarlo con sintaxis diferente"; "por el tema del re-escalamiento"; "interesante modificar la manera de mostrarlo gráficamente estableciendo el % de contribución de cada uno de los componentes".

7. Balance general

- Respecto de cómo evalúa la utilidad del ICAsup para la toma de decisiones en materia de política pública, el 100% respondió que es "alta".

- Puntos fuertes del ICAsup elaborado:

  - Énfasis en el desarrollo de curvas de calidad de agua *ad hoc*, propias para la CHMR.

  Otros:

  - Incorporación de tóxicos.
  - Índice local que permite adaptarse a un sistema singular y además permite combinarse con la biota.
  - Calibración de parámetros con situaciones de la región próxima.
  - Permite ver parámetros que se encuentran afectados.
  - Permite definir calidad y tener continuidad de datos.
  - Capacidad de síntesis, especificidad.
  - Utilidad en cuanto a espacialidad, tendencias, gestión del recurso y comunicación a la sociedad.
  - Incluye parámetros típicos.
  - Posibilidad de selección de parámetros.
  - Fácil aplicación.
  - Su integración y correlación con índices bióticos.

- Limitaciones o puntos débiles del ICAsup elaborado:

  Los pocos que indicaron limitaciones argumentaron lo siguiente:

  - Se debe ser cuidadoso en la comunicación a la sociedad.
  - Re-escalamiento.
  - Conveniencia de corregir el nombre del índice como se reflejó en el debate.
  - Heterogeneidad de la cuenca y los diferentes usos e impactos.

12.3.2. Cambios introducidos al ICAsup - CHMR, post Taller

En función de estas sugerencias y consultas, el equipo de investigación emprendió una reflexión sobre qué cambios podían ser introducidos al ICAsup - CHMR, evaluando la viabilidad y pertinencia de las opiniones surgidas del Taller. Al respecto, se decidió introducir los siguientes cambios al índice:

- Se introdujo un cambio en el re-escalamiento originalmente planteado, mediante la denominación de este análisis como una estrategia de análisis de cumplimiento de metas.
- En la representación gráfica del ICAsup, comunicación de resultados, se realizaron modificaciones de diseño en la presentación de los mapas, para facilitar la interpretación de los datos y la información allí contenida. Al respecto, se incorporaron mapas con representación gráfica de la contribución de cada dimensión por fechas para cada estación.
- En la denominación del índice final de integración con índices bióticos se cambió el nombre originalmente propuesto (Índice de Calidad Ecosistémica – ICEco – CHMR) por Índice de Calidad Multidimensional (ICM – CHMR).
- Respecto del parámetro clorofila a, al no contar hasta el momento con datos suficientes en la BDH de ACUMAR sobre el mismo que permita, a través de un análisis estadístico, evaluar su aporte a la variabilidad entre estaciones de monitoreo, no se lo ha incorporado en el índice. Se recomienda realizar mediciones sistemáticas del mismo para evaluar su comportamiento en la cuenca. Por otra parte, en función de su redundancia en la información que aporta sobre eutrofización, y que estaría incluida en la dimensión componentes nitrogenados y fosforados, no se lo considera relevante.

12.4. Formulario de consulta

En el anexo 6 se encuentra el modelo de cuestionario entregado a los participantes del Taller.

13. Conclusiones y Recomendaciones

En este trabajo se elabora un índice de calidad del agua superficial que responde a las particularidades de la CHMR (denominado ICAsup – CHMR) y que tiene como objetivo principal determinar el estado o condición de la calidad del recurso hídrico superficial vinculada con la ocupación efectiva del territorio en la cuenca y las actividades antrópicas que en la misma se realizan.

El ICAsup – CHMR integra parámetros que son representativos de los usos del suelo y de las actividades dominantes actuales en diferentes tramos de la cuenca y que, a su vez, se presentan en gran parte de los ICAs antecedentes analizados.

El proceso de homogeneización de parámetros es complejo, delicado y relevante. En este trabajo esta tarea se distingue porque se ha realizado mediante curvas y funciones de calidad del agua superficial construidas *ad hoc*, específicas para la zona de estudio, en base a la recopilación y análisis de información antecedente disponible sobre registros de calidad del agua de cursos superficiales pertenecientes a la vertiente al Río de la Plata, registros de calidad del agua de la BDH (Base de Datos Hidrológica) de la CHMR, valores de referencia establecidos en normativa regional (CHMR), provincial, nacional e internacional, entre otros. Los valores obtenidos con la aplicación del ICAsup – CHMR desarrollado *ad hoc*, en las estaciones que fueron utilizadas, se presentan entre los rangos de calidad muy malo y malo. Pocas estaciones reflejan valores medios. No se presentan valores buenos y muy buenos.

La correlación entre los índices de calidad del agua ICAsup – CHMR e INSF es buena. El ICAsup CHMR demostró mayor sensibilidad en comparación al INSF. El INSF en general muestra mayor homogeneidad entre estaciones y valores de calidad más altos respecto al ICAsup – CHMR, puesto que este último incorpora tóxicos en su agregación final.

La comparación del ICAsup – CHMR con los índices biológicos (IDP e IBPamp) permite validar nuestro índice, ya que los resultados obtenidos son coherentes. Los valores de los índices para los tres casos muestran que la mayoría de las estaciones se encuentran en las categorías de muy mala y

mala calidad para el ICAsup – CHMR e IDP y dentro de la categoría de contaminación fuerte y muy fuerte para el IBPamp, lo cual demuestra consistencia entre los tres índices. Existe buena correlación entre el IBPamp y el ICAsup – CHMR.

El ICAsup – CHMR desarrollado *ad hoc*, se considera una herramienta diagnóstica, de seguimiento, planificación y comunicación válida y de fácil aplicación.

Es posible evaluar el cumplimiento de metas de calidad de corto, medio y largo plazo en el marco de la escala de calidad del ICAsup – CHMR, mediante el establecimiento de valores objetivos que respondan al porcentaje de calidad máximo que pueda alcanzarse en la cuenca en un determinado plazo, en base al nivel de degradación y metas que se planteen gradualmente en la misma.

No se justifica desarrollar estrategias de ajuste del índice por variaciones de caudal, ya que no existe correlación entre este y el valor del índice obtenido en las estaciones monitoreadas.

La aplicación del ICAsup – CHMR demanda el registro completo (en la estación y fecha en la que se pretenda aplicar) de todos los parámetros incluidos en el índice; por lo tanto, es un requisito relevante la medición periódica y sistemática de dichos parámetros para que el ICAsup – CHMR pueda cumplir con los objetivos planteados tanto en el espacio como en el tiempo.

El análisis final integrado a través del diseño del Índice de Calidad Multidimensional ICM – CHMR, puede también considerarse un instrumento diagnóstico, de seguimiento y planificación, que integra en un mismo punto y fecha, los valores obtenidos para los dos índices biológicos y para el de calidad fisicoquímica y bacteriológica del agua superficial. Los valores de cada índice se mantienen y a su vez se integran en un valor final cualitativo de calidad ecosistémica del recurso hídrico analizado.

Se recomienda incorporar en este último índice integrado otros índices que aporten información sobre diferentes aspectos biológicos y ecológicos de la cuenca, como el Índice de Calidad del Hábitat aplicado por el ILPLA.

Se recomienda incorporar mediciones más frecuentes de clorofila a en la red de monitoreo de ACUMAR, y evaluar su comportamiento espacial y temporal,

con el objeto de analizar su posibilidad de considerarlo como factor de corrección del índice, tal como fue expresado en el taller de revisión efectuado con expertos en la materia.

14. Referencias Bibliográficas

ACUMAR (2009). Resolución 003 – Uso IV

ACUMAR (2010). *Informe estado del agua superficial y las napas subterráneas en relación a resolución dictada por la SCJN el 06.04.2010. Memorando DGT N° 213/2010. Grado de avance alcanzado con respecto al punto III.8 "La presentación en forma pública, actualizada trimestralmente, del estado del agua y las napas subterráneas,..... de la cuenca".* Área Calidad Ambiental. Dirección General Técnica.

Amado Alvarez, J., Rubiños Panta, E., Gavi Reyes, F., Alarcón Cabañero, J. J., Hernández Acosta, E., Ramírez Ayala, C., Mejía Saenz, E., Pedrero Salcedo, F. Nicolas Nicolas, E. y Salazar Sosa, E. (2006). *Índice de calidad del agua en la cuenca del río Amajac, Hidalgo, México: Diagnóstico y Predicción.* Revista Internacional de Botánica Experimental. Phyton. 75: 71-83. Miguel Raggio & Nora Moro de Raggio. Vicente López (BA), Argentina.

Aurazo de Zumaeta, M. (2009). *Aspectos Biológicos de la Calidad del Agua.* De Manual para análisis básicos de calidad del agua de bebida, Lima, Peru, Centro Panamericano de Ingeniería Sanitaria y Ciencias del Ambiente, pp. 59 – 101.

Balmaceda Espinosa, C., García Hidalgo, Y. (2014). *Índice canadiense de calidad de las aguas para la cuenca del río Naranjo, provincia Las Tunas, Cuba*. Revista Ciencias Técnicas Agropecuarias, ISSN -1010-2760, RNPS-0111, Vol. 23, No. 3. pp. 11-16.

Bascarán, G. M. (1975). *El índice de la calidad del agua*. Boletín informativo del MOP, No 210.

Bauer, D. (2009). *Ecología del fitoplancton de arroyos pampeanos y su valor como indicador de la calidad del agua.* Tesis doctoral. ILPLA. Argentina.

Behar G.R.; Zúñiga de Cardozo, M y Rojas Ch.O. (1997). *Análisis y valoración del Índice de Calidad del Agua de la NSF: Caso ríos Cali y Melendez.* Rev Científica y Tecnológica Ingeniería y Competitividad. Vol I, Nº 1. Pp 17 - 27.

Bordalo, A. A.; Nilsumranchit, W. and Chalermwat, K. (2001). *Water quality and uses in the Bangpakong river* (Eastern Thailand). Water Res. 35: 3635-3642.

Bordalo, A. A.; Teixeira, R. y Wiebe, W. J. A (2006). *Water Quality Index Applied to an International Shared River Basin: The Case of the Douro River*. Environ Manage (2006) 38:910–920.

Boyacioglu, H. (2006). *Development of a water quality index based on a European classification scheme.* Water SA Vol. 33 No. 1 January 2007. ISSN 0378-4738.

Brown, R., *et al.* (1970). *A Water Quality Index- Do We Dare?*. Water and Sewage Works. pp. 339-343.

Brown, R. M.; Mc Llelland. N.I.; Deininger.R.A. y O´connor M.F. (1972). *A water quality index-Crashing the Psychological barrier.* 6ta Conferencia annual "Advances in Water pollution Research", pp 787- 794.

Camacho Campos, C. Compuestos fenólicos y el medio ambiente. Facultad de Agronomía. Centro de Tecnología Enzimática (CETENZ). Universidad de Matanzas "Camilo Cienfuegos". Matanzas, Cuba.

Canadian Council of Ministers of the Environment (2001). *Canadian water quality guidelines for the protection of aquatic life: CCME Water Quality Index 1.0, User's Manual.* Excerptfrom Publication No. 1299; ISBN 1-896997-34-1.

Casset, M. A. (2013). *Aplicación y optimización de índices de estado ecológico en arroyos de la provincia de Buenos Aires*. Tesis Doctoral Facultad de Ciencias Exactas y Naturales. Universidad de Buenos Aires.

Castro, M.; Almeida, J.; Ferrer, J. y Díaz, D. (2014). *Indicadores de la calidad del agua: evolución y tendencias a nivel global*. *Ingeniería Solidaria*, vol. 10, n°17, pp.111-124, doi: http://dx.doi.org/10.16925/in.v9i17.811.

Cattaneo, M.P. y López Sardi, E.M. (2013*). Evolución de la calidad del agua de la cuenca Matanza-Riachuelo.* Ciencia y Tecnología, 13, 2013, pp. 251-278 ISSN 1850-0870.

Cázares, E., Valiente, J., Luján, I., Caballero, C.A. y Rodríguez, A. (2005) *Vulnerabilidad de las aguas superficiales y sistemas de monitoreo de indicadores hidrológicos de la cuenca media del Rio Conchos*. Seminario Internacional: Visión Integral en el mejoramiento de la Calidad del Agua.

Cipponeri, M.; Salvioli, M. L.; Di Lucente, F.; Larrivey, G. y Fulle, E. M. (2015). *Avance de los Servicios Sanitarios Básicos (SSB) en relación a los Objetivos del Milenio en la Cuenca Matanza Riachuelo.* XXI Congreso Chileno de Ingeniería Sanitaria y Ambiental (AIDIS Chile) y VIII Congreso de la IV región de AIDIS. Nov. 2015. La Serena, Chile.

Cortelezzi, A. (2010). *Hábitats funcionales y macroinvertebrados en cauces modificados de arroyos de llanura. Impacto sobre la calidad ecológica*. Tesis nº: 1068, Facultad de Ciencias Naturales y Museo (UNLP).

Chávez Martínez, L. N. (2015). *Evaluación espacial y temporal del índice de calidad del agua del río Cazones en Coatzintla, Ver*. Tesis para obtener el título de Maestra en Ciencias del Ambiente. Universidad Veracruzana Facultad de Ciencias Biológicas y Agropecuarias Región Poza Rica Tuxpan. México.

CIMPAR. *Buenas Prácticas Ambientales en la Industria Cárnica.* Municipalidad de Rosario, Argentina.

Conesa Fdez-Vitora, V. (1995). In: *Guía Metodológica para la Evaluación del Impacto Ambiental*. Mundi-Prensa, 2nd ed., p. 390, Madrid.

Cude, C. G. (2001). *Oregon Water Quality Index: a tool for evaluating water quality management effectiveness.* Journal of American Water Resources Association. Vol 37. N°1.

Cude, C. G. (2001). *The Oregon Water Quality Index (OWQI)- A communicator of water quality information.*

De la Lanza, G. (2003). *Criterios generales para la elección de bioindicadores.* En: G. De la Lanza, S. Hernández y J.L. Carvajal (comps). Organismos

indicadores de la calidad del agua y de la contaminación (bioindicadores). SEMARNAT, CNA, UNMA, Instituto de Biología, México, pp. 17-42.

Descy, J.P. (1979). *A new approach to water quality estimation using diatom*. Beih. Nov Hedw. 64:305-323.

Descy, J.P. & Coste. M. (1990). *Utilization des diatomeés benthiques pour l´evaluation de la qualité des eaux courants*. Rapport Final, EC contract B-71-23, Rapport final. Cemagref. 64p.

Descy, J.P. & Coste, M. (1991). *A test of methods for assessing water quality based on diatoms*. Verh. Internat. Verein. Limnol. 24: 2112-2116.

Di Marzio, W. C., Tortorelli, M. del C. y Rubén Freyre, L. (2003). *Diversidad de peces en un arroyo de llanura*. Programa de Investigación en Ecotoxicología, Departamento de Ciencias Básicas, Universidad Nacional de Luján. Instituto de Limnología de La Plata.

Díaz M. Á., González, M. del C. y Pourrieux, J. *Indicadores de calidad de agua. Método de cálculo propuesto.* Dirección Recursos Hidricos Tucuman-Argentina

Dinius, S. H. (1987). *Design of an index of water quality.* Water Resources Bulletin Vol. 23, No. 5.

Dodds W.K., Jones J.R. y Welch, E.B. (1998). *Suggested classification of stream trophic state: distributions of temperate stream types by chlorophyll, total nitrogen, and phosphorus.* Wat. Res. Vol. 32 No 5. pp. 1455-1462. Elsevier Science Ltd. Printed in Great Britain.

Dunnette, D. (1979). *A geographically variable water quality index used in Oregon*. Journal of the Water Pollution Control Federation, Vol. 51, No. 1, pp. 53-61.

Escuela Organización Industrial (2008). *Los vertidos de los mataderos e industrias cárnicas.* Máster Profesional en Ingeniería y Gestión Medio Ambiental. Contaminación de las aguas. Vertidos de Mataderos e Industrias Cárnicas. Sevilla, España.

Feijo´o, C. S. Giorgi, A., García, M. E. & Momo, F. (1998). *Temporal and spatial variability in streams of a pampean basin.* Universidad de Luján. Argentina.

Fernández Parada, N.J. y Solano Ortega, F (2005). *Índices de calidad y de contaminación del Agua.* ISBN 958-33-7810-0. 142 pp. Capítulo III. Índices de calidad (ICAs) y de contaminación del agua (ICOs) de importancia mundial.

Fernández Parada, N., Ramírez, A., Solano Ortega, F. (2003). *Índices fisicoquímicos de calidad del agua, un estudio comparativo.* Conferencia Internacional Usos Múltiples del Agua: Para la Vida y el Desarrollo Sostenible, Agua, Universidad del Valle, Cinara, Colombia.

Ganín, A. del V.; Rolandi, M. L.; Gultemirian, M. de L.; Galindo, M. C. y Hidalgo, M. del V. (2013). *Desarrollo de un índice de calidad de aguas superficiales. Tucumán, Argentina.* Facultad de Agronomía y Zootecnia, UNT; Facultad de Ciencias Naturales e IML, UNT. Publicado en: XXIV Congreso Nacional del Agua 2013 (CONAGUA 2013) San Juan, Argentina.

García Quevedo, T. V. (2012). *Propuesta de índices de calidad de agua para ecosistemas hídricos de Chile*. Tesis Ingeniería Civil. Universidad de Chile, Facultad de Ciencias Físicas y Matemáticas Departamento de Ingeniería Civil.

García Solano, E. A. (2012). *Calidad del agua superficial en Latinoamérica*. Universidad de San Carlos de Guatemala, Facultad de Agronomía, Centro de Telemática Computo I, Ing. Byron Gonzales.

Glatstein, D.; Pilán, T.; Bazán, R.; Larrosa, N.; Cerminato, F.; O'Mill, P.; Muratore, H. y Reuter, F. (2010). *Índices de Calidad de Agua de los Principales Tributarios del Embalse Río Hondo.* Ciencia, Vol. 5, Nº 20, Mayo 2010. Página 75.

Gómez, N. y Rodriguez Capítulo, A. (2013). *Programa de monitoreo integrado de calidad de agua superficial y sedimentos de la cuenca Matanza-Riachuelo y del Río de la Plata y sistematización de la información generada. Cuenca Matanza-Riachuelo-* Campaña Diciembre

2013. Aspectos biológicos y del hábitat. Instituto de Limnología "Dr. R. A. Ringuelet".

Gómez, N. y Rodriguez Capítulo, A. (2010). *Programa de monitoreo integrado de calidad de agua superficial y sedimentos de la cuenca Matanza-Riachuelo y del Río de la Plata y sistematización de la información generada. Franja costera Sur del Río de la Plata*. Campaña Junio 2010. Aspectos biológicos y del hábitat. Instituto de Limnología "Dr. R. A. Ringuelet".

Gómez, N. & Rodriguez Capítulo, A. (2001). *Los bioindicadores y la salud de los ríos.* V Seminario Internacional Ingeniería y Medio Ambiente-Indicadores Ambientales 2000. Facultad de Ingeniería (UNLP). Pág: 91-100.

Gómez, N & Licursi, M. (2001). *The Pampean Diatom Index (IDP) for assessment of rivers and streams in Argentina*. Aquatic Ecology. 35(2):173-181.

Goyenola, G. (2007). *Rangos de concentración de (OD) oxígeno disuelto y consecuencias ecosistémicas frecuentes*. Facultad de Ciencias, UDELAR. Montevideo, Uruguay.

Greenpeace (2013). *Las aguas siguen bajando turbias. Análisis sobre la calidad ambiental de las aguas superficiales en la Cuenca Matanza-Riachuelo*. Campañas ACUMAR 2008-2012.

Greenpeace (2014). *Las aguas siguen bajando turbias. Actualizacion 2012-2013. Análisis sobre la calidad ambiental de las aguas superficiales en la Cuenca Matanza-Riachuelo.* Campañas ACUMAR.

Guzmán-Colis, G., Thalasso, F., Ramírez-López, E. M., Rodríguez-Narciso, S., Guerrero-Barrera, A. L. y Avelar-González, F. J. (2011). *Evaluación espacio-temporal de la calidad del agua del río San Pedro en el estado de Aguascalientes, México*. Rev. Int. Contam. Ambie. 27 (2) 89-102.

Hammer, M.J., Hammer Jr., Mark J. (1991). *Water and Wastewater Technology*. Inc. New Jersey. USA.

Hernández Sánchez, Luis Miguel; Sangrador Fontecha, Raquel y Madruga Martín, Raimunda (2001). *Estudio comparativo de parámetros físico-*

químicos y presencia de algas en el río Tormes: captación "La Aldehuela" y captación "Azud de Villagonzalo". Convenio de Colaboración SERAGUA-FCC-SALAMANCA-UTE-CIDTA. España.

Hilsenhoff, W. L. (1977). *Use of arthropods to evaluate water quality of streams*. Technical Bulletin No. 100, Department of Natural Resources, Madison, Wisconsin.

Horton, R. K. (1965). *An Index Number System for Rating Water Quality*. J. Water Pollution Control Administration 37(3): 300 pp.

Instituto Nacional del Agua, Subsecretaría de Recursos Hídricos, Secretaría de Obras Públicas, República Argentina (2011). *Evaluación de la calidad del agua en la franja costera sur del Río de la Plata mediante modelación numérica.* Proyecto INA 1207. Informe LHA 02-1.207-11. 181 pp.

Jiménez J., M.A. & Vélez O., M.V. (2006). *Análisis comparativo de indicadores de la calidad de agua superficial*. Avances en recursos Hidráulicos – Número 14, Octubre de 2001 – Medellín – Colombia – ISSN 0121-5701.

Kothè, P. (1962). *Der «Artenfehlbetrag», ein einfaches Gütekriterium und seine Anwendung bei biologischen Vorflutuntersuchunge*n.- Dt. Gewässerkdl. Mitt. 6: 60-65.

Landwehr, J. M. (1979). *A Statistical View of a Class of Water Quality*. Indices. Water Resources Research 15(2):460-468.

Lermontov A., Yokoyama L., Lermontov M., Soares Machado M. A. (2009). *River quality analysis using fuzzy water quality index: Ribeira do Iguape river watershed, Brazil.* Ecological Indicators 9: 1188 – 1197.

Licursi, M. & Gómez, N. (2003). *Aplicación de Índices bióticos en la evaluación de la calidad del agua en sistemas lóticos de la llanura pampeana a partir del empleo de diatomeas.* Biología Acuática 21: 31-49.

Mejias P., Hendrik Á., Marin, J., Saules, L y Troncone, F. *Utilización de índices de calidad para calificar la condición de un cuerpo de agua.* Centro de Investigación del Agua, Facultad de Ingeniería, Universidad del Zulia. Maracaibo, Venezuela.

Metcalf & Eddy (1991). *Ingeniería Sanitaria*. Mc Graw Hill, Barcelona, España.

Michaelidou-Canna St., Christodoulidou, M. *Indices for surface waters and effluents for sustainable water management: concept and application.* State General Laboratory, Cyprus.

Ministerio de Agricultura, Alimentación y Medio Ambiente. Gobierno de España (1981). *Índice de Calidad General*.

Mora Alvarado, D. (1998). *Criterios microbiológicos para evaluar la calidad del agua en sus diferentes usos*. Revista Costaricense de Salud Pública, Vol. 7, Nº 13, pp. 23-33. Colombia.

Morábito, J., Lavie, E., Salatino, S., Bermejillo, A., Filippini, M., Campos, S., Dediol, C., Medina, R., Maffei, A., Mastrantonio, L., Hernández, R., Genovese, D. y Stocco. A. (2014). *Calidad del agua de riego de los ríos Mendoza y Tunuyán superior. Tendencias y recomendaciones*. IFRH 2014. 2do Encuentro de Investigadores en Formación en Recursos Hídricos. Ciudad Autónoma de Buenos Aires, Argentina.

Moscuzza, C., Volpedo, A. V., Ojeda C. and Fernández Cirelli, *a. Water quality index as an tool for river assessment in agricultural areas in the pampean plains of Argentina.* Journal of Urban and Environmental Engineering, v.1, n.1 (2007) 18–25. ISSN 1982-3932.

Muñoz Real, S. L. y Beltrán Carvajal, D. C. (2010). *Perfil Ambiental de la Subcuenca del Río Teusacá de la Cuenca Alta del Río Bogotá.* Universidad de La Salle Facultad de Ingeniería Ambiental y Sanitaria. Bogotá D.C. Colombia.

Natale O. y Goransky, R. (2012). *Diseño del Programa de Monitoreo Permanente para la Calidad del Agua de la Franja Costera Sur del Río de La Plata*. Informe final del Monitoreo de Calidad del Agua. Proyecto FREPLATA II.

Nisbet, M. y Verneaux, J. (1970). *Composantes Chimiques Des Eaux Courantes*. Cambridge Journals, vol. 6, nº 2, pp. 161-190.

Organization for Economic Cooperation and Development (OECD) (1998). *Towards Sustainable Development: Environmental Indicators*. Organization for Economic Cooperation and Development.

Ott, W. R. (1978). *Water Quality Indices; A Survey of Indices Used in the United States.* EPA-600/4-78-005, Environmental Protection Agency, Washington, D.C.

Patiño, P., Holguín, J., Barba Ho, L., Cruz, C., Ramírez, C., Duque, A. y Baena, L. (2009). *Metodología para la adaptación de un índice de calidad del agua a las condiciones medioambientales del río Cauca en el tramo Salvajina – La Virginia*. Universidad del valle, Instituto CINARA.

Pavé, P. J. & Marchese, M. (2005). *Invertebrados bentónicos como indicadores de calidad del agua en ríos urbanos (Paraná-Entre Ríos, Argentina).* Ecología Austral 15:183-197. Asociación Argentina de Ecología.

Pérez Flores L. S., Rodríguez Narváez, O. M., Gutiérrez Estrada R. del C. y Martínez Austria P. F. (2014). *Índices de calidad del agua: un comparativo entre México, Estados Unidos y la Unión Europea*. XXIII Congreso Nacional de Hidráulica, Puerto Vallarta, Jalisco, México.

Pesce, S. F. and Wunderlin, D. A. (2000). *Use of water quality indices to verify the impact of Córdoba city (Argentina) on Suquía river.* Wat. Res. Vol. 34, No. 11, pp. 2915±2926, 2000 7 2000 Elsevier Science Ltd. Printed in Great Britain.

Plataroti, M. C. (2010). *Caracterización de la calidad del agua de una sección del Río Luján: Efectos sobre el fitoplancton*. Departamento de Ecología, Genética y Evolución. Facultad de Ciencias Exactas y Naturales. UBA.

Puerto Rodríguez S. P. y Pimentel Suarez, A. (2006). *Determinación de índices y planteamiento de objetivos de calidad del agua para las cuencas de segundo orden de la jurisdicción de a Car – Cundinamarca.* Universidad de La Salle, Facultad de Ingeniería Ambiental y Sanitaria. Bogotá.

Queralt, T. R. (1982). *La calidad de las aguas de los ríos*. Tecnología del Agua 4.

Ramírez, A., Restrepo, A. y Cardeñosa, M. (1999). *Índices de Contaminación para caracterización de aguas continentales y vertimientos*. *Formulaciones*. CT&F- Ciencia, Tecnología y Futuro- Vol. 1 Num.5.

Ramírez, A., Restrepo R., y Viña, G. (1997). *Cuatro índices de contaminación para caracterización de aguas continentales. Formulaciones y aplicación.* CT&F - Ciencia, Tecnología y Futuro - Vol. 1 Núm. 3.

Rodrigues Capítulo, A., César, I., Tassara, M., Paggi, A. C. y Remes lenicov. M. (1997). Zoobentos. Cap. 13: 131-141. En "Calidad de las Aguas de la Franja Costera Sur del Río de la Plata. San Fernando-Magdalena" Rodrigues Capítulo, A. y Gómez, N (2003). *Diatomeas y macroinvertebrados bentónicos en el monitoreo de sistemas lóticos bonaerenses*. Biología Acuática Nº 21 ISSN 1668-4869. Instituto de Limnología "Dr. Raúl A. Ringuelet" UNLP – CONICET.

Rodrigues Capítulo, A., Tangorra, M. and Ocón, C. (2001). *Use of benthic macroinvertebrates to assess the biological status of Pampean streams in Argentina.* Aquatic Ecology. 35: 109-119.

