

**UNIVERSIDAD DE CHILE**  
**FACULTAD DE CIENCIAS AGRONÓMICAS**  
**ESCUELA DE PREGRADO**

**MEMORIA DE TÍTULO**

**APLICACIÓN DE BASES DE DATOS SEMÁNTICAS COMO HERRAMIENTA  
DE TRANSFERENCIA DE CONOCIMIENTO EN LA CLASIFICACIÓN DE  
CUERPOS DE AGUA DE CHILE**

**KATHERINNE SILVA URRUTIA**

**Santiago, Chile**

**2012**



**UNIVERSIDAD DE CHILE**  
**FACULTAD DE CIENCIAS AGRONÓMICAS**  
**ESCUELA DE PREGRADO**

**MEMORIA DE TÍTULO**

**APLICACIÓN DE BASES DE DATOS SEMÁNTICAS COMO HERRAMIENTA  
DE TRANSFERENCIA DE CONOCIMIENTO EN LA CLASIFICACIÓN DE  
CUERPOS DE AGUA DE CHILE**

**APPLYING SEMANTIC DATABASE AS A TOOL FOR KNOWLEDGE  
TRANSFER IN THE CLASSIFICATION OF WATER BODIES OF CHILE**

**KATHERINNE SILVA URRUTIA**

**Santiago, Chile**

**2012**



**UNIVERSIDAD DE CHILE**  
**FACULTAD DE CIENCIAS AGRONÓMICAS**  
**ESCUELA DE PREGRADO**

**APLICACIÓN DE BASES DE DATOS SEMÁNTICAS COMO HERRAMIENTA  
DE TRANSFERENCIA DE CONOCIMIENTO EN LA CLASIFICACIÓN DE  
CUERPOS DE AGUA DE CHILE**

Memoria para optar al Título Profesional de  
Ingeniero en Recursos Naturales Renovables

KATHERINNE SILVA URRUTIA

**PROFESORES GUÍA**

**Calificaciones**

Sr. Andrés de la Fuente D.  
Ingeniero Agrónomo

7,0

Sr. Rodrigo Fuster G.  
Ingeniero Agrónomo, M. Sc

7,0

**PROFESORES EVALUADORES**

Gerardo Soto M.  
Ingeniero Forestal, Dr.

6,0

Juan Manuel Uribe M.  
Ingeniero Agrónomo

7,0

**COLABORADOR**

Arnold Quadflieg  
Geólogo, Dr.

Santiago, Chile  
2012



*Dedicado a Julieta Rojas Silva.*

*El camino sigue y sigue  
desde la puerta.  
El camino ha ido muy lejos,  
y si es posible he de seguirlo  
recorriéndole con pie decidido  
hasta llegar a un camino más ancho  
donde se encuentran senderos y cursos.  
¿Y de ahí adónde iré? No podría decirlo  
(J.R.R. Tolkien)*



## DEDICATORIA Y AGRADECIMIENTOS

Han pasado 7 años y unos cuantos meses desde que entre a esta hermosa carrera en la que aprendí demasiado y conocí a personas increíblemente especiales, los que me apoyaron en los 5 años de estudios y me dieron ánimo y energías para terminar esta memoria. Quiero agradecerle en especial:

A mi familia, mi mamá y mi hermana, que confiaron en mí y mi elección desde el primer momento y dieron todo para que lograra ser la profesional que soy. Por soportar mis pesadeces, mis arranques de mal humor, por la paciencia infinita y por respetar mi espacio y silencios, por protegerme siempre... Las amo con todo, son las mejores... también debo dedicarle este trabajo a mi sobrinita que aunque no esta físicamente con nosotras siempre ha estado presente cuidándonos. A mis pequeñitos Kobito y Puntita que me acompañaron “silenciosamente” en este proceso.

A mis compañeros y amigos de generación, especialmente a los pollos. A Karen por estar siempre en todo momento por escuchar mis ataques de inseguridad, por las locuras y las interminables conversaciones de la vida. A Carlita por calmarme, por aterrizar mis dramas, por escucharme y apoyarme en todo y por ser el cable a tierra... También a Panchito, con el que compartí gran parte de la universidad, gracias por las risas, las tonteritas y por siempre subirme el ánimo. Por ser los mejores gracias por compartir este proceso conmigo, los quiero demasiado, se pasaron.

A Rodrigo y Andrés mis profesores guías... A Rodrigo por ayudarme en todo lo que estuviera en sus manos, por confiar en mí, por presionarme continuamente para terminar este proceso... A Andrés por confiar en que podría con este tema, por el apoyo y tiempo para solucionar todas mis dudas. Gracias por todo, sobre todo por la paciencia.

A todos los profesionales que conforman el Laboratorio de Análisis Territorial (LAT), son los mejores que he conocido y con los que he tenido que trabajar, he aprendido bastante de trabajo en equipo, de tolerancia, de aguante! Son los mejores... Gracias por el ánimo, el tiempo, la energía que me daban para terminar esto, y la alegría de todos los días.

A todos los que me ayudaron a terminar esta memoria y me regalaron unas horitas para realizar la evaluación de la BDS, leer, corregir y comentar esta memoria, sobre todo a Ruth, Carlita, Karen, Panchito, Meliza, Cristian E., Felipe L., Karla, Glorita, Felipe M. y Pía.

Gracias a todos!!!!



## ÍNDICE

RESUMEN .....	1
ABSTRACT .....	2
INTRODUCCIÓN .....	3
Objetivos .....	6
Objetivo General .....	6
Objetivos específicos.....	6
MATERIALES Y MÉTODOS.....	7
Desarrollo de Base de Datos Semántica.....	7
Descripción de la base de datos semántica .....	7
Dominio: Clasificación de Cuerpos de Agua de Chile .....	12
Construcción de la Base de Datos Semántica .....	16
Validación de la Base de Datos Semántica .....	18
Evaluación de Base de Datos Semántica como herramienta de transferencia de conocimiento .....	20
RESULTADOS Y DISCUSIÓN .....	25
Desarrollo de Base de Datos Semántica.....	25
Construcción de la Base de Datos Semántica .....	25
Validación de la Base de Datos Semántica .....	38
Evaluación de la base de datos semántica .....	45
Evaluación con profesionales externos al dominio .....	46
Evaluación con profesionales del Ministerio de Medio Ambiente .....	55
CONCLUSIONES .....	59
BIBLIOGRAFÍA .....	61
ANEXOS Y APÉNDICES .....	69
Apéndice I. Manual básico de navegación de la BDS .....	69
Apéndice II. Cuestionario de evaluación .....	78
Apéndice III. Glosario de clases y atributos .....	80
Apéndice IV. Instancias Supuestas de la BDS .....	94
Apéndice V. Bases de datos semánticas .....	109

## ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Diagrama explicativo de clases en la ontología la clasificación de cuerpos de agua .....	9
Figura 2. Diagrama explicativo de atributos .....	10
Figura 3. Diagrama explicativo de las instancias .....	10
Figura 4. Diagrama explicativo del tipo de relación instancia-atributo .....	11
Figura 5. Proceso de desarrollo ontológico .....	12
Figura 6. Esquema del procedimiento para el diseño y construcción de la BDS .....	18
Figura 7. Esquema del procedimiento de validación y verificación de la BDS .....	20
Figura 8. Estructura taxonómica y atributos de superclase “Clasificación de cuerpos de agua” .....	31
Figura 9. Estructura taxonómica y atributos de la superclase “Criterios de clasificación” .	32
Figura 10. Estructura y atributos de las clases cuerpo de agua continental, subsubcuenca y ecorregión .....	33
Figura 11. Estructura taxonómica y atributos de la clase evaluación de cuerpos de agua...	34
Figura 12. Diagrama de caja que ilustra la distribución de los datos en los grupos estudiados .....	48
Figura 13. Ilustración referencial de tiempos obtenidos por los evaluados de los grupos de análisis .....	49
Figura 14. Interfaz para clases del programa Protégé .....	69
Figura 15. Visualización de atributos en la pestaña de clases .....	70
Figura 16. Características de los Atributos .....	71
Figura 17. Interfaz para Atributos.....	71
Figura 18. Interfaz para instancias .....	72
Figura 19. Visualización de información de instancias utilizadas como valores de atributos .....	73
Figura 20. Barra de búsqueda de instancias, clases y atributos .....	73
Figura 21. Interfaz de la sección de consultas .....	74
Figura 22. Visualización de opciones de búsqueda .....	74
Figura 23. Ejemplo de consulta en el software Protégé .....	75
Figura 24. Vinculación de una instancias con componentes de la base de datos semántica	76
Figura 25. Mecanismo de incorporación de consultas a la base de datos semántica .....	76
Figura 26. Interfaz de aplicación Jambalaya .....	77

## RESUMEN

La calidad y el tiempo invertido en el proceso de toma de decisiones depende de la recopilación de antecedentes, información existente y la accesibilidad y entendimiento por parte de los tomadores de decisiones de ésta. Se plantea que estos procesos se ven facilitados con la utilización de sistemas de apoyo a la toma de decisiones. En este contexto se evaluó la aplicabilidad de un soporte de información y conocimiento, las bases de datos semánticas (BDS), como herramienta de transferencia de conocimiento científico y/o experto para la toma de decisiones en el sector público.

En este estudio se construyó una base de datos semántica de la clasificación de cuerpos de agua de Chile. El proceso de construcción consideró la conceptualización del área de estudio o dominio de conocimiento, la explicitación de conceptos y la construcción de la ontología. Posteriormente, se realizó una evaluación de esta base de datos como herramienta de transferencia de conocimiento, para lo cual se realizaron dos evaluaciones. La primera evaluó el desempeño de profesionales en la solución de problemas relacionados con el conocimiento almacenado en la BDS, en comparación con el desempeño con soportes tradicionales para este mismo tipo de conocimiento. La segunda evaluó la percepción de la aplicabilidad de la herramienta en el sector público con profesionales del Ministerio del Medio Ambiente (MMA).

La evaluación evidenció que las BDS presentan similares tiempos de acceso a la información que los soportes tradicionales, en dominios de conocimiento afines a los profesionales evaluados. El número de errores en el grupo evaluado con la BDS (10% de errores) es menor que el grupo evaluado con soportes tradicionales (35% de errores), lo cual sugiere que el uso de esta herramienta tiene potencialidad en procesos de comprensión de la información y toma de decisiones. Por otro lado, la herramienta fue evaluada positivamente por los profesionales del MMA considerando que la herramienta es útil y adecuada para el soporte de información y conocimiento en su quehacer en la toma de decisiones.

Finalmente, se concluye que la herramienta mejora la gestión de las temáticas abordadas en la institucionalidad ambiental, disminuyendo las brechas entre el sector público y el científico y/o experto mediante la explicitación de conceptos y la interconexión de éstos, facilitando el entendimiento entre profesionales semánticamente distantes.

**Palabras claves:** Base de datos semántica, Ontologías, Clasificación de cuerpos de agua, Toma de decisiones.

## ABSTRACT

Quality and time invested in the process of decision making depends on the gathering of background information as well as the access and understanding that decision makers have on this. It's been argued that this processes are facilitated by the use of decision-making support systems. In this context, the applicability of an information and knowledge support, the semantic databases (SDB), as a tool for scientific and/or expert knowledge transfer has been evaluated, for the decision making processes in the public sector.

In this study, a semantic database of the Chilean water bodies classification was built. The process of building considers the conceptualization regarding the study area or knowledge domain, the explicit statement of concepts and the construction of the ontology. Later, this database was evaluated as a tool for knowledge transfer, for which two assessments were carried out. The first one evaluated the performance of the professionals in the solution of problems related with the knowledge stored in the SDB, in comparison with the performance of traditional support for this same kind of knowledge. The second one evaluated the perception of the applicability of the tool in the public sector with professionals from the Environment Ministry.

The assessment made evident that the SDB present similar times of information access than traditional supports, in similar knowledge domains as the evaluated professionals. The number of errors in the evaluated group with the SDB is lower than the group evaluated with traditional supports, which suggests that the use of this tool has a potentiality for information understanding and decision making processes. On the other side, the tool was positively evaluated by the professionals of the ministry, considering it as a useful and adequate tool for the information and knowledge support for their decision making work.

Finally, it's concluded that the tool improves the management of the addressed themes in the environmental institutions, diminishing the gaps between the public sector and the scientist and/or expert, through the explicit statement of concepts and the interconnection between them, facilitating the understanding among semantically distant professionals.

**Keywords:** Semantic databases, Ontology, Water bodies classification, Decision making.

## INTRODUCCIÓN

El proceso de toma de decisiones se conforma por la identificación de un problema u objetivo a alcanzar, opciones o alternativas, evaluación de alternativas y un mecanismo de selección (regla de decisión) (Guerra, 1992; Render *et al.*, 2006). Adicionalmente, se requiere de predicciones mediante las cuales podamos optar o descartar las opciones, ya sea por el resultado esperado o por las condiciones necesarias para llegar a esa acción (opción). Este proceso de predicción y el proceso de toma de decisiones dependen del conocimiento disponible y de su calidad (Render *et al.*, 2006).

El proceso de toma de decisiones de gestión de recursos naturales se ha convertido en un proceso complejo, largo y costoso, debido a que estudios y avances tecnológicos y científicos han incrementado la información y conocimiento de la dinámica y los flujos en diversos sistemas, repercutiendo en los tiempos y en las capacidades y habilidades que debiesen poseer los actuales tomadores de decisiones. Normalmente en el sector medioambiental la toma de decisiones recae en actores de la institucionalidad pública o los denominados “manejadores de recursos” (Rauscher, 1995; Walker, 2002).

El insumo más relevante en el proceso de toma de decisiones es la información, idealmente el conocimiento de calidad (Render *et al.*, 2006). Sin embargo, la toma de decisiones se respalda actualmente en información y datos, los cuales se encuentran dispersos en distintos soportes (reservorios de datos, información y/o conocimiento) y formatos algunas veces incompatibles entre sí o de costosa adquisición, influenciando negativamente su gestión (OCDE, 2005). Estos datos e información son manejados e interpretados adecuadamente sólo por los expertos del área de estudio, quienes tienen los conocimientos científicos y técnicos y manejan las definiciones e implicancias de cada uno de estos datos. Esta realidad se materializa en una brecha entre el ámbito político (sector público) y los expertos en determinada área, provocando retrasos y dificultades en la toma de decisiones y en la investigación, lo cual puede ser superado en la medida que el acceso a la información sea más expedito, el volumen de información sea manipulable, y sus soportes sean compatibles y de fácil comprensión (OCDE, 2005). Del mismo modo, se recomienda la implementación de instrumentos o herramientas que manejen conocimiento, remplazando las bases de datos comunes que sólo entregan datos e información sin su significado correspondiente.

Actualmente, se han realizado esfuerzos en esta línea para facilitar y disminuir el tiempo destinado al proceso de toma de decisiones y la dependencia de expertos, lo que ha llevado a la creación e implementación de herramientas que faciliten la búsqueda y entrega de información y que apoyen a los tomadores de decisiones. Herramientas que incorporen grandes cantidades de información y el conocimiento derivado, como los modelos matemáticos, bases de datos y sistemas expertos (Guerra, 1992; Mendoza, *et al.*, 2009). Los modelos pueden simular sistemas complejos de los cuales se extraen datos e información, para una decisión respaldada. Las bases de datos constituyen un reservorio importante de datos, sin embargo y como se mencionó, deben ser interpretados por especialistas en el área

de estudio. Los sistemas expertos se definen como “un sistema informático (hardware y software) que simula el proceder de los expertos humanos en un área de especialización dada” (Castillo *et al.*, 1997; Mendoza, *et al.*, 2009). El sistema experto involucra conocimiento cualitativo y se compone por una base de conocimiento, una máquina de inferencia y una interfaz para el usuario (Kendall y Kendall, 2005). La base de conocimiento almacena toda la información, reglas, datos y relaciones que utiliza el sistema experto (Stair y Reynolds, 2000).

Las bases de conocimiento o bases de datos semántica (BDS) representan una evolución de los sistemas de información, éstas constituyen una estructura de información robusta en la cual cada componente está definido, posibilitando su manejo por cualquier usuario, sin necesidad de ser un experto en el dominio de información. Adicionalmente facilitan el intercambio de conocimiento disminuyendo la duplicidad de información, facilitando su análisis, reduciendo costos y mejorando la toma de decisiones (Bermúdez y Piasecki, 2004). Por lo tanto, las BDS aportan en la disminución de brechas entre sector científico y tomadores de decisiones, y constituyen un soporte de conocimiento adecuado a los requerimientos del proceso de toma de decisiones, ya que contienen el conocimiento simplificado de expertos adecuado a los requerimientos del sector usuario. Por otro lado, las BDS entregan un marco de referencia y sirven para que distintos actores utilicen los términos con idéntico significado y connotación (Bermúdez y Piasecki, 2004; Barchini, 2006; Floréz, 2008).

Las bases de datos semánticas son materializables a través de ontologías, que se definen como “una especificación formal y explícita de una conceptualización compartida” (Contreras y Martínez, s.a.; Alameida y Bax, 2003; Sánchez, 2007). Conceptualización dado que corresponde a un modelo abstracto de algún fenómeno, objeto o dominio del mundo real. Especificación explícita debido a que en la ontología todo término o componente debe ser definido clara y explícitamente. Formal se refiere al formalismo idéntico que se debe utilizar para la elaboración de las ontologías, lo cual permite su reutilización y lectura por cualquier máquina. Compartida ya que las ontologías representan el conocimiento consensuado y aceptado de un grupo (Contreras y Martínez, s.a.; León, s.a.; Gruber, 1993; Corcho *et al.*, 2003; Alameida y Bax, 2003; Bermúdez y Piasecki, 2004; Sánchez, 2007). Es decir, es un modelo abstracto de un dominio, entendiéndose como dominio al asunto, objeto, sistema, fenómeno y/o área de conocimiento, del cual se identifican y definen todos los conceptos relevantes, algunas de sus propiedades y las relaciones existentes entre estos conceptos (Muñoz y Aguilar, 2009).