Rodrigues Capítulo, A., Ocón, C. y Tangorra, M. (2003). *Una Visión bentónica de arroyos y ríos pampeanos.* Biología Acuática 21: 31-49.

Roldán Pérez, G. (1999). *Los macroinvertebrados y su valor como indicadores de la calidad del agua.* Revista de la Academia Colombiana de Ciencias Exactas, Físicas y Naturales 23 (88): 375-387. ISSN 0370-3908.

Romero, V. F. (2001). *Guía para la determinación de artrópodos bentónicos sudamericanos.* Plecoptera, pp: 93-109 (Capitulo 3). En: Fernández, H. R & E. Domínguez (Eds.) Universidad Nacional de Tucumán. Tucumán, Argentina.

Rosenberg, D.M. & Resh, V.H. (1993). *Freshwater biomonitoring and benthic macroinvertebrates.* Chapman & Hall, New York, New York, USA. 488 pp.

Saaty, T. L. (1977). *A Scaling Method for Priorities in Hierarchical Structures*. J. Math. Psychology, 15: 234-281.

Samboni Ruiz, N. E., Carvajal Escobar, Y. y Escobar, J. C. (2007). *Revisin de parámetros físicoquímicos como indicadores de calidad y contaminación del agua.* Revista Ingeniería e Investigación Vol. 27 No.3 (172-181).

Sancha F., A.M. y Espinoza C., 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 – Santiago, CHILE.

Saracho, M.; Segura, L.; Rodríguez, N.; Moyano, P. y Zalazar, E. (2006). *Análisis de la variabilidad espacial de la calidad del agua del Río El Tala, Catamarca.* Ciencia, Vol. 2, Nº 2, Mayo 2006. Página 25.

Sawyer, C., McCarty, P. y Parklin, G. (1994). *Chemistry for Environmental Engineering*, McGraw-Hill.

Secretaría de Política Ambiental (2001). *Sistema de gestión territorial-ambiental de la cuenca del arroyo Del Gato.* Buenos Aires, Argentina.

Semarnat, Comisión Nacional del Agua, Gerencia de Saneamiento y Calidad del Agua (2008). Índice de calidad del Agua. México.

Servicio Nacional de Estudios Territoriales (sf). *Índice de Calidad del Agua General "ICA"*. Gobierno de El Salvador. San Salvador. www. snet.gob.sv/Hidrologia/Documentos/calculoICA.pdf.

Shannon, C. E & Weaver, W. (1949). *The Mathematical Theory of Communication*. Univ. Illinois Press, Urbana, 125 pp.

Schmidt, E. *Caracterización de efluentes líquidos de la industria láctea: Principales determinaciones analíticas.* INTI Lácteos. Ministerio de Industria. Presidencia de la Nación Argentina.

Tambo Lopez, C. S. (2015). *Propuesta de un índice de calidad del agua como herramienta de gestión para los humedales capitalinos.* Proyecto de grado para optar por el título de Ingeniero Ambiental. Universidad Santo Tomás. División de Ingenierías. Facultad de Ingeniería Ambiental. Bogota D.C.

Tilman, G. D., Smith, V. H. y Nekola, J. C. (1999). *Eutrophication: impacts of excess nutrient inputs on freshwater, marine, and terrestrial ecosystems.* Environmental Pollution, vol. 100, nº 1, pp. 179-196.

Torres Vega, F. J. (2009). *Desarrollo y Aplicación de un Índice de Calidad de Agua para ríos en Puerto Rico*. Tesis de Maestría Ciencias en Ingeniería Civil. Universidad de Puerto Rico, Recinto Universitario de Mayagüez.

Trivedi, R. C., Bhardwaj, R. M. and Agrawal, S. (2008). *Biological Monitoring of Water Quality in India – Needs and Constraints.* Sengupta, M. and Dalwani, R. (Editors). Proceedings of Taal2007: The 12th World Lake Conference: 1-6.

Universidad del Valle, Facultad de Ingeniería. (2004). *Estudio de la calidad del agua del rio cauca y sus principales tributarios mediante la aplicación de Índices de calidad y contaminación. Tramo Salvajina – La Virginia*. Proyecto de Modelación Matemática del Río Cauca, Proyecto PMC Fase II, dentro del Convenio Interadministrativo 0168 de Noviembre 27 de 2002 suscrito entre la Corporación Autónoma Regional del Valle del Cauca CVC y la Universidad del Valle.

Universidad Nacional de La Plata – Facultad de Ciencias Exactas (2015). *Evaluación de la Sensibilidad de Diferentes Especies Acuáticas, Presentes en la Cuenca Matanza Riachuelo, Expuestas a Diversos Contaminantes Determinados en la misma.* Informe Final. ACUMAR.

Universidad Nacional de La Plata – Facultad de Ingeniería (2004). *Estudios Hidrológicos- Hidráulicos – Ambientales en la Cuenca del A° del Gato – La Plata*.

Universidad Nacional de La Plata – Facultad de Ingeniería - UIDD Gestión Ambiental (2010). *Plan Piloto de Gestión de las Cuencas Hídricas de Pequeñas Dimensiones. Cuencas Arroyos Conchitas - Plátanos y Baldovinos.* Informe Final.

Valdes-Basto, J., Samboni-Ruiz, N.E. y Carvajal-Escobar, Y. (2011). *Desarrollo de un Indicador de la Calidad del Agua usando Estadística Aplicada, Caso de Estudio: Subcuenca Zanjón Oscuro*. Rev. Tecno Lógicas No. 26, ISSN 0123-7799, pp. 165-180.

Van Helmond, C. y Breukel, R. (1997). *Physico-Chemical water quality indices*. In: J.J. Ottens, F.A.M. Claessen, P., Stoks, J., Timmermam and Ward, R. Monitoring, Tailor-Made II, Procedings of an International Works on Information Strategies in Water Management, Nunspeet, The Netherlands.

Vizcaíno, L. F. (1998). *Índices de Calidad del Agua (ICA), Forma de Estimarlos y Aplicación en la Cuenca Lerma-Chapala.* Instituto Mexicano de Tecnología del Agua, México.

Anexos

1. Desarrollo de Criterios de Selección de Parámetros

Tabla A. 1: Parámetros vinculados a usos del suelo

USOS DEL SUELO	FUENTES CONTAMINANTES	PARÁMETROS ASOCIADOS REPRESENTATIVOS
URBANO	Efluentes cloacales Desagües pluviales Basurales – RSU	OD DBO_5 DQO pH Coliformes totales y fecales Detergentes SSEE (aceites y grasas) Sólidos totales Sólidos disueltos – conductividad eléctrica Sólidos en suspensión – turbidez N total, N Kjeldahl N Nitrato N Nitritos, N amonio Fósforo total – fosfatos Metales pesados, hidrocarburos (desagües pluviales)
INDUSTRIAL – PORTUARIA	Químicas Galvanoplásticas Curtiembres Tratadores de residuos Frigoríficos Alimenticias (muchos parámetros asimilables a uso urbano, para estas y frigoríficos)	Metales pesados Hidrocarburos (totales, sustancias fenólicas, aceites, PAH, etc.) Cianuros Solidos totales Sólidos disueltos – conductividad eléctrica Sólidos en suspensión - turbidez
AGROPECUARIO	Fertilizantes Plaguicidas Labranza Heces y orina animal (ganadería, avicultura)	Plaguicidas Nitratos Nitritos – amonio Fósforo total – fosfatos Sólidos en suspensión – turbidez Sólidos disueltos - conductividad Coliformes totales, fecales

Tabla A. 2: Parámetros asociados a naturaleza de afectación

NATURALEZA DE AFECTACIÓN	PARÁMETROS REPRESENTATIVOS
APORTES DE MATERIA ORGÁNICA	OD, DBO_5, DQO
EUTROFIZACIÓN	Nitratos, fosfatos, clorofila a
RIESGO SANITARIO	Coliformes
TÓXICOS	Metales pesados, hidrocarburos, plaguicidas, sustancias fenólicas
CARACTERÍSTICAS FÍSICAS	Turbidez, temperatura, sólidos en suspensión, transparencia, color
SUSTANCIAS DISUELTAS	Sólidos disueltos, conductividad, pH, sulfatos, cloruros

Tabla A. 3: Parámetros incluidos en Índices de Calidad del Agua superficial antecedentes

PARÁMETROS	ICAs																		
	INSF	DINIUS	ICATUC	IREHISA COLOMBIA	OWQI	ICOs	AMOEBA	ICG España	ICAUCA	LEON VIZCAÍNO	CONAGUA	P12 ACUMAR	ACUMAR	SALI DULCE	ICAPI	PESCE Y WUNDERLIN	INA FCSRdlP	ISQA	CHILE
OD	X	X	X	X[1]	X	X	X	X	X	X		X	X		X	X	X	X	X
DBO_5	X	X		X[1]	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X					X
DQO				X			X	X		X	X			X	X			X	
pH	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X		X	X				X		
TEMP.	X	X			X	X	X			X		X					X	X	
CONDUCT.		X	X	X		X	X	X						X		X	X	X	
SDT	X													X			X		
SST						X		X	X	X	X			X				X	
S TOTALES			X	X	X				X										
TURBIDEZ	X			X			X		X					X		X			
NITRATOS	X	X	X	X	X		X	X		X				X			X		
NITRITOS					X		X							X			X		
AMONIO					X		X			X				X			X		
N TOTAL							X		X								X		
FOSFATOS	X			X			X	X		X		X							

PARÁMETROS	ICAs																		
	INSF	DINIUS	ICAT UC	IREHISA COLOMBIA	OWQI	ICOs	AMOEBA	ICG España	ICAUCA	LEON VIZCAÍNO	CONAGUA	P12 ACUMAR	ACUMAR	SALI DULCE	ICAPI	PESCE Y WUNDERLIN	INA FCSRdlP	ISQA	CHILE
FÓSFORO TOTAL					X	X	X		X					X			X		
COLIFORMES TOTALES		X				X	X	X		X				X					
COLIFORMES FECALES	X			X[1]	X				X	X									X
ESCHERICHIA COLLI		X												X					
CLORUROS		X								X							X		
ALCALINIDAD		X								X				X					
DUREZA		X								X				X					
COLOR		X							X										
CLOROFILA							X												
METALES PESADOS							X							X	X		X		
HIDROCARB.						X	X			X[2]		X[3]			X[2]				
PLAGUICIDAS							X										X		
DETERGENTES												X			X		X		
ACEITES Y GRASAS												X							
SULFUROS												X	X						
CIANUROS TOTALES												X							

Tabla A. 4: Contribución de cada variable al factor. Valores de correlación de la variable. Verano

Variable	Factor 1	Factor 2	Factor 3	Factor 4
Conductividad Electrica (CE)	-0,494	**-0,675**	-0,136	-0,173
DBO	**-0,779**	0,492	0,245	-0,010
DQO	-0,579	0,439	0,037	-0,037
Dureza Total (TH)	-0,567	-0,530	0,280	-0,483
Fósforo total	**-0,667**	-0,336	-0,379	0,342
Fósforo-ortofosfato (P-PO4)	**-0,644**	-0,475	-0,343	0,331
Nitrato (NO3-)	0,301	-0,440	0,540	-0,447
NO2-	0,234	-0,309	0,540	0,428
Nitrógeno Total	**-0,839**	-0,178	0,233	-0,009
Oxígeno disuelto	0,396	-0,438	0,443	0,436
Turbidez	-0,302	-0,065	0,348	0,534
Solidos totales	**-0,641**	**-0,648**	0,112	-0,110
Coliformes Fecales	-0,575	**0,721**	0,238	-0,029
Escherichia coli	-0,454	**0,701**	0,274	0,042

Tabla A. 5: Contribución de cada variable al factor. Valores de correlación de la variable. Otoño

Variable Otoño	Factor 1	Factor 2	Factor 3	Factor 4
Conductividad Electrica (CE)	-0,329	**-0,802**	0,257	-0,289
DBO	**-0,584**	0,467	0,111	-0,257
DQO	-0,187	0,238	0,441	0,075
Dureza Total (TH)	-0,308	-0,336	-0,622	-0,400
Fósforo total	**-0,859**	-0,131	0,104	0,406
Fósforo-ortofosfato (P-PO4)	**-0,856**	-0,179	0,119	0,389
Nitrato (NO3-)	-0,096	-0,129	-0,843	0,034
NO2-	-0,242	**-0,717**	0,014	-0,013
Nitrógeno de Amoníaco (N-NH3)	**-0,936**	0,044	-0,073	0,107
Nitrógeno Total	**-0,949**	0,020	-0,189	0,091
Oxígeno disuelto	0,229	0,118	-0,320	0,555
Solidos totales	-0,227	**-0,770**	0,193	-0,259
Coliformes Fecales	-0,492	**0,642**	-0,009	-0,358
Escherichia coli	-0,512	**0,639**	-0,037	-0,295

Tabla A. 6: Contribución de cada variable al factor. Valores de correlación de la variable. Invierno

Variable Invierno	Factor 1	Factor 2	Factor 3	Factor 4
Conductividad Electrica (CE)	-0,239	**-0,927**	-0,102	0,074
DBO	**-0,740**	0,090	-0,182	-0,141
DQO	-0,654	0,160	-0,155	-0,382
Dureza Total (TH)	-0,320	**-0,732**	-0,235	0,062
Fósforo total	**-0,931**	-0,057	0,047	0,166
Fósforo-ortofosfato (P-PO4)	**-0,877**	-0,152	0,090	0,189
Nitrato (NO3-)	0,214	-0,156	0,833	-0,066
NO2-	0,069	-0,453	0,372	-0,698
Nitrógeno de Amoníaco (N-NH3)	**-0,868**	-0,025	0,301	0,160
Nitrógeno Total Kjeldahl	**-0,948**	0,045	0,188	0,112
Nitrógeno Total	**-0,916**	0,001	0,337	0,082
Oxígeno disuelto	0,398	0,093	0,334	0,698
Turbidez	-0,519	0,314	-0,502	0,118
Solidos totales	-0,276	**-0,896**	-0,178	0,113
Coliformes Fecales	**-0,704**	0,359	0,083	-0,180
Escherichia coli	**-0,705**	0,359	0,074	-0,104

Tabla A. 7: Contribución de cada variable al factor. Valores de correlación de la variable. Primavera

Variable Primavera	Factor 1	Factor 2	Factor 3	Factor 4
Conductividad Electrica (CE)	-0,637	-0,551	-0,303	-0,333
DBO	**-0,799**	0,275	-0,140	-0,020
DQO	**-0,868**	0,066	-0,278	-0,065
Dureza Total (TH)	-0,655	-0,475	-0,150	-0,164
Fósforo total	**-0,797**	0,009	0,447	0,213
Fósforo-ortofosfato (P-PO4)	-0,629	-0,034	0,576	0,043
Nitrato (NO3-)	0,198	-0,276	0,550	0,031
NO2-	0,048	-0,591	0,345	-0,402
Nitrógeno de Amoníaco (N-NH3)	**-0,894**	-0,120	0,123	0,283
Nitrógeno Total Kjeldahl	**-0,975**	0,110	0,098	0,079
Nitrógeno Total	**-0,964**	0,047	0,197	0,067
Oxígeno disuelto	0,290	-0,290	0,592	-0,071
Turbidez	-0,435	0,397	-0,117	0,548
Solidos totales	-0,663	-0,539	-0,301	-0,290
Coliformes Fecales	-0,244	**0,757**	0,168	-0,558
Escherichia coli	-0,249	**0,745**	0,153	-0,577

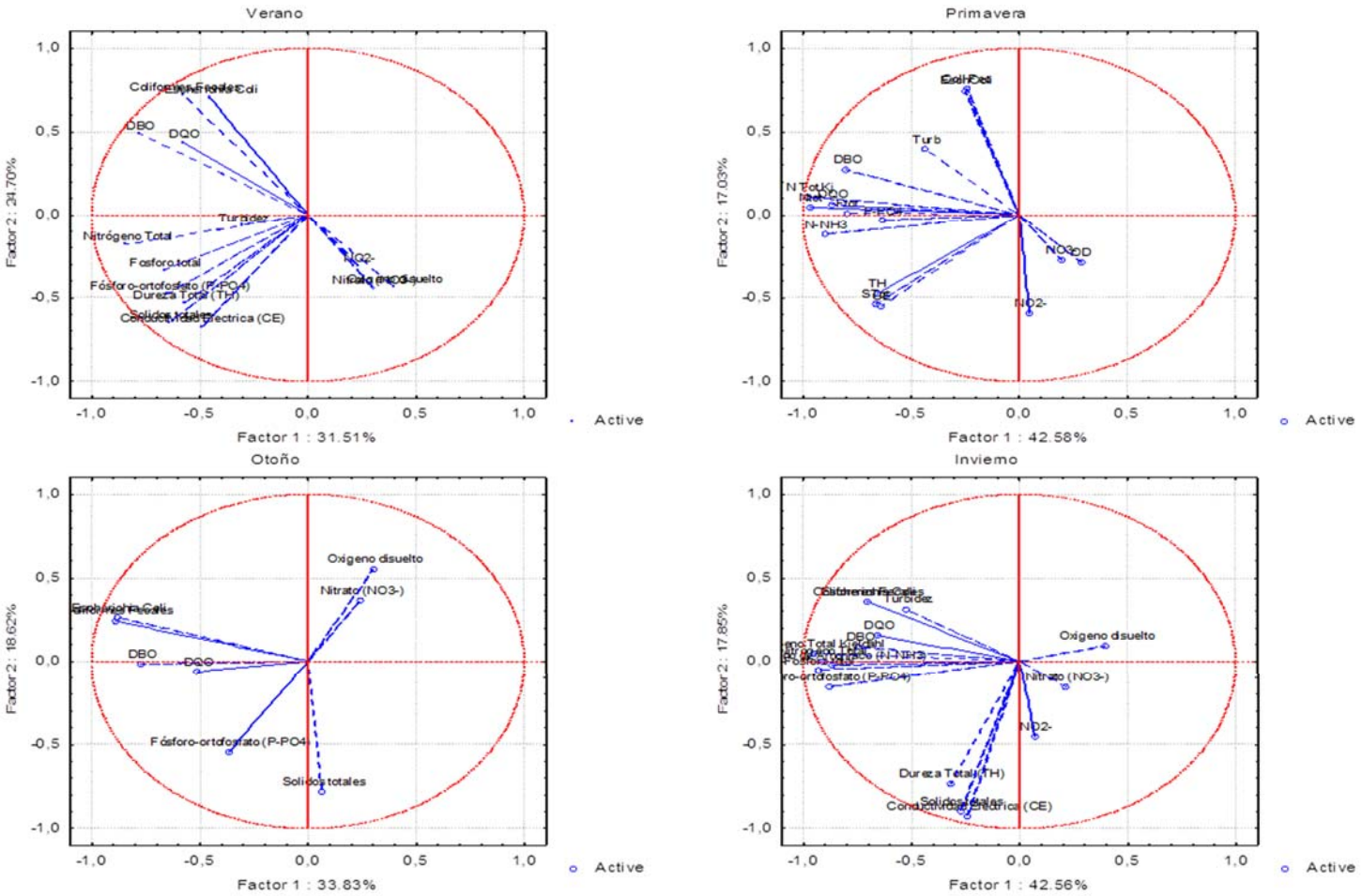


Figura A. 1: Separación de los parámetros por estación del año entre factor 1 y 2

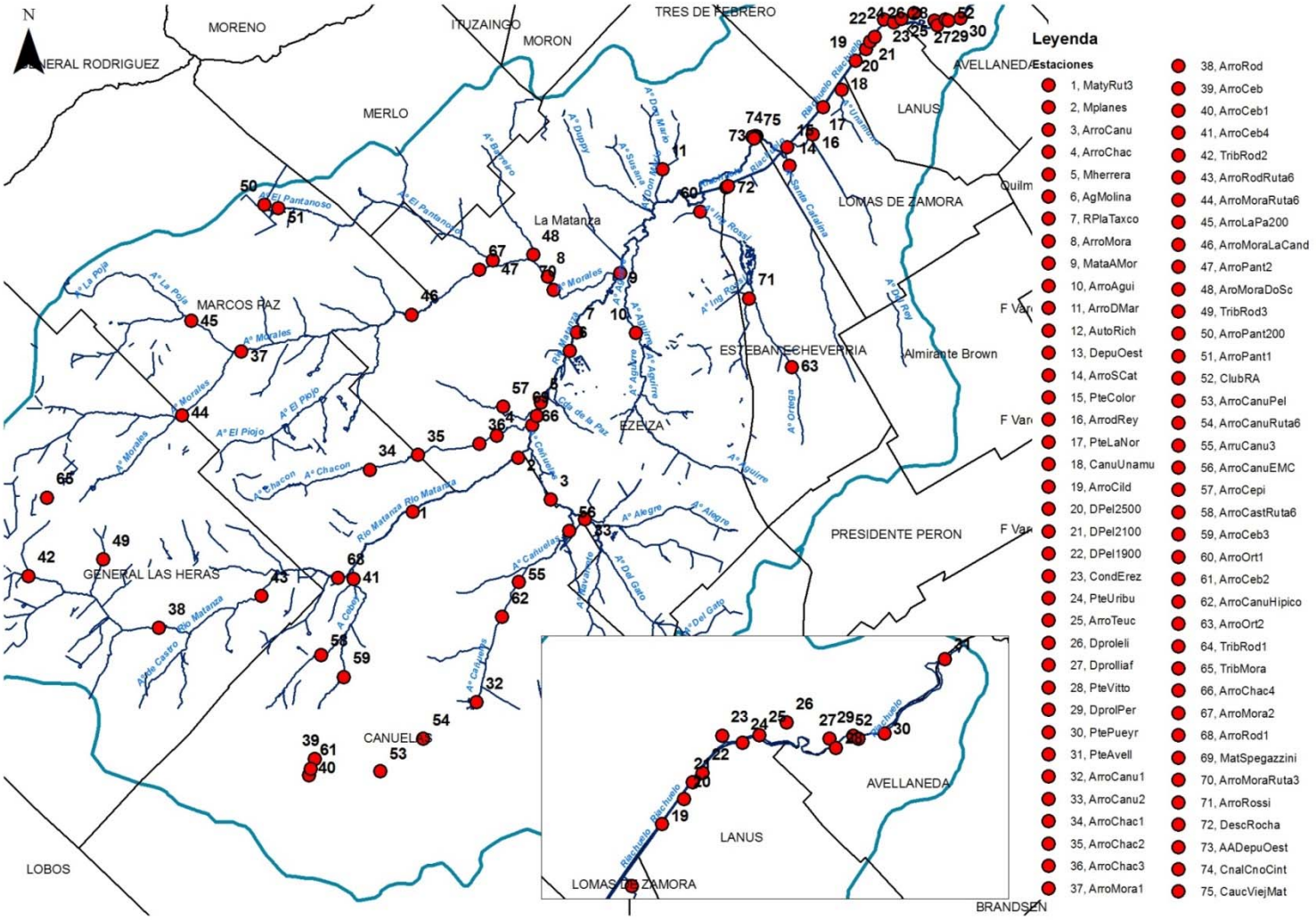


Figura A. 2: Estaciones de muestreo en la CHMR

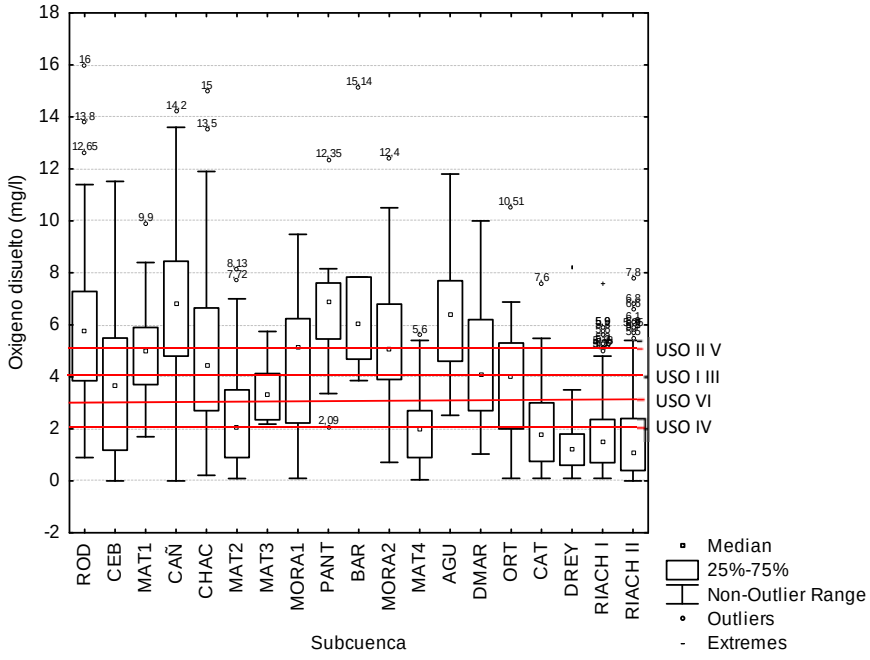


Figura A. 3: Valores de OD por sub-cuencas/áreas de la CHMR

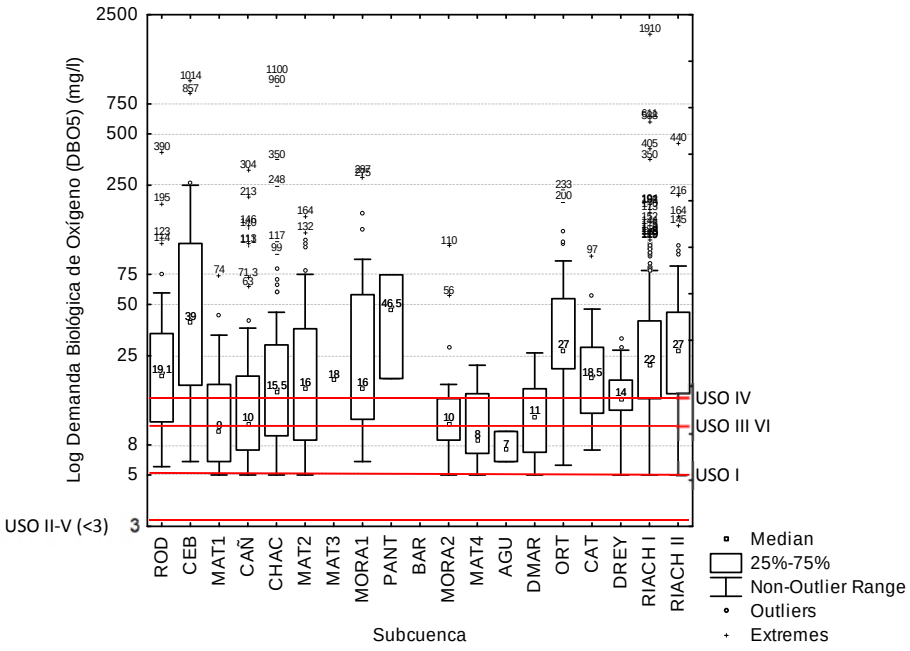


Figura A. 4: Valores de DBO_5 por sub-cuencas/áreas de la CHMR

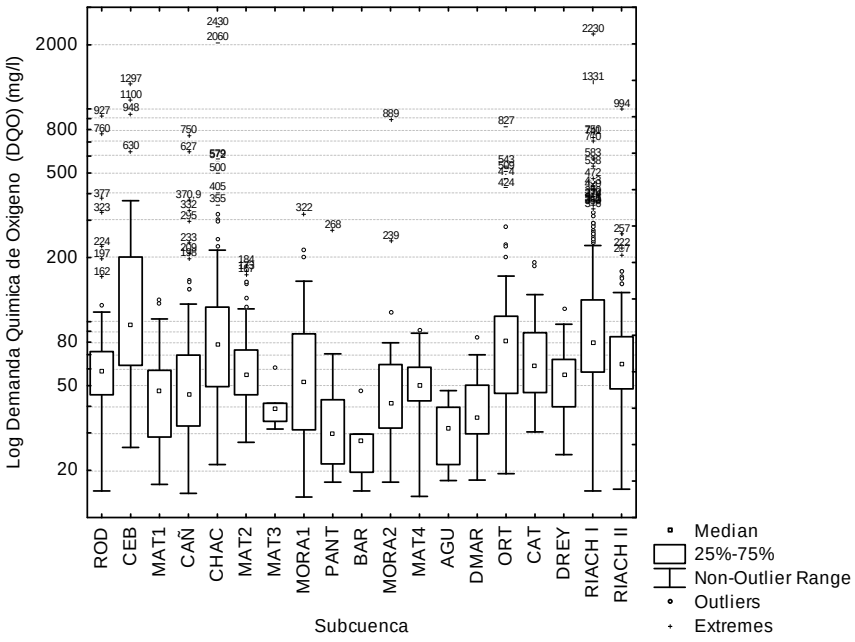
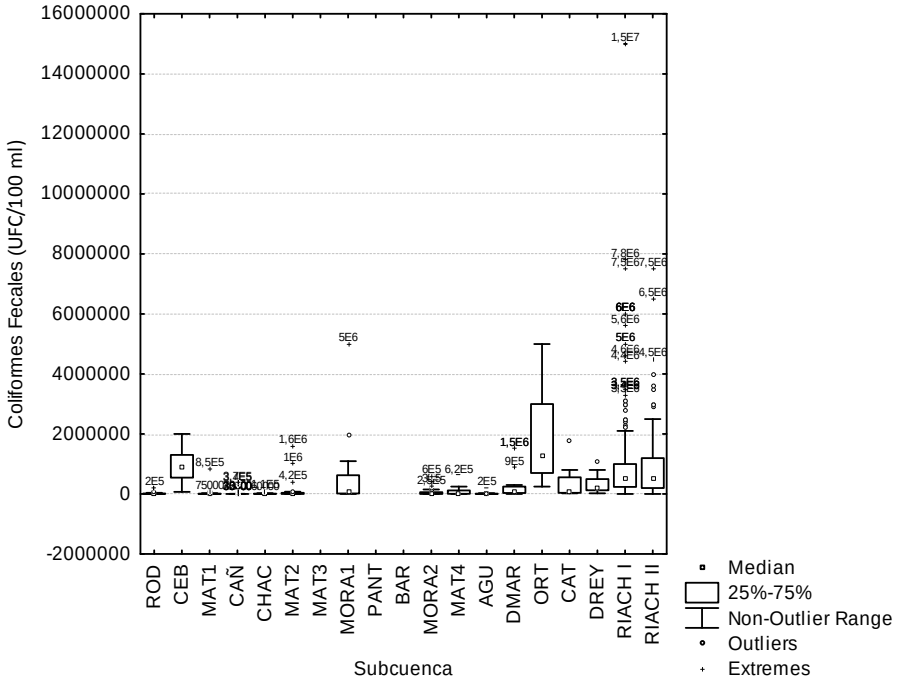


Figura A. 5: Valores de DQO por sub-cuencas/áreas de la CHMR



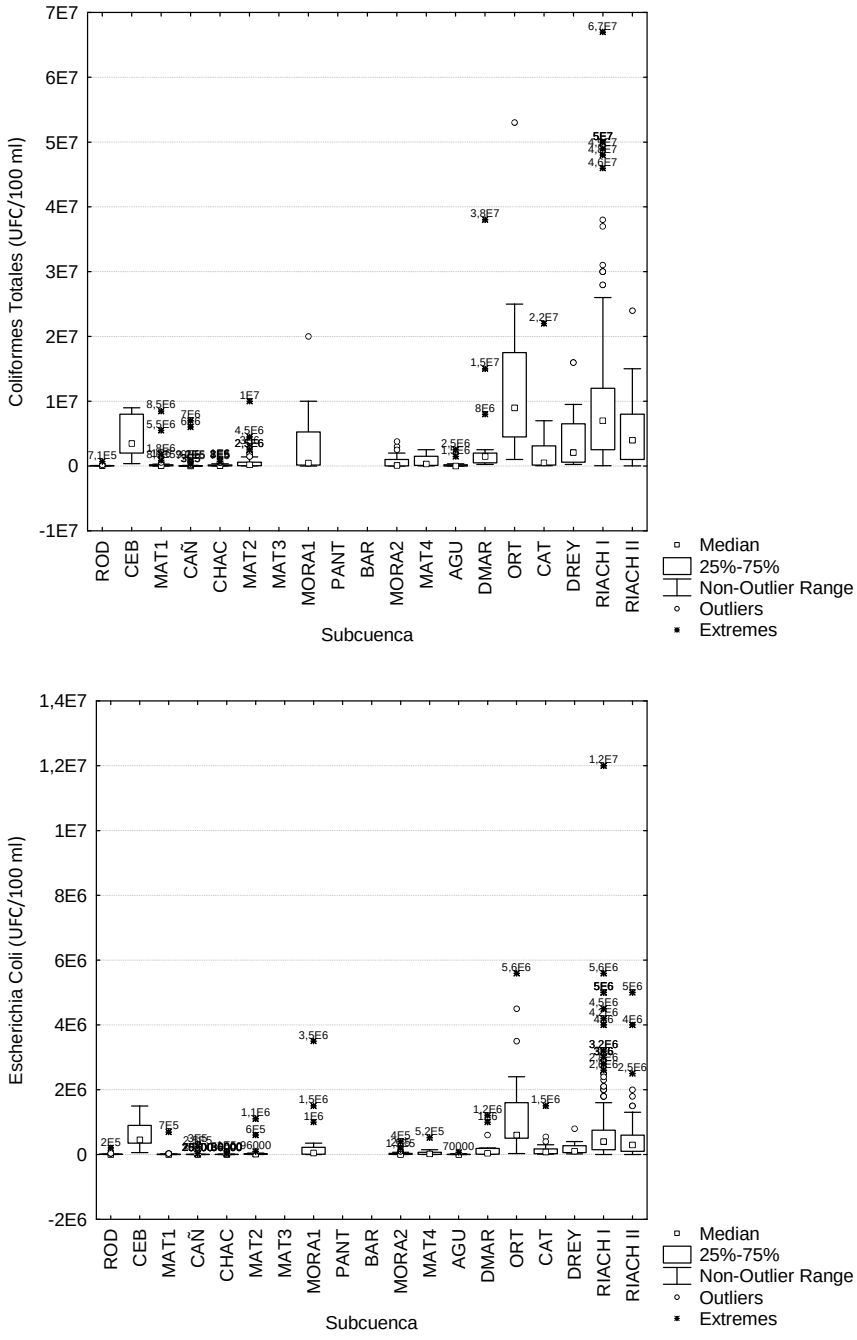


Figura A. 6: Valores de Coliformes fecales, totales y *E. coli* por sub-cuencas/áreas de la CHMR

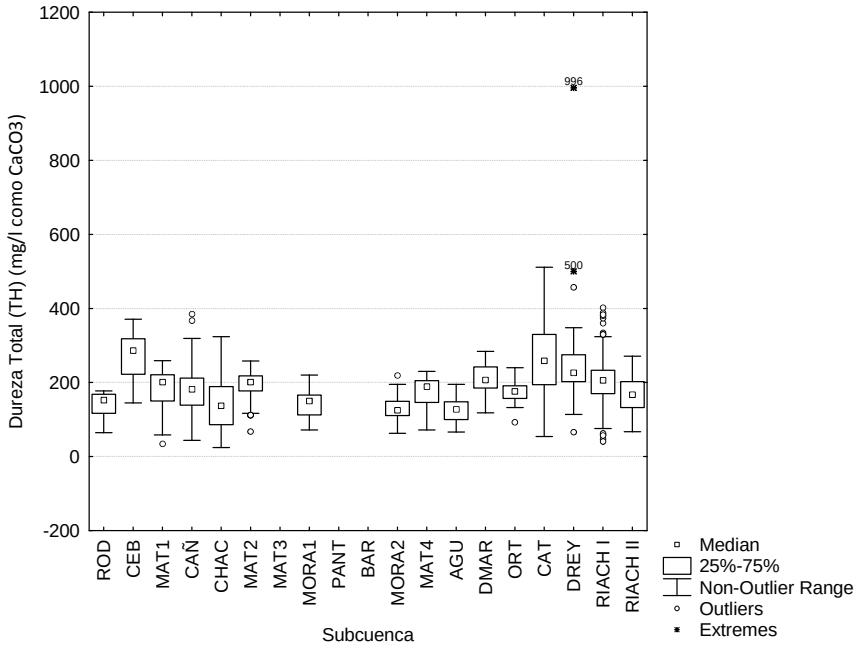
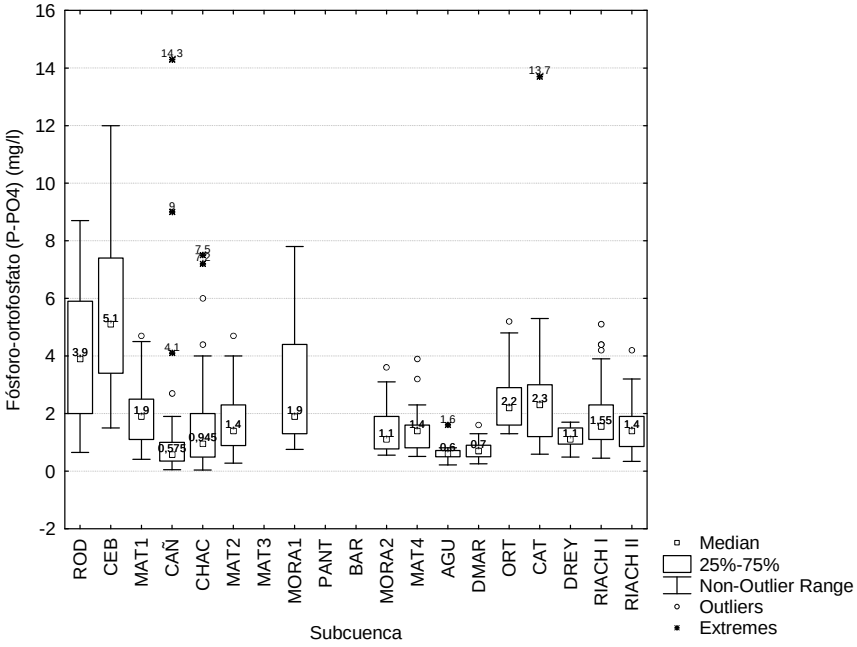


Figura A. 7: Dureza Total por sub-cuencas/áreas de la CHMR



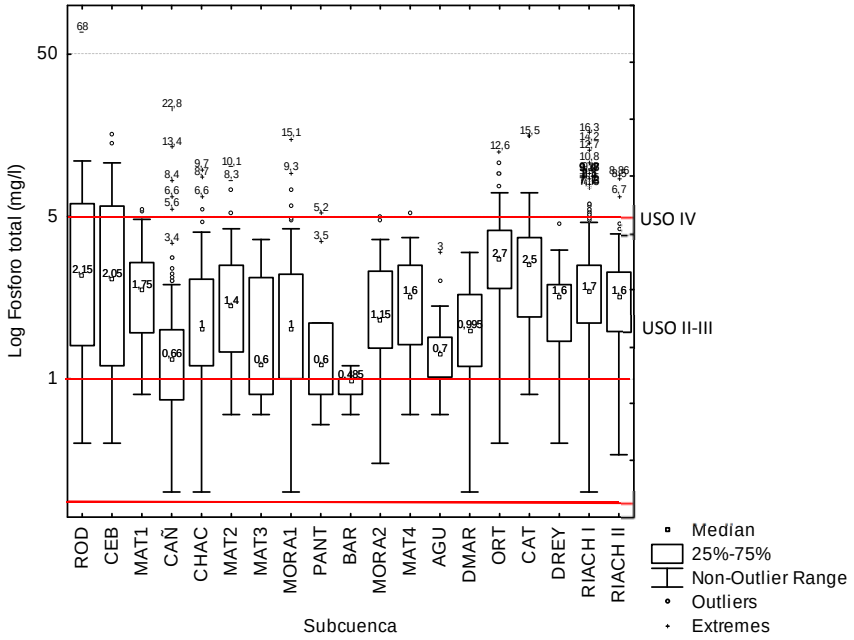


Figura A. 8: Valores de Fosfato y Fósforo total por sub-cuencas/áreas de la CHMR

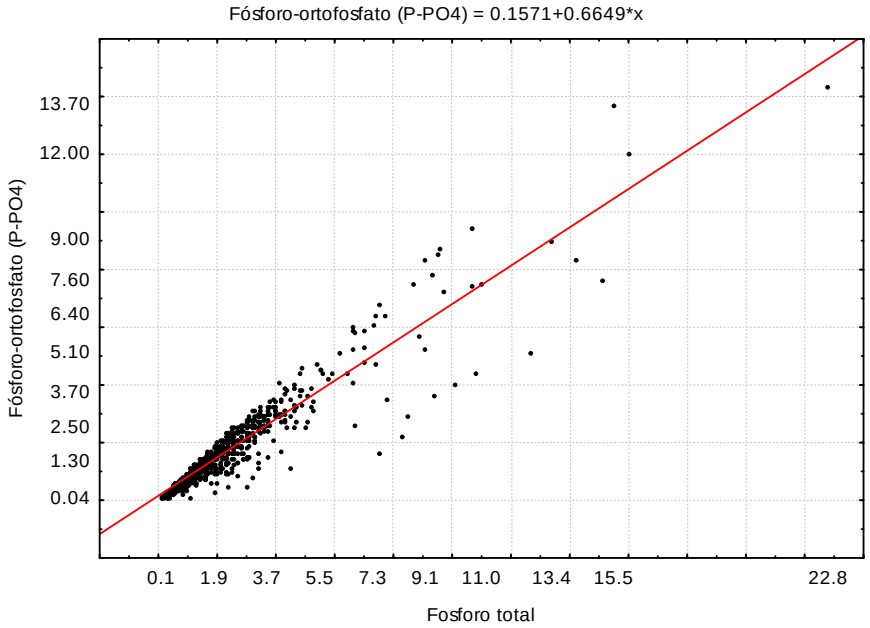
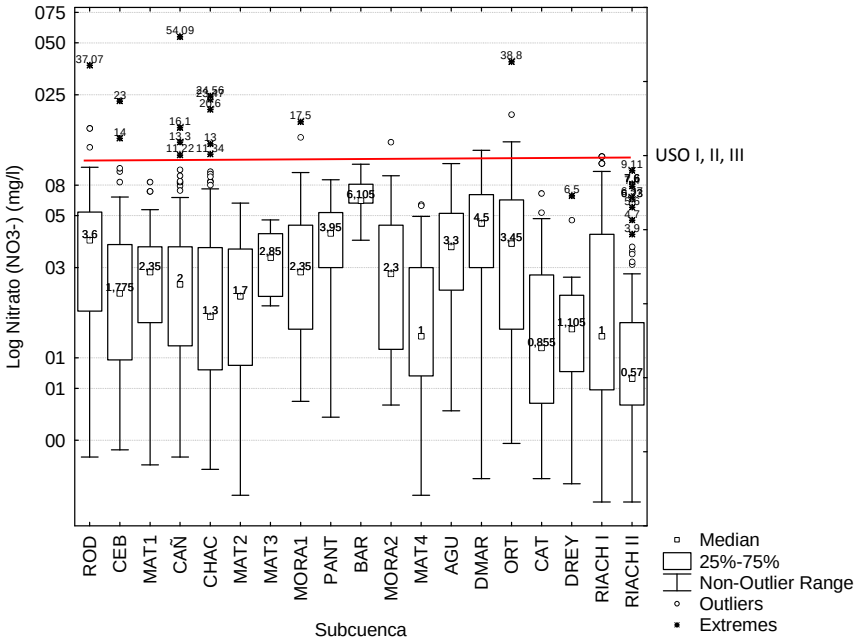
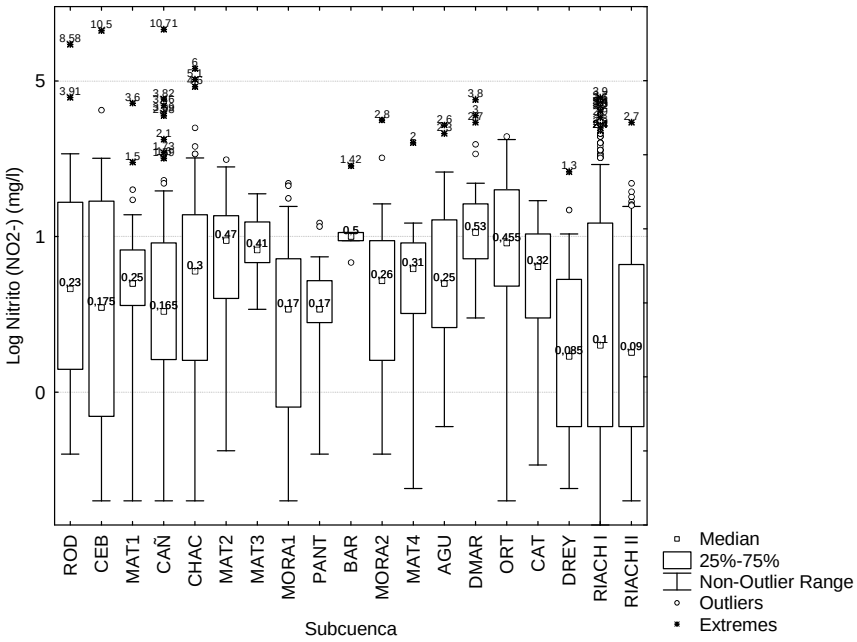
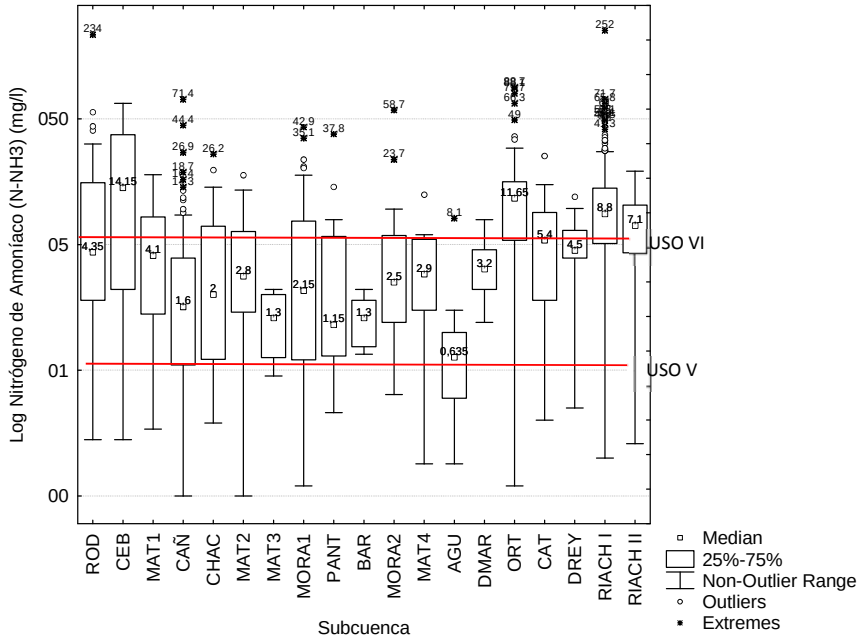
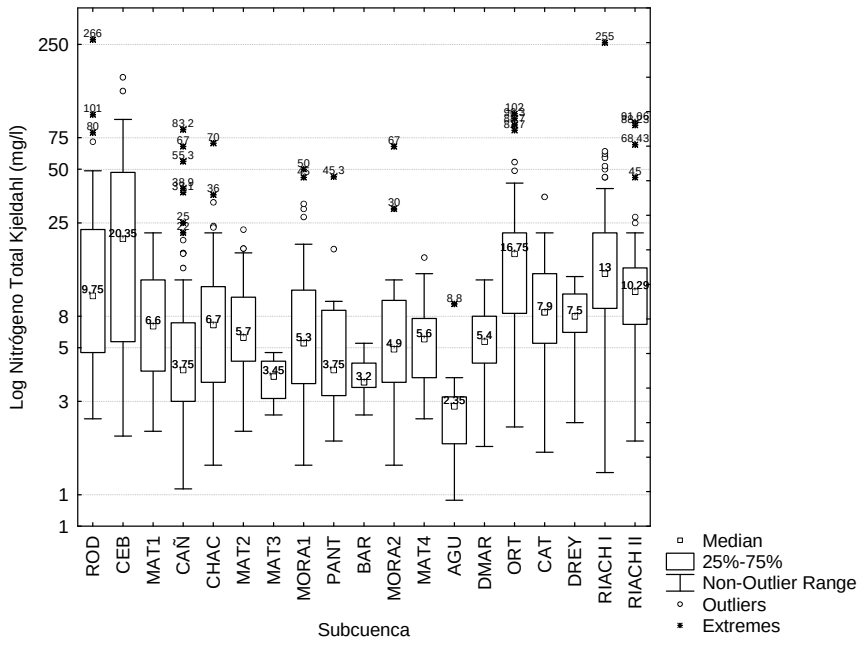


Figura A. 9: Relación entre el Fósforo total y el Fósforo ortofosfato


Log Nitrato (NO3-) (mg/l)
USO I, II, III
ROD
CEB
MAT1
CAÑ
CHAC
MAT2
MAT3
MORA1
PANT
BAR
MORA2
MAT4
AGU
DMAR
ORT
CAT
DREY
RIACH I
RIACH II
Subcuenca
Median
25%-75%
Non-Outlier Range
Outliers
Extremes


Log Nitrito (NO2-) (mg/l)
ROD
CEB
MAT1
CAÑ
CHAC
MAT2
MAT3
MORA1
PANT
BAR
MORA2
MAT4
AGU
DMAR
ORT
CAT
DREY
RIACH I
RIACH II
Subcuenca
Median
25%-75%
Non-Outlier Range
Outliers
Extremes


Log Nitrógeno de Amoníaco (N-NH3) (mg/l)
050
05
01
00
USO VI
USO V
ROD
CEB
MAT1
CAÑ
CHAC
MAT2
MAT3
MORA1
PANT
BAR
MORA2
MAT4
AGU
DMAR
ORT
CAT
DREY
RIACH I
RIACH II
Subcuenca
Median
25%-75%
Non-Outlier Range
Outliers
Extremes


Log Nitrógeno Total Kjeldahl (mg/l)
250
75
50
25
8
5
3
1
1
ROD
CEB
MAT1
CAÑ
CHAC
MAT2
MAT3
MORA1
PANT
BAR
MORA2
MAT4
AGU
DMAR
ORT
CAT
DREY
RIACH I
RIACH II
Subcuenca
Median
25%-75%
Non-Outlier Range
Outliers
Extremes

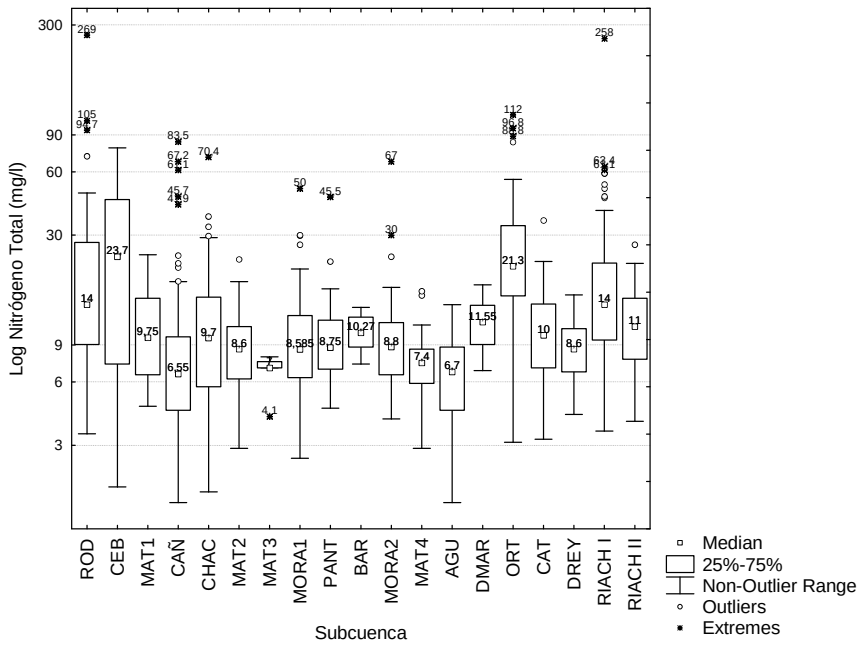


Figura A. 10: Valores de Compuestos de Nitrógeno por sub-cuencas/áreas de la CHMR (Nitrato, Nitrito, N de Amoníaco, N de Kjeldahl, N Total)

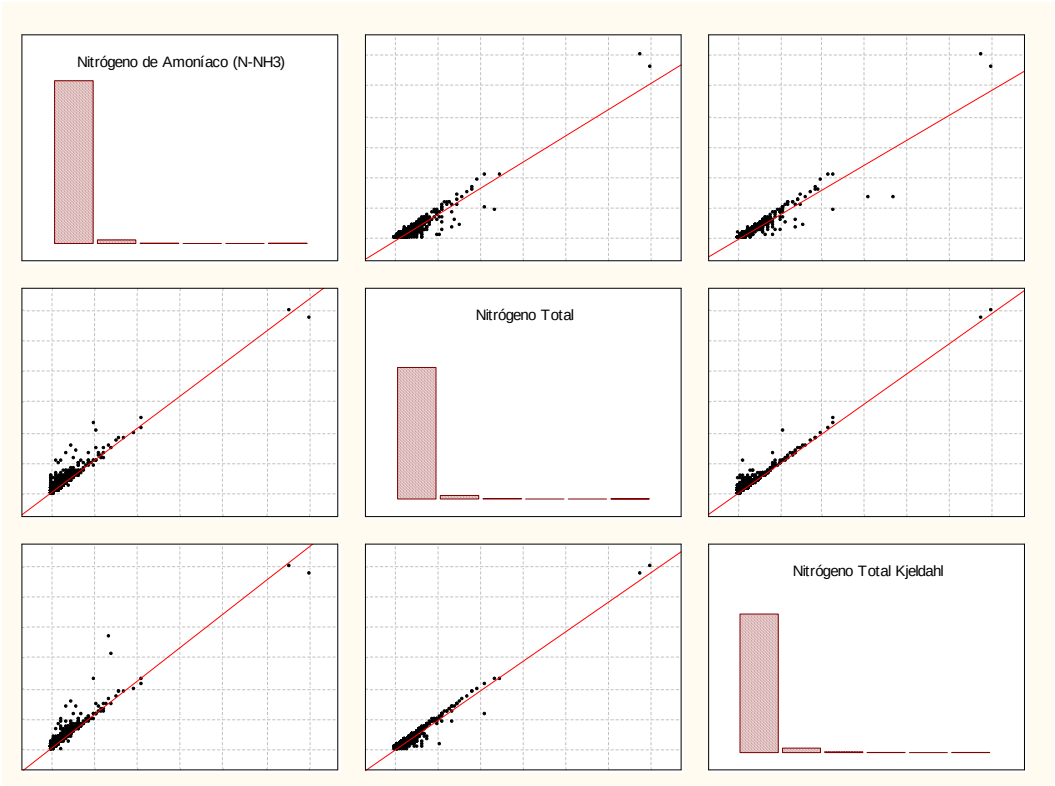


Figura A. 11: Relación entre N de Amoníaco, N de Kjeldahl y N Total

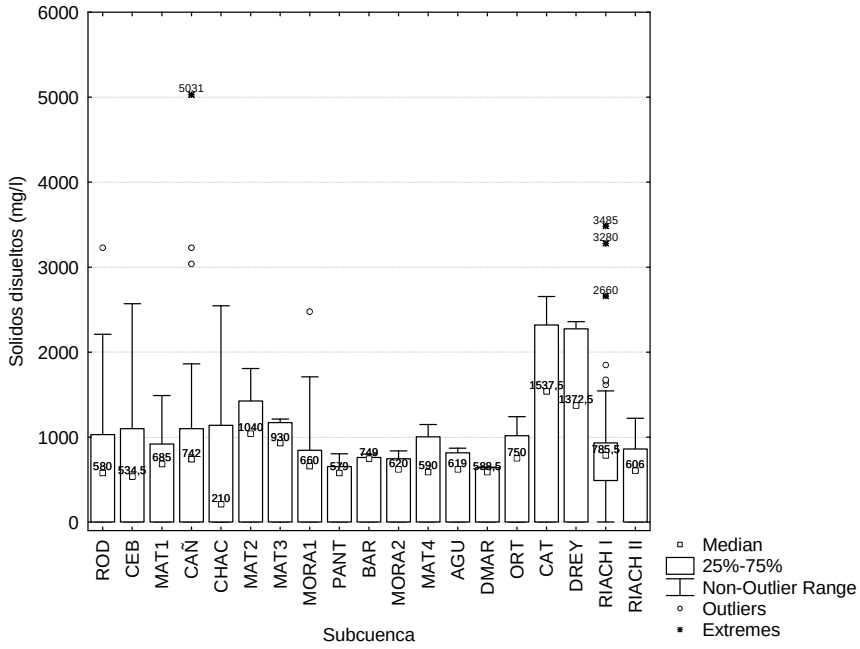


Figura A. 12: Valores de Sólidos Disueltos por sub-cuencas/áreas de la CHMR

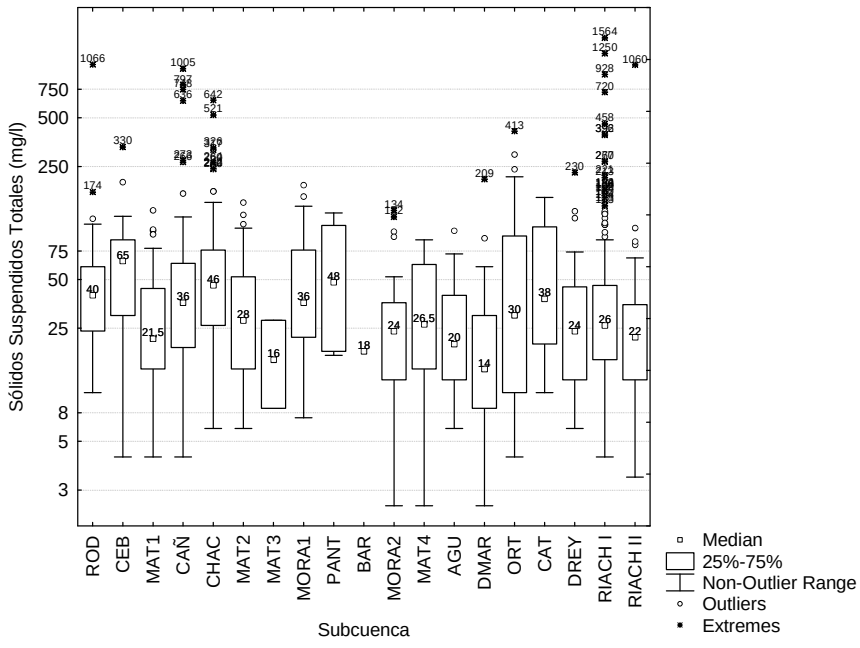


Figura A. 13: Valores de Sólidos Suspendidos Totales por sub-cuencas/áreas de la CHMR