Las ontologías son sistemas dinámicos de información, ya que permiten agilizar el acceso a ésta, modificarla si está errada, actualizarla, y generar relaciones entre componentes, es decir, entre los distintos conceptos o ramas que componen el dominio de conocimiento (Bermúdez, 2004). Adicionalmente, las ontologías pueden entregar conocimiento deducible a partir de las relaciones que conforman su estructura (Corcho *et al.*, 2003; Pérez, 2007).

Es importante mencionar que la ontología y un conjunto de individuos o instancias conforman la base de conocimiento o BDS (Noy y McGuinness, 2005). Las instancias

representan objetos concretos del dominio de conocimiento, pertenecientes a una clase. La colección de instancias constituye la base de hechos, también denominada base de datos o base de conocimiento. (Contreras y Martínez, s.a.). Según Muñoz (2009), las instancias son las ocurrencias en el mundo real de los conceptos.

Entre las ventajas o razones por las cuales se recomienda utilizar ontologías se enumera la posibilidad de compartir el entendimiento entre personas y máquinas (servidores y computadores), reutilizar el conocimiento de un dominio, explicitar supuestos, analizar el conocimiento de un dominio en relación al estudio de los términos y las relaciones entre éstos, facilitar el acceso a la información y capturar la estructura conceptual intrínseca del fenómeno o dominio (García, 2004; Noy y McGuinness, 2005; Barchini, 2006; Miguel *et al.*, 2008; Ramírez, s.a.).

Las ontologías pueden ser utilizadas como una herramienta en diversas Ciencias (Ingeniería de Inteligencia Artificial y Ciencias Computacionales), en aplicaciones relacionadas a la gestión del conocimiento, integración y diseño de base de datos, educación, entre otras, facilitando el acceso a la información y conocimiento, y agilizando las primeras etapas de la gestión de un dominio (Sánchez, 2007).

Este estudio pretende comprobar que las BDS pueden agilizar el proceso de toma de decisiones y acortar distancias semánticas entre el conocimiento de cada uno de los actores, (tomadores de decisiones, usuarios, expertos, investigadores, científicos). Por lo que se desarrollará y evaluará el funcionamiento de una BDS basada en ontologías de la clasificación de cuerpos de agua de Chile (MMA, 2011a). Se utilizará este dominio en primer lugar por la diversidad de tipos de cuerpos de agua existentes a nivel nacional, lo que radica en la diversidad y volumen de información del dominio, y en la manipulación y sistematización de ésta. Adicionalmente, se selecciona este dominio por las dificultades de comunicación y entendimiento entre los distintos actores<sup>1</sup> relacionados directa o indirectamente con el dominio, lo cual influye en retrasos en la gestión y en la toma de decisiones debido que todos los actores manejan diferentes connotaciones de los conceptos utilizados, situación abordada por la BDS. Finalmente, se utiliza este dominio por las dificultades de acceso a esta información, ya sea por el costo que presenta o por el nivel de información disponible. Todas estas variables retrasan y complejizan la toma de decisiones en el contexto de la gestión de la clasificación de cuerpos de agua en el sector público.

---

<sup>1</sup> Tales como, hidrólogos, biólogos, limnólogos, actores institucionales, actores del gremio turístico, ingenieros, expertos ambientales, expertos en ecosistemas, entre otros

## **Objetivos**

### **Objetivo General**

Evaluar la aplicación de bases de datos semánticas de la clasificación de cuerpos de agua de Chile, en el proceso de transferencia de conocimiento científico a los tomadores de decisiones del sector público

### **Objetivos específicos**

- Desarrollar una base de datos semántica de la clasificación de cuerpos de agua de Chile.
- Evaluar la base de datos semántica de la clasificación de cuerpos de agua de Chile como herramienta de transferencia del conocimiento científico a los tomadores de decisiones del sector público.

## MATERIALES Y MÉTODOS

El presente trabajo consta de dos etapas correspondientes al desarrollo de la BDS y a la evaluación de la BDS de la clasificación de cuerpos de agua de Chile, como herramienta de transferencia del conocimiento científico a los tomadores de decisiones del sector público y/o usuarios.

La aplicabilidad de las BDS se comprueba mediante la construcción de una ontología, la cual se ajusta al dominio que se espera evaluar. Como se mencionó anteriormente se escogió trabajar con la clasificación de cuerpos de agua por su diversidad a nivel nacional, por las dificultades de comunicación y entendimiento entre los actores relacionados con el dominio y a las dificultades de acceso a la información, ya sea por el costo que presenta o por el nivel de información disponible. A continuación se expone la metodología utilizada para concretar cada uno de los objetivos específicos.

### Desarrollo de Base de Datos Semántica

La metodología del desarrollo de la BDS consta de 4 secciones: descripción de la BDS, descripción del dominio correspondiente a la clasificación de cuerpos de agua, pasos metodológicos de construcción de la BDS y validación de ésta.

#### Descripción de la base de datos semántica

Las bases de datos contienen una gran cantidad de información en algunos casos inmanejable, como por ejemplo la Web, en la cual se concentran grandes volúmenes de información de diversos ámbitos. Esta situación repercute en el tiempo y la precisión de la búsqueda debido a los diversos significados que puede tomar un término en distintos dominios. Esta situación se supera mediante las bases de datos semánticas las cuales integran el significado (Flórez, 2008; De Giusti *et al.*, 2009). En este contexto surge la denominada Web semántica, la cual tiene como objetivo explicitar el significado de los contenidos de documentos en la red, de esta forma los contenidos son comprensibles para máquinas u ordenadores.

Las BDS corresponden a soportes de conocimiento en los que se representa el área de estudio mediante la explicitación de conceptos relevantes (clases y propiedades), sus relaciones y la base de hechos u objetos (instancias). Las BDS se definen mediante ontologías y están constituidas por dos componentes, la estructura o parte terminológica (ontología) y las instancias o parte intencional (afirmaciones sobre individuos concretos) (Roldán-García y Aldana-Montes, 2007; Roldán-García y Aldana-Montes, 2008). La ontología corresponde a la estructura de la BDS con la que se conceptualiza el

conocimiento del área de estudio (dominio) en base a una jerarquía de clases<sup>2</sup> y a la explicitación de atributos de estas clases.

El término ontología proviene de la filosofía y se define como “el estudio metafísico de la naturaleza del ser y la existencia” o “la explicación sistémica de la existencia como es percibida por los humanos” (Barchini, 2006), es decir, el estudio de lo que existe. Actualmente, el término es utilizado en áreas de estudio como la inteligencia artificial, bases de datos, transferencia de conocimiento y como apoyo en la construcción de sistemas expertos (Liao, 2005)<sup>3</sup>. Para efectos de este trabajo, la ontología se define como “una especificación formal y explícita de una conceptualización compartida”, (León, s.a.; Contreras y Martínez, s.a.; Gruber, 1993; Corcho *et al.*, 2003; Alameida y Bax, 2003; Bermúdez y Piasecki, 2004; Sánchez, 2007), es decir, una base de datos en la cual se describen los conceptos relevantes de un dominio de conocimiento, algunas propiedades y sus relaciones (Muñoz y Aguilar, 2009). Adicionalmente, las ontologías pueden entregar conocimiento deducible a partir de las relaciones que conforman su estructura (Corcho *et al.*, 2003; Pérez, 2007).

Las ontologías permiten: 1) compartir la comprensión de un dominio entre personas o máquinas; 2) reutilizar el conocimiento contenido en una ontología; 3) facilitar el acceso a la información; 4) explicitar supuestos de un dominio; 5) analizar el conocimiento del área temática en relación a términos y relaciones; y 6) crear un entendimiento compartido lo cual facilita la comunicación entre los actores relacionados en su construcción y utilización (García, 2004; Barchini, 2006; Miguel *et al.*, 2008; Ramírez, s.a.).

El diseño y construcción de una ontología requiere de claridad en cuanto a los objetivos que motivan su construcción, de esto dependerá la estructura y los componentes utilizados en ella (Rivera *et al.*, 2009).

**Elementos de la ontología:** El conocimiento en las ontologías se estructura en base a los siguientes componentes: Clases, Propiedades o Atributos, Relaciones e Instancias.

*Clases:* Las clases representan un patrón o plantilla en la que se basan objetos que son similares. Es decir, un objeto que pertenezca a una clase posee características, métodos, tipo de datos (los valores pueden diferir) descritas en esta (Muñoz y Aguilar, 2009). Por ejemplo, tipos de cuerpos de agua, tipos de vegetales, muebles, etc.

En la ontología las clases son organizadas en taxonomías dando lugar a superclases, clases y subclases, además constituyen la pieza básica de estructuración del conocimiento

---

<sup>2</sup> Conceptos del dominio de conocimiento considerados plantillas o agrupaciones de objetos con similares características

<sup>3</sup> Las ontologías son un tipo de metodologías utilizada para la construcción de Sistemas Expertos siendo consideradas como sistemas de vocabulario, y útiles para la descripción de cosas dentro de un dominio de conocimiento. Este vocabulario es utilizado como “*comunicación básica entre expertos e ingenieros del conocimiento*” (Liao, 2005)

(Contreras y Martínez, s.a.; Sánchez, 2007; León, s.a.). Las clases se pueden clasificar en clases abstractas y concretas, las clases abstractas no presentan instancias<sup>4</sup> directas y se utilizan para agrupar conceptos y jerarquizar. Por el contrario, las clases concretas son aquellas que permiten introducir instancias (Contreras y Martínez, s.a.). Por ejemplo, la clase vegetales, puede conceptualizarse como una clase concreta y sus instancias corresponderían a vegetales como apio, lechuga, pepino, etc. En el caso de las clases abstractas no es posible ejemplificar, debido a que las clases abstractas dependen de la conceptualización que se realice para su determinación (Figura 1). Del mismo modo, es posible diferenciar clases hermanas y disjuntas, las clases hermanas corresponden a aquellas clases que nacen de una misma superclase, las que deben presentar el mismo nivel de generalidad. Las clases disjuntas son aquellas que no pueden tener ninguna instancia en común (Figura 1; Noy y McGuinness, 2005)

Es importante mencionar que las clases representan un concepto en el dominio y que el nombre de la clase no presenta estrecha relación con el concepto en sí. El nombre de una clase puede variar dependiendo de la terminología que se utilice, pero el concepto sigue siendo el mismo. Adicionalmente, los sinónimos de una clase no representan un nuevo componente o una nueva clase en la ontología (Noy y McGuinness, 2005).

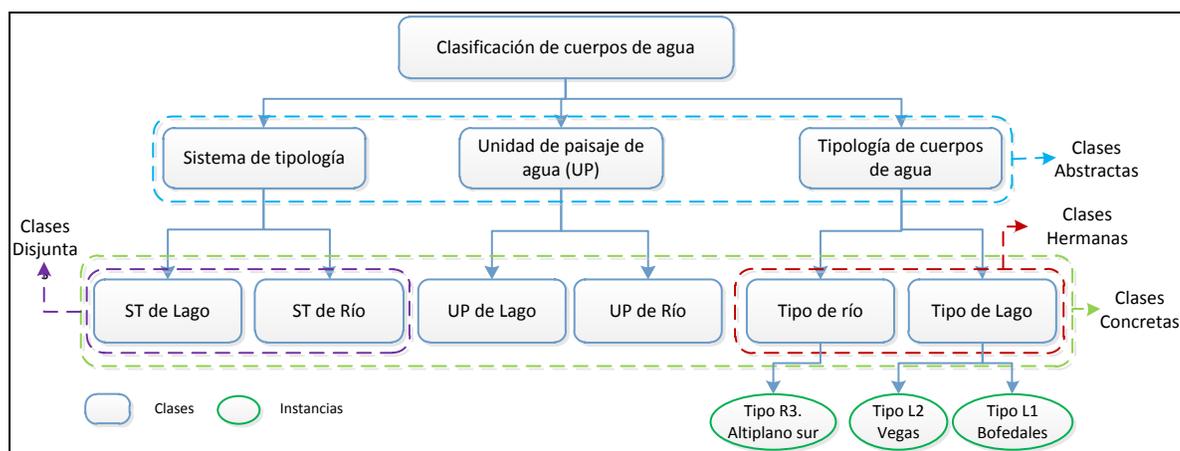


Figura 1. Diagrama explicativo de clases en la ontología la clasificación de cuerpos de agua

*Atributos o propiedades:* Se refiere a las características que definen a cada clase, es decir, su estructura interna. Los atributos se clasifican en específicos y heredados, los atributos específicos son propios de la clase y los heredados son resultado de las relaciones existentes entre éstas (herencia) (Figura 2; Muñoz y Aguilar, 2009).

<sup>4</sup> Las instancias son la existencia de los conceptos en la realidad, es decir, cada atributo queda asignado con valor concreto (Muñoz, 2009). Por ejemplo: Río Loa, Lago Todos los Santos.

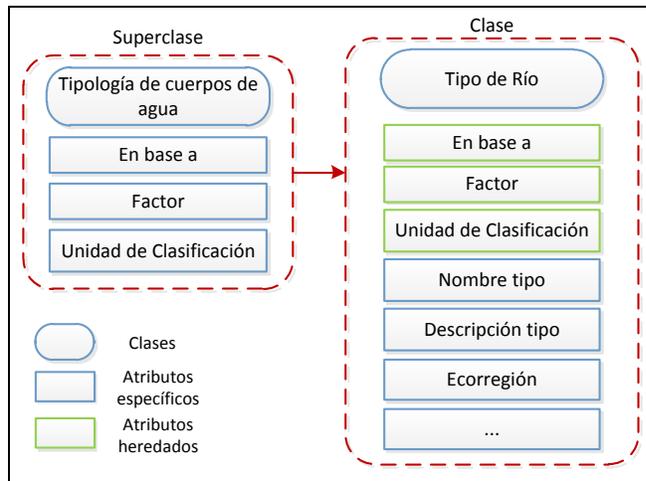


Figura 2. Diagrama explicativo de atributos

Las propiedades quedan definidas en prosa y por las facetas o características que en palabras simples son los rangos y categorías permitidas en cada atributo (Contreras y Martínez, s.a.; Barchini *et al.*, 2009). También llamadas restricciones de roles, describen valores de las propiedades, los valores permitidos, la cardinalidad, y cualquier otra características que el atributo pueda tomar. Entre los tipos más comunes de facetas están la cardinalidad (permiten definir cuántos valores pueden tener un atributo), el tipo de valor del atributo (String, número, booleanos, etc), dominio y rango de una propiedad, etc (García, 2004).

*Instancias:* Las instancias son las ocurrencias de las clases en la realidad, es decir, cada atributo de clase queda asignado con un valor concreto (Muñoz y Aguilar, 2009). En la Figura 3 se observa en el costado izquierdo la clase “Tipo de Río” y seis atributos En base a, factor, unidad de clasificación, nombre tipo, descripción tipo y ecorregión. Al introducir una instancia a la ontología estos atributos deben tomar un valor concreto, como se ve en el costado derecho de la figura, en la cual la instancia 1 representa Tipo R1. Altiplano norte con dominancia silícea.

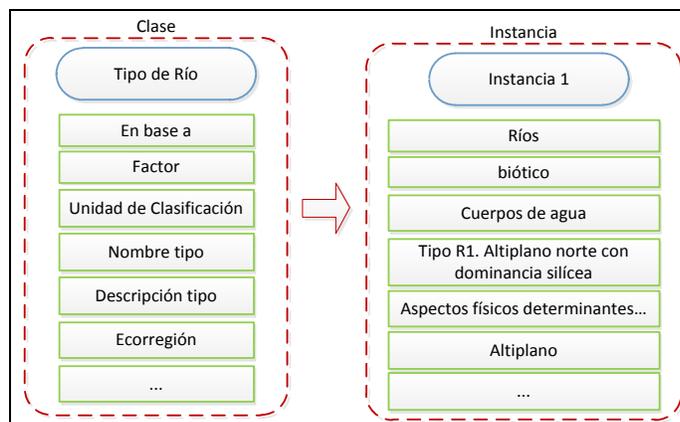


Figura 3. Diagrama explicativo de las instancias

**Relaciones:** Las relaciones en la ontología representan las interacciones entre los conceptos de un dominio. Estas pueden ser del tipo “X forma parte de Y”, “d está conectado a f”, “M subclase de N”, etc. (Contreras y Martínez, s.a.; Lozano, 2001; Muñoz y Aguilar, 2009). Las relaciones más simples dentro de las ontologías son aquellas que se modelan en base a una propiedad o atributo cuya faceta o características es una instancia de otra clase. Por ejemplo, si consideramos las clases autor y publicaciones, podemos crear una relación mediante un atributo cuyos valores sean instancias de la clase autores. En la Figura 4 se ilustra el ejemplo mencionado en que Autor constituye un atributo de la clase Publicaciones (Contreras y Martínez, s.a.).

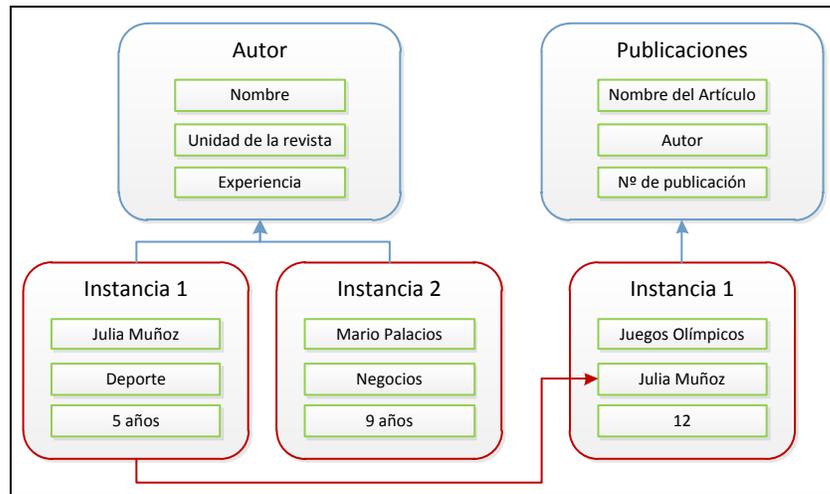


Figura 4. Diagrama explicativo del tipo de relación instancia-atributo

Las relaciones más comunes son: clase-instancia (p.e. Clase Países con la instancia Chile), clase-atributo, clase-subclase y atributo-instancia (donde un atributo tiene establecido como valores posibles las instancias de otra clase; Pedraza-Jiménez *et al.*, 2007).

**Metodologías:** Las ontologías se pueden elaborar utilizando las siguientes metodologías (Contreras y Martínez, s.a.):

**Diligencia (Diligence):** La ontología se construye en base a un proceso social, distribuido y poco controlado, enfatizando en el consenso del grupo.

**Preguntas de competencia (Competency questions):** Esta metodología considera una serie de preguntas mediante las que se identifican las instancias. Posteriormente, se deducen las clases y generalizan dependiendo del nivel de detalle de la futura ontología.

**“Methontology”:** Esta metodología fue creada por el laboratorio de inteligencia artificial de la Universidad de Madrid y comprende una serie de tareas las cuales buscan delimitar y conceptualizar el dominio, y construir la ontología. En la Figura 5 se esquematiza el procedimiento que considera la metodología (Gil *et al.*, 2007; Corcho *et al.*, 2003).



Figura 5. Proceso de desarrollo ontológico

Fuente: Modificado de León, s.a.

La etapa de conceptualización incluye la identificación de términos relevantes del dominio, la definición clara de cada uno de esos términos y la construcción de una taxonomía acorde a los requerimientos establecidos en la etapa de especificación. La formalización considera la construcción de la ontología y la implementación del modelo conceptual con lenguajes formales. Finalmente, el mantenimiento comprende la revisión, eliminación e incorporación de conceptos e instancias (Contreras y Martínez, s.a.; Corcho *et al.*, 2005).

“On- To- Knowledge”: Esta metodología se enfoca principalmente, en las aplicaciones de la ontología. Por lo que considera un estudio de viabilidad, la delimitación del dominio, la construcción orientada a la aplicación, evaluación y mantenimiento (Contreras y Martínez, s.a.).

Es importante mencionar que no existe un modo correcto de modelar un dominio, esto dependerá de los objetivos y de las futuras aplicaciones (Contreras y Martínez, s.a.).

### **Dominio: Clasificación de Cuerpos de Agua de Chile**

La Directiva Marco del Agua (DMA) de la Unión Europea establece un marco de acción sobre las aguas continentales, aguas de transición, aguas costeras y aguas subterráneas, con el fin de mantener o mejorar las condiciones ecológicas del medio acuático. Los objetivos de este documento se enfocan principalmente en la prevención del deterioro ambiental, el mejoramiento de las condiciones de los ecosistemas acuáticos, la disminución de vertidos peligrosos y contaminantes, el desarrollo sustentable y la mitigación de los efectos de las inundaciones y sequías (Parlamento Europeo, 2000).

Para el mejoramiento de las condiciones ambientales de los cuerpos de agua, la DMA propone un proceso metodológico basado en tipos biológicos de ecosistemas. El proceso tiene como base la identificación de las ecorregiones del país, las cuales representan macrounidades territoriales con características físicas homogéneas que determinan ecosistemas acuáticos. Posteriormente, se definen los cuerpos de agua a clasificar, es decir, si la tipología considerará ríos, lagos, aguas subterráneas, aguas de transición y/o aguas costeras (MMA, 2011a).

El siguiente paso considera la definición del sistema de tipología, es decir, los criterios y rangos abióticos considerados relevantes en la diferenciación de tipos de cuerpos de agua. Luego se define la tipología utilizando como base las combinatorias resultantes del sistema de tipología y el conocimiento biológico del país. Posteriormente, se clasifican los cuerpos de aguas, se identifican los cuerpos de agua de referencia por tipo biológico, se seleccionan presiones o estresores, y características biológicas del ecosistema con las cuales se elaboran los análisis de correlación para finalmente obtener métricas o bioindicadores. Por último, se define una escala de calidad ecológica, metas ecológicas por tipo de cuerpo de agua y normas de muestreo para la calificación del cuerpo de agua (MMA, 2011a).

Esta clasificación permite gestionar y aplicar programas y medidas que mejoren la calidad de las aguas y los ecosistemas acuáticos (MMA, 2011a). La tipología puede ser utilizada para diversos fines relacionados con la gestión de recursos hídricos como la protección y manejo de cuerpos de agua, restauración del estado natural de estos y conservación de la biodiversidad. Además constituye una base sólida de conocimiento de los tipos de cuerpos de agua y de los ecosistemas y especies que dependen de la calidad de éstos (MMA, 2011a).

La clasificación de cuerpos de aguas en Chile se basa en modelo europeo, el cual cuenta con Ecorregiones establecidas para todo el continente. En el proceso de desarrollo de la clasificación de cuerpos de agua chilena se generaron cinco ecorregiones: Altiplano, Atacama, Mediterránea, Lagos Valdivianos y Patagonia, definidas con mayor detalle en la BDS adjunta (CONAMA, 2010; MMA, 2011a). En el Cuadro 1 se visualiza el sistema de tipología chileno correspondiente a los criterios de clasificación de cuerpos de agua y sus respectivas categorías, los cuales en su conjunto permiten diferenciar distintos tipos de cuerpos de agua según la biocenosis de cada uno de ellos (MMA, 2011a, MMA, 2011b). Es importante mencionar que la unidad de clasificación básica en el caso de ríos corresponde a la subsubcuenca y en el caso de lagos corresponde al cuerpo de agua.

Cuadro 1. Criterios abióticos del sistema de tipología<sup>5</sup> chileno

<b>Criterio</b>	<b>Ríos</b>	<b>Lagos</b>
Altitud (en metros sobre el nivel del mar)	Categoría 1: Muy baja (< 100 msnm) Categoría 2: Baja (100 a 800 msnm) Categoría 3: Media (800 a 1500 msnm) Categoría 4: Alta (1500 a 3500 msnm) Categoría 5: Muy alta (> 3500 msnm)	Categoría 1: Muy baja (< 50 msnm) Categoría 2: Baja (50 a 800 msnm) Categoría 3: Media (800 a 1500 msnm) Categoría 4: Alta (1500 a 3500 msnm) Categoría 5: Muy alta (> 3500 msnm)
Pendiente del cauce (en %)	Categoría 1: Baja (< 1%) Categoría 2: Media (1% a 3%) Categoría 3: Alta (> 3%)	No aplica
Sustrato predominante	Categoría 1: Limo Categoría 2: Arena Categoría 3: Grava Categoría 4: Rocas	No aplica
Caudal medio anual en régimen natural (en m <sup>3</sup> /s)	Categoría 1: < 5 m <sup>3</sup> /s Categoría 2: 5 a 50 m <sup>3</sup> /s Categoría 3: 50 a 200 m <sup>3</sup> /s Categoría 4: > 200 m <sup>3</sup> /s	No aplica
Geología	Categoría 1: Silíceo Categoría 2: Calcáreo Categoría 3: Evaporíticos y otros	Categoría 1: Silíceo Categoría 2: Calcáreo Categoría 3: Evaporíticos y otros
Tamaño del lago (Superficie en km <sup>2</sup> )	No aplica	Categoría 1: Muy Pequeño (< 1 km <sup>2</sup> ) Categoría 2: Pequeño (1 a 10 km <sup>2</sup> ) Categoría 3: Mediano (10 a 100 km <sup>2</sup> ) Categoría 4: Grande (> 100 km <sup>2</sup> )
Profundidad (en metros)	No aplica	Categoría 1: < 10 m Categoría 2: 10 a 50 m Categoría 3: > 50 m
Régimen de mezcla y estratificación del agua	No aplica	Categoría 1: Amíctico Categoría 2: Polimíctico Categoría 3: Monomíctico Categoría 4: Meromíctico

Fuente: MMA, 2011a y MMA, 2011b

<sup>5</sup> “Un sistema de tipología de cuerpos de agua es una herramienta que recoge aquellas variables que permiten diferenciar distintos Tipos de cuerpos de agua, de un territorio en particular, según la biocenosis de cada uno de ellos en sus estados naturales” (MMA, 2011a)

El proceso de clasificación chileno comprendió tres niveles de clasificación de cuerpos de agua correspondientes a combinatorias del sistema de tipología, las unidades de paisaje de cuerpos de agua y la tipología de cuerpos de agua. Las combinatorias corresponden al resultado del cruce de los criterios señalados anteriormente, dando lugar a un elevado número de unidades (720 para ríos y lagos) sobre las cuales se generan las unidades de paisajes y tipos de cuerpos de agua. Las unidades de paisaje de agua se definen como “paisajes o sectores del territorio prácticamente homogéneos en cuanto a sus características geológicas, geomorfológicas y pedológicas y representan el predominio de uno o varios tipos de cuerpos de agua, que pueden alternarse en pequeños espacios al interior de esta unidad” (MMA, 2011a). Finalmente, la tipología de cuerpos de agua se define como un “conjunto de tipos de cuerpos de agua que en condiciones naturales podrían existir en un territorio” (MMA, 2011a), por lo tanto, los tipos representan a los diversos ecosistemas acuáticos del país. La tipología chilena comprende 40 tipos de ríos y 17 tipos de lagos, descritos en la BDS adjunta.

Las unidades de paisajes y la tipología de cuerpos de agua fueron desarrolladas en el contexto de los estudios “Definición de la clasificación de cuerpos de agua” y “Generación de información cartográfica para el sistema de tipología de ríos y lagos de Chile” en base al conocimiento de expertos<sup>6</sup> y a cartografía, mediante la agrupación de subsubcuencas (unidades de paisajes) y de cuerpos de agua (tipología) con condiciones abióticas de cuerpos de agua similares. Estas unidades de clasificación sintetizan la relación entre parámetros abióticos y biocenosis y la percepción del medio de los expertos del país (MMA, 2011a).

Es importante destacar que el proceso de clasificación de cuerpos de agua del caso chileno se sustentó en el trabajo conjunto con expertos nacionales en ecosistemas acuáticos, en las cuales se logró el consenso y la comprensión entre los profesionales y expertos nacionales y alemanes, los que apoyaron el proceso mediante el conocimiento de la realidad nacional y su experiencia metodológica del proceso alemán, respectivamente.

Los estudios realizados para el desarrollo de la clasificación de cuerpos de agua exponen la relación abiótica y biológica, normalmente contenida en el conocimiento de expertos nacionales en ecosistemas acuáticos. La explicitación de términos, relaciones y significados biológicos de factores abióticos corresponde a un resultado relevante comúnmente implícito entre los expertos. El ejercicio de traducir y entregar en un soporte adecuado el conocimiento experto se materializa como un puente entre los expertos del dominio y los tomadores de decisiones. Por lo tanto, el dominio de la clasificación de cuerpos de agua de Chile corresponde a un dominio experto susceptible para su utilización en este estudio.

---

<sup>6</sup> El proyecto consideró entrevistas semiestructuradas a una muestra de expertos de cada una de las Ecorregiones del país

## Construcción de la Base de Datos Semántica

Una BDS se debe desarrollar a través de una ontología. Ramos (2009) recomienda elaborar un Documento de Requerimientos que especifique para qué se construye la ontología, la meta a alcanzar, descripción del dominio de información, posibles aplicaciones de la BDS, fuentes de conocimiento disponibles, usuarios potenciales de la base de datos y escenarios de uso. El objetivo de este documento es esclarecer el dominio y utilidad, de manera de no desviarse en el desarrollo de la base de datos semántica.

Junto con la elaboración del Documento de Requerimientos se definieron Preguntas de Competencia, es decir, preguntas que definen la información que contendrá la base de datos y que pueden encontrar su respuesta en ella (Ramos, 2009). Estas preguntas se utilizaron en la actividad correspondiente al desarrollo de la base de datos semántica, como guía en la construcción de ésta y posteriormente en la actividad correspondiente a la verificación y validación de la ontología.

Luego de la redacción de este Documento de Requerimientos y la definición de las preguntas de competencia se elaboró la ontología (estructura de la BDS) en base a una fusión de las metodologías “Methontology” y Preguntas de Competencia (“Competency questions”) expuestas anteriormente. La fusión está dada por la identificación de instancias, clases y propiedades mediante la metodología de Preguntas de Competencia (“Competency questions”) y la consideración de las etapas de desarrollo de la metodología “Methontology”.

A continuación se describen las actividades llevadas a cabo para la construcción de la BDS (Sánchez, 2007; Gil *et al.*, 2007; Figura 6):

1. Definición de alcance de la base de datos y dominio específico de ésta. Se delimita la información que contendrá la BDS.
2. Identificación de conceptos relevantes para la ontología. En esta actividad se identificaron los componentes que conforman la ontología, es decir, determinar clases, atributos o propiedades y relaciones. Posteriormente se realiza un glosario de términos y se define la taxonomía del dominio convirtiéndolo en una representación semiformal.

La definición de la taxonomía del dominio o jerarquía de clases es un proceso iterativo pudiendo modificarse durante la construcción e introducción de instancias a la BDS. Estas modificaciones involucran la redefinición de clases y atributos, la inclusión de nuevos atributos, modificaciones en el glosario y redefinición de la estructura taxonómica.

3. Construcción de ontología. Esta actividad consiste en formalizar la ontología, es decir, pasar de la conceptualización anterior a un lenguaje adecuado para trabajar. Para concretar este paso se utilizó el software Protégé, debido a que permite

construir la ontología e introducir las instancias, por lo tanto, posibilita el logro de los objetivos planteados<sup>7</sup>. El producto de esta actividad es la estructura de la base de datos semántica (ontología), con las definiciones de clases y propiedades.

4. Introducción de instancias (poblamiento de la BDS). En esta actividad se introdujeron los objetos pertenecientes a cada una de las clases de manera de obtener una base de datos que contenga la clasificación de cuerpos de agua de Chile, la cual podrá ser utilizada por cualquier usuario y se podría convertir en un apoyo a la toma de decisiones. El producto de esta actividad es la base de datos semántica, es decir, la estructura (ontología) y la asignación de las instancias a cada clase.

Es importante recalcar que el proceso de desarrollo y construcción de una base de datos semántica no es lineal. Por el contrario, es un proceso cíclico, ya que la construcción y poblamiento de la BDS materializa la estructura abstracta desencadenando análisis de ésta, provocando modificaciones en su estructura, incorporando o eliminando conceptos que se acercan o alejan del objetivo de la base de datos planteado.

El diseño de una base de datos semántica requiere de claridad en la utilización final y en la percepción y conceptualización de la o las personas que la construyen. Es importante mencionar que el diseño final es totalmente dependiente de la persona que conceptualice el dominio, por lo que existirán tantas bases de datos como diseñadores o grupos de diseñadores aborden su construcción.

La identificación de conceptos y su rol en la BDS como clases, atributos o propiedades e instancias se obtuvo de los estudios de “Clasificación de cuerpos de agua”, “Definición de la clasificación de cuerpos de agua” y “Generación de información cartográfica para el sistema de tipología de ríos y lagos de Chile”, realizados por el Departamento de Ciencias Ambientales y Recursos Naturales Renovables de la Universidad de Chile, en el período diciembre 2009 a septiembre 2011, para el Ministerio de Medio Ambiente. Adicionalmente se utilizó cartografía afín para la identificación de las instancias.

---

<sup>7</sup> Software de código abierto desarrollado por la Universidad de Stanford

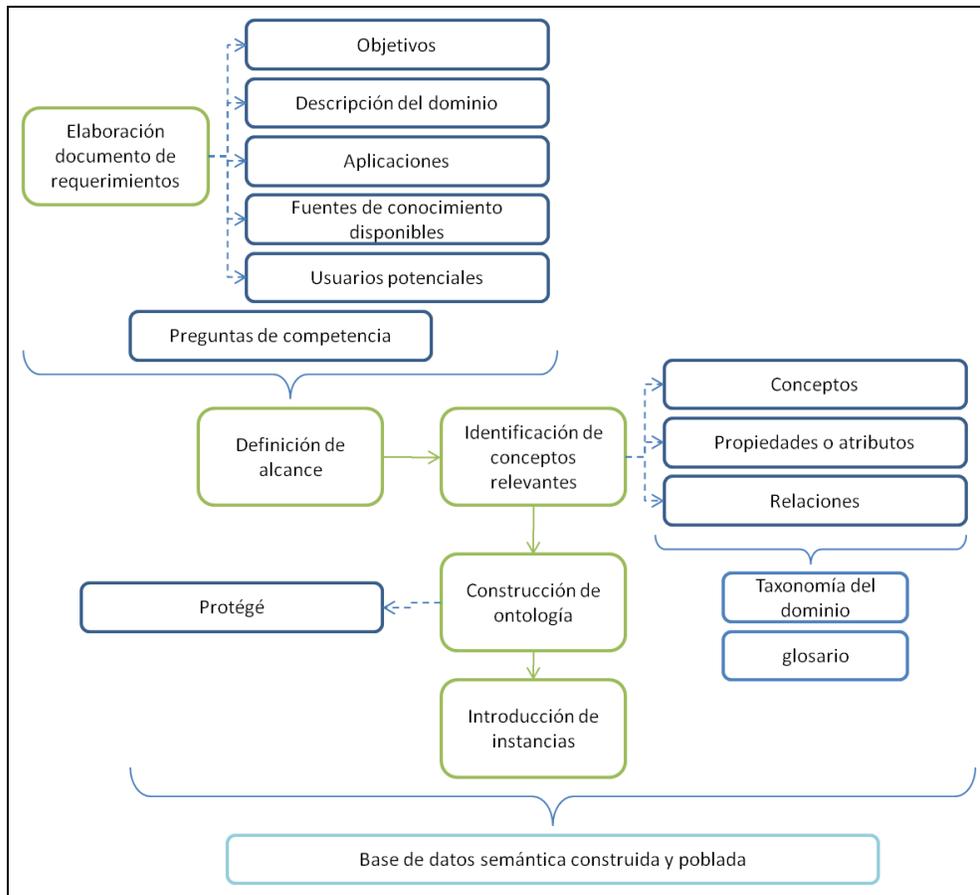


Figura 6. Esquema del procedimiento para el diseño y construcción de la BDS

### Validación de la Base de Datos Semántica

Esta actividad se realizó para evaluar la funcionalidad de la BDS y chequear si satisface los criterios de diseño preestablecidos en el Documento de Requerimientos y en las Preguntas de Competencia. Esta evaluación se compone de 2 aspectos, verificación y validación.