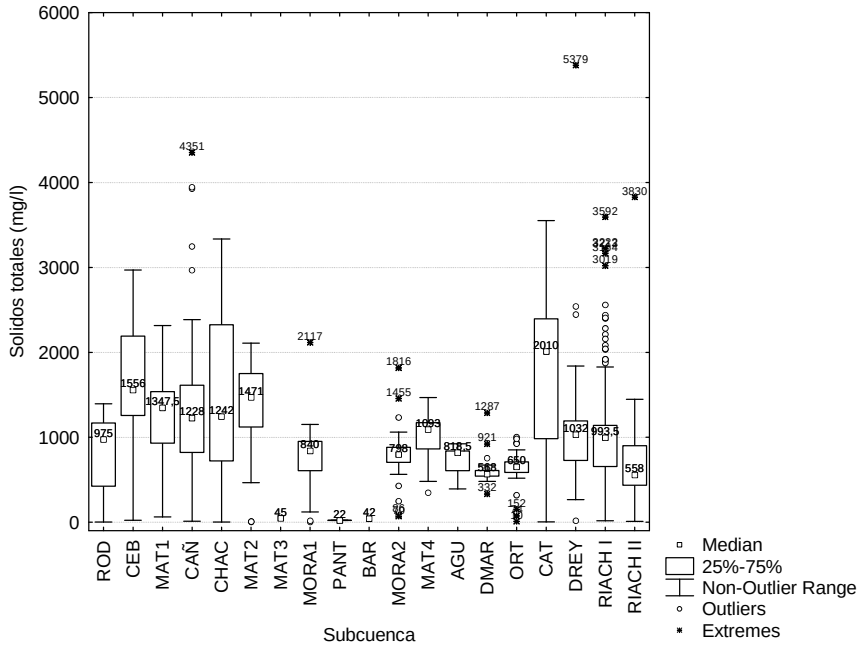


Figura A. 14: Valores de Sólidos Totales por sub-cuencas/áreas de la CHMR

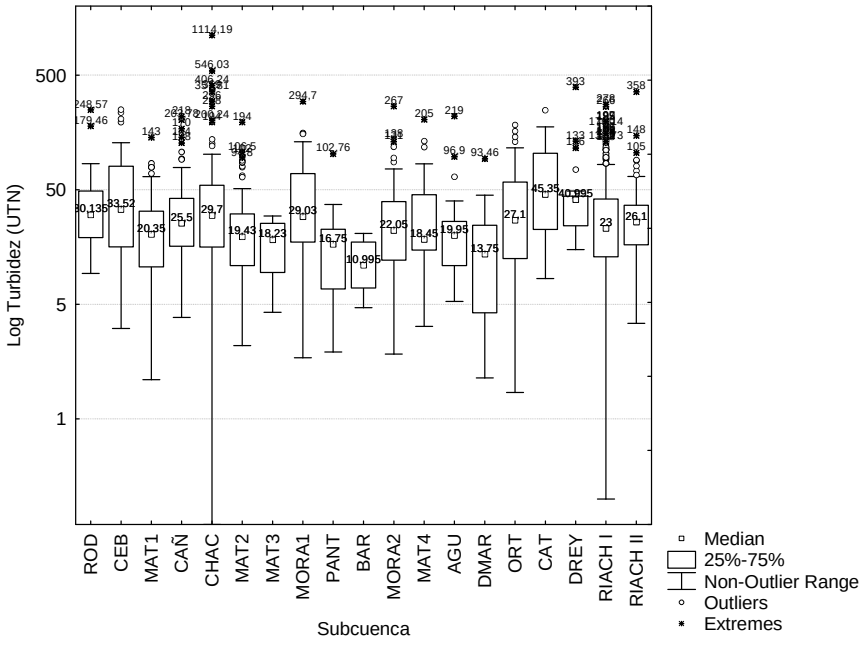


Figura A. 15: Valores de Turbidez por sub-cuencas/áreas de la CHMR

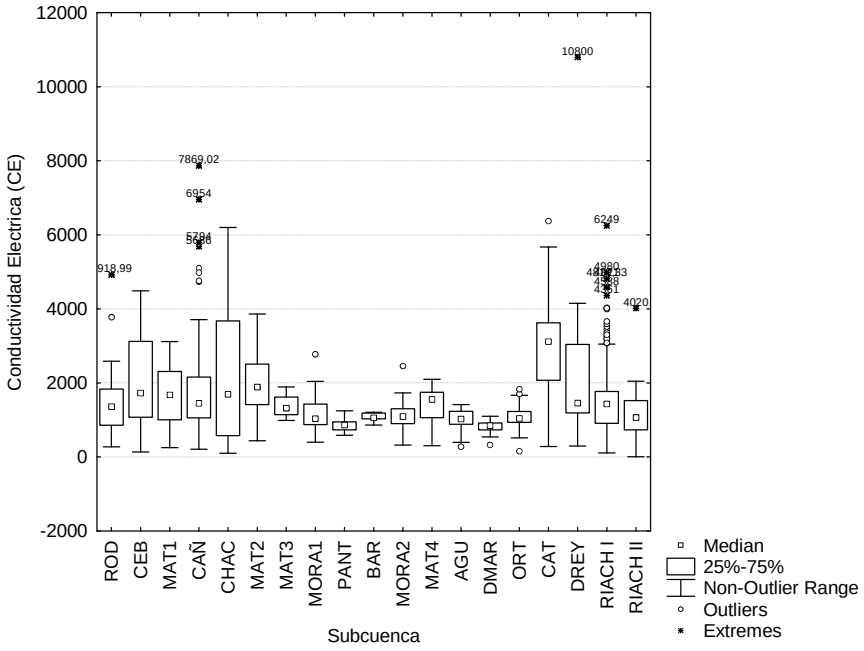


Figura A. 16: Valores de Conductividad eléctrica por sub-cuencas/áreas de la CHMR

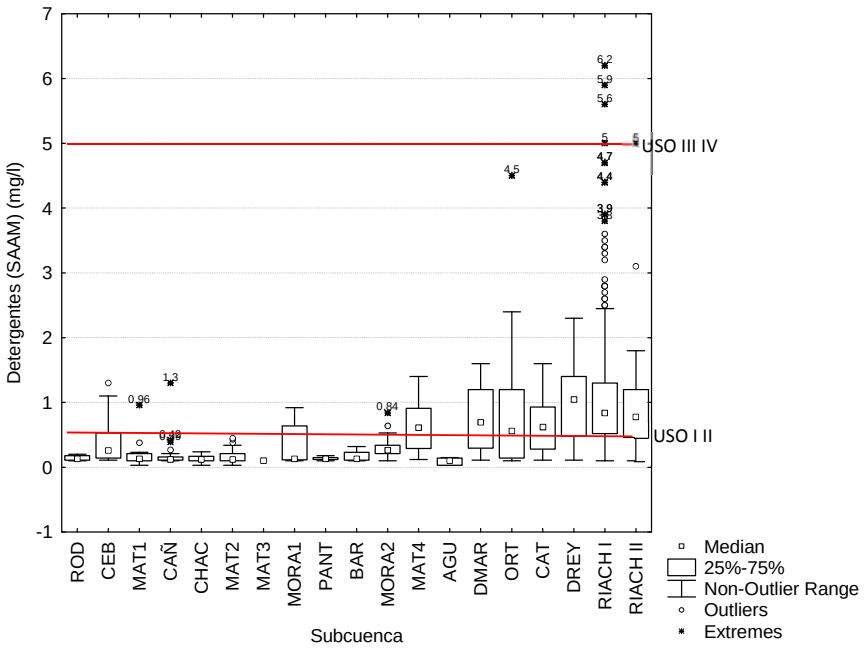


Figura A. 17: Detergentes por sub-cuencas/áreas de la CHMR

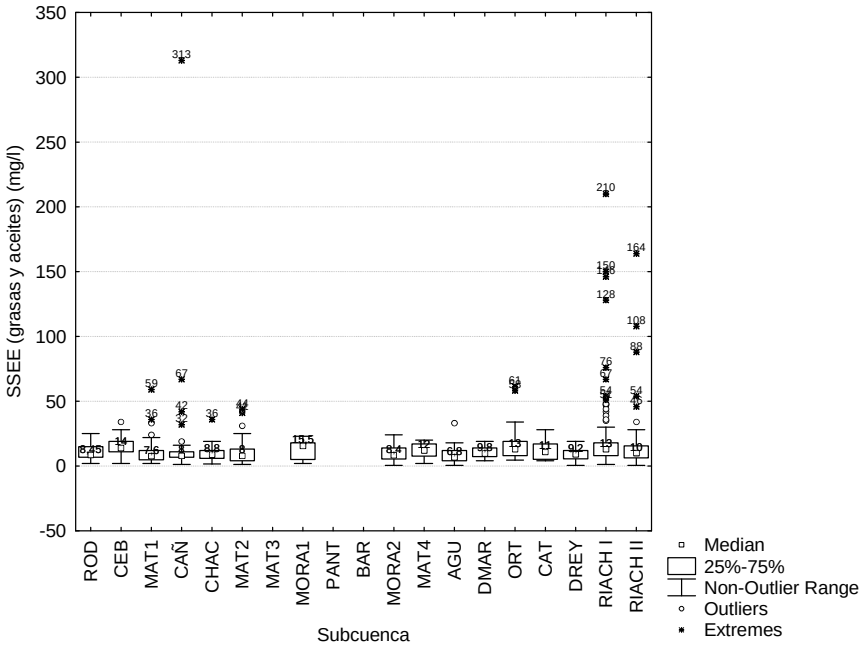
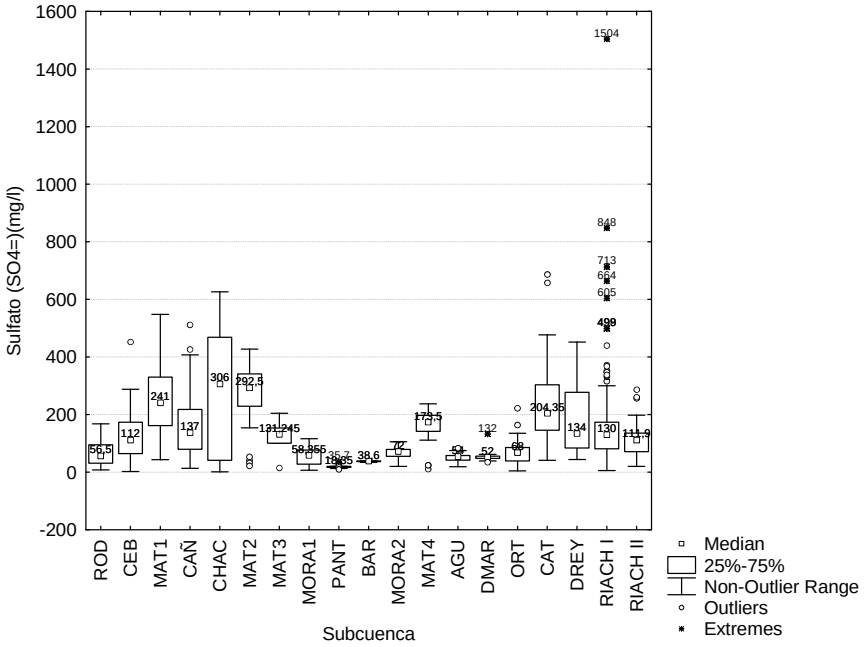


Figura A. 18: Valores de sustancias solubles en éter etílico por sub-cuencas/áreas de la CHMR



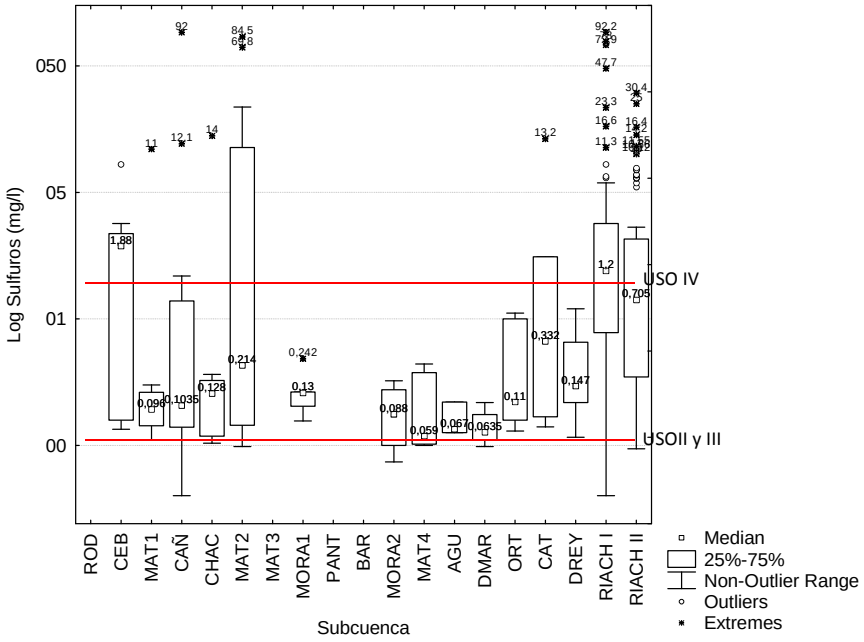


Figura A. 19: Valores de Sulfatos y Sulfuros por sub-cuencas/áreas de la CHMR

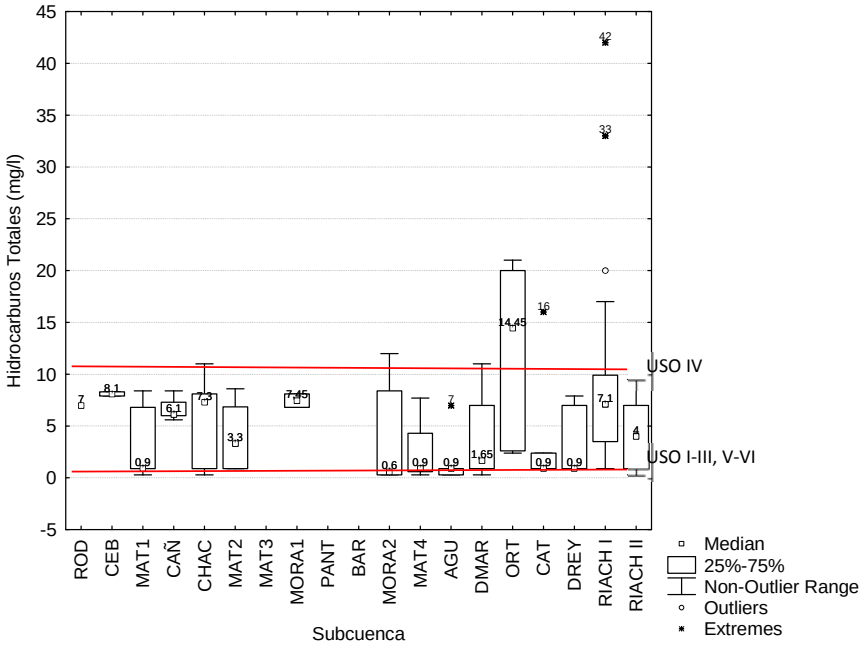


Figura A. 20: Valores de Hidrocarburos totales por sub-cuencas/áreas de la CHMR

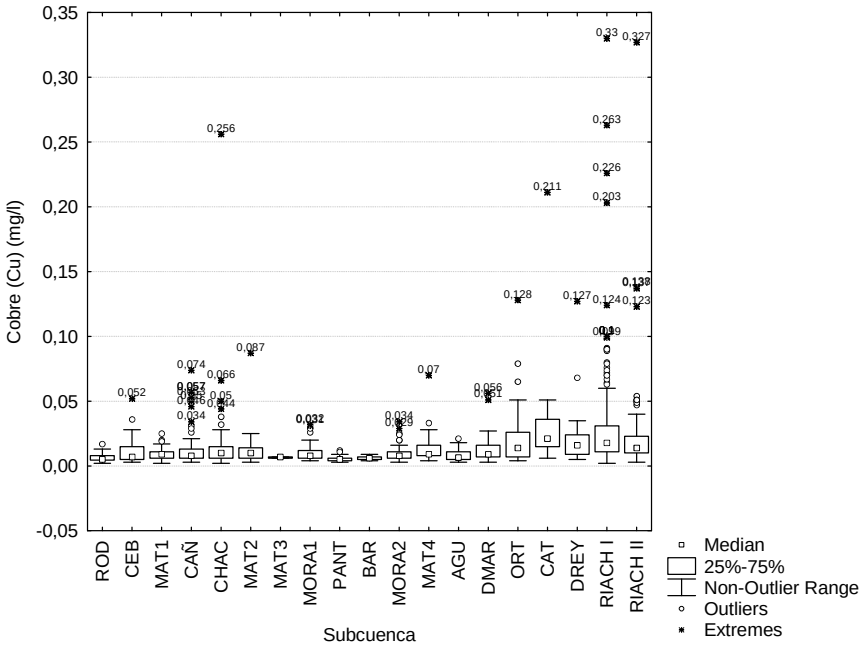


Figura A. 21: Valores de Cobre por sub-cuencas/áreas de la CHMR

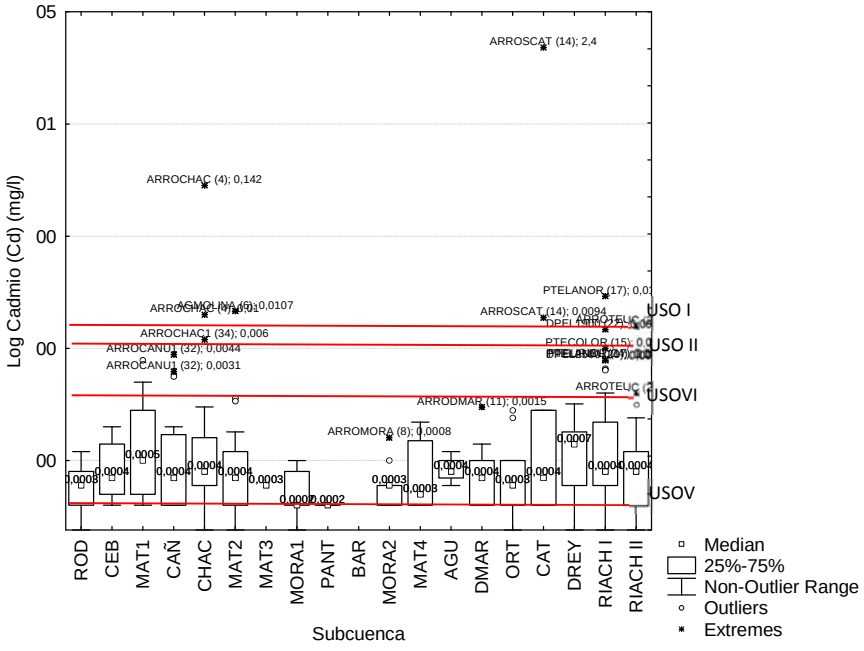


Figura A. 22: Valores de Cadmio por subcuenca/área de la CHMR

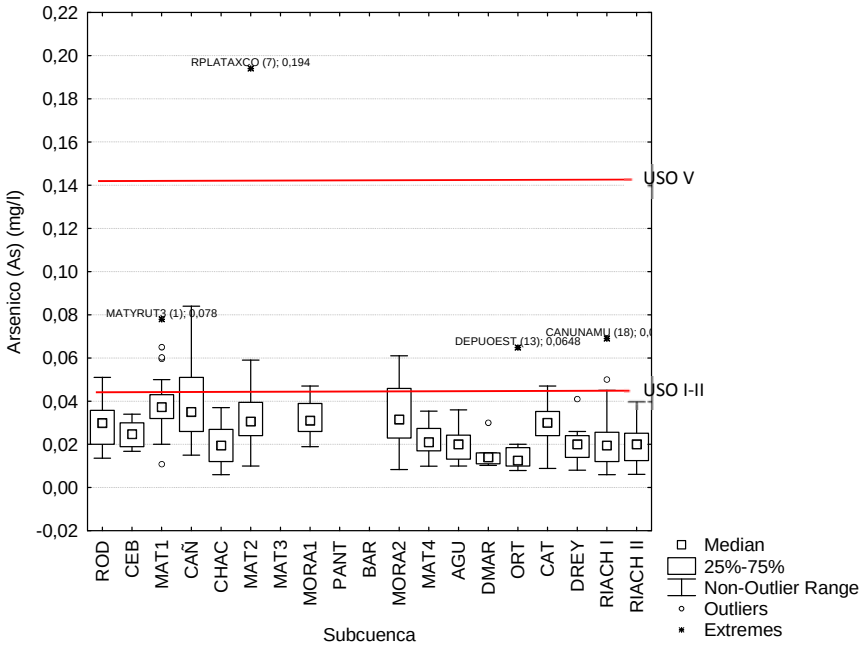


Figura A. 23: Valores de Arsénico por sub-cuencas/áreas de la CHMR

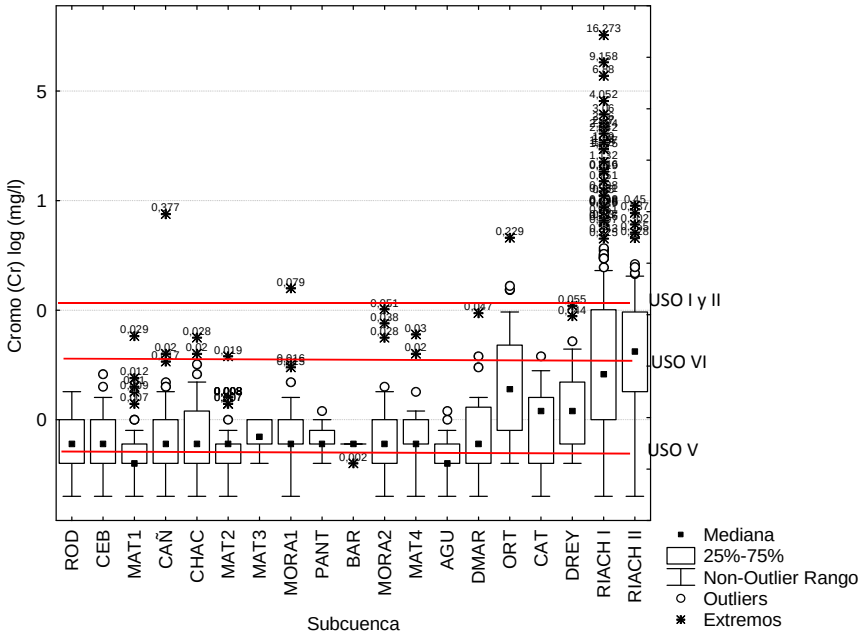


Figura A. 24: Valores de Cromo por sub-cuencas/áreas de la CHMR

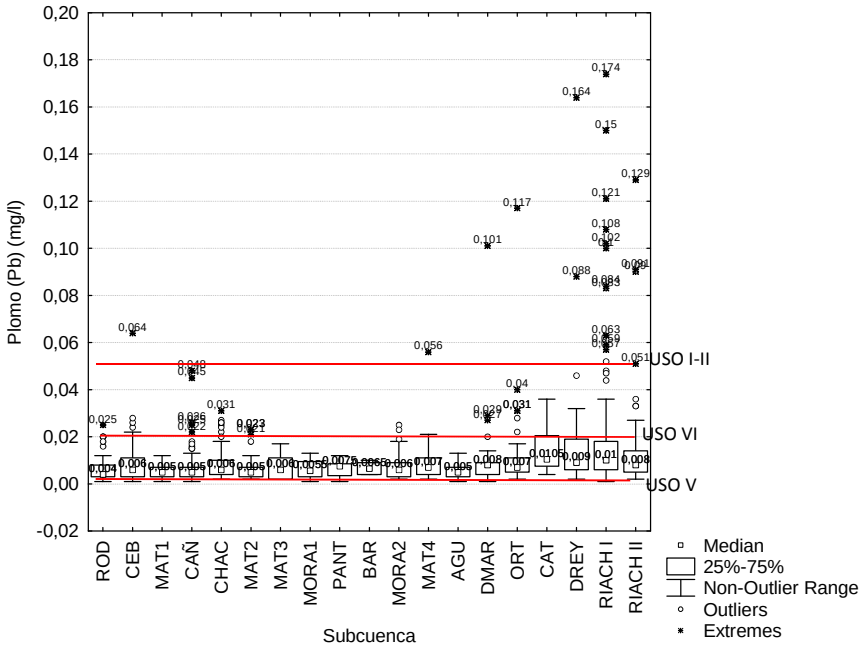


Figura A. 25: Valores de Plomo por sub-cuencas/áreas de la CHMR

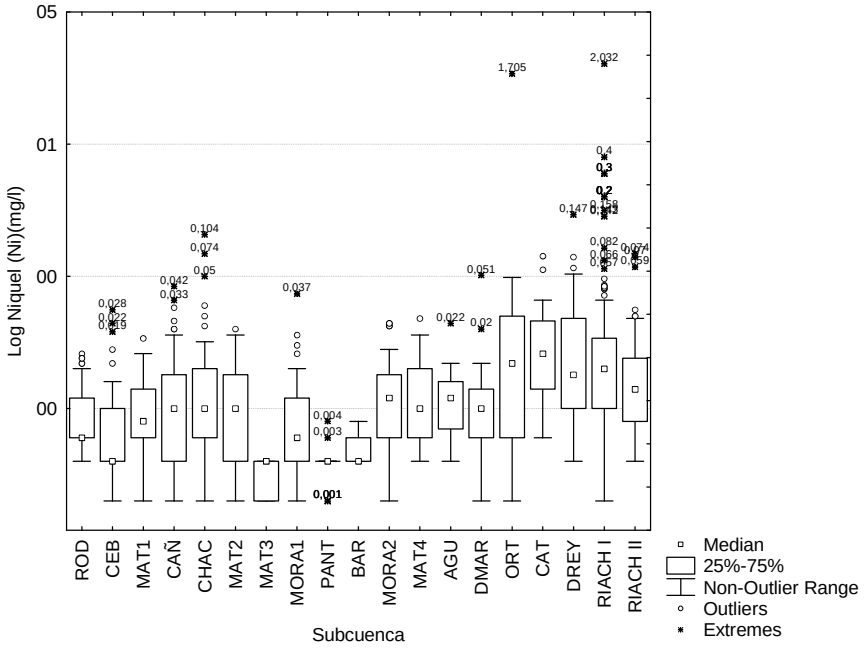


Figura A. 26: Valores de Níquel por sub-cuencas/áreas de la CHMR

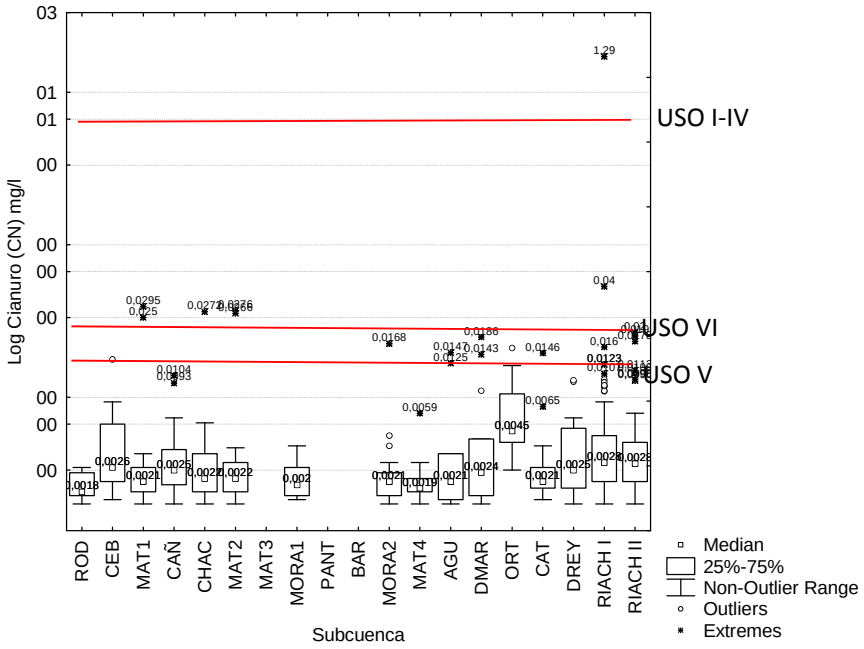


Figura A. 27: Valores de Cianuro por sub-cuencas/áreas de la CHMR

Tabla A. 8: Estadísticos generales por parámetro o variable (unidades indicadas en los gráficos)