La verificación se asegura de la correcta construcción de la ontología, es decir, que las definiciones se implementen correctamente, esto se puede comprobar mediante una serie de consultas que corresponden a las Preguntas de Competencia establecidas en el procedimiento explicado anteriormente.

La validación de la ontología consiste en verificar si esta ontología modela realmente el fenómeno o dominio, si refleja lo que ocurre en la realidad (Muñoz y Aguilar, 2009). La importancia de esta etapa radica en responder a la posible aplicabilidad de esta herramienta en el campo de los recursos hídricos, ayudando de esta forma a la toma de decisiones.

La verificación y validación se realizó considerando como criterios el uso correcto del lenguaje, exactitud de la estructura taxonómica, validez del vocabulario y adecuación a requerimientos, criterios establecidos para la evaluación de ontologías únicas en su dominio. Los cuales se detallan a continuación (Ramos *et al.*, 2009; Figura 7):

1. Lenguaje: Este criterio evalúa el lenguaje utilizado en la ontología, el cual debe ser completo y sin errores, para lo cual se realizó un chequeo manual del lenguaje y definiciones. Normalmente, este criterio se evalúa con razonadores, aplicaciones de software que comprueban la adecuada utilización del lenguaje semántico<sup>8</sup> (OWL, RDFS, RDF) en la ontología (Marreno *et al.*, 2006). La base de datos elaborada no utiliza este lenguaje semántico debido a su complejidad y a que su utilización no influye en el cumplimiento de los objetivos planteados.
2. Exactitud de la estructura taxonómica: Evalúa la consistencia, completitud y no redundancias de la ontología. Para su evaluación se debe realizar una revisión manual y minuciosa de los siguientes puntos: definiciones iguales en instancias y clases, omisión de conocimiento disjunto entre clases, ausencia de conceptos relevantes, redundancia de relaciones, conceptos que no pertenezcan a la clase asignada y clases e instancias con diferentes nombres pero iguales definiciones.
3. Validez del vocabulario: Evalúa el significado de los términos y conceptos en relación al conocimiento de expertos, recopilaciones de textos y estudios del dominio (corpus del dominio). Para la evaluación de este criterio se identificaron los términos significativos del dominio<sup>9</sup> y su respectivo respaldo con el corpus del dominio. En base a este listado y a los conceptos seleccionados<sup>10</sup> del glosario de términos se procedió a calcular la “precisión” y el “recall”, indicadores de calidad de resultados utilizados en escenarios de recuperación de información y aplicables en la validación de ontologías. Estos indicadores fueron adaptados por Ramos *et al.* (2009), en el contexto de la validación de ontologías únicas en su dominio.

La precisión se define como el porcentaje entre la cantidad de términos que se solapan entre la base de datos semántica (glosario de términos) y el corpus del dominio y la cantidad total de términos de la ontología. El resultado se interpreta como el porcentaje de términos de la ontología que se encuentran respaldados en el Corpus del dominio.

El “recall” se define como el porcentaje de términos que se solapan entre la base de datos semántica y el corpus del dominio en relación al total de términos en el

---

<sup>8</sup> Algunos razonadores compatibles con Protégé son Pellet y Racer

<sup>9</sup> Conceptos exclusivos del dominio, que presenten un connotación especial en él o que constituyen conceptos esenciales en éste

<sup>10</sup> Se excluyeron del análisis aquellos términos que no fueran propios del dominio o que fueran sub términos de un concepto de mayor jerarquía.

corpus. El valor obtenido en este indicador corresponde al porcentaje de términos del Corpus del dominio que fueron utilizados en la BDS.

En función de los valores obtenidos se establece una valoración cualitativa acerca de lo adecuado del vocabulario (Ramos *et al.*, 2009).

4. Adecuación a requerimientos: Busca validar si los requerimientos preestablecidos (Documento de requerimientos) son implantados en la ontología y si responde correctamente a las preguntas de competencia, las cuales pueden ser utilizadas como indicadores de alcance y del contenido representado en la ontología (Ramos *et al.*, 2009).

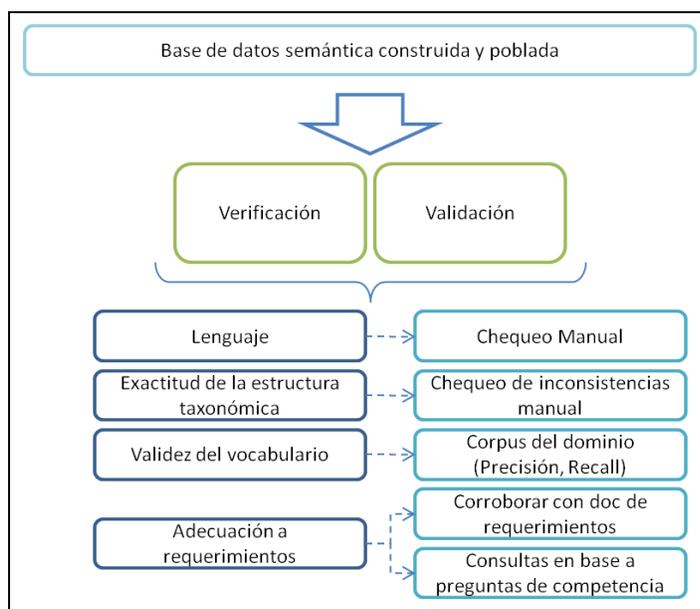


Figura 7. Esquema del procedimiento de validación y verificación de la BDS

### Evaluación de Base de Datos Semántica como herramienta de transferencia de conocimiento

En esta etapa se evaluó el uso de la base de datos semántica como herramienta de transferencia de conocimiento experto al sector público y/o usuarios<sup>11</sup>, mediante dos tipos de evaluaciones. La primera evaluación se realizó con profesionales del área ambiental ajenos al dominio (Licenciados e Ing. en Recursos Naturales renovables), y la segunda evaluación con los potenciales usuarios del sector público de la tipología de cuerpos de agua y contrapartes del equipo desarrollador del proceso de clasificación de cuerpos de agua. Se estableció como población objetivo a licenciados e Ingenieros en Recursos

<sup>11</sup> Recordar que la base de datos semántica contiene el conocimiento del dominio experto

Naturales Renovables con el fin de estandarizar el conocimiento de los evaluados. La selección de profesionales de diferentes carreras con una formación académica diferente aumentaría la diversidad y variabilidad de la población, lo cual influiría en el aumento del número de evaluados y en la posibilidad de obtención de una tendencia. Esta restricción genera una simulación del escenario de uso controlado y acotado, por lo tanto los resultados evidencian netamente aspectos relativos a los profesionales de esta carrera.

La evaluación con usuarios potenciales ajenos al dominio de la clasificación de cuerpos de agua buscaba simular el escenario de uso de la herramienta y obtener una evidencia que vislumbre que el uso de conocimiento e información organizada e interrelacionada disminuye los tiempos y facilita el acceso al conocimiento e información (experta y/o científica), lo que influye en los procesos posteriores como lo es la toma de decisiones. Esta evaluación confronta dos soportes de información, la base de datos semántica y los soportes tradicionales como lo son documentos y cartografía.

Al grupo de evaluación basado en la base de datos semántica se le realizó una pequeña capacitación basada en otro dominio, mostrándole como se estructuran los conceptos dentro del programa. Adicionalmente, se les entregó un manual básico de uso del programa (Apéndice I), el instalador de éste y la base de datos utilizada en la capacitación. Esta actividad busca la familiarización con el software, con el fin de disminuir sesgos por la interfaz o por la no comprensión de la estructura de éste.

El cuestionario de aplicación se encuentra en el Apéndice II, y su objetivo es la comparación de los tiempos de respuesta alcanzada con cada uno de los soporte de información y conocimiento. Las preguntas apuntan a la entrega de información precisa (datos) y a la resolución de dos problemas, el diagnóstico y la gestión de cuerpos de agua.

Este cuestionario se puso a prueba con dos personas (una por soporte de información) para evaluar la consistencia de éste, identificar la pertinencia de las preguntas, el tiempo destinado a la actividad y la metodología a seguir (toma de tiempos y presencia del evaluador). Tras la adecuación del cuestionario, se ejecutó la evaluación con 10 parejas, por lo que se obtuvieron 10 casos de cada uno de los soportes de información. El número de simulaciones responde al diseño de una investigación introductoria enfocada en la averiguación somera de las potencialidades del uso de conocimiento en procesos de búsqueda de información del ámbito de los recursos naturales. Esta investigación no busca representatividad ni generalizaciones en la población (Ing. RNR). La investigación diseñada se ve influenciada por las características personales de los evaluados como el aprendizaje y los mecanismos de estructuración de la información y conocimiento, por lo tanto, la población objetivo es heterogénea lo que repercute en el aumento del tamaño muestral. Este aumento no permite que esta investigación sea factible en este contexto, por lo cual, y basado en la no representatividad ni generalización de los resultados es que se opta por una muestra pequeña de 10 personas por caso de evaluación, número planteado por viabilidad y disponibilidad de profesionales, factibilidad de la actividad.

Otro factor relevante fue la selección de los evaluados en los dos grupos de evaluación, puesto que se debió identificar a aquellos profesionales con capacidades sobresalientes en sistemas de información geográfica, estos fueron evaluados con la BDS para disminuir las ventajas entre los dos grupos de evaluación. Adicionalmente no se permitió la familiarización con los documentos, cartografía y BDS antes de la actividad ya que esto podría ampliar ventajas dentro y entre los grupos.

La evaluación realizada a los usuarios del sector público consistió en una presentación del modo de estructuración de conocimiento, el software Protégé y la BDS y su estructura, y posteriormente, se realizó una entrevista semiestructurada. La evaluación se diseñó de este modo debido a que los actores institucionales poseen el conocimiento que contiene la BDS, por lo cual la evaluación estaría sesgada por el conocimiento adquirido con anterioridad. Esta evaluación fue aplicada a dos profesionales del Departamento de Estudios del Ministerio de Medio Ambiente<sup>12</sup>, ambos ligados al proceso de clasificación de cuerpos de agua del país. Se seleccionó al primero de los profesionales por el conocimiento del funcionamiento, relaciones y procesos de la institucionalidad ambiental chilena y por la visualización de futuras aplicaciones de los productos resultantes del proceso de clasificación, y al segundo profesional por la visión operativa del sistema de gestión y monitoreo basado en la tipología de cuerpos de agua de Alemania.

La entrevista tiene como objetivo reconocer las percepciones sobre la utilidad y posible implementación en la institucionalidad ambiental y en el proceso de operación de la tipología de cuerpos de agua. A continuación se exponen las interrogantes guías utilizadas en las entrevistas.

Después de la exposición sobre la herramienta ¿qué impresión tiene acerca de ésta?  
 ¿Considera que la herramienta podría mejorar la gestión de ciertas temáticas ambientales en la institucionalidad o en el dominio? ¿En qué otras temáticas sería útil la implementación de la herramienta?  
 ¿Qué obstáculos visualiza en la potencial implementación de la herramienta?

Las evaluaciones se llevaron a cabo de forma idéntica dentro de cada uno de los grupos evaluados, estos son: profesionales ajenos al dominio evaluados con documentos y cartografía, profesionales ajenos al dominio evaluados con la base de datos semántica y profesionales del Ministerio de Medio ambiente involucrados en el proceso de clasificación de cuerpos de agua. En todas estas evaluaciones estuvo presente el evaluador.

El análisis de los cuestionarios se centró en los tiempos de respuestas y su explicación ligada al modo de búsqueda y confrontación con la información. Es importante mencionar que esta evaluación no busca representatividad estadística, sino simular un escenario de

<sup>12</sup> Úrsula Partarrieu y Arnold Quadflieg profesional Alemán participante en el proceso de clasificación de cuerpos de agua Alemán y Chileno. Actualmente colabora con en el Ministerio de Medio ambiente Chileno.

uso y evidenciar si existe una diferencia entre soportes de información, lo que radicaría en la eficiencia y los procesos, ya sea de toma de decisiones o informativos, de la institucionalidad ambiental. Esto es relevante debido a que las decisiones y acciones llevadas a cabo en la temática ambiental son normalmente urgentes.

El análisis de las entrevistas semiestructuradas se centró en la obtención de percepciones acerca de las BDS como herramientas de transferencia de conocimiento y obstáculos que podrían existir al implementar este sistema de organización de la información y conocimiento. Al igual que la evaluación anterior no se busca la representatividad numérica, sino representatividad de opinión en cuanto al conocimiento del dominio, su proyección y operatividad.



## RESULTADOS Y DISCUSIÓN

### Desarrollo de Base de Datos Semántica

En esa sección se exponen los resultados correspondientes al Objetivo específico 1 el cual considera dos grandes actividades, el desarrollo de la BDS y su posterior verificación y validación.

#### Construcción de la Base de Datos Semántica

El documento de requerimientos fue elaborado en base a los objetivos declarados por el Ministerio de Medio Ambiente respecto de la tipología de cuerpos de agua<sup>13</sup>, entre ellos la gestión, el monitoreo, la implementación de un sistema de bioindicadores, la conservación y calidad del recurso hídrico y ecosistemas acuáticos. A continuación se exponen las preguntas consideradas para direccionar la construcción de la base de datos.

#### Documento de requerimientos

##### *¿Qué motiva la realización de esta ontología?*

Evidenciar que el manejo de conocimiento facilita el acceso a la información requerida disminuyendo los tiempos de acceso a la información. Adicionalmente, se pretende evidenciar que la brecha entre sectores político y científico en relación al conocimiento se puede solventar con herramientas de manejo de éste. Es decir, que el manejo de conocimiento científico organizado en una base de datos semántica, por parte de profesionales de la institucionalidad pública, podría disminuir los tiempos de acceso a la información y conocimiento experto propio del dominio, por ende disminuiría la brecha entre ambos sectores.

##### *¿Para qué se construye la ontología?*

Para apoyar el proceso de gestión y monitoreo de cuerpos de agua. Se pretende demostrar que el manejo de conocimiento y el ordenamiento de información en soportes como las bases de datos semánticas, facilita la gestión del sector público disminuyendo la dependencia a la interpretación de datos por parte de expertos.

##### *¿Cuál es la meta a alcanzar?*

Establecer la estructura de bases de datos semántica operativa y consistente para la

<sup>13</sup> La Comisión Nacional del Medio Ambiente, hoy Ministerio de Medio Ambiente, requería contar con una clasificación de los cuerpos de agua del país según ecosistemas acuáticos, determinando su extensión, ubicación y homología con ecosistemas acuáticos de otras cuencas. Esta clasificación debía ser operativa y permitir normar y monitorear cada ecosistema particular. Además, deberá identificar aquellos ecosistemas más representados en Chile y aquellos singulares.

clasificación de cuerpos de agua, adaptada para resolver problemas y apoyar el monitoreo y gestión de los cuerpos de agua del país, ya sea en el sector público o privado.

#### *Descripción del dominio*

El dominio contempla a la clasificación de cuerpos de agua de Chile, de lagos y ríos, con sus propiedades e instancias, y el diseño de un sistema de monitoreo en base a indicadores biológicos. Este último componente no ha sido desarrollado en Chile, por lo tanto, la base de datos sólo incluye las instancias provenientes de la clasificación de cuerpos de agua. Sin embargo, la estructura (ontología) de la BDS está completa y preparada para la incorporación de las instancias provenientes de la evaluación y monitoreo de los cuerpos de agua.

El dominio contempla todos los niveles de clasificación que intervienen en el proceso chileno, es decir, el sistema de tipología, las unidades de paisajes de agua y la tipología de cuerpos de agua.

#### *Posibles aplicaciones*

Esta base de datos semántica puede ser utilizada como soporte de conocimiento sobre la clasificación de cuerpos de agua, apoyo en el proceso de monitoreo y gestión de los cuerpos de agua, y para el manejo de la información biológica de los ecosistemas y especies de los cuerpos de agua de Chile.

#### *Fuentes de conocimiento disponibles*

Estudio “Clasificación de cuerpos de agua”, “Definición de la clasificación de cuerpos de agua” y “Generación de Información Cartográfica para el Sistema de Tipología de Ríos y Lagos de Chile”; estudios de clasificaciones de cuerpos de agua e investigaciones de ecosistemas en los cuales se definen términos similares a los utilizados en la clasificación realizada en el país. Estudios, tesis e informes técnicos y científicos.

#### *Usuarios potenciales*

Instituciones públicas y privadas que tengan competencia en el manejo de cuerpos de agua y ecosistemas acuáticos, y profesionales del área. También puede ser utilizada por estudiantes y universidades.

#### *Escenarios de uso.*

La BDS puede ser utilizada en campañas de monitoreo, estudios sobre indicadores biológicos, ecosistemas ribereños y acuáticos y apoyo a la docencia. Puede ser utilizada como base de datos y base de conocimiento.

Como se observa en el Documento de Requerimientos, la finalidad de la base de datos semántica es el apoyo y sustento a la toma de decisiones en el sector público. Esta base de datos pretende disminuir el tiempo dedicado a la toma de decisiones ya que la información relevante y el conocimiento se concentrarían en su totalidad en esta BDS, sin tener que recurrir a informes o grandes volúmenes de información. Adicionalmente, la base de datos

contiene la terminología del dominio, por ende los tiempos de interpretación y procesamiento de la información se acortan y se unifican conceptos entre usuarios.

Posteriormente y en base al Documento de Requerimientos se definieron preguntas de competencia las cuales deberán encontrar respuesta en la base de datos construida. Estas preguntas apoyan el proceso de diseño y construcción de la base de datos, guiando las decisiones de diseño. Por ejemplo, qué conceptos deben ser considerados clases o instancias para satisfacer las necesidades del usuario (sector público y privado principalmente).

#### Preguntas de competencia

- ¿Qué unidades de paisajes de lagos se encuentran en la Ecorregión Altiplano?
- ¿Qué características presenta la unidad de paisaje de río x?
- ¿A qué unidad de paisaje de agua de río pertenece el tramo x del Río Loa (por ejemplo)?
- ¿A qué unidad de paisaje de agua de lago pertenece el lago Budi? ¿Qué características presenta la unidad?
- ¿Qué lagos pertenecen a la unidad de paisaje de agua de lago X?
- ¿Qué ríos pertenecen a la unidad de paisaje de agua de río x?
- ¿Qué características abióticas posee el río x?
- ¿Qué lagos poseen más de 200 km<sup>2</sup>?
- ¿Qué lagos de la ecorregión altiplano se encuentran en la categoría alta del criterio altitud del sistema de tipología?
- ¿Qué sección de río presenta una pendiente mayor al 1%?
- ¿Cuál es el procedimiento de diagnóstico de un cuerpo de agua?
- ¿Qué cuerpo de referencia corresponde al lago x?
- ¿Cuál es el cuerpo de referencia del tipo de lago x?
- ¿Qué significa que un lago este catalogado como moderada calidad en el índice QAELS?
- ¿Qué medidas de acción se puede implementar en el cuerpo de agua x?
- ¿Qué medidas se pueden implementar para mitigar el estresor x?
- ¿La medida x a que estresor(es) mitiga?

**Definición de dominio y alcance:** En base a las preguntas de competencia y al documento de requerimientos, expuestos anteriormente, se definió el dominio y alcance de la BDS. El dominio comprendió la clasificación de cuerpos de agua de Chile y el monitoreo y gestión de éstos. Esta herramienta puede ser utilizada como soporte de información y conocimiento del área de estudio conteniendo toda la información relevante con sus implicancias, facilitando el manejo del conocimiento en el sector público y privado.

**Identificación de conceptos relevantes para la ontología:** Se procedió a identificar todos aquellos conceptos relevantes para la definición de la base de datos semántica. Se obtuvieron 61 conceptos para las clases (Cuadro 2) y 88 conceptos definidos como atributos. Es importante mencionar que se consideraron los conceptos que conforman la

clasificación, que fueron discutidos y consensuados en las mesas de trabajo realizadas en el proceso de clasificación de cuerpos de agua de Chile (Proyectos “Clasificación de cuerpos de agua” (CONAMA, 2010) y “Definición de la clasificación de cuerpos de agua” (MMA, 2011a)).

Cuadro 2. Conceptos incluidos como Clases en la BDS y su rol.

<b>N°</b>	<b>Concepto</b>	<b>Rol</b>	<b>N°</b>	<b>Concepto</b>	<b>Rol</b>
1	Subsubcuenca	Clase concreta	31	Criterio del Sistema de tipología de lago	Clase concreta
2	Ecorregión	Clase concreta	32	Criterio del Sistema de tipología de aguas de transición	Clase abstracta
3	Clasificación de cuerpos de agua	Clase abstracta	33	Criterio externo al Sistema de tipología	Clase concreta
4	Unidad de paisaje de agua	Clase abstracta	34	Criterio de clasificación	Clase concreta
5	Unidad de paisaje de agua de ríos	Clase abstracta	35	Sustrato predominante	Clase concreta
6	Unidad de paisaje de agua de lagos	Clase abstracta	36	Tamaño de lago	Clase concreta
7	Tipología de cuerpos de agua	Clase abstracta	37	Amplitud de mareas	Clase concreta
8	Tipos de río	Clase concreta	38	Altura lago	Clase concreta
9	Tipos de lago	Clase concreta	39	Altura Río	Clase concreta
10	Sistema de tipología de cuerpos de agua	Clase abstracta	40	Estratificación	Clase concreta
11	Sistema de tipología de Río (ST_de_Río)	Clase abstracta	41	Geología	Clase concreta
12	Río altiplánico	Clase concreta	42	Pendiente	Clase concreta
13	Río atacameño	Clase concreta	43	Profundidad	Clase concreta
14	Río mediterráneo	Clase concreta	44	Salinidad estuario	Clase concreta
15	Río valdiviano	Clase concreta	45	Salinidad	Clase concreta

(Continúa)

Cuadro 2. Clases incluidas en la BDS y su rol (continuación)

<b>Nº</b>	<b>Concepto</b>	<b>Rol</b>	<b>Nº</b>	<b>Concepto</b>	<b>Rol</b>
16	Río patagónico	Clase concreta	46	Caudal medio anual	Clase concreta
17	Sistema de tipología de Lago (ST_de_Lago)	Clase concreta	47	Evaluación de cuerpos de agua	Clase abstracta
18	Lago altiplánico	Clase concreta	48	Herramientas de diagnóstico y monitoreo	Clase abstracta
19	Lago atacameño	Clase concreta	49	Herramientas de gestión	Clase abstracta
20	Lago mediterráneo	Clase concreta	50	Cuerpo de agua de referencia	Clase concreta
21	Lago valdiviano	Clase concreta	51	Estresor	Clase concreta
22	Lago patagónico	Clase concreta	52	Métricas o índices	Clase concreta
23	Sistema de Tipología de Aguas de Transición	Clase concreta	53	Calidad ecológica	Clase abstracta
24	Cuerpos de agua continentales	Clase concreta	54	Calidad de río	Clase abstracta
25	Río	Clase concreta	55	Calidad de lago	Clase abstracta
26	Lago	Clase abstracta	56	Índice A	Clase concreta
27	Aguas de transición o estuarios	Clase concreta	57	Índice B	Clase concreta
28	Agua subterránea	Clase concreta	58	Índice C	Clase concreta
29	Criterios sistema de tipología	Clase concreta	59	Índice D	Clase concreta
30	Criterio del Sistema de tipología de río	Clase concreta	60	Índice E	Clase concreta
			61	Medidas de restauración	Clase concreta

Cada uno de los conceptos fue definido en base a la información expuesta en los documentos finales de los estudios antes mencionados, realizados en el contexto de la clasificación de cuerpos de agua de Chile. Adicionalmente, las definiciones se complementaron con información bibliográfica biológica y adaptaron para la mejor comprensión del usuario. El glosario se encuentra en el Apéndice III del presente documento.

En paralelo a la elaboración del glosario de términos se definió la estructura taxonómica o jerarquía de clases, la cual se confeccionó mediante esquemas que exponen los conceptos definidos como superclases, clases, subclases y sus respectivos atributos, listados en cada polígono de clase con letra cursiva. Cada una de las siguientes figuras presenta una leyenda en donde se diferencian estos tipos de clases.

La taxonomía de la BDS se estructuró bajo la idea central de generar un número limitado de superclases que agruparán los conceptos semánticamente cercanos. Por ejemplo, la Figura 8 presenta una superclase correspondiente a “Clasificación de cuerpos de agua” bajo la cual nacen los tres tipos de clasificación: Sistema de tipología (combinatorias de criterios de clasificación (Cuadro 1)), Unidades de paisaje de agua y Tipología de cuerpos de agua. La finalidad de esta sección de la BDS es exponer claramente cada uno de los tipos, unidades de paisaje y combinatorias de cuerpos de agua, junto a sus características definidas a través de los atributos (en la Figura 8 en letra cursiva en los polígonos definidos como clases).

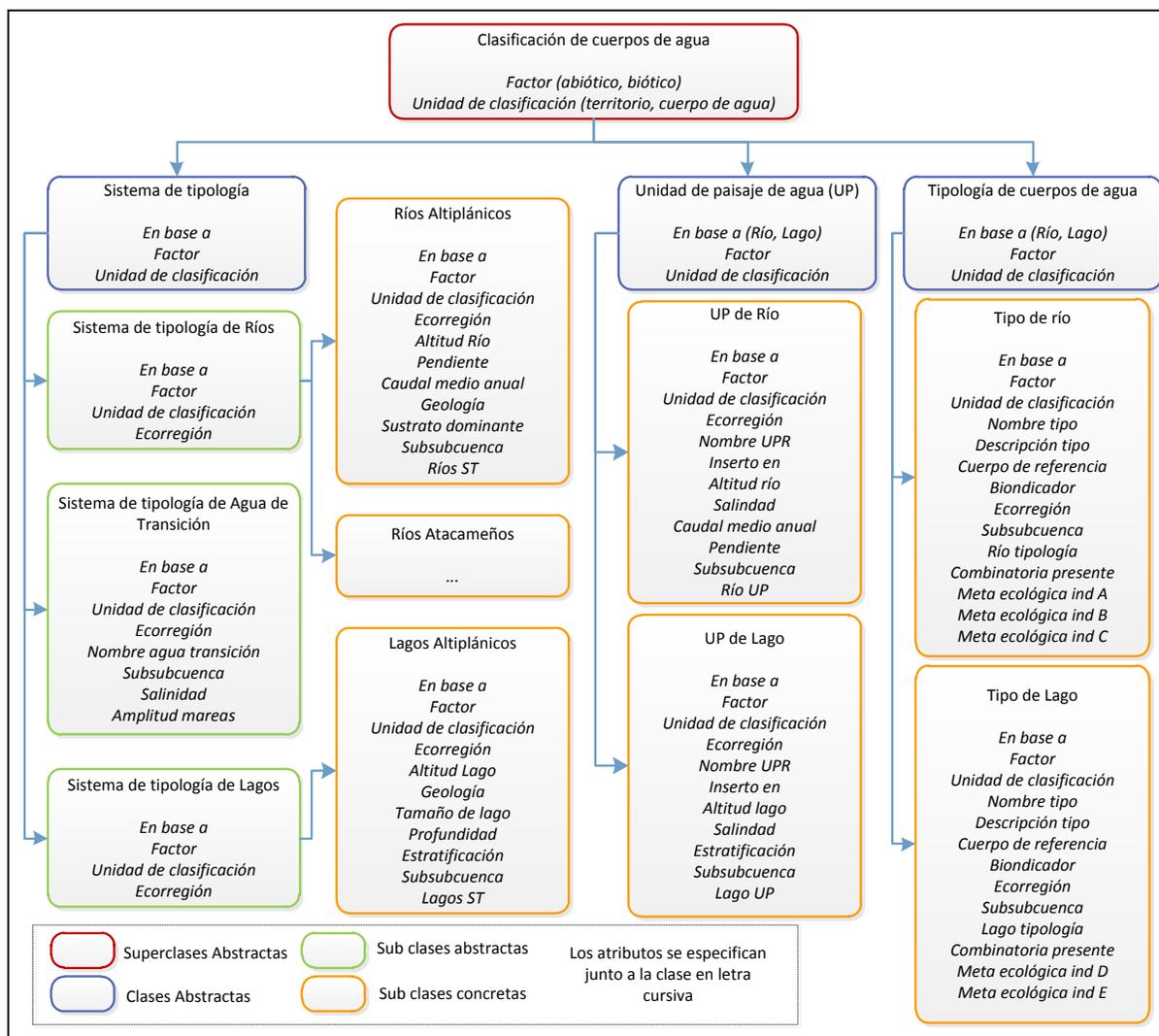


Figura 8. Estructura taxonómica y atributos de superclase “Clasificación de cuerpos de agua”

En segundo lugar se definió la superclase “Criterios de clasificación” (Figura 9), en la cual se exponen todos los criterios considerados en el proceso de clasificación de cuerpos de agua, diferenciados dependiendo del cuerpo de agua al que correspondan (ríos, lagos o aguas de transición). Cada una de las subclases concretas de la Figura 9, permiten la introducción de las categorías de clasificación de cada uno de los criterios (expuestas en el Cuadro 1). Por ejemplo, la subclase “Geología” permite la introducción de tres instancias: calcáreo, silíceo y evaporíticos y otros. Estas instancias constituyendo un input, mediante la relación atributo - instancia<sup>14</sup>, a las clases de clasificación mencionadas anteriormente.

<sup>14</sup> La relación atributo instancia se genera cuando un atributo tiene como valor permitido una instancia de otra clase.

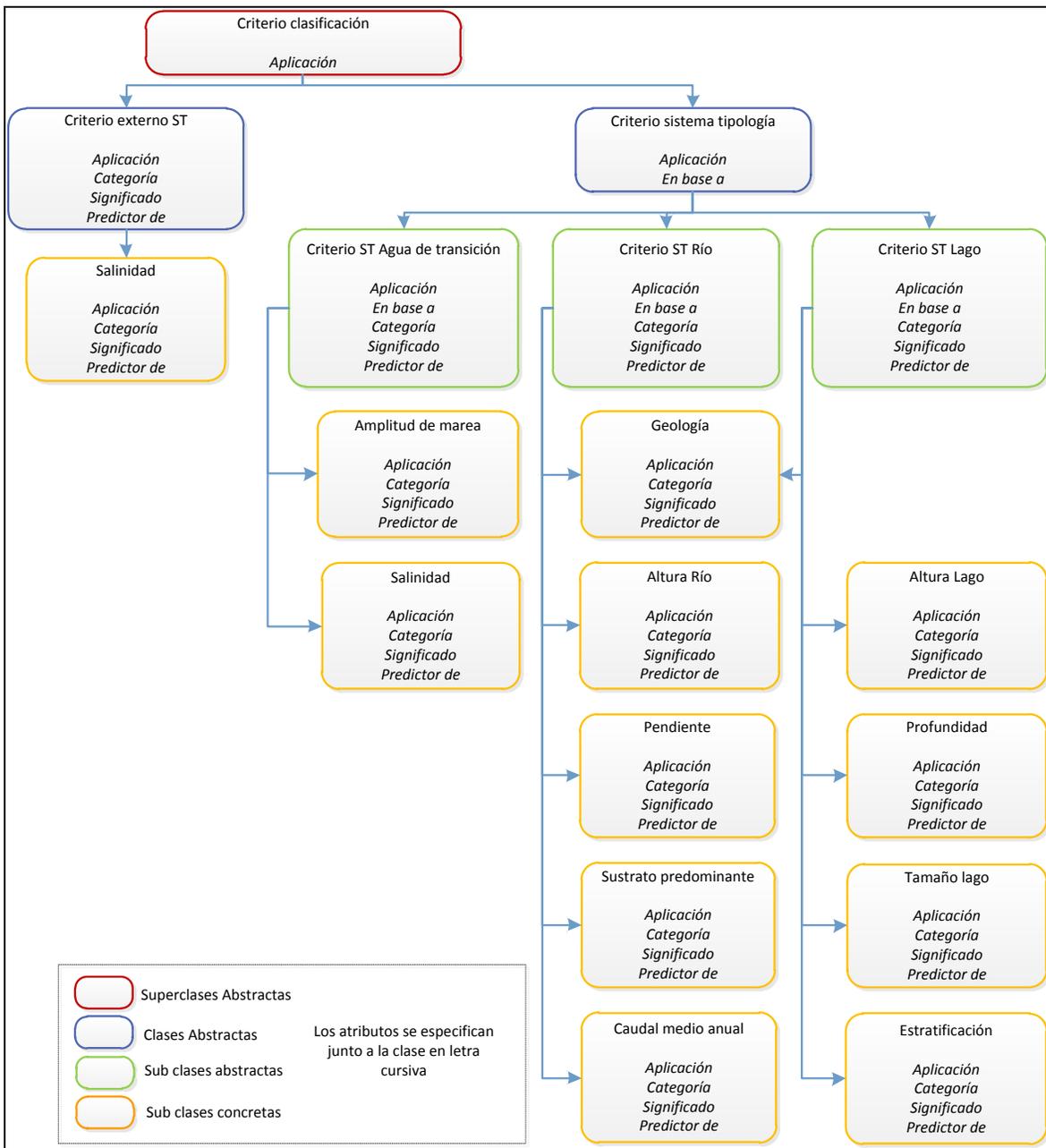


Figura 9. Estructura taxonómica y atributos de la superclase "Criterios de clasificación"

Adicionalmente, se definieron tres clases relacionadas con la geografía del país, éstas son: subsubcuencas, cuerpos de agua continentales y ecorregiones. Todas contienen instancias consideradas inputs de la clase "Clasificación de cuerpos de agua". En la Figura 10 se observan las clases junto a los atributos considerados en cada una de ellas. Es importante mencionar que las instancias de ríos corresponden a tramos del cuerpo de agua definidos por los límites de las subsubcuencas, unidad básica de clasificación de ríos definida en nuestro país.