Variable	Estadística descriptiva					
	N	Media	Mediana	Mínimo	Máximo	Desv. Est
(As)	512	0	0	0,00600	0	0
Cd)	303	0	0	0,00000	2	0
Cianuros (CN)	450	0	0	0,00150	1	0
Cobre (Cu)	1208	0	0	0,00200	0	0
Coliformes Fecales	850	603371	180000	60,00000	15000000	1153889
Coliformes Totales	848	4846002	1500000	3,20000	67000000	7745613
Conductividad Electrica (CE)	1484	1541	1332	8,17000	10800	996
Cromo (Cr)	1054	0	0	0,00100	16	1
Demanda Biológica de Oxígeno (DBO5)	1097	40	19	5,00000	1910	95
Demanda Quimica de Oxigeno (DQO)	1408	97	63	15,00000	2430	149
Detergentes (SAAM)	722	1	1	0,03000	6	1
Dureza Total (TH)	1044	187	190	24,20000	996	68
Escherichia coli	850	389135	100000	20,00000	12000000	825608
Fósforo total	1434	2	1	0,10000	68	3
Fósforo-ortofosfato (P-PO4)	838	2	1	0,04000	14	1
Hidrocarburos Totales	212	915	7	0,30000	46645	4522
Niquel (Ni)	1159	0	0	0,00100	2	0
Nitrato (NO3-)	991	3	2	0,11000	54	4
Nitrito (NO2-)	1094	0	0	0,00000	11	1
Nitrógeno de Amoníaco (N-NH3)	1437	9	6	0,05000	252	13
Nitrógeno Total	1160	14	10	1,60000	269	16
Nitrógeno Total Kjeldahl	1246	12	8	0,70000	266	17
Oxígeno disuelto	1412	3	3	0,00000	16	3
Plomo (Pb)	1132	0	0	0,00100	0	0
Solidos disueltos	666	707	730	0,11000	5031	584
Sólidos Suspendidos Totales	986	56	29	2,00000	1564	113
Solidos totales	1052	1016	938	1,00000	5379	634
SSEE (grasas y aceites)	651	14	10	0,50000	313	21
Sulfato (SO4=)	1286	146	116	1,20000	1504	126
Sulfuros	552	206	1	0,02000	16382	1066
Sustancias Fenólicas	339	0	0	0,00600	40	2
Temperatura (T)	1440	20	20	6,40000	34	5
Turbidez	1419	39	24	-0,59000	1114	54

Tabla A. 9: Ordenamiento de las variables según cantidad de muestras analizadas (N) analizadas en general para todas las estaciones y fechas

Variable	*N*
Hidrocarburos Totales*	**212**
Cadmio (Cd)*	**303**
Sustancias Fenólicas*	**339**
Cianuros (CN)*	**450**
Arsénico (As)*	**512**
Sulfuros*	**552**
SSEE (grasas y aceites)* (*Problema de medición)*	**651**
Solidos disueltos	**666**
Detergentes (SAAM)*	**722**
Fósforo-ortofosfato ($P\text{-}PO_4$)	**838**
Coliformes Totales (*Problemas método*)	**848**
Coliformes Fecales* (*Problemas método*)	**850**
***Escherichia coli* (*Problemas método*)**	**850**
Sólidos Suspendidos Totales*	**986**
Nitrato (NO_3-)*	**991**
Dureza Total (TH)	**1044**
Solidos totales	**1052**
Cromo (Cr)*	**1054**
Nitrito (NO_2-)	**1094**
Demanda Biológica de Oxígeno (DBO_5)*	**1097**
Plomo (Pb)*	**1132**
Níquel (Ni)	**1159**
Nitrógeno Total	**1160**
Cobre (Cu)	**1208**
Nitrógeno Total Kjeldahl	**1246**
Sulfato (SO_4=)	**1286**
Demanda Química de Oxigeno (DQO)	**1408**
Oxígeno disuelto*	**1412**
Turbidez	**1419**
Fosforo total *	**1434**
Nitrógeno de Amoníaco ($N\text{-}NH_3$)	**1437**
Temperatura (T)	**1440**
Conductividad Eléctrica (CE)	**1484**

*Presentan concentraciones de referencia

Tabla A. 10: Criterios de zonas de uso para la CHMR

Tabla 2.2.1. Criterios para la caracterización de zonas de uso para la Cuenca del Matanza-Riachuelo y la Franja Costera del Río de la Plata.

Uso		OD (mg/l)	DBO (mg/l)	Compuestos Nitrogenados (mg N/l)		E. Coli (NMP/100 ml)	Fósforo Total (µg/l)	Sustancias Fenólicas (µg/l)	Detergentes (mg/l)	Metales (µg/l)	
				$N\text{-}NH_4^+$	$N\text{-}NO_3^-$					Cr	Pb
I	Apta para consumo humano con tratamiento convencional	> 4(10)	< 5(11,12)	NR(1,4)	<10 (1,5,9,11,12)	< 2 x 10³ (3)	NR(2,4)	< 10(3)	< 0,5(2,11,12)	<50(2,4,5,9,10,11,12)	< 50(2)
II	Apta para actividades recreativas con contacto directo	> 5(2,11,12)	< 3(11)	NR(1)	< 10(11,12)	< 2 x 10² (11)	1000(7)	< 50(10)	< 0,5(11)	< 50(2,11,12)	< 50 (7)
III	Apta para actividades recreativas sin contacto directo	> 4(11)	< 10(11)	NR(1)	< 10(11)	< 2 x 10⁴ (7)	1000(7)	< 100(7)	< 5(7)	NR(7) (**)	NR(7) (**)
IV	Apta para actividades recreativas pasivas	> 2(11)	< 15(12)	NR(1)	NR(7)	NR(7)	5000(7)	< 1000(11)	< 5(7)	NR(7) (**)	NR(7) (**)
V	Apta para preservación de vida acuática con exposición prolongada	> 5(2,12)	< 3(2)	< 0,6(6)	NR(1)	NR(2)	10(8)	< 4(4)	NR(2)	< 2(2,6) (*)	< 2(4,6)
VI	Apta para preservación de vida acuática sin exposición prolongada	> 3(7)	< 10(12)	< 6(6)	NR(1)	NR(2)	100(8)	< 50(4)	NR(2)	< 20(6) (*)	< 20(6)

	Cumplimiento 100% del tiempo
	Cumplimiento 90% del tiempo
	Cumplimiento 80% del tiempo
	Sin restricción (NR)

(1)	SSRH	(5)	USEPA	(9)	OMS
(2)	CIC	(6)	California	(10)	EC
(3)	AySA	(7)	SAyDS	(11)	CONAMA-Brasil
(4)	Canadá	(8)	Australia	(12)	Uruguay

Notas: NMP: Número Más Probable; mg: miligramo; µg: microgramo; Cr: cromo; Pb: plomo; Sustancias Fenólicas: no incluye fenoles halogenados; para el caso de E Coli, y de acuerdo al método utilizado (NMP) se define un orden de magnitud y no un valor absoluto; (*)Corresponde a Cr^{6+}; (**) La emisión de estas sustancias debe ser limitada tanto como sea técnicamente posible y económicamente viable en la fuente, es decir, contemplando los lineamientos de las mejores Técnicas Disponibles (MTD) para cada rubro Industrial

Tabla A. 11: Criterios de zonas de uso para parámetros complementarios

Tabla 2.2.1. (Cont.) Criterios de zonas de uso para la Cuenca del Matanza-Riachuelo y la Franja Costera del Río de la Plata.

Uso		pH (UpH)	T (°C)	SSEE (mg/l)	SST (mg/l)	Sulfuro(*) (µg/l)	Cianuro (µg/l)	Hidrocarb. totales (µg/l)	Cadmio (µg/l)	Mercurio (µg/l)	Arsénico (µg/l)	Cromo VI (µg/l)
I	Apta para consumo humano con tratamiento convencional	6 – 9(11)	NR(7)	NR(7)	NR(7)	NR(7)	<100(14)	<50(14)	<7,5(3)	<1(4,9,10)	<50(3)	<50(3)
II	Apta para actividades recreativas con contacto directo	6 – 9(11)	15 - 35(3)	Ausente(10,11,12)	NR(7)	<50(3)	<100(7)	<50(14)	<5(2,8,12)	<1(3)	<50(3)	<50(2,11,12)
III	Apta para actividades recreativas sin contacto directo	6 – 9(11)	15 - 35(3)	Ausente(10,11)	NR(7)	<50(3)	<100(7)	<200(14)	NR(7) (****)	NR(7) (****)	NR(7)	NR(7) (****)
IV	Apta para actividades recreativas pasivas	6 – 9(11,12)	<35(7)	Iridiscencia(11)	NR(7)	<1000(7)	<100(7)	<10000(7)	NR(7) (****)	NR(7) (****)	NR(7)	NR(7) (****)
V	Apta para preservación de vida acuática con exposición prolongada	6 – 9(11)	T_b+3(17) (**)	Ausente(11,12)	SST_b+10(17) (***)	<2(11,12)	<11,2(3)	<50(14)	<0,25(3)	<0,77(3)	<150(3)	<2(2)
VI	Apta para preservación de vida acuática sin exposición prolongada	4 – 10,5(13)	T_b+3(17) (**)	Ausente(11,12)	SST_b+10(17) (***)	<300(3)	<22(3)	<100(7)	<2(3,14)	<1,4(3)	<340(3)	<20(3)

Notas: µg: microgramo;
(*) expresado como H_2S sin disociar; (**) T_b = temperatura de fondo ó "background"; (***) SST_b = SST de fondo ó "background", (****)La emisión de estas sustancias debe ser limitada tanto como sea técnicamente posible y económicamente viable en la fuente, es decir, contemplando los lineamientos de las mejores Técnicas Disponibles (MTD) para cada rubro Industrial

	Cumplimiento 100% del tiempo
	Cumplimiento 90% del tiempo
	Cumplimiento 80% del tiempo
	Sin restricción (NR)

(1)	SSRH	(7)	SAyDS	(13)	Uruguay
(2)	CIC	(8)	Australia & Nueva Zelanda	(14)	Código Alimentario
(3)	AySA	(9)	OMS	(15)	British Columbia (Canadá)
(4)	Canadá	(10)	EC	(16)	CONAMA-Chile
(5)	USEPA	(11)	CONAMA-Brasil	(17)	Alberta (Canadá)
(6)	California	(12)	Perú		

Tabla A. 12: Resolución 003/2009 – Anexo I – Uso IV Agua Apta para actividades recreativas pasivas, sin contacto con el agua, para la CHMR

USO		OD (mg/l)	DBO (mg/l)	Compuestos Nitrogenados (mg N/l)		E.Coli (NMP/100 ml)	Fósforo Total (µg/l)	Sustancias Fenólicas (µg/l)	Detergentes (mg/l)	Metales (µg/l)		pH (UpH)	T (°C)	Aceites y Grasas	SST (mg/l)	Sulfuro (**) (µg/l)	Cianuro (µg/l)	Hidrocarb. Totales (µg/l)	Cadmio (µg/l)	Mercurio (µg/l)	Arsénico (µg/l)	Cromo VI (µg/l)
				$N\text{-}NH_4^+$	$N\text{-}NO_3^-$					Cr	Pb											
IV	Apto para actividades recreativas pasivas	>2	<15	NR	NR	NR	<5000	<1000	<5	NR (*)	NR (*)	6-9	<35	Ridiscendia	NR	<1000	<100	<10000	NR (*)	NR (*)	NR (*)	NR (*)
Cumplimiento		90% del tiempo		Sin restricción			90% del tiempo			Sin restricción		90% del tiempo			Sin restricción	90% del tiempo			Sin restricción			

(*) La emisión de estas sustancias debe ser limitada tanto como sea técnicamente posible y económicamente viable en la fuente, es decir, contemplando los lineamientos de las mejores Técnicas Disponibles (MTD) para cada rubro industrial

(**) Expresado como H2S sin disociar.

2. Curvas y/o funciones de calidad antecedente

OWQI (Cude)

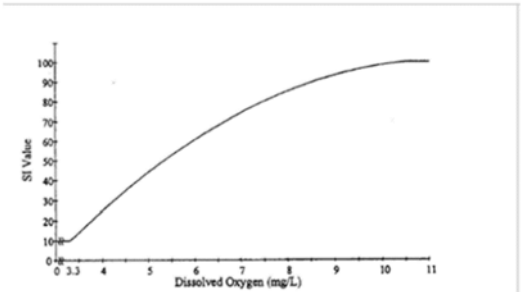


Figure 1. Dissolved Oxygen Concentration Subindex (SI_{DOc}).

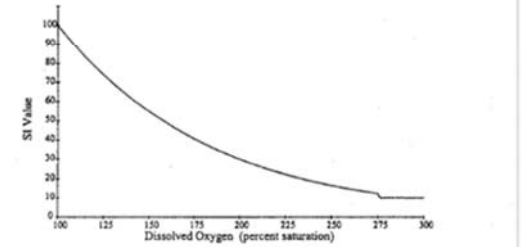
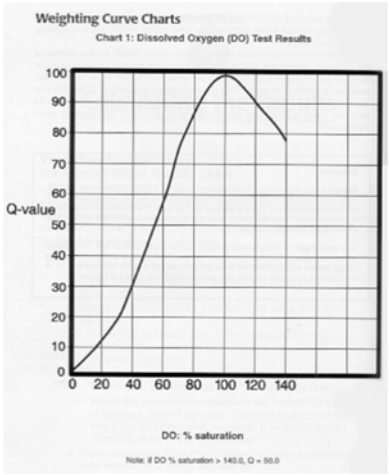


Figure 2. Dissolved Oxygen Supersaturation Subindex (SI_{DOs}).

$$DOSaturación(DO_s) \le 100\%$$
$$DOConcentración(DO_c) \le 3.3mg/L : SI_{DO} = 10$$
$$3.3mg/L < DO_c < 10.5mg/L : SI_{DO} = -80.28954 + 31.88249 * DO_c - 1.400999 * DO_c^2$$
$$10.5mg/L \le DO_c : SI = 100$$
$$100\% < DO_s \le 275\% : SI_{DO} = 100^{((DO_s - 100)*(-1.197429^2))}$$
$$275\% < DO_s : SI_{DO} = 10$$

INSF – ICA BROWN (Fernández Solano; Díaz, M.A.)



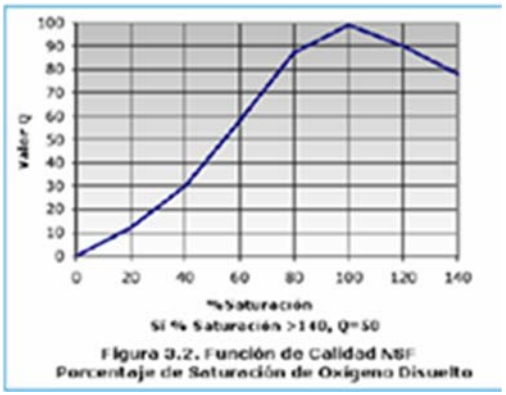
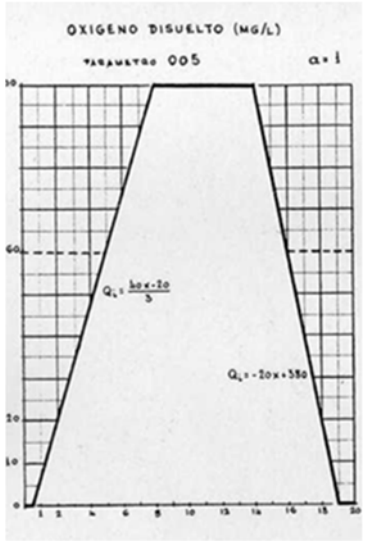
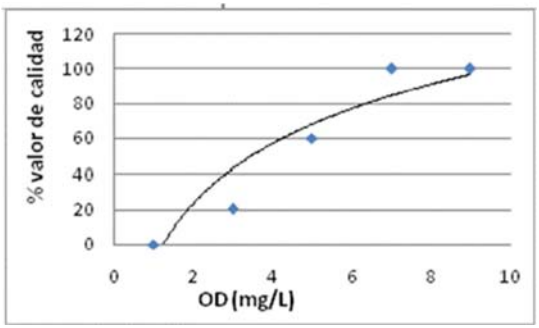


Figura 3.2. Función de Calidad NSF
Porcentaje de Saturación de Oxígeno Disuelto

ICGENERAL MAGRAMA - ESPAÑA



ICATUC (Ganin *et al*)



ICA PUERTO RICO (Torres Vega)

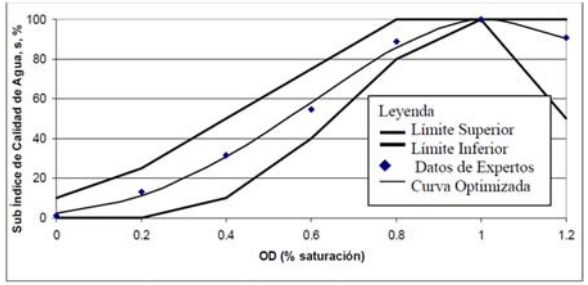
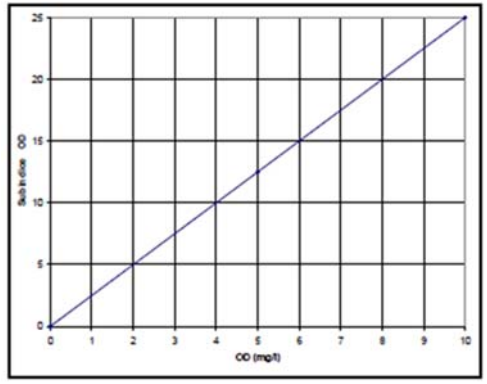


Figura 33: Subíndice para Oxígeno Disuelto

ISQA - ESPAÑA



ESTRATEGIA AMOEBA

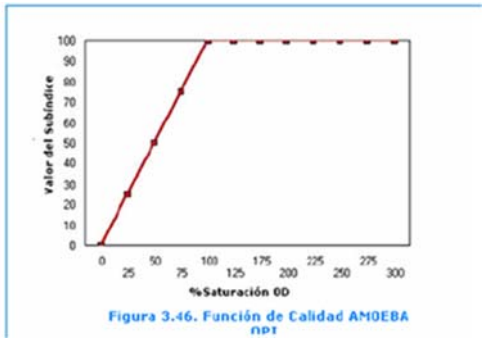


Figura 3.46. Función de Calidad AMOEBA OPT

WQI (Dinius)

Función: 0.82DO + 10.56

ICA Pesce and Wunderlin – ARGENTINA

Ci	100	90	80	70	60	50	40	30	20	10	0
(mg/l)	≥7,5	>7	>6,5	>6	>5	>4	>3,5	>3	>2	≥1	<1

ICA Martínez de Bascarán - ESPAÑA

Ci	100	90	80	70	60	50	40	30	20	10	0
(mg/l)	7,5	7	6,5	6	5	4	3,5	3	2	1	0

ICO – COLOMBIA (Ramírez *et al*)

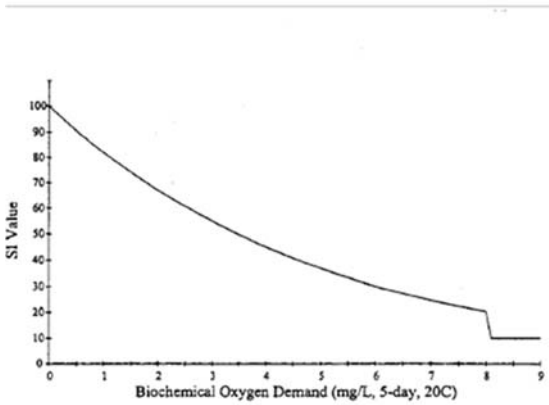
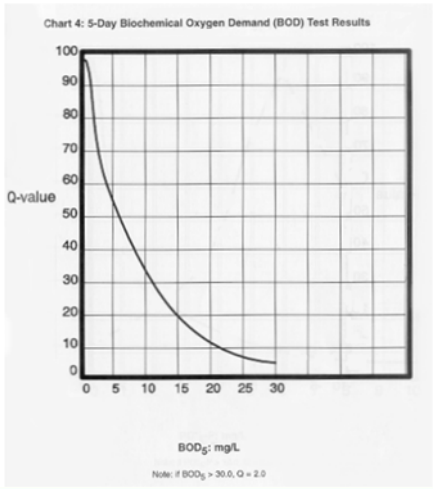
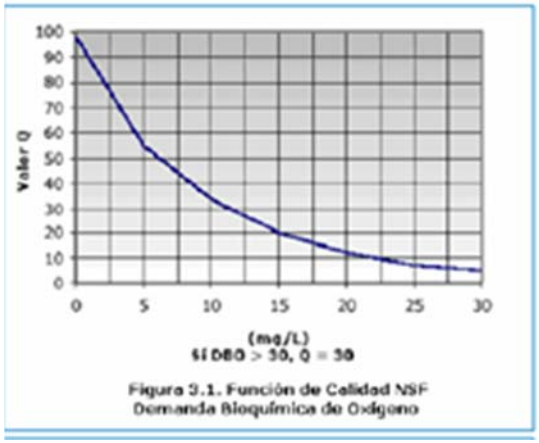
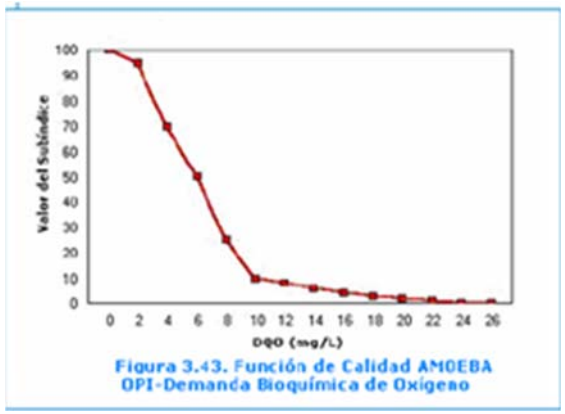
$$I_{.Oxigeno\%} = 1 - 0.01 Oxigeno\%$$

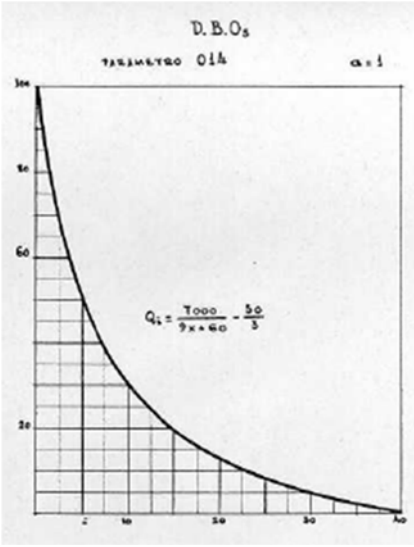
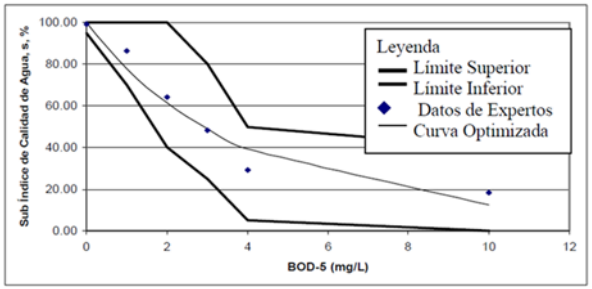
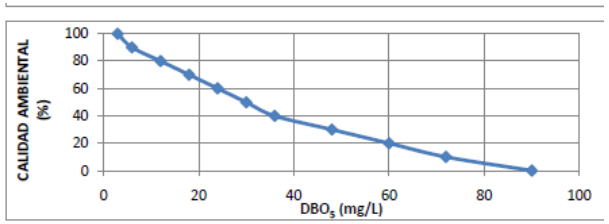
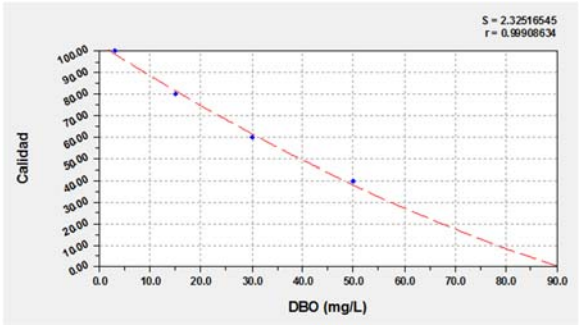
Oxígenos (%) mayores a 100% tienen un índice de oxígeno de 0

ICAUCA – COLOMBIA

OD % sat	% sat	$I_{\%sat} = e^{(1.3663+0.063\%sat-0.000303\%sat^2)}$ Si % sat > 140, $I_{\%sat}=50$

Figura A. 28: Curvas y funciones de calidad – Oxígeno disuelto

OWQI (Cude)	INSF – ICA BROWN (Fernández Solano; Díaz, M.A.)	ESTRATEGIA AMOEBA
 Figure 3. Biochemical Oxygen Demand Subindex (SI_{BOD}). Si: DBO ≤ 8 mg/l: Subíndice (SI) DBO = 100 x exp. (DBO x -0.199314) 8 mg/l < BDO: Subíndice (SI) DBO = 10	  Figura 3.1. Función de Calidad NSF Demanda Bioquímica de Oxígeno	 Figura 3.43. Función de Calidad AMOEBA OPI-Demanda Bioquímica de Oxígeno

<table>
<tr>
<td>ICGENERAL MAGRAMA - ESPAÑA
 
</td>
<td>ICA PUERTO RICO (Torres Vega)
 
</td>
<td>ADAPTACIÓN Martínez de Bascarán – COLOMBIA (Muñoz Real, Beltrán Carvajal)
 
</td>
</tr>
<tr>
<td>ICAUCA - COLOMBIA
<table>
<tr><td>DBO_5</td><td>mg/l</td><td>$I_{DBO_5} = e^{(4.5824 - 0.1078\ DBO_5 + 2}$
Si $DBO_5 > 30$ mg/l $I_{DBO} = 2$</td></tr>
</table></td>
<td>ICA UNIVERSIDAD SANTO TOMÁS – COLOMBIA
 

Intervalo de 2 - 90 mg/L. Si la concentración de DBO < 2 mg/L la calidad es igual a 100, por el contrario, si</td>
<td>ICO – COLOMBIA (Ramírez et al)
$I_{DBO} = -0.05 + 0.70 Log_{10} DBO(mg/L)$
DBO > 30 (mg/l) = 1
DBO < 2 (mg/l) = 0</td>
</tr>
</table>

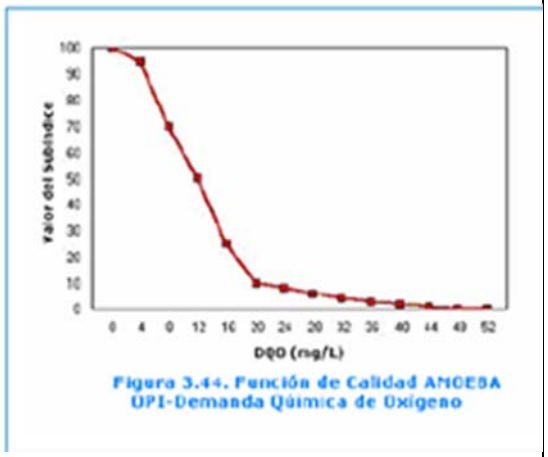
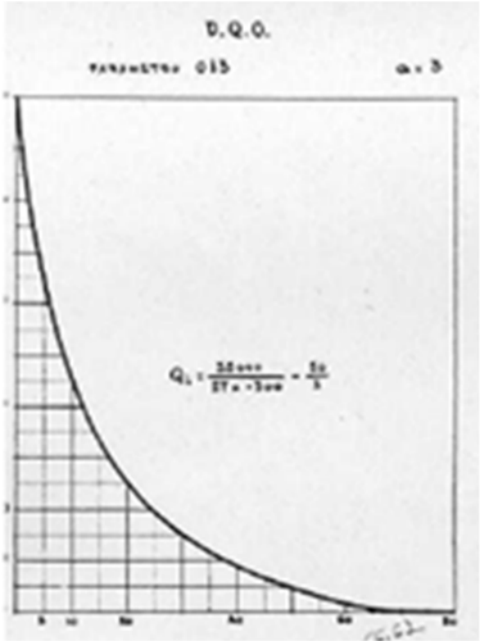
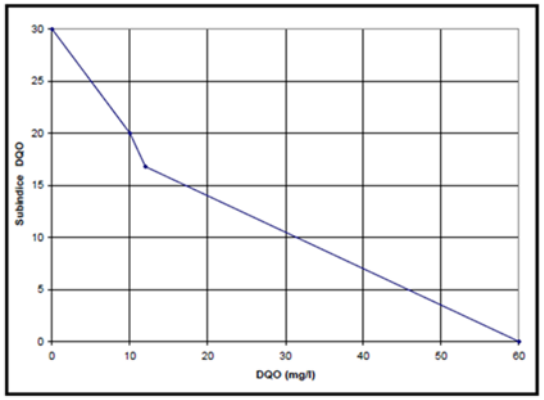
<table>
<tr>
<td></td>
<td>la concentración de DBO_5 > 90 mg/L la calidad es igual a 0.

Ecuación y coeficientes del modelo de calidad para la DBO_5.
<table>
<tr><td colspan="3">Quadratic Fit: $y=a+bx+cx^2$</td></tr>
<tr><td colspan="3">Coeficiente Data:</td></tr>
<tr><td>a =</td><td>b =</td><td>c =</td></tr>
<tr><td>103,10</td><td>-1,51</td><td>0,0041</td></tr>
</table>
Donde a, b y c son constantes y x es el valor de la DBO_5 en mg/L</td>
<td></td>
</tr>
<tr>
<td colspan="2">ICA Pesce and Wunderlin – ARGENTINA

<table>
<tr><td>Ci</td><td>100</td><td>90</td><td>80</td><td>70</td><td>60</td><td>50</td><td>40</td><td>30</td><td>20</td><td>10</td><td>0</td></tr>
<tr><td>(mg/l)</td><td><0.5</td><td><2.0</td><td><3</td><td><4</td><td><5</td><td><6</td><td><8</td><td><10</td><td><12</td><td><15</td><td>>15</td></tr>
</table>
</td>
<td>WQI (Dinius)

Función: $108(B0D)^{-0.3494}$</td>
</tr>
</table>

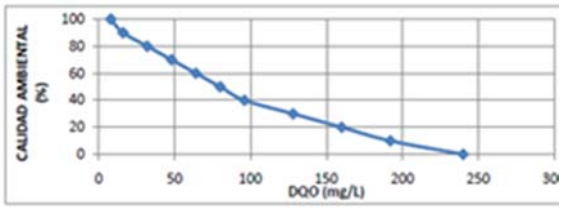
Figura A. 29: Curvas y funciones de calidad – DBO_5

ESTRATEGIA AMOEBA	ICGENERAL MAGRAMA - ESPAÑA	ISQA - ESPAÑA
 Figura 3.44. Función de Calidad AMOEBA UPI-Demanda Química de Oxígeno		

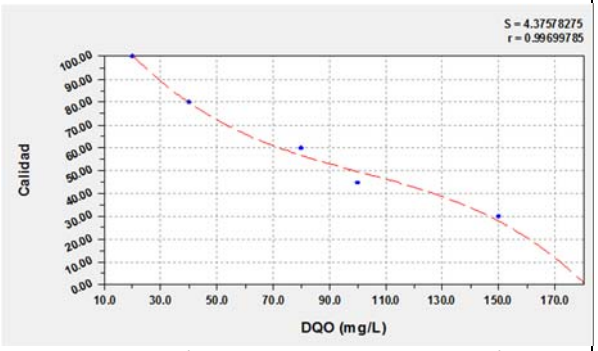
TRIBUTARIOS EMBALSE RÍO HONDO - ARGENTINA (Glatstein *et al*.)

Ci	100	90	80	70	60	50	40	30	20	10	0
(mg/L)	<5	<1	<20	<30	<40	<50	<60	<80	<100	<150	>150

ADAPTACIÓN Martínez de Bascarán – COLOMBIA (Muñoz Real, Beltrán Carvajal)



ICA UNIVERSIDAD SANTO TOMÁS – COLOMBIA



Si DQO < 10 mg/L, Q=100 y si DQO > 180 mg/L, Q=0

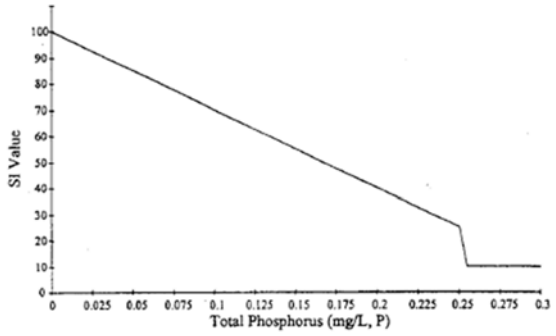
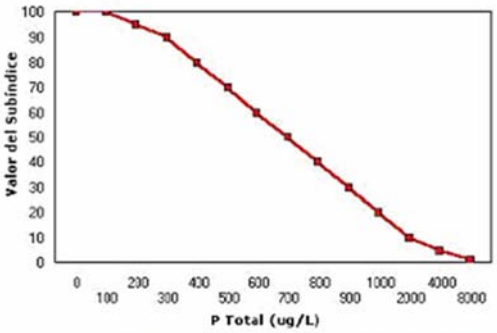
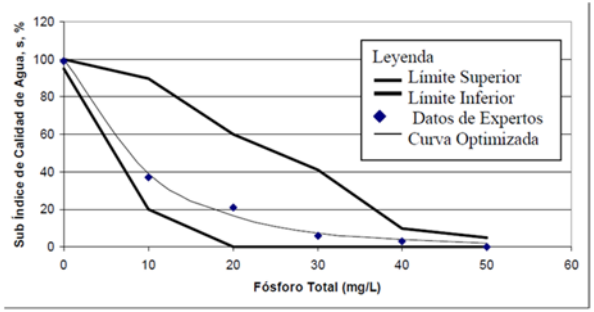
La curva ajustada representa la calidad en función de la DQO en el intervalo de 20 - 180 mg/L. Si la DQO < 20 la calidad es igual a 100, Si la DQO > 180 la calidad es igual a 0.

Ecuación y coeficientes del modelo de calidad para la DQO.

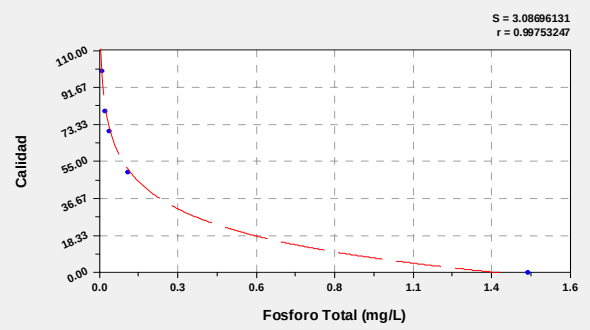
3rd degree Polynomial Fit: $y=a+bx+cx^2+dx^3...$			
Coeficiente Data:			
a =	b=	c=	d=
129,83	-1,73	0,0014	-0,000046

Donde a, b, c, y d son constantes y x representa el valor de la DQO en mg/L

Figura A. 30: Curvas y funciones de calidad – DQO

OWQI (Cude)	ESTRATEGIA AMOEBA	ICA PUERTO RICO (Torres Vega)
 Figure 5. Total Phosphorus Subindex (SI_P). Si: $P \leq 0.25$ mg/l: $SIP = 100 - 299.5406 \times P - 0.1384108 \times P^2$ 0.25 mg/l < P: $SIP = 10$	 Figura 3.38. Función de Calidad AMOEBA NPI-Fósforo Total	

ICA UNIVERSIDAD SANTO TOMÁS – COLOMBIA



La curva ajustada describe la calidad en función de la concentración de fosforo total en un intervalo de 0 a 1,5 mg/L; Si la concentración es ≥ 1,5 mg/L la calidad es igual a 0, si fosforo total < 0,009 la calidad es 100.

Ecuación y coeficientes del modelo de calidad para el fósforo total.

Logarithm Fit: y=a+b*ln(x	
Coeficient Data	
a =	6,55
b =	-19,41

Donde a y b son constantes y x representa la concentración de fosforo total en mg/L

ICAUCA – COLOMBIA

Fósforo Total (FT)	mg/l	$I_{FT} = \frac{1}{0.0084+0.0143FT+0.00074FT^2}$ Si Fósforo Total >10 mg/L I_{FT}= 2

TRIBUTARIOS EMBALSE RÍO HONDO - ARGENTINA (Glatstein *et al.*)

Ci	100	90	80	70	60	50	40	30	20	10	0
(mg/L)	<0.2	<1.6	<3.2	<6.4	<9.6	<16.0	<32.0	<64.0	<96.0	<160.0	160

RÍO SALADO – ARGENTINA (Moscuzza *et al*.)

Ci	100	90	80	70	60	50	40	30	20	10	0
PT (mg/l)	<0.005	<0.01	<0.02	<0.03	<0.05	<0.1	<0.25	<0.5	<0.75	<1	>1

ICO – COLOMBIA (Ramírez *et al*.)

Se calcula sobre la base de la concentración de Fósforo Total en mg/l

- Oligotrofia : < 0.01
- Mesotrofia : 0.01-0.02
- Eutrofia: 0.02-1.00
- Hipereutrofia >1.00

Figura A. 31: Curvas y funciones de calidad – Fósforo total

ESTRATEGIA AMOEBA

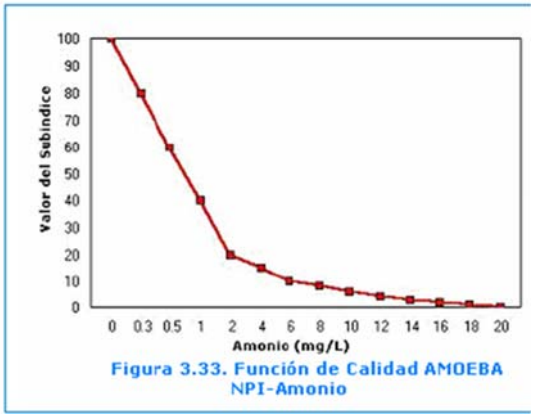


Figura 3.33. Función de Calidad AMOEBA
NPI-Amonio

ICA RÍO DES MOINES (Fernández Solano)

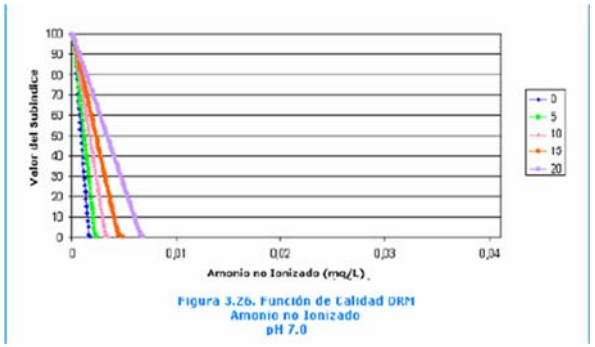
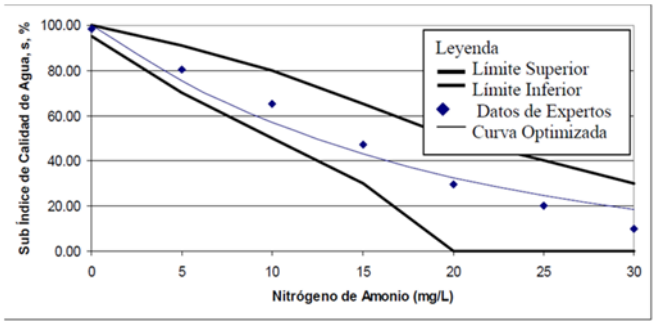


Figura 3.26. Función de Calidad DRM
Amonio no Ionizado
pH 7.0

ICA PUERTO RICO (Torres Vega)



ICA Pesce and Wunderlin – ARGENTINA

Parameter	Relative weight (P_i)	Normalization factor (C_i)									
		100	90	80	70	60	50	40	30	20	10	0
		Analytical value[a]										
Ammonia nitrogen	3	<0.01	<0.05	<0.10	<0.20	<0.30	<0.40	<0.50	<0.75	<1.00	≤1.25	>1.25

ICA Martínez de Bascarán - ESPAÑA

Ci	100	90	80	70	60	50	40	30	20	10	0
(mg/l)	0	0.03	0.05	0.1	0.2	0.3	0.4	0.5	0.75	1	1.25

Figura A. 32: Curvas y funciones de calidad – Nitrógeno amoniacal

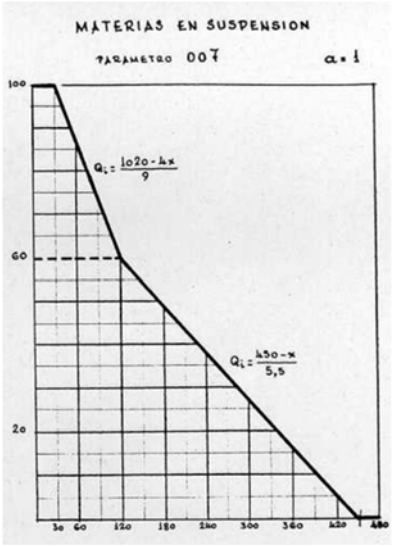
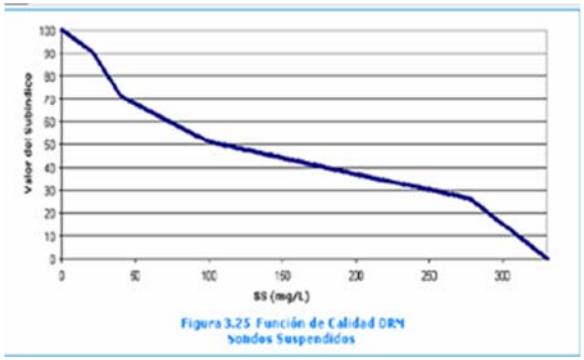
<table>
<tr>
<td>ICGENERAL MAGRAMA - ESPAÑA
 
</td>
<td>ICA RÍO DES MOINES (Fernández Solano)
 

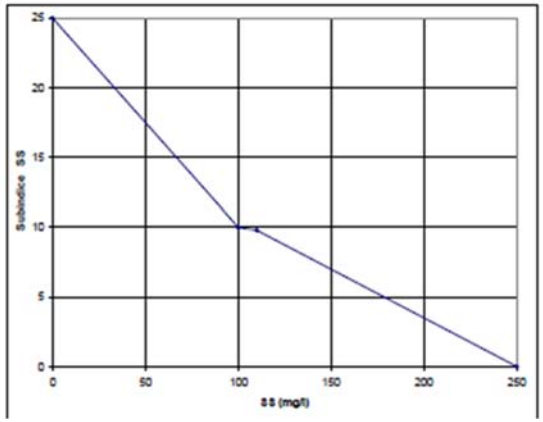
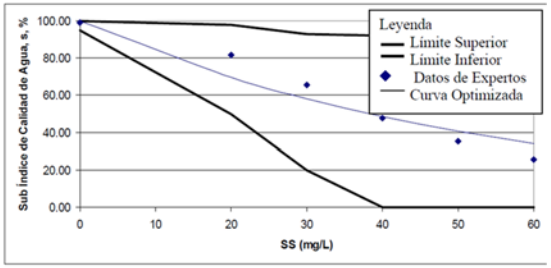
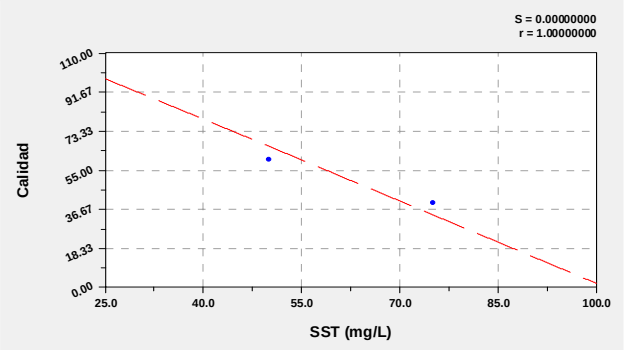
Figura 3.25 Función de Calidad DRY
Sonidos Suspendidos</td>
<td>ISQA - ESPAÑA
 
</td>
</tr>
<tr>
<td>ICA PUERTO RICO (Torres Vega)
 

Figura 30: Subíndice para Sedimentos Suspendidos</td>
<td>ICO – COLOMBIA (Ramírez et al.)
$ICOSUS = -0.02 + 0.0003 SólidosSuspendidos(mg/L)$
Sólidos Suspendidos > a 340 mg/l tienen un ICOSUS = 1
Sólidos Suspendidos < a 10 mg/l tienen un ICOSUS = 0</td>
<td>ICAUCA – COLOMBIA
<table>
<tr><td>Sólidos suspendidos (SS)</td><td>mg/l</td><td>$I_{SST} = -0.3005\ SS + 102.11$
Si SS $\leq$ 10 mg/l entonces $I_{SST} = 100$
Si SS $\geq$ 340 mg/l entonces $I_{SST} = 2$</td></tr>
</table></td>
</tr>
</table>

ICA UNIVERSIDAD SANTO TOMÁS – COLOMBIA



La curva ajustada describe la calidad en función de los SST en el intervalo de 25 - 100 mg/L. Si la concentración de SST < 25 la calidad es igual a 100, si SST> 100 la calidad es igual a 0.

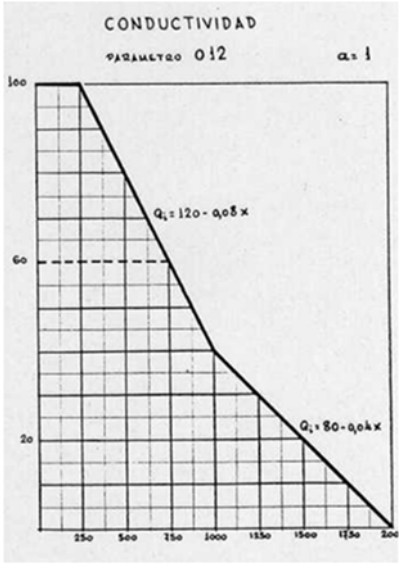
Ecuación y coeficientes del modelo de calidad para la SST.

Sinusoidal Fit: y=a+b*cos(cx+d)			
Coefficient Data:			
a =	b=	c=	d =
13,97	373,45	0,0035	1,26

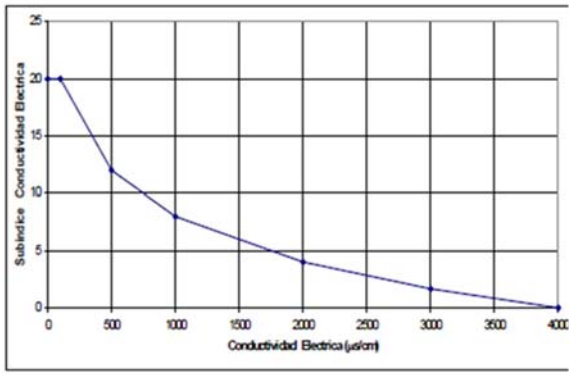
Donde a,b,c, y d son constantes y x representa el valor de la DQO en mg/L

Figura A. 33: Curvas y funciones de calidad – Sólidos Suspendidos Totales

ICGENERAL MAGRAMA – ESPAÑA



ISQA - ESPAÑA



ESTRATEGIA AMOEBA

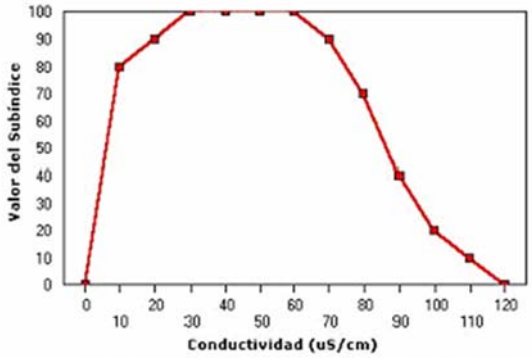
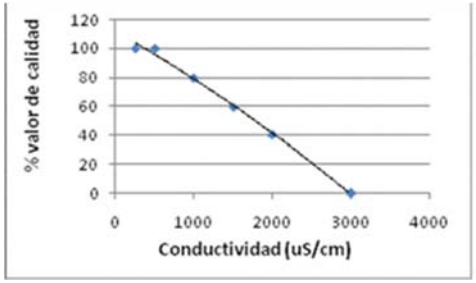


Figura 3.41. Función de Calidad AMOEBA
NPI- Conductividad

ICATUC (Ganin *et al*.)



WQI (Dinius)

Función: $506(SPC)^{-0.3315}$

ICA Martínez de Bascarán - ESPAÑA

Ci	100	90	80	70	60	50	40	30	20	10	0
(mg/l)	<750	1000	1250	1500	2000	2500	3000	5000	8000	12000	>16000

ICA Pesce and Wunderlin – ARGENTINA

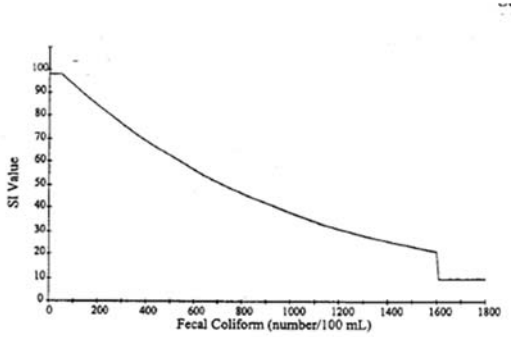
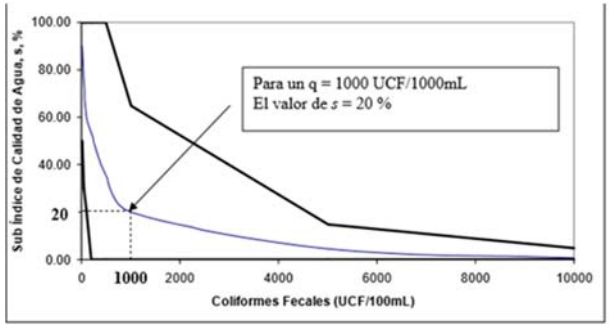
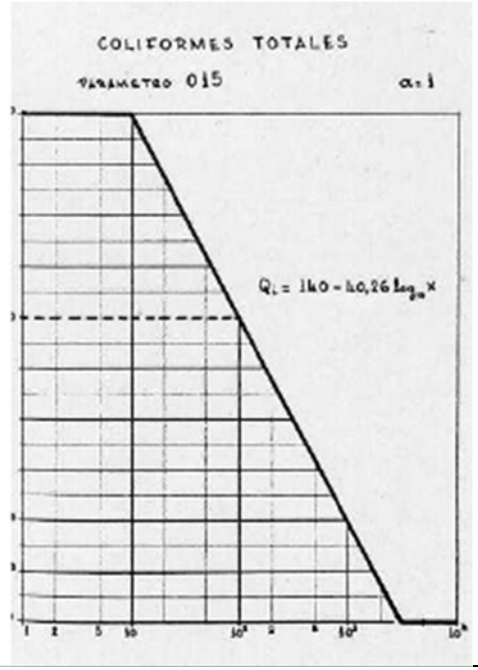
Parameter	Relative weight (P_i)	Normalization factor (C_i)									
		100	90	80	70	60	50	40	30	20	10	0
Conductivity[b]		< 750	< 1000	< 1250	< 1500	< 2000	< 2500	< 3000	< 5000	< 8000	≤ 12,000	> 12,000

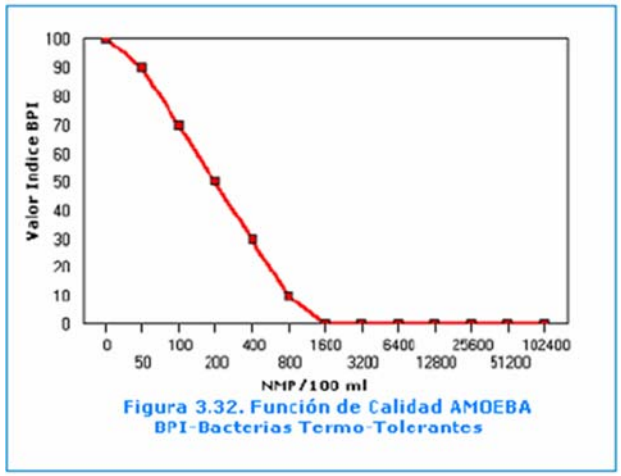
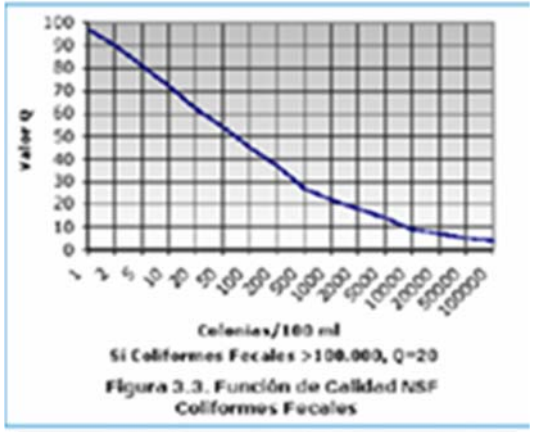
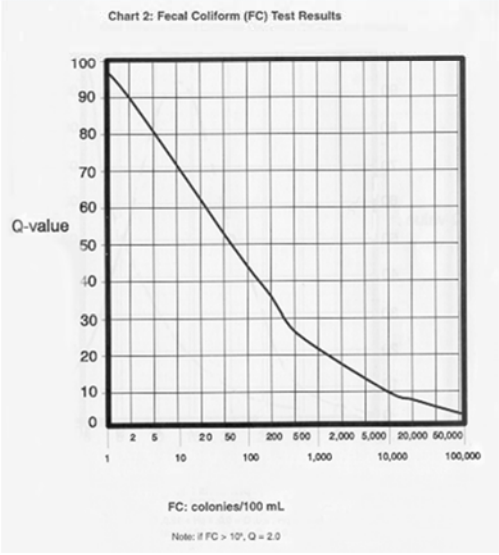
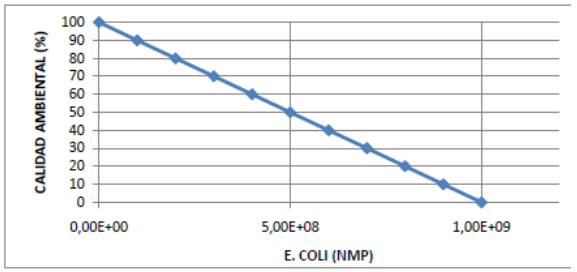
ICO – COLOMBIA (Ramírez *et al*)

$$I._{Conductividad} = Log_{10}.I._{Conductividad} = 3.26 + 1.34 Log_{10}.Conductivida(mS/cm)$$

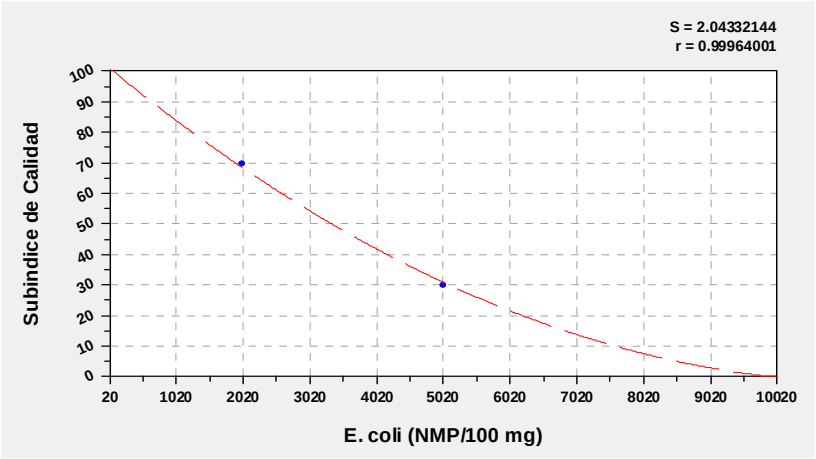
$$I._{Conductividad} = 10^{Log\,I.Conductividad}$$

Figura A. 34: Curvas y funciones de calidad – Conductividad eléctrica

OWQI (Cude)	ICA PUERTO RICO (Torres Vega)	ICGENERAL MAGRAMA - ESPAÑA
 Figure 9. Fecal Coliform Subindex (SI_{FC}). Si: FC ≤50 # /100 ml: SICF = 98 50 # /100 ml < CF ≤1600 # /100 ml: SICF = 98 x exp. ((FC-50) x -9.917754E-4) 1600 # /100 ml < FC: SICF = 10		

ESTRATEGIA AMOEBA	INSF – ICA BROWN (Fernández Solano; Díaz, M.A.)	ADAPTACIÓN Martínez de Bascarán – COLOMBIA (Muñoz Real, Beltrán Carvajal)
 Figura 3.32. Función de Calidad AMOEBA BPI-Bacterias Termo-Tolerantes	 Figura 3.3. Función de Calidad NSF Coliformes Fecales 	

ICA UNIVERSIDAD SANTO TOMÁS – COLOMBIA



La curva ajustada describe la calidad en función de este parámetro en el intervalo de 20 - 60. Si CT < 100 la calidad es igual a 100, Si CT ≥ 10000 la calidad es igual a 0. Aunque el modelo acepta los valores por debajo de 100 NMP/100ml se toma esta decisión ya que con esta concentración la calidad del agua es aplicable para el uso para la protección de fauna y flora.