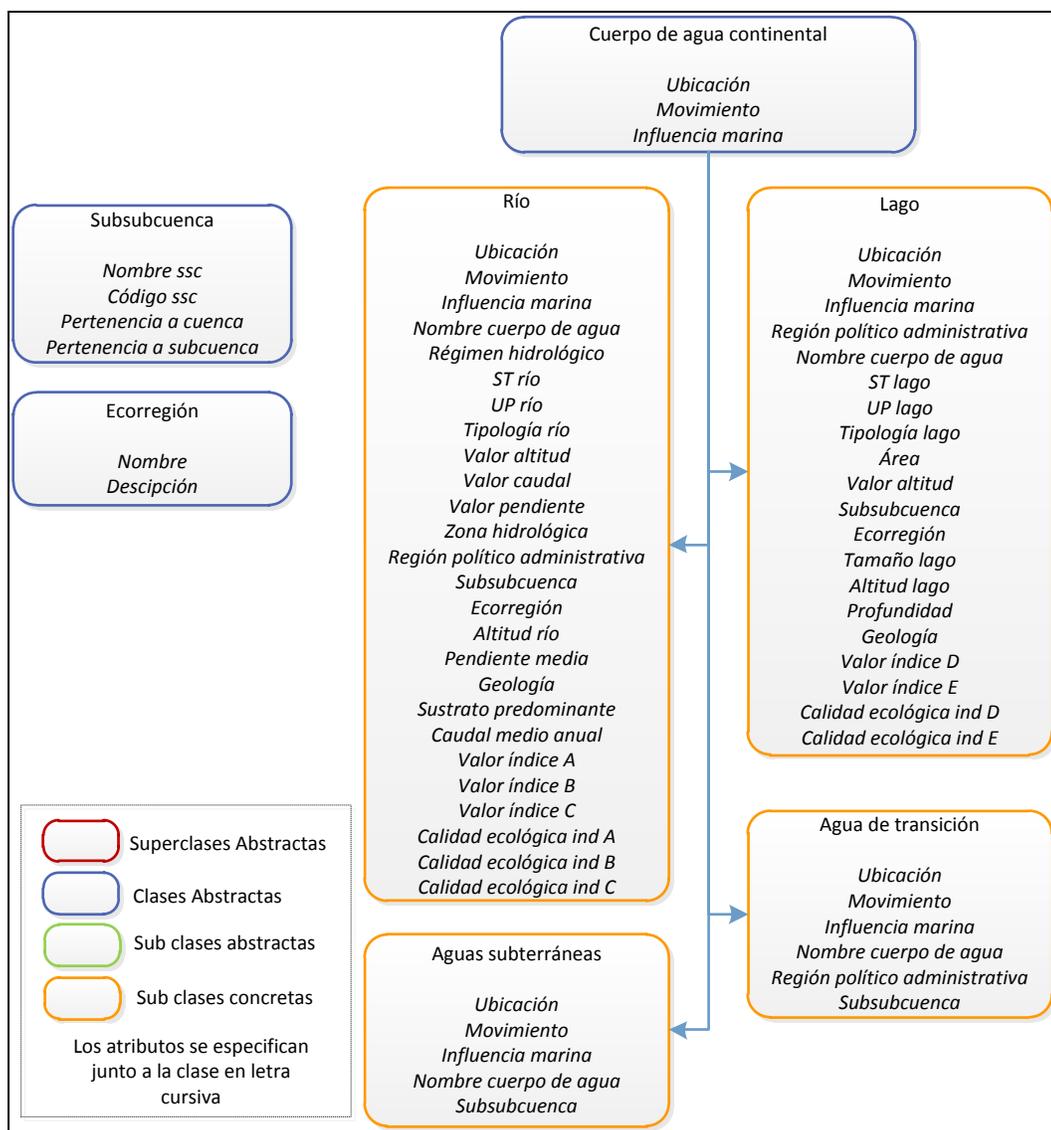


Figura 10. Estructura y atributos de las clases cuerpo de agua continental, subsubcuenca y ecorregión

En la Figura 10 se visualizan atributos de ríos y lagos no determinados que corresponden a valor índice A, B, C, D y E y calidad ecológica índice A, B, C, D y E. Estos atributos representan al valor de los índices de calidad ecológica y su categoría de calidad correspondiente, elementos que debiesen definirse en un plan de monitoreo y gestión de los cuerpos de agua. En el diseño de la estructura de la BDS quedan enunciados genéricamente para ser remplazados cuando estos sean definidos en el contexto de un sistema de monitoreo.

Adicionalmente, se puede observar que las superclases presentan atributos discriminadores que explicitan las diferencias entre cada una de las clases agrupadas en la superclase en cuestión. Estos atributos se desprenden de las definiciones de cada subclase. Por ejemplo, la

superclase Cuerpos de agua continentales presenta tres atributos discriminadores (Ubicación, movimiento, influencia marina) que combinados diferencian cuatro cuerpos de agua (Ríos, lagos, aguas subterráneas y aguas de transición). En el caso de la clase Río la combinatoria es la siguiente Ubicación: superficial; Movimiento: aguas corrientes; e Influencia marina: inexistente o indirecta.

Finalmente, se consideró una superclase que aborda el monitoreo y gestión de los cuerpos de agua en base a la tipología contenida en la base de datos semántica. Esta superclase contiene dos subclases las cuales se diferencian en el objetivo de las herramientas y variables, es decir, si su aplicación es la gestión o el diagnóstico y monitoreo de los cuerpos de agua. El diagnóstico está basado en la tipología de cuerpos de agua, por lo que las escalas ecológicas de calidad son específicas de cada tipo de cuerpo de agua (Figura 11).

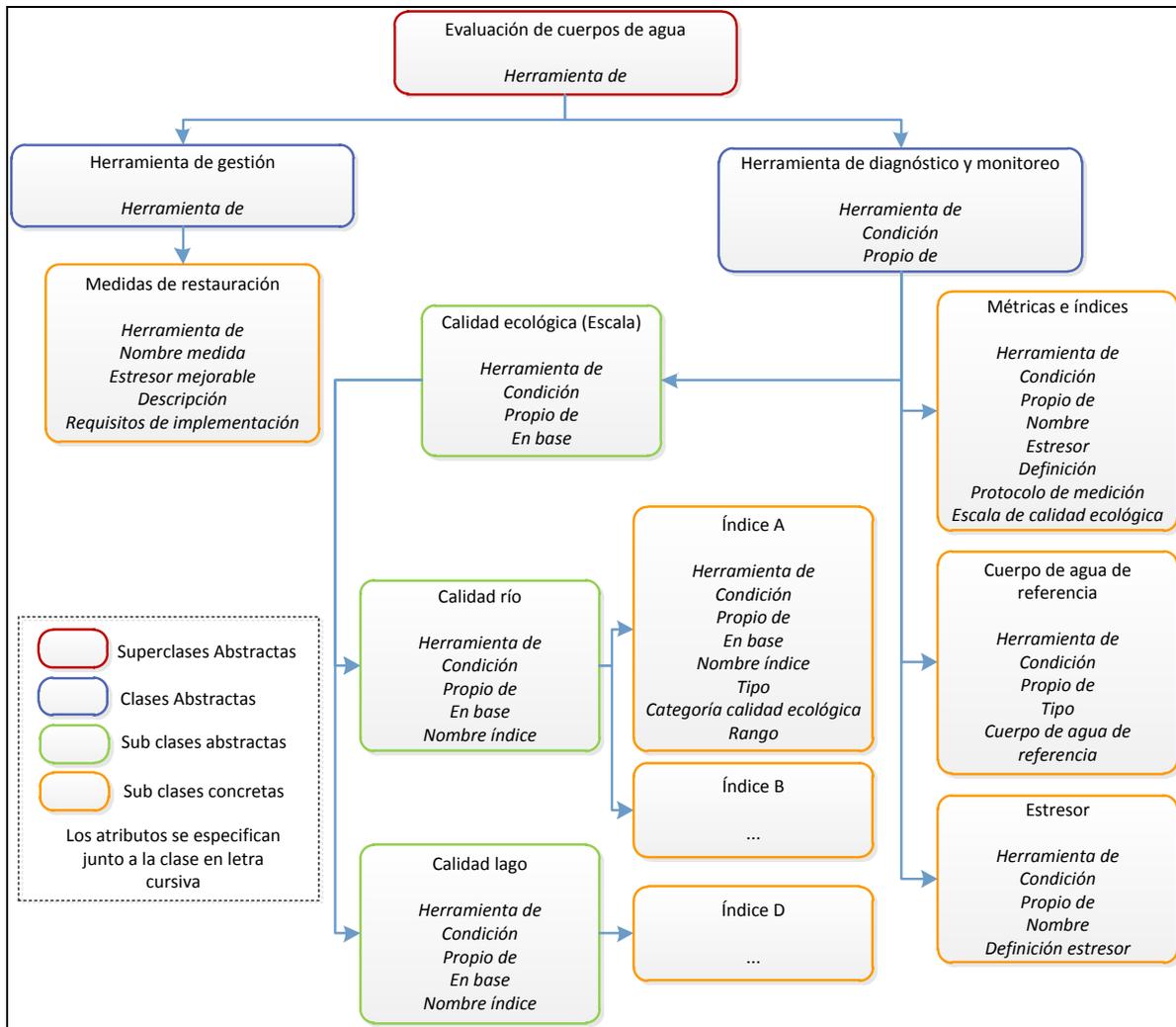


Figura 11. Estructura taxonómica y atributos de la clase evaluación de cuerpos de agua

La estructura expuesta robustece la base de datos semántica, puesto que su diseño considera la interrelación de las secciones de la BDS expuestas mediante relaciones atributo-instancia. Por otro lado la taxonomía de la BDS evita la introducción reiterada de conceptos, utilizando para esto relaciones atributo-instancia. Por ejemplo, las instancias de las clases Río y Lago son introducidos en una sola oportunidad e incorporados en las clases de clasificación (tipología, unidades de paisajes y sistema de tipología) como valores de atributos del tipo instancias de otra clase (relación atributo-instancia). Por el contrario, si no existieran estas clases se debiesen introducir las instancias de ríos tantas veces como clases de clasificación de estos existiesen. Esta estructura taxonómica satisface los requerimientos, objetivos y las preguntas de competencias definidas anteriormente.

En los diagramas expuestos las relaciones atributo instancia se encuentran implícitas, puesto que son materializables sólo mediante la construcción de la BDS y porqué la ilustración de este tipo de relación en los esquemas complejizarían su entendimiento. Esta información se puede consultar directamente en la BDS adjunta. Sin embargo, es posible apreciar las relaciones clase-subclase las cuales se ilustran mediante flechas (desde clases abstractas a concretas y clases concretas a concretas). Adicionalmente es posible observar las relaciones de las propiedades y sus respectivas clases. Las relaciones clase-instancia e individuo-propiedad no se observan en la estructura taxonómica ya que estas se materializan en el proceso de poblamiento de la base de datos semántica.

Como se mencionó en el método el proceso de definición de la estructura taxonómica de la BDS no finalizó en la etapa de diseño, ésta se modificó durante todo el proceso de construcción hasta encontrar la estructura adecuada a los requerimientos planteados (preguntas de competencias y documento de requerimientos).

**Construcción de ontología e introducción de instancias** El proceso de construcción y poblamiento de la base de datos culmina con dos BDS. La primera constituye la ontología (estructura de conocimiento del dominio) más las instancias obtenidas del proceso de clasificación de cuerpos de agua de Chile, denominada “BDS de cuerpos de agua” o “BDS 1”. La segunda base de datos semántica, denominada “BDS con supuestos” o “BDS 2”, corresponde a la BDS de la clasificación de cuerpos de agua más instancias supuestas pero factibles, las cuales poblaron las clases y atributos vacíos por falta de información nacional al respecto. Esta base de datos se utilizó para la verificación y validación de la BDS y para la evaluación.

La BDS 1 se pobló con la información contenida en los informes finales y cartografía proveniente del proceso de clasificación de cuerpos de agua en Chile<sup>15</sup>. La “BDS con supuestos” fue poblada con información proveniente de la experiencia alemana de clasificación y monitoreo de cuerpos de agua, estudios internacionales y artículos científicos. Adicionalmente, y en aquellas instancias relativas a información nacional, se

---

<sup>15</sup> Las instancias de Cuerpos de agua continentales, Subsubcuencas y Clasificación de cuerpos de agua se extrajeron de cartografía proveniente de la Dirección General de aguas y del proceso de clasificación de Chile.

realizó una revisión bibliográfica y en los casos que no existiera información se decidió introducir valores totalmente ficticios (supuestos para la realidad nacional), ya que esta segunda base de datos sólo será utilizada para fines académicos y no como una base de datos para uso público. Es importante recalcar que la relevancia de este ejercicio recae en la estructura de la BDS, que es lo que se evaluó posteriormente, y no las instancias.

En cuanto al Sistema de Tipología y aquellas clases con un elevado número de instancias reales o ficticias, se seleccionó un grupo de ellas. En el caso de las instancias de la subclase Lagos se introdujeron aquellos que presentaban un nombre en la base de datos de la Dirección General de Aguas (DGA). Para Ríos se seleccionó entre uno y tres tramos de río por subsubcuenca con lo cual se obtuvo 1026 fragmentos de río. El número seleccionado responde a la factibilidad y tiempo requerido para la introducción de instancias de río, ya que el fin de la construcción no es el poblamiento completo de la BDS, sino que evaluar la BDS como herramienta de transferencia de conocimiento.

La información supuesta relacionada al monitoreo y gestión de cuerpos de agua incorporada en la BDS 2 comprende las siguientes clases: Cuerpos de agua de referencia, Estresores (presiones antrópicas), Métricas e índices, Calidad ecológica y Medidas de restauración. Todas estas clases corresponden a la sección de “evaluación de cuerpos de agua” de la BDS (Figura 11), y responden al proceso propuesto para los países de la Unión europea (Directiva Marco del Agua). Este proceso considera la identificación de estresores o presiones antrópicas las cuales son correlacionadas con índices de calidad ecológica, para posteriormente definir escalas de calidad ecológica por tipo de cuerpo de agua (calidad alta, buena, moderada, pobre y mala) y cuerpos de referencia del tipo de cuerpos de agua. Adicionalmente se poblaron los atributos “Meta ecológica” por índice, atributo de la clase tipo de río y tipo de lago; “Valor índice” y “calidad ecológica”, atributos de las clases ríos y lagos<sup>16</sup>. La meta ecológica corresponde al nivel de calidad establecido para un tipo de cuerpo de agua, por ejemplo, la meta ecológica del tipo de río 1 e índice A se define como Buena, lo que significa que todos los cuerpos de agua de ese tipo de río debiesen registrar una calidad buena en el índice A. El atributo valor índice y calidad ecológica permiten la inclusión del valor que registra el cuerpo de agua en cada uno de los índices y la calidad que le corresponde según las escalas de calidad establecidas por tipo e índice.

La selección de cuerpos de agua de referencia se realizó en base a información secundaria. Se seleccionaron aquellos lagos que no presentaran, dentro de lo posible, presiones antrópicas, identificando aquellos lagos que se ubicarán en sectores alejados de proyectos mineros y de asentamientos humanos, que estuvieran reconocidos como sitios RAMSAR, dentro de un área silvestre protegida o con alta diversidad de especies, si no existía registros ni información acerca de los cuerpos de agua se optó por definir en base a imágenes satelitales según su contexto espacial, descartando aquellos en los que se visualizaron intervenciones<sup>17</sup>. En el caso de ríos la elección del cuerpo de referencia fue compleja

---

<sup>16</sup> La información utilizada en la BDS con supuestos se encuentra en el Apéndice IV

<sup>17</sup> Intervenciones antrópicas como cambio de usos, actividades mineras, agrícolas o forestales, caminos, grandes asentamientos humanos.

debido a que normalmente la información abiótica, biótica y de calidad es levantada a nivel de cuenca, subcuenca o sectores muy locales relacionados a antecedentes de contaminación preexistentes. Por lo tanto, se optó por seleccionar aquellos tramos de ríos que no se encontrarán aguas abajo de ciudades o embalses. Cabe destacar que esta información no es oficial y constituye un ejercicio académico, por lo tanto, el énfasis de la actividad no tiene relación con la información ingresada, por el contrario se busca expresar la potencialidad de la herramienta.

En cuanto a presiones antrópicas (estresores) e índices, en ríos se utilizó los estresores e índices seleccionados en Alemania<sup>18</sup>. En cuanto a los lagos se hizo una revisión de estresores e índices y se seleccionaron aquellos que presentaran mayor información para la satisfacción de los objetivos planteados<sup>19</sup>. Es importante mencionar que el establecimiento de índices para la bioevaluación requiere de estudios de presiones antrópicas (análisis de gradientes de degradación), tasas biológicas (cálculo de métricas biológicas) y su correlación, para finalmente seleccionar aquellos índices claves de evaluación del cuerpo de agua.

Las escalas de calidad ecológica se establecen por tipo de cuerpo de agua, por lo que cada una de las categorías de calidad presentan rangos distintos en cada tipo de cuerpo de agua. Es decir, la categoría de calidad Alta toma distintos valores dependiendo del tipo. Esto sólo se realizó para el índice de saprobia en ríos y en lagos, ya que se contaba con un ejemplo alemán de esta escala. Para el resto de los índices se optó por los niveles establecidos en otros estudios, siendo uniforme para todos los tipos de cuerpos de agua. Posteriormente, se realizó una breve búsqueda de medidas de restauración ligadas a las presiones antrópicas expuestas anteriormente.

Los valores de los atributos “valor de índice” y “calidad ecológica del índice” de las Clases río y lagos, se poblaron con valores aleatorios dentro de los valores posibles. En el caso de ríos se introdujeron valores para 61% de los tramos de ríos ya introducidos en la base de datos (instancias de ríos), es decir, de 630 tramos de río. En el caso de lagos se introdujo valores de índice y calidad ecológica para el 100% de los lagos incluidos en la base de datos semántica (341).

Finalmente, se obtuvo dos BDS pobladas, la BDS 1 constituye la BDS del proceso de clasificación de cuerpos de agua chileno y la estructura del monitoreo y gestión de los cuerpos de aguas. La BDS 2 constituye la BDS poblada con la información necesaria para la visualización de la potencialidad completa de la herramienta.

Las bases de datos semánticas pobladas, “BDS de cuerpos de agua” (BDS 1) y “BDS con supuestos” (BDS 2) se adjuntan junto al instalador del software Protégé (Apéndice V).

---

<sup>18</sup> Estresores: Acidificación, contaminación orgánica y degradación hidromorfológica; Índices: Índice de acidificación, índice de saprobia y calidad riberas

<sup>19</sup> Estresores: Contaminación orgánica y eutrofización; Índices: Índice de saprobia y Índice QAELS

## Validación de la Base de Datos Semántica

A continuación se exponen los criterios de validación y verificación de la BDS.

**Lenguaje:** Se realizó una revisión exhaustiva de las definiciones buscando que estas fueran comprensibles y claras, cuidando su redacción y ortografía. Los errores encontrados fueron corregidos obteniendo una base de datos consistente y coherente en cuanto a su lenguaje.