Ecuación y coeficientes del modelo de calidad para los coliformes fecales

Quadratic Fit: y=a+bx+cx^2		
Coeficiente Data:		
a =	b =	c =
101,13	-0,0179	0,00000078

Donde a, b y c son constantes y x representa los coliformes totales en NMP/100 ml.

WQI (Dinius)

Función *E. coli*: $106(E.coli)^{-0.1286}$

ICAUCA - COLOMBIA

Parámetro	Unidad	Función del subíndice (I)
Coliformes Fecales (ColiF)	NMP	$I_{ColiF} = e^{4.5685-0.1305Ln(ColiF)-0.0129[Ln(ColiF)]^2}$ Si Coliformes Fecales > 10^5/100ml $I_{ColiF} = 2$

ICO – COLOMBIA (Ramírez *et al*.)

$I_{\cdot Coliformes\ Totales} = -1.44 + 0.56 Log_{10} .Col.Tot.(NMP/100$

Coliformes Totales > 20.000 (NMP/100 ml) = 1
Coliformes Totales < 500 (NMP/100 ml) = 0

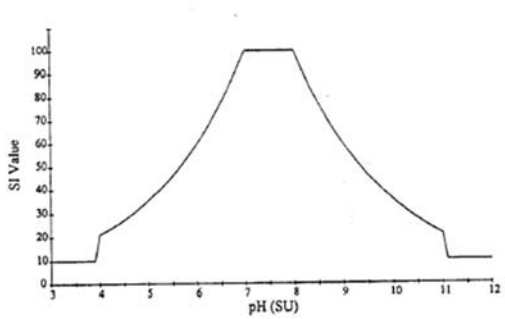
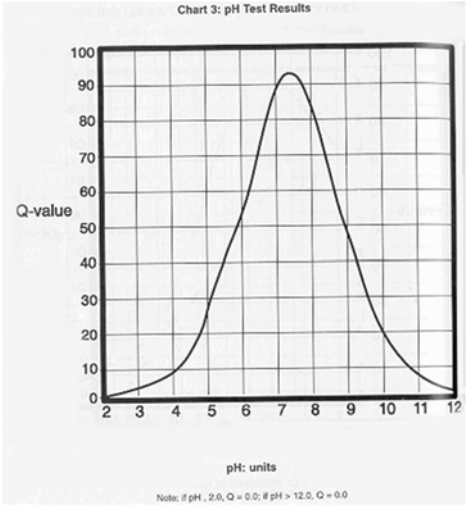
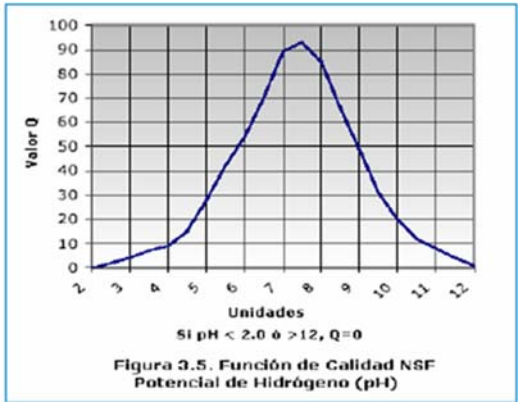
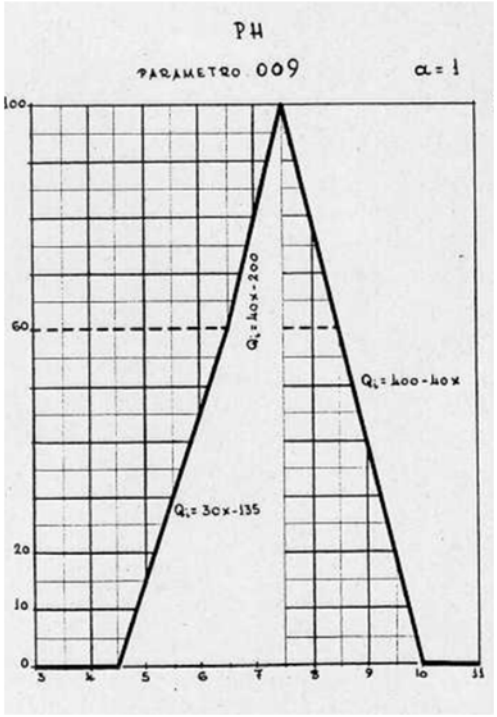
ICA Pesce and Wunderlin – ARGENTINA

Ci	100	90	80	70	60	50	40	30	20	10	0
Total colif. (NMP/100 ml)	<50	<500	<1000	<2000	<3000	<4000	<5000	<7000	<10,000	≤ 14,000	>14,000

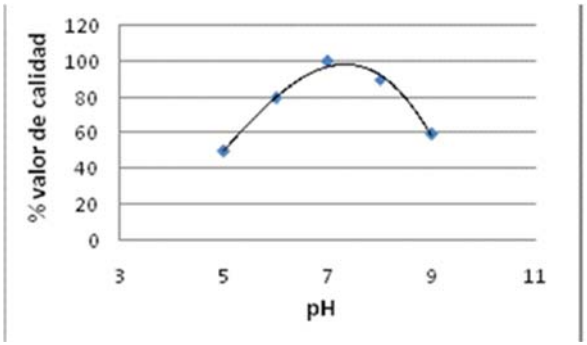
ICA Martínez de Bascarán - ESPAÑA

Ci	100	90	80	70	60	50	40	30	20	10	0
TC(NMP/100ml)	< 50	500	1000	1500	2000	3000	4000	5000	7000	10000	>14000

Figura A. 35: Curvas y funciones de calidad *Escherichia coli* (se identificaron mayoritariamente para coliformes fecales y totales)

OWQI (Cude)	INSF – ICA BROWN (Fernández Solano; Díaz, M.A.)	ICGENERAL MAGRAMA - ESPAÑA
 Figure 8. pH Subindex (SI_{pH}). Si: pH < 4 : SIpH = 10 4 ≤pH < 7: SIpH = 2.628419 x exp (pH x 0.520025) 7 ≤pH =8: SIpH = 100 8 < pH =11: SIpH = 100 x exp ((pH-8) x -0.5187742) 11 < pH: SIpH = 10	  Figura 3.5. Función de Calidad NSF Potencial de Hidrógeno (pH)	

ICATUC (Ganin *et al*)



ICA PUERTO RICO (Torres Vega)

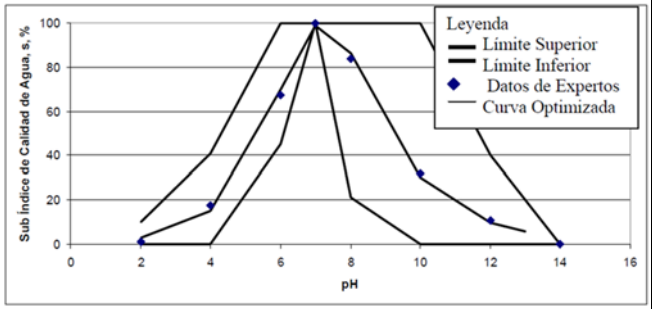


Figura 34: Subíndice para pH

ESTRATEGIA AMOEBA

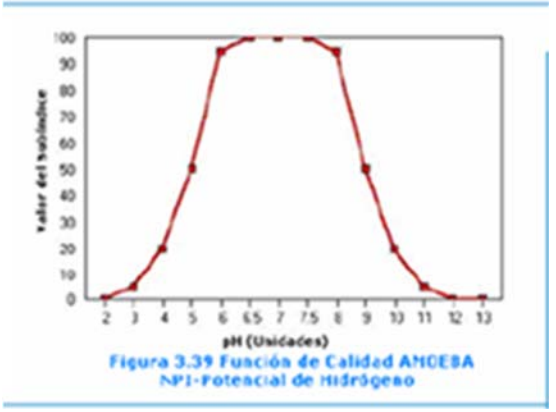


Figura 3.39 Función de Calidad AMOEBA
NP1-Potencial de Hidrógeno

ICA RÍO DES MOINES (Fernández Solano)

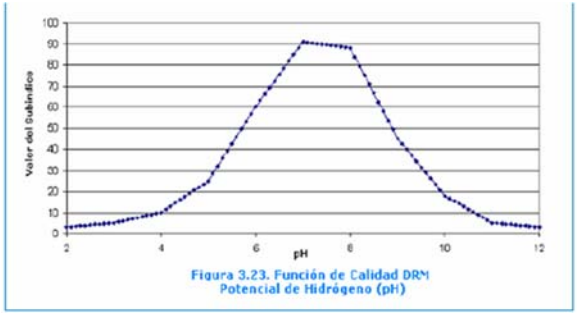


Figura 3.23. Función de Calidad DRM
Potencial de Hidrógeno (pH)

WQI (Dinius)

Función: (pH <6.9) IpH: $10^{0.6803+.1856(pH)}$

Si 6.9 < pH < 7.1 ⟶ IpH = 100

(pH > 7.1) IpH: $10^{3.65-0.2216(pH)}$

ICA Pesce and Wunderlin – ARGENTINA

Parameter	Relative weight (P_i)	Normalization factor (C_i)										
		100	90	80	70	60	50	40	30	20	10	0
pH	1	7	7–8	7–8.5	7–9	6.5–7	6–9.5	5–10	4–11	3–12	2–13	1–14

ICA Martínez de Bascarán - ESPAÑA

Ci	100	90	80	70	60	50	40	30	20	10	0
pH	7	8	8.5	9	6.5	6-9.5	5-10	4-11	3-12	2-13	1-14

ICAUCA – COLOMBIA

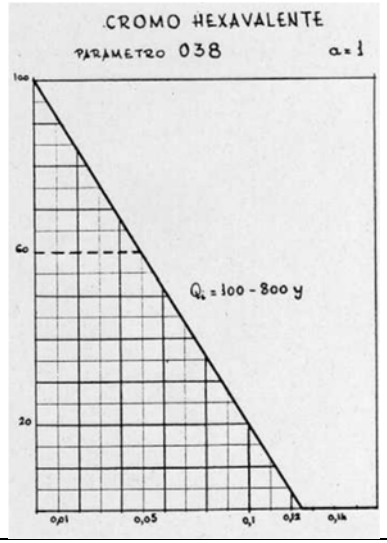
pH	unidades	$I_{pH} = e^{(-7.6434\,pH+18.5352\frac{1}{pH}+14.625[Ln(pH)]^2}$ Si pH< 2 o pH >12 und $I_{pH}=0$)

ICO – COLOMBIA (Ramírez *et al*.)

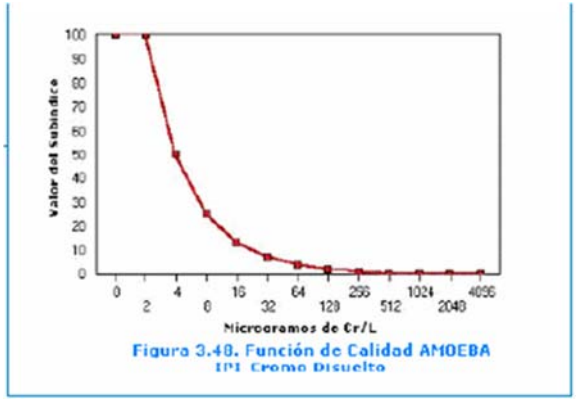
$$ICOpH = \frac{e^{-31.08+3.45pH}}{1+e^{-31.08+3.45pH}}$$

Figura A. 36: Curvas y funciones de calidad - pH

ICGENERAL MAGRAMA – ESPAÑA



ESTRATEGIA AMOEBA



ADAPTACIÓN Martínez de Bascarán – COLOMBIA (Muñoz Real, Beltrán Carvajal)

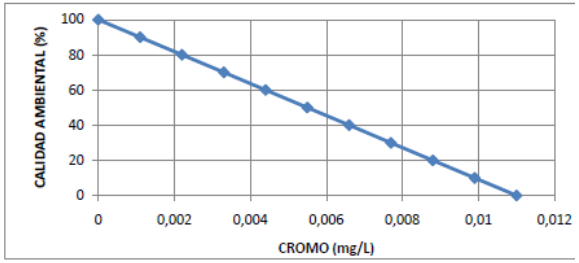


Figura A. 37: Curvas de calidad – Cromo total

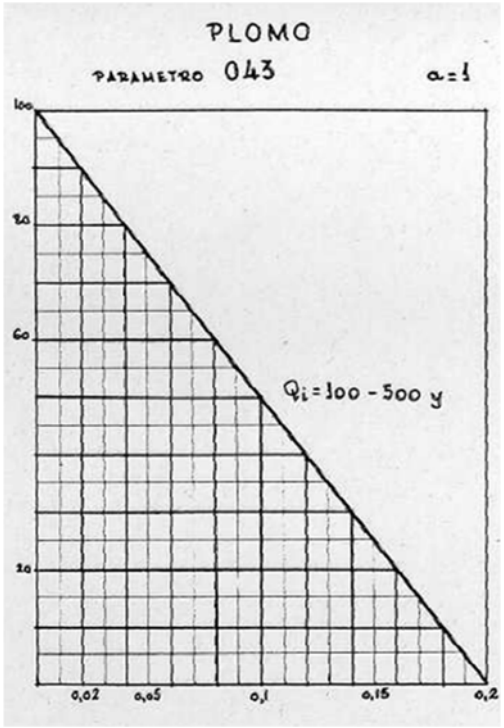
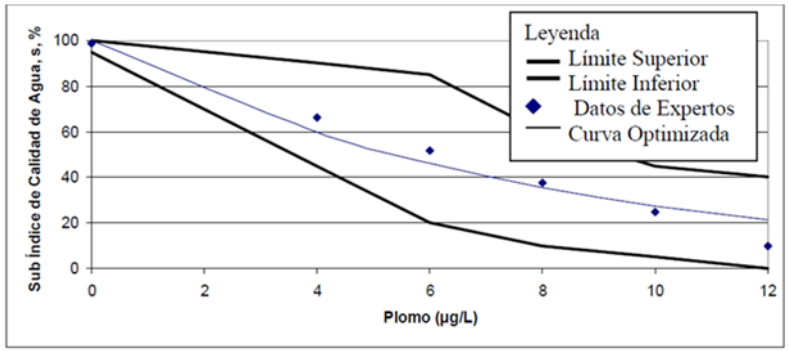
ICGENERAL MAGRAMA – ESPAÑA	ICA PUERTO RICO (Torres Vega)
	

Figura A. 38: Curvas de calidad – Plomo total

3. Registros de calidad del agua de cursos superficiales correspondientes a la vertiente al Río de la Plata (Cuenca del Plata)

Tabla A. 13: Parámetros de ríos y arroyos de llanura - Vertiente Río de la Plata - Conductividad Eléctrica, Sólidos Suspendidos Totales y Fósforo

ARROYO/CUENCA	CARACTERÍSTICAS AMBIENTALES	REFERENCIA	CONDUCTIVIDAD ELÉCTRICA uS/cm	SÓLIDOS SUSPENDIDOS TOTALES mg/l	FÓSFORO mg/l
Arroyo LAS FLORES, cuenca del Río Luján	Afluente del río Luján que corre en sentido O - E a través de zonas de pastoreo de ganado. Nace en un bañado en área rural. Long. 8 Km. Baja intervención. Desde el punto de vista de calidad del agua se lo considera un **arroyo control, no alterado por actividades humanas**, con elevada diversidad íctica.	*Diversidad de peces en un arroyo de llanura* (2003). Walter Darío Di Marzio, María del Carmen Tortorelli y Lauce Rubén Freyre. Programa de Investigación en Ecotoxicología, Departamento de Ciencias Básicas, Universidad Nacional de Luján. Instituto de Limnología de La Plata.	710 – 890 Media: 782	-	<u>Fosfatos</u>: 0.20 – 1.9 Media: 0.33
		Caracterización de la calidad del agua de una sección del Río Luján: Efectos sobre el fitoplancton (2010). María Candelaria Plataroti. Departamento de Ecología, Genética y Evolución. Facultad de Ciencias Exactas y Naturales. UBA	531 – 749 Media: 671	-	<u>P total</u>: 0.346 - 6.172 Media: 1.59 <u>Fosfatos</u>: 0.104 - 0.9 Media: 0.478

ARROYO/CUENCA	CARACTERÍSTICAS AMBIENTALES	REFERENCIA	CONDUCTIVIDAD ELÉCTRICA uS/cm	SÓLIDOS SUSPENDIDOS TOTALES mg/l	FÓSFORO mg/l
Arroyo CARABASSA, cuenca del Río Luján	Afluente del río Luján. El arroyo Carabassa presenta un **marcado deterioro debido a la contaminación urbano-industrial**; recibe los vertidos de emprendimientos urbanísticos e industrias principalmente del rubro alimenticio.	*Caracterización de la calidad del agua de una sección del Río Luján: Efectos sobre el fitoplancton* (2010). María Candelaria Plataroti. Departamento de Ecología, Genética y Evolución. Facultad de Ciencias Exactas y Naturales. UBA	1311 – 1662 Media: 1506	-	P total: 3.45 - 13 Media: 8.5 Fosfatos: 2.75 - 9 Media: 6.13
Río LUJÁN, tramo correspondiente al partido de Pilar	Curso medio, donde las ciudades de Luján y Pilar constituyen los núcleos urbanos de mayor importancia, con **presencia de actividad industrial y un acentuado crecimiento poblacional.** Se destaca el Parque Industrial Pilar con más de 180 industrias de las cuales unas 40 descargan en el río (principalmente papeleras, textiles, químicas y alimenticias)		1310 – 2280 Media: 1758	-	P total: 0.4 - 3.2 Media: 1.5 Fosfatos: 0.4 - 2.4 Media: 1.08

ARROYO/CUENCA	CARACTERÍSTICAS AMBIENTALES	REFERENCIA	CONDUCTIVIDAD ELÉCTRICA uS/cm	SÓLIDOS SUSPENDIDOS TOTALES mg/l	FÓSFORO mg/l
Arroyo DEL GATO	Área antropizada. Puntos en cuenca alta (actividad rural dominante), cuenca media (urbana e industrial) e inferior (rural y urbana y CEAMSE). **Agua contaminada** con incremento de degradación desde tramo superior a inferior	*Sistema de gestión territorial-ambiental de la cuenca del arroyo Del Gato* (2001). Secretaría de Política Ambiental	1000 - 1400 (No son valores de media)	-	-
	Área con **baja intervención**. Tramo superior en las proximidades de las nacientes, **se aproxima al estado prístino del arroyo**, previo a las intervenciones antrópicas	*Estudios Hidrológicos- Hidráulicos – Ambientales en la Cuenca del A° del Gato – La Plata* (2004). Facultad de Ingeniería, UNLP	250 - 390 (No son valores de media)	-	-
	Área **antropizada.** Puntos en límite entre tramos superior y medio (actividad rural y periurbana), medio (urbana e industrial) e inferior (rural y urbana y CEAMSE). **Agua contaminada** con incremento de degradación desde tramo superior a inferior.		1000 - 1400 (No son valores de media)	-	-

ARROYO/CUENCA	CARACTERÍSTICAS AMBIENTALES	REFERENCIA	CONDUCTIVIDAD ELÉCTRICA uS/cm	SÓLIDOS SUSPENDIDOS TOTALES mg/l	FÓSFORO mg/l
	Usos **urbano e industrial intensos a muy intensos**, agrícola ganadero bajo o ausente	*Ecología del fitoplancton de arroyos pampeanos y su valor como indicador de la calidad del agua*. Tesis doctoral (2009). Delia Bauer. Dra: Nora Gómez. ILPLA	1000; 1170; 1308 (No son valores de media)	96,3; 14,7; 34,5	Fosfatos: 1.51; 1.58; 2.71
Arroyo CONCHITAS PLÁTANOS	Cuenca superior. Rural intensiva dominante. **Baja a moderada intervención**. Baja densidad industrial	*Plan Piloto de Gestión de las Cuencas Hídricas de Pequeñas Dimensiones. Cuencas Arroyos Conchitas - Plátanos y Baldovinos.* Informe Final (2010). UIDD Gestión Ambiental, Facultad de Ingeniería UNLP	811; 874 (No son valores de media)	19 -34	P total: 0.52
	Cuenca media. Industrial y urbana dominante con descargas puntuales y difusas en el arroyo. **Elevada intervención**		2280; 2400 (No son valores de media)	71 - 77	P total: 1.07; 1.73
Arroyo BALDOVINOS	Cuenca superior y media. **Moderada intervención**. Aguas abajo de área de baja densidad industrial en Reserva MAB y de descarga cloacal de barrio cerrado		969	24	P total: 1.01
	Cuenca media **aguas abajo de descarga cloacal** de barrio cerrado		965	172	P total: 1.24

ARROYO/CUENCA	CARACTERÍSTICAS AMBIENTALES	REFERENCIA	CONDUCTIVIDAD ELÉCTRICA uS/cm	SÓLIDOS SUSPENDIDOS TOTALES mg/l	FÓSFORO mg/l
Tributarios cuenca río LUJÁN	Tributarios con **moderada a baja contaminación**	*Temporal and spatial variability in streams of a pampean basin* (1998). Claudia S. Feijoó, Adonis Giorgi, María Eugenia García & Fernando Momo. Universidad de Luján	721 – 1024 (No son valores de media)	-	P soluble: 0.04; 0.06
	Cuenca inferior. Tributario con **elevada contaminación**		1520 – 3413 (No son valores de media)	-	P soluble: 5.06; 11.54
Arroyo EL PESCADO	Uso **urbano bajo, agrícola ganadero moderado**	*Ecología del fitoplancton de arroyos pampeanos y su valor como indicador de la calidad del agua*. Tesis doctoral (2009). Delia Bauer. Dra: Nora Gómez. ILPLA	457; 635 (No son valores de media)	16,2 - 33,3	Fosfatos: 0.35; 0.39
	Uso **urbano moderado, agrícola ganadero bajo**		737	67	Fosfatos: 0.24
Arroyo JUAN BLANCO	**Agrícola ganadero moderado**		220; 542 (No son valores de media)	23,1 - 60,4	Fosfatos: 0.08; 0.17

4. Registros de calidad del agua de la BDH de la CHMR

Tabla A. 14: Valores estadísticos de los parámetros de la CHMR

	Media	Error típico	Mediana	Moda	Desviación estándar	Mínimo	Máximo	Cuenta (N)	Nivel conf. (95,0%)
SST	54,76	3,46	28,00	10,0	110,85	2,00	1564,0	1025	6,79
CE	1490,48	23,81	1277,00	1050,0	950,97	223	7869,0	1595	46,71
DBO_5	38,51	2,77	18,00	6,0	93,67	2,00	1910,0	1141	5,44
DQO	95,06	3,71	62,50	36,0	144,72	15	2430,0	1519	7,28
N-NH3	7,36	0,19	5,50	1,6	7,39	0,05	252	1519	0,37
Fosforo total	1,93	0,05	1,41	0,4	1,85	0,10	68	1519	0,09
Escherichia coli	6,7E+05	4,5E+04	2,0E+05	5,0E+05	1,3E+06	60,0	1,8E+07	892	8,8E+04
OD	3,43	0,07	2,70	0,1	2,85	0,00	16,0	1475	0,15
pH	7,54	0,01	7,60	7,3	0,41	6	10,62	1475	0,02
Cr	0,075	0,020	0,005	0,003	0,647	0,001	16,3	1091	0,038
Pb	0,011	0,000	0,007	0,004	0,015	0,001	0,2	1191	0,001
Fenoles	0,208	0,114	0,020	0,01	2,210	0,006	40,0	374	0,225
HCT	6,33	1,31	3,90	0,9	19,24	0,30	277,0	217	2,57

Las unidades de *Escherichia coli* están expresadas en UFC/100ml, la Conductividad Eléctrica en uS/cm, y el resto de los parámetros en mg/l.

5. Valores de referencia de calidad del agua superficial y efluentes

Tabla A. 15: Concentraciones de referencia de Oxígeno Disuelto

FUENTE	CONCENTRACIONES DE REFERENCIA (mg/l)	USO/CALIDAD
Argentina: Valores límites para usos del agua Grupo de Trabajo Técnico, ACUMAR, 2009	> 5	Actividades recreativas con contacto directo Preservación vida acuática (exposición prolongada)
	> 4	Actividades recreativas sin contacto directo
	> 2	Actividades recreativas pasivas
	> 3	Preservación vida acuática sin exposición prolongada
Argentina: Resolución ACUMAR 03/2009	> 2	Actividades recreativas pasivas
Comunidad Económica Europea: Directiva Nº 78/659	> 7	Aguas continentales que requieren protección o mejora para ser aptas para la vida de los peces
Colombia: Decreto 1594 de 1984	5	Preservación de fauna y flora
	70% saturación	Recreación contacto primario
	70% saturación	Recreación contacto secundario
Perú: Decreto Supremo Nº 015-2015-MINAM	≥ 5	Categoría 4: Conservación del ambiente acuático – Subcategoría E2: Ríos

FUENTE	CONCENTRACIONES DE REFERENCIA (mg/l)	USO/CALIDAD
Uruguay: Decreto 253/79	≥ 5	Clase 2 b - Aguas destinadas a recreación por contacto directo con el cuerpo humano
	≥ 5	Clase 3 - Aguas destinadas a la preservación de los peces en general y de otros integrantes de la flora y fauna hídrica
	≥ 2.5	Clase 4 - Aguas correspondientes a los cursos o tramos de cursos que atraviesan zonas urbanas o suburbanas que deban mantener una armonía con el medio
Brasil: CONAMA Res 2005 357	≥ 5	Conservación de fauna y flora
Índice Saprobio. Roldán Pérez, G. 1999	> 8	Clase I: Poca o ninguna contaminación
	> 8	Clase I – II: Poca o ninguna contaminación
	> 6	Clase II: mediana contaminación
	> 4	Clases II - III: contaminación crítica
	> 2	Clase III: contaminación fuerte
	< 2	Clase III – IV: contaminación muy fuerte
	< 2	Clase IV: supercontaminado
Rangos de concentración de (OD) oxígeno disuelto y consecuencias ecosistémicas frecuentes. Goyenola, G. 2007	0	Anoxia. Muerte masiva de organismos aerobios
	0 - 5	Hipoxia. Desaparición de organismos y especies sensibles

FUENTE	CONCENTRACIONES DE REFERENCIA (mg/l)	USO/CALIDAD
	5 – 8	Aceptable. OD adecuadas para la vida de gran mayoría de especies de peces y otros organismos acuáticos
	8 – 12	Buena. OD adecuadas para la vida de gran mayoría de especies de peces y otros organismos acuáticos
	> 12	Sobresaturada. Sistemas en plena producción fotosintética

Tabla A. 16: Concentraciones de referencia de DBO_5

FUENTE	CONCENTRACIONES DE REFERENCIA (mg/l)	USO/CALIDAD
Argentina: Valores límites para usos del agua Grupo de Trabajo Técnico, ACUMAR, 2009	< 3	Actividades recreativas con contacto directo Preservación vida acuática (exposición prolongada)
	< 10	Actividades recreativas sin contacto directo Preservación vida acuática sin exposición prolongada
	< 15	Actividades recreativas pasivas
Argentina: Resolución ACUMAR 03/2009	< 15	Actividades recreativas pasivas
Argentina: Resolución 42/06 - FREPLATA, ADA y SPA	10	Actividades recreativas en agua dulce
Argentina: Resolución 336/03 Ministerio de Asuntos Agrarios y Producción de la Pcia. de Buenos Aires	≤ 50	Parámetros de calidad de descargas límites admisibles. Agua superficial
Comunidad Económica Europea: Directiva Nº 78/659	6	Aguas continentales que requieren protección o mejora para ser aptas para la vida de los peces
Colombia: Decreto 1594 de 1984	1-15	Preservación de fauna y flora
Perú: Decreto Supremo Nº 015-2015-MINAM	10	Categoría 4: Conservación del ambiente acuático – Subcategoría E2: Ríos
Uruguay: Decreto 253/79	≤10	Clase 2 b - Aguas destinadas a recreación por contacto directo con el cuerpo humano

FUENTE	CONCENTRACIONES DE REFERENCIA (mg/l)	USO/CALIDAD
	≤10	Clase 3 - Aguas destinadas a la preservación de los peces en general y de otros integrantes de la flora y fauna hídrica
	≤15	Clase 4 - Aguas correspondientes a los cursos o tramos de cursos que atraviesan zonas urbanas o suburbanas que deban mantener una armonía con el medio
Brasil: CONAMA Res 2005 357	<10	Conservación de fauna y flora
Índice Saprobio. Roldán Pérez. G. 1999	1	Clase I: Poca o ninguna contaminación
	1 - 2	Clase I – II: Poca o ninguna contaminación
	2 - 6	Clase II: mediana contaminación
	5 - 10	Clases II - III: contaminación crítica
	7 - 13	Clase III: contaminación fuerte
	10 - 20	Clase III – IV: contaminación muy fuerte
	> 15	Clase IV: supercontaminado
México: Escala de clasificación de la calidad del agua con base en la DBO_5.	≤ 3	Excelente calidad, no contaminada
	> 3 y ≤ 6	Buena Calidad: Aguas superficiales con bajo contenido de materia orgánica biodegradable
	> 6 y ≤ 30	Calidad Aceptable: Con indicio de contaminación. Aguas superficiales con capacidad de autodepuración o con descargas de aguas residuales tratadas biológicamente

FUENTE	CONCENTRACIONES DE REFERENCIA (mg/l)	USO/CALIDAD
	> 30 y ≤ 120	Aguas superficiales contaminadas con descarga de aguas residuales crudas principalmente de origen municipal
	> 120	Aguas superficiales con fuerte impacto de descarga de aguas residuales crudas municipales y no municipales. Fuertemente contaminadas
EFLUENTES	**CONCENTRACIONES TÍPICAS (mg/l)**	**CARACTERÍSTICA**
Cloacal (Fuente : Metcalf & Eddy, 1990)	110	Concentración débil
	220	Concentración media
	400	Concentración fuerte
Frigorífico / Matadero	1400 – 2800 1000 – 1500 (CIMPAR, 2003)	Efluentes sin tratar
	500 – 5350 Promedio: 2550	Guía de Mejores Técnicas Disponibles (GMTD) en España del Sector Cárnico 2005 editada por el Ministerio de Medio Ambiente
Industria láctea	900 – 2700 Promedio: 1000 (Hammer, 1991)	Efluentes sin tratar

Tabla A. 17: Concentraciones de referencia de DQO

FUENTE	CONCENTRACIONES DE REFERENCIA (mg/l)	USO/CALIDAD
Argentina: Resolución 336/03 Ministerio de Asuntos Agrarios y Producción de la Pcia. de Buenos Aires	≤250	Parámetros de calidad de descargas límites admisibles. Agua superficial
Colombia: Decreto 1594 de 1984	<100	Preservación de fauna y flora
México: Escala de clasificación de la calidad del agua con base en la DQO.	≤ 10	Excelente calidad, no contaminada
	> 10 y ≤ 20	Buena Calidad: Aguas superficiales con bajo contenido de materia orgánica biodegradable y no biodegradable
	> 20 y ≤ 40	Calidad Aceptable: Con indicio de contaminación. Aguas superficiales con capacidad de autodepuración o con descargas de aguas residuales tratadas biológicamente
	> 40 y ≤ 200	Aguas superficiales contaminadas con descarga de aguas residuales crudas principalmente de origen municipal
	> 200	Aguas superficiales con fuerte impacto de descarga de aguas residuales crudas municipales y no municipales. Fuertemente contaminadas
EFLUENTES	**CONCENTRACIONES TÍPICAS (mg/l)**	**CARACTERÍSTICA**
Cloacal (Fuente : Metcalf & Eddy, 1990)	250	Concentración débil
	500	Concentración media
	1000	Concentración fuerte
Mataderos	2500 - 3000	Efluente sin tratar (CIMPAR, 2003)

	774 – 35000 Promedio: 10259	Guía de Mejores Técnicas Disponibles (GMTD) en España del Sector Cárnico 2005 editada por el Ministerio de Medio Ambiente
Industria láctea	1000	Promedio (Hammer, 1991)

Tabla A. 18: Concentraciones de referencia de Fósforo total

FUENTE	CONCENTRACIONES DE REFERENCIA (mg/l)	USO/CALIDAD
Argentina: Valores límites para usos del agua Grupo de Trabajo Técnico, ACUMAR, 2009	1	Actividades recreativas con contacto directo Actividades recreativas sin contacto directo
	5	Actividades recreativas pasivas
	0.01	Preservación vida acuática (exposición prolongada)
	0.1	Preservación vida acuática sin exposición prolongada
Argentina: Resolución ACUMAR 03/2009	< 5	Actividades recreativas pasivas
Argentina: Resolución 42/06 - FREPLATA, ADA y SPA	0.025	Actividades recreativas en agua dulce
Argentina: Resolución 336/03 Ministerio de Asuntos Agrarios y Producción de la Pcia. de Buenos Aires	≤ 1	Parámetros de calidad de descargas límites admisibles. Agua superficial
Perú: Decreto Supremo Nº 015-2015-MINAM	0.05	Categoría 4: Conservación del ambiente acuático – Subcategoría E2: Ríos
Uruguay: Decreto 253/79	≤ 0.025	Clase 2 b - Aguas destinadas a recreación por contacto directo con el cuerpo humano
	≤ 0.025	Clase 3 - Aguas destinadas a la preservación de los peces en general y de otros integrantes de la flora y fauna hídrica
Brasil: CONAMA Res 2005 357	0.1	Conservación de fauna y flora
	< 0,004	Ultra-Oligotrófico

Canada: Canadian Water Quality Guidelines for the Protection of Aquatic Life	0,004 - 0,01	Oligotrófico
	0,01 - 0,02	Mesotrófico
	0,02 - 0,035	Mesoeutrófico
	0,035 - 0,1	Eutrófico
	> 0,1	Hipereutrófico
Clasificación de ríos en diferentes estados tróficos G. D. Tilman, V. H. Smith y J. C. Nekola. 1999 Suggested classification of stream trophic state: distributions of temperate stream types by chlorophyll, total nitrogen, and phosphorus. Dodds W.K., Jones J.R. y Welch, E.B., 1998	< 0,025	Sistemas lóticos oligotróficos (concentración baja)
	0,025-0,075	Sistemas lóticos mesotróficos (concentración moderada)
	> 0,075	Sistemas lóticos eutróficos (concentración elevada)
EFLUENTES	**CONCENTRACIONES TÍPICAS (mg/l)**	**CARACTERÍSTICA**
Cloacal (Fuente : Metcalf & Eddy, 1990)	4	Concentración débil
	8	Concentración media
	15	Concentración fuerte
Frigorífico / Matadero	Promedio: 16	Hammer, 1991
	10 – 90 Promedio: 40	Guía de Mejores Técnicas Disponibles (GMTD) en España del Sector Cárnico 2005 editada por el Ministerio de Medio Ambiente
Industria láctea	Promedio: 12	Hammer, 1991

Concentración de fosforo total en diferentes fuentes. C. Sawyer, P. McCarty y G. Parklin, Chemistry for Environmental Engineering, McGraw-Hill, 1994	0,004-0,003	Agua dulce
	5 - 20	Agua de desechos domésticos
	0,05 - 1	Drenaje de agricultura
	0,003 - 1,5	lagos eutrofizados
	0,01 - 0,04	lagos no contaminados
	0,01 - 1	ríos

Tabla A. 19: Concentraciones de referencia de Nitrógeno amoniacal

FUENTE	CONCENTRACIONES DE REFERENCIA (mg/l)	USO/CALIDAD
Argentina: Valores límites para usos del agua Grupo de Trabajo Técnico, ACUMAR, 2009	< 0.6	Preservación vida acuática (exposición prolongada)
	< 6	Preservación vida acuática sin exposición prolongada
Argentina: Resolución 42/06 - FREPLATA, ADA y SPA	0.025 $0.055 / (1+10^{pH\ (2362.6/temperatura + 273.15)})$	Protección de vida acuática - agua dulce
	0.5	Recreación
Argentina: Decreto 831 – Ley 24.051 Residuos Peligrosos	1.37	Agua dulce. Protección vida acuática
Argentina: Subsecretaría de Recursos Hídricos de Nación – Niveles guía de calidad agua ambiente agua dulce superficial	$0.055 / (1+10^{pH\ (2362.6/temperatura + 273.15)})$	Protección de vida acuática
Argentina: Resolución 336/03 Ministerio de Asuntos Agrarios y Producción de la Pcia. de Buenos Aires. Anexo II	≤ 25	Parámetros de calidad de descargas límites admisibles. Agua superficial
Perú: Decreto Supremo Nº 015-2015-MINAM	1.9	Categoría 4: Conservación del ambiente acuático – Subcategoría E2: Ríos
Uruguay: Decreto 253/79	≤ 0.02	Clase 2 b - Aguas destinadas a recreación por contacto directo con el cuerpo humano
	≤ 0.02	Clase 3 - Aguas destinadas a la preservación de los peces en general y de otros integrantes de la flora y fauna hídrica

FUENTE	CONCENTRACIONES DE REFERENCIA (mg/l)	USO/CALIDAD
Colombia: Decreto 1594 de 1984	0.1	Preservación de flora y fauna
Índice Saprobio. Roldán Pérez, G. 1999	trazas	Clase I: Poca o ninguna contaminación
	0.1	Clase I – II: Poca o ninguna contaminación
	< 0.3	Clase II: mediana contaminación
	< 1	Clases II - III: contaminación crítica
	>0.5	Clase III: contaminación fuerte
	>0.5	Clase III – IV: contaminación muy fuerte
	>0.5	Clase IV: supercontaminado
EFLUENTES	**CONCENTRACIONES TÍPICAS (mg/l)**	**CARACTERÍSTICA**
Cloacal (Fuente : Metcalf & Eddy, 1990)	12	Concentración débil
	25	Concentración media
	50	Concentración fuerte

Tabla A. 20: Concentraciones de referencia de Sólidos Suspendidos Totales

FUENTE	CONCENTRACIONES DE REFERENCIA (mg/l)	USO/CALIDAD
Argentina: Valores límites para usos del agua Grupo de Trabajo Técnico, ACUMAR, 2009	SST_{fondo} + 10	Preservación vida acuática (exposición prolongada)
	SST_{fondo} + 10	Preservación vida acuática sin exposición prolongada
Perú: Decreto Supremo Nº 015-2015-MINAM	≤ 100	Categoría 4: Conservación del ambiente acuático – Subcategoría E2: Ríos
México: Escala de clasificación de la calidad del agua con base en los SST.	≤ 25	Excelente calidad, no contaminada
	> 25 y ≤ 75	Buena Calidad: Aguas superficiales con bajo contenido de materia orgánica biodegradable
	> 75 y ≤ 150	Calidad Aceptable: Con indicio de contaminación. Aguas superficiales con capacidad de autodepuración o con descargas de aguas residuales tratadas biológicamente
	> 150 y ≤ 400	Aguas superficiales contaminadas con descarga de aguas residuales crudas principalmente de origen municipal
	> 400	Aguas superficiales con fuerte impacto de descarga de aguas residuales crudas municipales y no municipales. Fuertemente contaminadas
Canada: Canadian Water Quality Guidelines for the Protection of Aquatic Life	<25	Conservación de fauna y flora
	SST < 10	Calidad muy alta

Clases de concentración de solidos suspendidos en el agua. M. Nisbet y J. Verneaux. 1970	10 < SST < 25	Calidad alta
	25 < SST < 50	Calidad media
	50 < SST < 75	Calidad baja
	75 < SST < 150	Contaminación fuerte
	150 < SST < 300	Contaminación Muy Fuerte
	300 < SST < 500	Contaminación Critica
	SST < 500	
EFLUENTES	**CONCENTRACIONES TÍPICAS (mg/l)**	**CARACTERÍSTICA**
Cloacal (Fuente : Metcalf & Eddy, 1990)	100	Concentración débil
	220	Concentración media
	350	Concentración fuerte
Mataderos	1400 – 1600 (CIMPAR, 2003)	Efluente sin tratar
	1000 (Hammer, 1991)	Valor promedio Efluente sin tratar
	220 – 5000 Promedio: 2102	Guía de Mejores Técnicas Disponibles (GMTD) en España del Sector Cárnico 2005 editada por el Ministerio de Medio Ambiente

Industria láctea	300 (Hammer, 1991)	Valor promedio

Tabla A. 21: Concentraciones de referencia de pH

FUENTE	CONCENTRACIONES DE REFERENCIA	USO/CALIDAD
Argentina: Valores límites para usos del agua Grupo de Trabajo Técnico, ACUMAR, 2009	6 - 9	Actividades recreativas con contacto directo Actividades recreativas sin contacto directo Actividades recreativas pasivas Preservación vida acuática (exposición prolongada)
	4 – 10.5	Preservación vida acuática sin exposición prolongada
Argentina: Resolución ACUMAR 03/2009	6 - 9	Actividades recreativas pasivas
Argentina: Resolución 42/06 - FREPLATA, ADA y SPA	6.5 - 9	Agua dulce. Protección vida acuática
	6.5. – 8.5	Actividades recreativas en agua dulce
Argentina: Resolución 336/03 Ministerio de Asuntos Agrarios y Producción de la Pcia. de Buenos Aires	6,5 - 10	Parámetros de calidad de descargas límites admisibles. Agua superficial
Comunidad Económica Europea: Directiva Nº 78/659	6 - 9	Aguas continentales que requieren protección o mejora para ser aptas para la vida de los peces
Comunidad Económica Europea: Directiva Nº 76/160	6 - 9	Calidad de las aguas de baño
Colombia: Decreto 1594 de 1984	6.5 - 9	Preservación de fauna y flora
	5 - 9	Recreación contacto primario y secundario
Perú: Decreto Supremo Nº 015-2015-MINAM	6.5 - 9	Categoría 4: Conservación del ambiente acuático – Subcategoría E2: Ríos

	6 - 9	Categoría 1 B: Recreación contacto primario
Uruguay: Decreto 253/79	6.5 – 8.5	Clase 2 b - Aguas destinadas a recreación por contacto directo con el cuerpo humano
	6.5 – 8.5	Clase 3 - Aguas destinadas a la preservación de los peces en general y de otros integrantes de la flora y fauna hídrica
	6 - 9	Clase 4 - Aguas correspondientes a los cursos o tramos de cursos que atraviesan zonas urbanas o suburbanas que deban mantener una armonía con el medio
Brasil: CONAMA Res 2005 357	6 - 9	Conservación de fauna y flora
EFLUENTES	**CONCENTRACIONES TÍPICAS**	**CARACTERÍSTICA**
Frigorífico / Matadero	7 - 8 (CIMPAR, 2003)	Efluentes sin tratar
	6 - 8 Promedio: 7	Guía de Mejores Técnicas Disponibles (GMTD) en España del Sector Cárnico 2005 editada por el Ministerio de Medio Ambiente
Industria láctea	2 - 11	INTI
	Promedio: 7 (Hammer, 1991)	Efluentes sin tratar

Tabla A. 22: Concentraciones de referencia de *Escherichia coli*

FUENTE	CONCENTRACIONES DE REFERENCIA (NMP/100 ml)	USO/CALIDAD
Argentina: Valores límites para usos del agua Grupo de Trabajo Técnico, ACUMAR, 2009	$< 2 \times 10^2$	Actividades recreativas con contacto directo
	$< 2 \times 10^4$	Actividades recreativas sin contacto directo
Argentina: Resolución 42/06 - FREPLATA, ADA y SPA	126 colonias / 100 ml	Actividades recreativas en agua dulce
Perú: Decreto Supremo Nº 015-2015-MINAM	Ausencia	Categoría 1 – B. Recreación
Colombia: Decreto 1594 de 1984	200 (coliformes fecales)	Recreación contacto primario
Criterios microbiológicos de la *E. coli* para evaluar la calidad del agua en sus diferentes usos. D. Mora Alvarado. 1998	5 - 9	Recreación contacto primario y secundario
	< 1	Aguas Envasadas
	200	Aguas dulces usadas para la recreación: Natación
	2000	Aguas dulces usadas para la recreación: Navegación
	5000	Aguas dulces usadas para la recreación: Paisaje
Nivel de contaminación fecal por *E. coli*. M. Aurazo de Zumaeta. 2009	< 20	cuerpos de agua libres de contaminación fecal
	> 20 - 2000	cuerpos de agua con contaminación fecal
	> 2000 - 20000	Alta contaminación fecal
	> 20000	Muy alta contaminación fecal

EFLUENTES	CONCENTRACIONES TÍPICAS (NMP/100 ml)	CARACTERÍSTICA
Cloacal (Fuente: Metcalf & Eddy, 1990). Coliformes totales	10^6 - 10^7	Concentración débil
	10^7 – 10^8	Concentración media
	10^7 – 10^9	Concentración fuerte

Tabla A. 23: Concentraciones de referencia de Cromo total

FUENTE	CONCENTRACIONES DE REFERENCIA (mg/l)	USO/CALIDAD
Argentina: Valores límites para usos del agua Grupo de Trabajo Técnico, ACUMAR, 2009	< 0.05	Actividades recreativas con contacto directo
	< 0.002	Preservación vida acuática (exposición prolongada)
	< 0.02	Preservación vida acuática sin exposición prolongada
Argentina: Decreto 831 – Ley 24.051 Residuos Peligrosos	0.002	Agua dulce. Protección vida acuática
Argentina: Subsecretaría de Recursos Hídricos de Nación – Niveles guía de calidad agua ambiente agua dulce superficial	≤ 0.0025	Protección de vida acuática
Argentina: Resolución 42/06 - FREPLATA, ADA y SPA	$0.0025\ e^{0.8295(\ln \text{dureza})-0.0261}$	Agua dulce. Protección vida acuática
	0.125	Uso recreativo
Argentina: Resolución 336/03 Ministerio de Asuntos Agrarios y Producción de la Pcia. de Buenos Aires	≤ 2.0	Parámetros de calidad de descargas límites admisibles. Agua superficial
Perú: Decreto Supremo Nº 015-2015-MINAM	0.05	Categoría 1B: Recreación
Uruguay: Decreto 253/79	≤ 0.05	Clase 2 b - Aguas destinadas a recreación por contacto directo con el cuerpo humano
	≤ 0.05	Clase 3 - Aguas destinadas a la preservación de los peces en general y de otros integrantes de la flora y fauna hídrica

FUENTE	CONCENTRACIONES DE REFERENCIA (mg/l)	USO/CALIDAD
	≤ 0.5	Clase 4 - Aguas correspondientes a los cursos o tramos de cursos que atraviesan zonas urbanas o suburbanas que deban mantener una armonía con el medio

Tabla A. 24: Concentraciones de referencia de Plomo total

FUENTE	CONCENTRACIONES DE REFERENCIA (mg/l)	USO/CALIDAD
Argentina: Valores límites para usos del agua Grupo de Trabajo Técnico, ACUMAR, 2009	< 0.05	Actividades recreativas con contacto directo
	< 0.002	Preservación vida acuática (exposición prolongada)
	< 0.02	Preservación vida acuática sin exposición prolongada
Argentina: Decreto 831 – Ley 24.051 Residuos Peligrosos	0.001	Agua dulce. Protección vida acuática
Argentina: Subsecretaría de Recursos Hídricos de Nación – Niveles guía de calidad agua ambiente agua dulce superficial	≤ 0.00159	Protección de vida acuática
Argentina: Resolución 42/06 - FREPLATA, ADA y SPA	$e^{1.273\ (\ln \text{dureza})-4.705}$	Agua dulce. Protección vida acuática
	0.025	Uso recreativo
Argentina: Resolución 336/03 Ministerio de Asuntos Agrarios y Producción de la Pcia. de Buenos Aires	≤ 0.1	Parámetros de calidad de descargas límites admisibles. Agua superficial
Perú: Decreto Supremo Nº 015-2015-MINAM	0.01	Categoría 1B: Recreación contacto primario
	0.0025	Categoría 4: Conservación del ambiente acuático – Subcategoría E2: Ríos
Colombia: Decreto 1594 de 1984	0.01	Preservación de fauna y flora
Uruguay: Decreto 253/79	≤ 0.03	Clase 2 b - Aguas destinadas a recreación por contacto directo con el cuerpo humano

FUENTE	CONCENTRACIONES DE REFERENCIA (mg/l)	USO/CALIDAD
	≤ 0.03	Clase 3 - Aguas destinadas a la preservación de los peces en general y de otros integrantes de la flora y fauna hídrica
	≤ 0.05	Clase 4 - Aguas correspondientes a los cursos o tramos de cursos que atraviesan zonas urbanas o suburbanas que deban mantener una armonía con el medio

Tabla A. 25: Concentraciones de referencia de Hidrocarburos Totales

FUENTE	CONCENTRACIONES DE REFERENCIA (mg/l)	USO/CALIDAD
Argentina: Valores límites para usos del agua Grupo de Trabajo Técnico, ACUMAR, 2009	< 0.05	Actividades recreativas con contacto directo
	< 0.2	Actividades recreativas sin contacto directo
	< 10	Actividades recreativas pasivas
	< 0.05	Preservación vida acuática (exposición prolongada)
	< 0.1	Preservación vida acuática sin exposición prolongada
Argentina: Resolución ACUMAR 03/2009	< 10	Actividades recreativas pasivas
Argentina: Decreto 831 – Ley 24.051 Residuos Peligrosos	< 0.3	Agua dulce. Protección vida acuática
Argentina: Resolución 336/03 Ministerio de Asuntos Agrarios y Producción de la Pcia. de Buenos Aires	≤ 30	Parámetros de calidad de descargas límites admisibles. Agua superficial
Perú: Decreto Supremo Nº 015-2015-MINAM	0.5	Categoría 4: Conservación del ambiente acuático – Subcategoría E2: Ríos

6. Cuestionario - Taller de Validación del Índice de Calidad de Agua Superficial elaborado para la Cuenca Hídrica Matanza Riachuelo

CABA, 15 de diciembre de 2016

CUESTIONARIO

Nombre:	
Organismo / pertenencia institucional:	
Área dentro del organismo:	
Correo:	
Teléfono de contacto:	

1. Arquitectura del índice: los parámetros

1.1. ¿Considera pertinentes los parámetros que componen el ICAsup - CHMR?

1. SI ☐
2. NO ☐ ➡ Explique brevemente las razones:

……

……

……

……

……

1.2. ¿Considera que debería agregarse algún otro parámetro?

1. NO ☐
2. SI ☐ ➡ Indique cuál(es) y justifique:

……

……

……

……

……

……

2. Arquitectura del índice: agregación

2.1. ¿En qué grado considera que el conjunto de los parámetros seleccionados es <u>representativo</u> de cada dimensión del ICAsup - CHMR?

	Alta	Media	Baja
• **Dimensión CARGA ORGÁNICA**			
• **Dimensión RIESGO SANITARIO**			
• **Dimensión COMPUESTOS NITRÓGENADOS Y FOSFORADOS**			
• **Dimensión CARACT. FÍSICAS Y SUST. DISUELTAS**			
• **Dimensión TÓXICOS**			

2.2. ¿Agregaría alguna otra dimensión?

1. NO ☐
2. SI ☐ → Indique:

Parámetro propuesto	Dimensión a la que corresponde	Posible fuente de datos

2.3. ¿Considera apropiado el manejo diferencial de la dimensión tóxicos en la agregación final del ICAsup – CHMR?

1. SI ☐
2. NO ☐ → Explique brevemente las razones

……

……

……

……

……

……

3. Re-escalamiento del ICAsup - CHMR

3.1. ¿Considera apropiada la estrategia utilizada para evaluar el alcance de metas?

1. SI ☐
2. NO ☐ → Explique brevemente las razones

……

……

……

……

……

……

……

……

4. Integración final – ICEco - CHMR

4.1. ¿Considera conceptualmente apropiada la integración de los parámetros biológicos con el ICAsup – CHMR?

1. SI ☐
2. NO ☐ Explique brevemente las razones

……

……

……

……

……

……

4.2. ¿Considera pertinente la metodología de integración utilizada para el diseño del ICEco – CHMR?

1. SI ☐
2. NO ☐ Explique brevemente las razones

……

……

……

……

……

……

5. ICAsup – CHMR y caudales

5.1. ¿Considera pertinente realizar una corrección del valor del ICAsup – CHMR en función del caudal medido en el momento de la medición o muestreo de agua superficial?

1. SI ☐ Explique brevemente las razones
2. NO ☐

……

……

……

……

……

……

6. Comunicación

6.1. ¿Cómo evalúa la capacidad de comunicación del ICAsup y su facilidad de comprensión general para el público?

Alta	Media	Baja

Si la respuesta es *"Media"* o *"Baja"*, justifique:

……

……

……

……

……

……

7. Balance general

7.1. ¿Cómo evalúa la utilidad del ICAsup para la toma de decisiones en materia de política pública?	Alta	Media	Baja

Si la respuesta es *"Media"* o *"Baja"*, justifique:

……

……

……

……

……

……

7.2. En su opinión ¿cuáles son los <u>puntos fuertes</u> del ICAsup elaborado?

……

……

……

……

……

……

7.3. ¿Cuáles son las <u>limitaciones o puntos débiles</u> del ICAsup elaborado?

……

……

……

……

……

7.4 Espacio para desarrollar cualquier otra cuestión que le parezca pertinente agregar:

……

……

……

……

……

……

FIN DEL CUESTIONARIO

Muchas gracias por responder!