**Exactitud de la estructura taxonómica:** Se realizó la revisión manual minuciosa apoyada por la jerarquía de clases y el esquema presentado anteriormente. Se revisó:

*Definiciones iguales en instancias y clases:* La base de datos fue construida cuidando que las definiciones no se repitieran. Sin embargo, es posible encontrar clases y atributos con igual nombre pero diferente significado, por ejemplo Subsubcuenca y ecorregión, clases en las que se introducen las subsubcuencas del país y las ecorregiones definidas en el proceso de clasificación de cuerpos de agua, respectivamente. Adicionalmente, el nombre de la clase es utilizado como atributo de las clases de clasificación (tipología, unidades de paisaje y sistema de tipología) para contextualizar territorialmente. Esta situación no genera conflictos ya que ambas clases y atributos están claramente definidos en la base de datos. Cabe recalcar que el nombre del concepto no es relevante por sí solo, únicamente cobra valor con la definición respectiva. En la BDS el nombre del concepto puede tener distintas connotaciones para los usuarios que se enfrentan a ésta, por lo cual la definición es la que implanta y conecta al concepto en el contexto del dominio de conocimiento (clasificación de cuerpo de aguas y su monitoreo y gestión).

*Omisión de conocimiento disjunto entre clases:* La omisión de conocimiento disjunto, tiene relación con la no identificación de las clases disjuntas, es decir, la identificación de aquellas clases que no pueden presentar instancias comunes. Este error no se pudo verificar ya que el tipo de BDS utilizada no permite declarar las clases disjuntas. Por lo tanto, se realizó una revisión manual de las clases que no debían presentar instancias comunes, poniendo atención a cada una de éstas y corrigiendo los errores. La base de datos semántica carece de problemas relacionados con la omisión de este tipo de conocimiento.

*Ausencia de conceptos relevantes:* Se utilizaron todos los conceptos relevantes de la clasificación de cuerpos de agua de Chile y su monitoreo y gestión. La relevancia se evaluó en base al objetivo de la herramienta, es decir, se evaluó si el concepto contribuía al cumplimiento del objetivo de ésta, si era así, se incluía dentro de la BDS. Por lo que se consideraron todos los conceptos necesarios y relevantes para la consecución de los objetivos planteados.

*Redundancia de relaciones:* No existe redundancia de relaciones en la base de datos. La relación más utilizada es atributo-instancia en la que, por ejemplo, el

atributo subsubcuenca, es considerado en variadas clases con el fin de ubicar espacialmente el cuerpo de agua, los tipos, unidades de paisaje y/o combinatorias del sistema de tipología. Sin embargo, esta relación no se considera redundante ya que el atributo contextualiza diferentes conceptos de la base de datos semántica.

*Conceptos que no pertenezcan a la clase asignada:* Todos los conceptos asignados a una clase pertenecen a ésta. Este criterio se evaluó durante el proceso de construcción y validación en base a la estructura taxonómica.

*Clases e instancias con diferentes nombres pero iguales definiciones:* Este error no se materializó en la base de datos semántica.

Finalmente, la estructura taxonómica es consistente y satisface los requerimientos y objetivos planteados.

**Validez del vocabulario:** Se realizó la revisión de documentos relativos a la clasificación de cuerpos de agua en el contexto de la Directiva Marco de Agua Europea (DMA), la cual junto al caso Alemán, conforman la guía del proceso de clasificación chileno. Se seleccionaron todos aquellos conceptos determinantes e indispensables que contribuyeran al objetivo de los artículos científicos y documentos, cuidando no repetir conceptos sinónimos.

Se revisaron 17 documentos, los cuales forman parte de la base de datos bibliográfica construida en el primer estudio del proceso de clasificación de cuerpos de agua del país. De éstos se identificaron 14 conceptos, expuestos en el Cuadro 3, junto a su respaldo bibliográfico.

Cuadro 3. Conceptos identificados desde el Corpus del Dominio

Conceptos													
Documentos	Conceptos												
	<b>Ecorregiones</b>	<b>Parámetros abióticos</b>	<b>Tipología</b>	<b>Condiciones de referencia</b>	<b>Estado ecológico</b>	<b>Bioregión fluvial</b>	<b>Tipos de paisaje de ríos</b>	<b>Indicadores biológicos</b>	<b>Indicadores fisicoquímicos</b>	<b>Cuerpos de agua</b>	<b>Parámetros biológicos</b>	<b>Calidad ecológica</b>	<b>Presiones</b>
1	Borja, Á., J. Franco, V. Valencia, J. Bald, I. Muxika, M.J. Belzunce and O. Solaun. 2004												
2	Dyer, B. 2001											x	
3	Brunke, M. 2004												
4	Carstensen, J., Helminen U. and Heiskanen, A. 2004											x	
5	Casazza, G., C. Silvestri and E. Spada. 2003												
6	Figueroa, R., M.L. Suarez, A. Andreu, V. Ruiz y M.R. Vidal. 2009											x	
7	González, M. y D. García. 2006											x	
8	Logan, P. and M. Furse. 2002											x	

(continúa)

Cuadro 3. Conceptos identificados desde el Corpus del Dominio (continuación)

Conceptos		Ecorregiones	Parámetros abióticos	Tipología	Condiciones de referencia	Estado ecológico	Bioregión fluvial	Tipos de paisaje de ríos	Indicadores biológicos	Indicadores fisicoquímicos	Cuerpos de agua	Parámetros biológicos	Calidad ecológica	Presiones	Sistema de tipología
Documentos															
9	Lorenz, A., C. Feld and D. Hering. 2004	x	x	x								x			x
10	McElarney, Y.R. and B. Rippey. 2009				x										
11	Moog, O., A. S.-Kloiber, T. Ofenböck and J. Gerritsen. 2004			x	x	x	x	x			x				
12	Ortiz, J.L. 2002			x	x	x			x	x	x				
13	Schernewski G. and M. Wielgat. 2004		x	x											
14	Schmitt, L, G. Maire, P. Nobelis and J. Humbert. 2007		x	x		x					x				
15	Verdonschot, P. F. M. and R. C. Nijboer. 2004	x													
16	Verdonschot, P. F.M. 2006	x	x	x		x						x	x		
17	Vlek, H.E. , P. F. M. Verdonschot and R.C. Nijboer. 2004								x						

Posteriormente, se realizó una selección de conceptos pertenecientes al glosario de término de la base de datos semántica. Esta selección excluyó aquellos conceptos propios de otros dominios (subsubcuenca) y aquellas derivaciones de conceptos de mayor jerarquía (unidades de paisaje de agua de ríos y lagos, tipología de ríos y lagos, sistema de tipología de ríos y lagos). Con lo cual se obtuvo 13 conceptos expuestos en el Cuadro 4 provenientes del glosario de la base de datos semántica.

Cuadro 4. Términos provenientes del glosario de términos

Nº	Conceptos
1	Ecorregión
2	Unidades de Paisaje de agua
3	Tipología
4	Sistema de tipología
5	Cuerpos de agua
6	Criterios de clasificación abióticos
7	Cuerpo de referencia
8	Estresor
9	Métricas e índices biológicos / bioindicadores
10	Calidad ecológica
11	Medidas de restauración
12	Meta ecológica
13	Categoría de calidad

A continuación se calcularon los índices precisión y recall obteniendo los siguientes valores: 84.62% y 78,57%, respectivamente.

El valor de precisión indica que el 84,62% de los conceptos (11) de la base de datos semántica se encuentran validados en el corpus del dominio. Por lo tanto sólo dos conceptos no son considerados en el Corpus del dominio estos son meta ecológica y medidas de restauración, ambos conceptos utilizados en la implementación de la tipología de cuerpos de agua en Alemania, ligados a decisiones políticas y a planes posteriores al diagnóstico de los cuerpos de agua. En consecuencia este porcentaje se considera aceptable basado en lo descrito por Ramos *et al.*(2009).

En cuanto al recall, el 78,57% de los conceptos del corpus está presente en la base de datos de semántica. Es decir, tres conceptos no fueron considerados en la base de datos semántica. Por ejemplo el término biorregión fluvial, definido como regiones homogéneas en relación a su fauna, es similar a las ecorregiones utilizadas en el proceso de clasificación europeo y chileno, pero a un nivel de precisión mayor. También se excluyen los términos indicadores fisicoquímicos y parámetros biológicos, utilizados en el diagnóstico y definición de la tipología de cuerpos de aguas, respectivamente. El concepto

indicadores fisicoquímicos no fue considerado puesto que la base de datos se centra en la bioevaluación como base del diagnóstico y monitoreo de los cuerpos de agua por lo que los factores e indicadores fisicoquímicos quedan afuera. Por otro lado, los parámetros biológicos son utilizados para la definición de tipos de cuerpos de agua en base a la metodología “de abajo hacia arriba<sup>20</sup>” y para la validación de la tipología de cuerpos de agua elaborada en base a parámetros abióticos. Ambas aplicaciones no se consideran en la BDS puesto que en Chile se utilizó la metodología “de arriba hacia abajo<sup>21</sup>” y porque la validación no esta considerada como un producto final en la tipología, constituyendo una actividad del proceso de definición de tipos de cuerpos de agua.

Si bien estos conceptos podrían ser introducidos en la base de datos, para aumentar el índice recall, estos no contribuyen al objetivo de ésta, por lo tanto, se aceptan los valores de los indicadores expuestos basado a lo descrito por Ramos *et al.* (2009). Se concluye que el vocabulario incluido en la base de datos es adecuado, contribuye a la satisfacción de los objetivos de la base de datos semántica y esta validado en el proceso de clasificación nacional de cuerpos de aguas y en el Corpus del dominio.

**Adecuación a requerimientos:** La base de datos semántica responde a su motivación inicial. La herramienta busca evidenciar que soportes de información que incluyen conocimiento pueden disminuir la brecha entre el sector político y científico, esto mediante la explicitación de conceptos y sus relaciones.

La BDS constituye una herramienta que apoya la gestión y el monitoreo de cuerpos de agua, al contener toda la información y conocimiento necesario para el diagnóstico de calidad ecológica de un cuerpo de agua y su posterior restauración si fuese necesario. La meta propuesta se alcanzó ya que se logró establecer una estructura operativa y consistente adecuada a la resolución de problemas de diagnóstico y monitoreo en el contexto de la clasificación de cuerpos de agua de Chile. Esta condición fue evaluada mediante los criterios expuestos anteriormente y las preguntas de competencia e interrogantes adicionales con el fin de verificar los diferentes requerimientos definidos al inicio del proceso de construcción

Finalmente, las declaraciones expuestas en el documento de requerimientos son satisfechas con las bases de datos semánticas construidas y pobladas en este estudio.

Se evaluaron las preguntas de competencia una a una en el software Protégé, obteniendo las observaciones expuestas en el Cuadro 5.

---

<sup>20</sup> El enfoque “de abajo hacia arriba” agrupa las unidades desde lo particular a lo general y se utiliza para la validación biológica de los tipos (CONAMA, 2010).

<sup>21</sup> El enfoque “de arriba hacia abajo” considera una clasificación de los cuerpos de agua desde los niveles más amplios a los más particulares o específicos (CONAMA, 2010).

Cuadro 5. Observaciones obtenidas de la comprobación de preguntas de competencia

<b>Pregunta de competencia</b>	<b>Observación</b>
¿Qué unidades de paisajes de agua de lagos se encuentran en la ecorregión Altiplano?	La BDS entrega la respuesta correcta
¿Qué características presenta la unidad de paisaje de río x?	Esta pregunta se puede realizar desde la propia clase seleccionando en la instancia de la unidad de paisaje que se quiera consultar
¿A qué unidad de paisaje de agua de río pertenece el tramo correspondiente a la subsubcuenca 2104 del Río Loa (por ejemplo)?	La BDS entrega la respuesta correcta.
¿A qué unidad de paisaje de agua de lago pertenece el lago Budi? ¿Qué característica presenta la unidad?	La BDS entrega la respuesta correcta, la segunda pregunta se resuelve consultando la información de la instancia
¿Qué lagos pertenecen a la unidad de paisaje de agua de lago X?	Se puede encontrar la respuesta en la sección de preguntas del software o mediante la navegación en las clases e instancias de unidad de paisaje de lagos
¿Qué ríos pertenecen a la unidad de paisaje de agua de río x?	La respuesta se encuentra de igual forma que la pregunta anterior
¿Qué características abióticas posee el río x?	La BDS entrega la información solicitada
¿Qué lagos poseen más de 200 km <sup>2</sup> ?	La BDS entrega la respuesta correcta
¿Qué lagos de la ecorregión altiplano se encuentran en la categoría alta del criterio altitud del sistema de tipología?	La BDS entrega la respuesta correcta
¿Qué sección de río presenta una pendiente mayor al 1%?	La BDS entrega la respuesta correcta
¿Cuál es el procedimiento de diagnóstico de un cuerpo de agua?	La respuesta se encuentra tras un análisis de la base de datos semántica.
¿Qué cuerpo de referencia corresponde al lago Llanquihue?	La BDS entrega la información solicitada
¿Cuál es el cuerpo de referencia del tipo de lago x?	La BDS entrega la información solicitada
¿Qué significa que un lago este catalogado como moderada calidad en el índice QAELS?	La BDS entrega la información solicitada
¿Qué medidas de acción se puede implementar en el cuerpo de agua x?	La BDS entrega la información solicitada
¿Qué medidas se pueden implementar para mitigar el estresor x?	La BDS entrega la información solicitada
¿La medida x a que estresor(es) mitiga?	La BDS entrega la información solicitada

Adicionalmente, se realizaron las siguientes preguntas las que fueron contestadas correctamente:

¿Qué unidades de paisaje de río presentan pendiente baja o media?

¿Qué unidades de paisaje de río tiene altitud muy baja y pendiente baja y/o media?

¿Qué lagos, según unidades de paisaje, son mediterráneas, silíceas, de baja profundidad y medianos en tamaño?

¿Qué lagos del tipo de lago 5 se encuentran bajo la meta ecológica del índice QAELS?

La BDS construida refleja los objetivos planteados, su potencialidad actual se ve limitada por no poseer toda la información nacional real de nuestro país, lo cual está determinado por el proceso de clasificación de cuerpos de agua de Chile. Sin embargo, la estructura de la herramienta refleja la motivación, metas y objetivos planteados con antelación. La herramienta responde a las preguntas de competencia, ya sea navegando en el software o en la sección de preguntas de éste. Las limitaciones de la estructura de la herramienta tienen relación con los futuros problemas o cuestionamientos no previstos en su elaboración, los cuales puede incluirse posteriormente, ya que la estructura es modificable y ampliable a los problemas o dominios que se requiera. Es decir, la herramienta es flexible y puede reorganizarse con el fin de adaptarse a nuevos desafíos y objetivos.

Si bien la herramienta carece de información nacional en algunos aspectos abordados en la BDS, es factible visualizar su potencialidad en temáticas ambientales o en clasificación o volúmenes grandes de información disgregados o inconexos en estanterías, textos o archivos digitales que requieren de procesamiento cada vez que se requiera hacer una consulta.

Es importante mencionar que la construcción de la herramienta en este dominio de los recursos naturales puede replicarse en otros dominios de conocimiento, pero que su éxito no presenta ninguna relación con el éxito o fracaso de la presente base de datos. Es decir, la herramienta puede ser exitosa en este ámbito de conocimiento pero esto no asegura que pueda tener los mismos resultados en otra área de los recursos naturales, debido a que este proceso tiene relación con la semántica del área, el conocimiento y las personas involucradas en el proceso de elaboración, implementación, utilización y actualización de la BDS.

### **Evaluación de la base de datos semántica**

Se realizaron las actividades correspondientes a la evaluación de la BDS como herramienta de transferencia de conocimiento científico al sector público. Los resultados de las evaluaciones se exponen a continuación diferenciándolos según el grupo objetivo: profesionales ajenos al dominio de conocimiento y profesionales del Ministerio de Medio Ambiente.

## **Evaluación con profesionales externos al dominio**

La presente evaluación se gesta dentro de la teoría de las BDS, es decir, se plantea que la base de datos contiene el conocimiento del sector experto del dominio de la clasificación de cuerpos de aguas. Según lo anterior, la BDS presenta las relaciones y conceptos explícitos lo que debería disminuir los tiempos de búsqueda de la información y disminuir las distancias entre sectores. La disminución de distancias tiene que ver con la utilización de conocimiento que no está contenido en soportes tradicionales de información, por lo que trabajar con una herramienta que maneje conocimiento mejora los procesos de búsqueda y entendimiento de la información.

Si bien en el presente estudio no se mide el entendimiento y capacidad de asimilar conocimiento y comprender un dominio, estas variables influyen en el tiempo de búsqueda de la información. Por lo tanto, y como se menciona en el método, se homogeneizó la muestra seleccionando profesionales egresados o ligados al mundo laboral pertenecientes a la carrera de Ingeniería en Recursos Naturales Renovables. Esta restricción tiene relación con la estandarización de conocimiento de los evaluados.

En cada una de las evaluaciones se tomó el tiempo de búsqueda desde el momento en que se leía la pregunta hasta el momento de encontrar la información solicitada. Este tiempo fue registrado junto a observaciones que apuntaban al modo de búsqueda de información y a requerimientos de ayuda (explicación de pregunta o recordatorio de utilización de programa Protégé).

Posteriormente, se tabuló la información, se obtuvieron tiempos totales por evaluado y se calificó la respuesta en cuatro categorías: correcta, incorrecta, intermedia y no responde, esta última se subdivide en “se abstiene de responder” y “no es capaz de responder”. Se cataloga como respuesta intermedia cuando el evaluado entrega la mitad de la información solicitada o cuando éste se equivoca en la mitad de la respuesta. Se cataloga como “se abstiene de responder” cuando el evaluado decide no responder por cansancio o falta de tiempo. Finalmente, se cataloga como “no es capaz de responder” cuando el evaluado aborda la pregunta y dedica tiempo en la búsqueda de la respuesta sin hallarla, después de lo cual decide no responder.

Tras la tabulación y revisión de las respuestas, se realizó un análisis comparativo de tiempos promedio e individuales, obteniendo tiempos de búsqueda promedio de la información similares en ambos grupos. Estos tiempos se concentran en el rango de 0:35 a 1:35 hrs, exceptuando un caso que excede ampliamente los tiempos conseguidos con el resto de los evaluados (Cuadro 6).

Cuadro 6. Tiempos de acceso a la información resultantes del proceso de evaluación por evaluado

N° de evaluado	Documentos y cartografía (Grupo 1)		N° de evaluado	BDS (Grupo 2)		
	Tiempo	Tiempo (segundos)		Grupo 2a		Grupo 2b
				Tiempo	Tiempo (seg.)	Tiempo (seg.)
1a	0:35:40	2140	1b	0:40:26	2426	2426
2a	0:38:08	2288	2b	0:40:55	2455	2455
3a	0:43:58	2638	3b	0:50:20	3020	3020
4a	1:00:57	3657	4b	0:52:37	3157	3157
5a	1:04:27	3867	5b	0:56:12	3372	3372
6a	1:17:55	4675	6b	0:58:11	3491	3491
7a	1:19:45	4785	7b	1:03:34	3814	3814
8a	1:25:25	5125	8b	1:20:22	4822	4822
9a	1:25:41	5141	9b	1:21:13	4873	4873
10a	1:35:08	5708	<b>10b</b>	<b>2:46:50</b>	<b>10010</b>	-
Promedio	1:06:42	4002	Promedio	1:09:04	4144	3492
Desviación Estándar		1288	Desviación Estándar		2225	890

Se graficaron los datos expuestos en el Cuadro 6 mediante un diagrama de caja, en el cual se exponen 3 grupos de datos el Grupo 1 correspondiente a los evaluados en base a soportes tradicionales, Grupo 2a correspondiente a los profesionales evaluados en base a la BDS y el Grupo 2b correspondiente al Grupo 2a sin el valor extremo (destacado en el Cuadro 6). El diagrama de caja ilustra la dispersión de los datos en cada uno de los grupos evaluados, sobresaliendo el valor extremo el cual influencia los resultados obtenidos en el Grupo 2 (evaluados en base a BDS). No obstante, el valor extremo fue considerado en el análisis de datos mediante la diferenciación de dos grupos de análisis el Grupo 2a y el Grupo 2b. Se descarta la eliminación del valor ya que este valor no representa un error en la aplicación de la evaluación, por el contrario, constituye un valor válido desde la óptica de la metodología de levantamiento de datos aplicada.

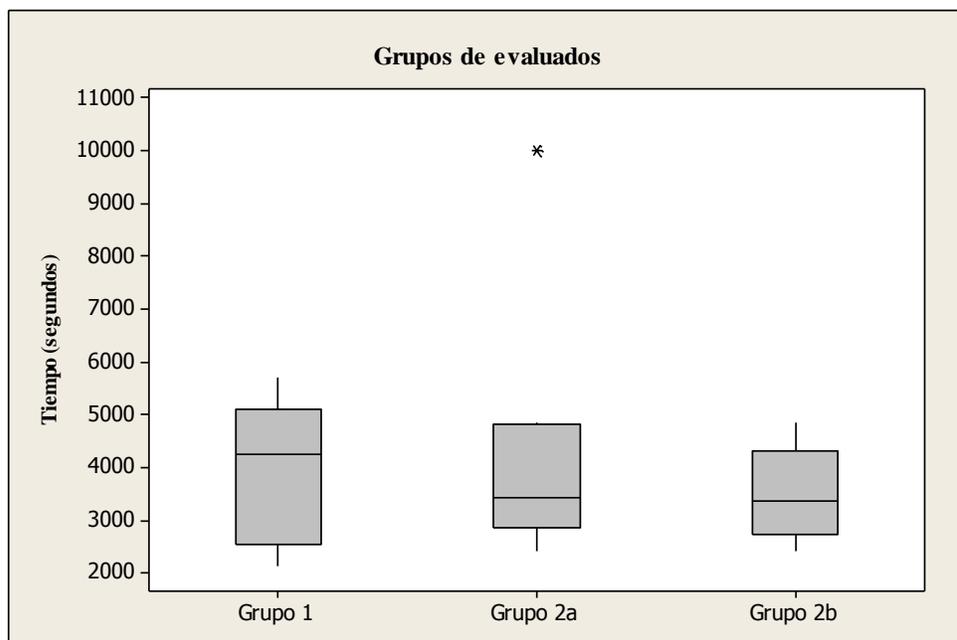


Figura 12. Diagrama de caja que ilustra la distribución de los datos en los grupos estudiados

La distribución de los datos no fue la esperada, puesto que se sostenía que los evaluados en base a la BDS obtendrían menores tiempos o una diferencia significativa con el grupo evaluado en base a soportes tradicionales. Es importante recordar que este resultado no es concluyente y que sólo evidencia una tendencia bajo las condiciones expuestas.

Posteriormente, y suponiendo que el fenómeno se ajusta a la distribución normal, es que se evaluaron las medias aritméticas de los grupos en análisis mediante una prueba de hipótesis con un intervalo de confianza del 95%. Finalmente, se consideraron en el análisis dos escenarios correspondientes a dos pruebas de hipótesis para la media aritmética, la primera contrastó la media de los Grupos 1 y 2a, y la segunda las medias aritméticas de los Grupos 1 y 2b (eliminación del valor extremo).

Cuadro 7. Resultado de prueba de hipótesis para medias aritméticas

Grupo de análisis	n	Media	Desviación Estándar	Sig. (p-value)*
Prueba de hipótesis 1				
Grupo 1	10	4002	1288	<b>0,568</b>
Grupo 2a	10	4144	2225	
Prueba de hipótesis 2				
Grupo 1	10	4002	1288	<b>0,167</b>
Grupo 2b	9	3492	890	

\*Valores menores a 0,05 indican presencia de diferencias significativas

En el Cuadro 7 se observan los resultados obtenidos en las pruebas hipótesis, en las cuales no se obtuvieron diferencias significativas entre las medias, por lo cual se evidencia que

ambos soportes de información presentan tiempos de acceso similares, mostrando una misma tendencia.

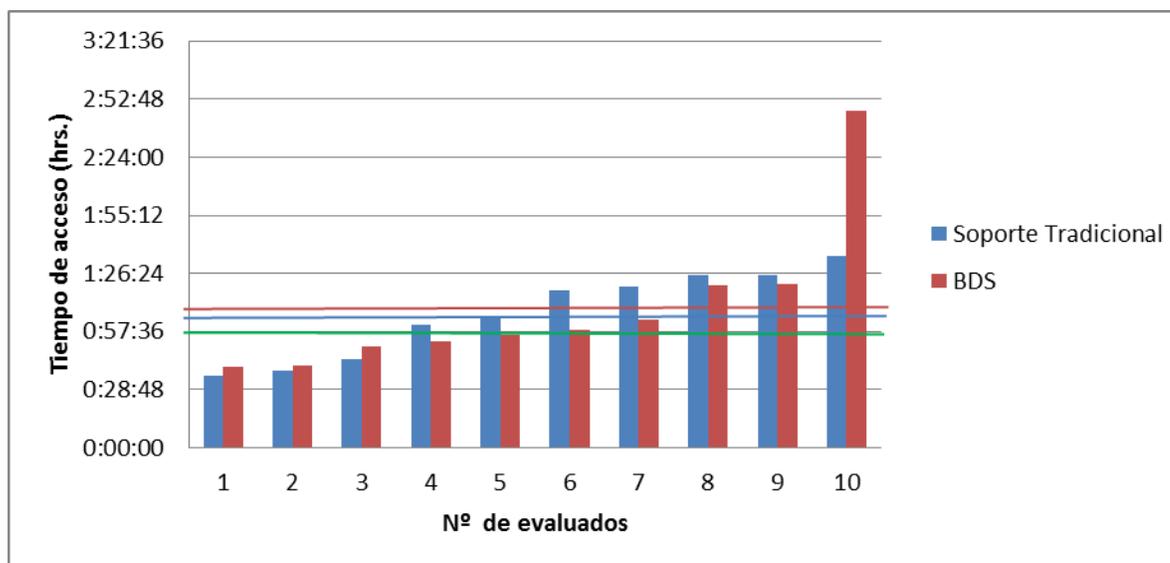


Figura 13. Ilustración referencial de tiempos obtenidos por los evaluados de los grupos de análisis

En la Figura 13 se expone una comparación general de los tiempos de acceso a la información solicitada en el cuestionario, ordenados de menor a mayor independientemente de la posición cronológica de la evaluación. Como se observa los tiempos promedio de los Grupos 1 y 2a, ilustrados con la línea azul y roja, respectivamente (Figura 13), son similares para ambos grupos, diferenciándose en 2 minutos aproximadamente (Cuadro 6). Adicionalmente siete personas del grupo evaluado con la BDS obtuvieron tiempos menores al promedio de grupo (1:09:04 hrs., línea roja). Por el contrario, el grupo evaluado en base a soportes tradicionales (documentos y cartografía) sólo registró cinco personas en esta condición (1:06:42 hrs., línea azul). La situación inversa se observa en el número de personas que obtienen tiempos mayores a la media aritmética del grupo, siendo cinco en el caso del grupo evaluado con soporte tradicionales y tres en el grupo evaluado con BDS. La línea verde que se observa en la Figura 13 indica la media aritmética del grupo 2b, es decir, el grupo evaluado con la BDS sin el valor extremo. Incluyendo este promedio en el análisis (0:58:12 hrs.) el Grupo 2b presenta seis valores bajo la media aritmética y cuatro sobre ésta.

En la Figura 13, se visualiza la similitud de los tiempos obtenidos con ambos soportes. Adicionalmente, se observa el valor extremo (2:46:50 hrs.) el cual eleva la media obtenida por el grupo de evaluación basado en la BDS. Si este valor es eliminado, el promedio baja a 0:58:12 hrs, obteniendo una diferencia de 12,7 % por debajo del grupo evaluado en base a soportes tradicionales.

Cuadro 8. Tiempo promedio y categorización de respuestas por pregunta y grupo de evaluación

<b>Evaluación Soporte tradicional</b>						
N° pregunta	Tiempo promedio	N° de evaluados en la categoría				
		Incorrectas	Intermedia	Se abstiene de responder	No es capaz de responder	Correctas
1	0:06:17	2				8
2	0:13:00	1	1			8
3	0:09:01	1			1	8
4	0:02:31	1			1	8
5	0:08:08		3			7
6	0:06:56	3				7
7	0:14:36	1	2			7
8	0:06:56	5	3		1	1
<b>Evaluación BDS</b>						
N° pregunta	Tiempo promedio	N° de evaluados en la categoría				
		Incorrectas	Intermedia	Se abstiene de responder	No es capaz de responder	Correctas
1	0:13:42	1				9
2	0:04:09		1			9
3	0:08:24	1				9
4	0:04:43	1				9
5	0:07:19		1			9
6	0:10:46	1				9
7	0:12:30					10
8	0:08:22			1	1	8

Con respecto a los tiempos promedio de acceso por pregunta se observan similitudes entre ambos soportes de información (Cuadro 8). Lo que tiene relación con los inconvenientes y ventajas que cada uno de los evaluados sostiene con el soporte. Por ejemplo, la primera pregunta presenta un promedio de 6 minutos para evaluados en base a los soportes tradicionales, los cuales comprendían la pregunta y la asimilaban inmediatamente a cartografía, sin necesidad de corroborar su respuesta. Por el contrario los evaluados con la BDS obtuvieron un promedio mayor en la primera pregunta debido a la confrontación con la herramienta y su estructura, teniendo que familiarizarse con ambos aspectos. Éstos últimos tienden a corroborar su respuesta consultando la BDS de diferentes formas con el fin de asegurar la veracidad de su respuesta.

Con respecto a la evaluación en base a la BDS, se presenta una situación especial que tiene relación con el no conocimiento del programa, esto se intento atenuar con la entrega del instalador, el manual de uso (Apéndice I) y una base de datos semántica de otro dominio.

Sin embargo, aproximadamente 7 evaluados no interactuaron con el programa antes de la evaluación, es decir, realizaron la actividad en base al conocimiento entregado en la capacitación y a la lectura del manual de uso, por lo cual los resultados obtenidos se deben interpretar considerando esta situación. Esto influye en los resultados obtenidos en las primeras preguntas en las cuales se invierte tiempo en la familiarización del programa y de la estructura de la BDS.

Adicionalmente y en base a la información obtenida de esta actividad se extrae que el grupo que responde el cuestionario en base a documentos y cartografía presenta un mayor número de errores (Cuadro 8). Esto se debe a que la información está disgregada en diferentes documentos y cartografías, por lo que se requería de información de ambos soportes para responder a las preguntas solicitadas. Esto requería mayor tiempo para comprender cada uno de los conceptos y la estructura de los documentos entregados, de no ser así la ocurrencia de errores era mayor. Del mismo modo, los evaluados que respondieron por intuición y no se detuvieron a leer los conceptos o a comprender lo que se les estaba preguntando, cometieron mayores errores que el resto de los evaluados.

En general, el grupo de evaluados con la BDS entrega nueve respuestas correctas por pregunta, teniendo mínimos errores en la actividad. En cambio el grupo evaluado con los soportes tradicionales entregan entre 7 y 8 respuestas correctas, presentando un mayor número de errores. Como se observa en el Cuadro 8 sólo el grupo evaluado en base a la BDS obtiene todas las respuestas correctas en una pregunta (pregunta 7). Resumiendo, el grupo evaluado con soportes tradicionales presenta el 65% de respuestas correctas y 35% de respuestas en una categoría de error y el grupo evaluado con BDS presenta el 90% de respuestas de respuestas correctas y 10% de respuestas en una categoría de error, con lo cual se disminuye en un 22,5% los errores.

Las preguntas 7 y 8 del cuestionario apuntaban a la resolución de un problema relativo al diagnóstico y gestión de los cuerpos de agua. En la pregunta 7 debían diagnosticar un cuerpo de agua y en la 8 precisar cuáles medidas de restauración se debían implementar para alcanzar la meta de calidad establecida. La existencia de un mínimo de errores en estas preguntas deja entrever una potencialidad de la herramienta en la resolución de interrogantes que requieren de un procesamiento mayor de la información. En este caso los evaluados con la BDS entregan 10 y 8 respuestas correctas, en esta última dos personas se abstienen de responder por falta de tiempo. Por el contrario, los evaluados con los soportes tradicionales entregan 7 y 1 respuestas correctas en las preguntas 7 y 8, respectivamente. Estos valores se entienden por la no comprensión de conceptos y la baja integración de la información.

Cuadro 9. Resultado de la revisión de los cuestionarios por grupo de evaluación

Situación	Nº de personas en esta condición	
	Soporte tradicional	BDS
Cuestionario con sólo respuestas correctas	0	6
Cuestionario con al menos una respuesta incorrecta	7	1
Cuestionario con al menos una respuesta incorrecta y vacía <sup>1</sup>	2	0
Cuestionario con al menos una respuesta incorrecta e incompleta	2	0
Cuestionario con al menos una respuesta incorrecta, incompleta y vacía	1	0
Cuestionario con al menos una respuesta “se abstiene de responder”	0	1
Cuestionario con al menos una respuesta “no es capaz de responder”	2	1
Cuestionario con al menos una respuesta incompleta	3	1

1: Respuesta vacía corresponde la categoría se abstiene de responder o no es capaz de responder.

En el Cuadro 9 se observa un resumen de la corrección de los cuestionarios por persona, es decir, se clasifican a las personas por ejercicio completo. En el grupo de evaluados con la BDS ninguna de las personas presenta más de una categoría de error (no responde, incorrectas e incompletas). En cambio, el grupo evaluado con soportes tradicionales presentan personas con más de un error (Cuadro 9). La incidencia en mayores errores indica que si bien los tiempos son similares en ambos grupos, la efectividad del grupo evaluado en base a soportes tradicionales es menor. En este sentido, si se hubiese evaluado considerando el tiempo de búsqueda de la respuesta correcta el grupo evaluado con documentos y cartografía probablemente aumentaría el tiempo promedio de acceso a la información.

Por otro lado, y en ambos grupos de evaluación se observó diferencias entre evaluados ya que la dedicación, concentración y tiempo disponible influían en las respuestas y en los tiempos que estos dedicaban a la búsqueda, llegando a rendirse o a seleccionar una respuesta errónea de la cual ellos declaraban no estar seguros. Adicionalmente, algunos evaluados pertenecientes al grupo basado en documentos y cartografía presentaban una disposición negativa a la lectura (reticencia), no queriendo profundizar en los conceptos contenidos en las preguntas entregando la respuesta más rápida y por lo general errónea, sin comprender a cabalidad lo que se estaba preguntando.

También se visualiza una ventaja comparativa entre evaluados dentro de cada uno de los grupos, esto recae en las habilidades personales, competencias relacionadas a sus labores cotidianas y experiencia laboral o académica (vinculación por el dominio de aplicación). Estas desigualdades se intentaron disminuir con el manejo de profesionales de una sólo carrera. Sin embargo, las habilidades y estructuración de la información es diversa de una persona otra, convirtiéndose en un factor relevante pero no controlable ni predecible. En particular existieron evaluados que presentaban mayores competencias en la búsqueda de

información o experiencia, relacionando lo solicitado con una ubicación potencial (cartografía, tabla, anexo, imagen, etc.) o una estructura potencial en el caso de la BDS.

Por otro lado, la percepción o cercanía al dominio de aplicación (clasificación de cuerpos de agua) genera ventajas al comprender y organizar el dominio de una forma particular preexistente lo que direcciona la búsqueda en el caso del grupo evaluado con cartografía y documentos. Este mismo elemento es probablemente una desventaja para el grupo evaluado con la BDS, puesto que se enfrentan a una estructura del dominio diferente e impuesta por el creador de la BDS acorde a su visión y conceptualización, la cual probablemente dista de la conceptualización personal. Esto en primera instancia confunde al evaluado y lo conduce a la búsqueda en lugares incorrectos o alejados de la información solicitada, guiados por su mapa conceptual del dominio preexistente o generado en el momento de enfrentarse a la evaluación.

En este contexto, si los evaluados fueran profesionales alejados del dominio de la BDS, por ejemplo astronomía, estos hubiesen obtenido tiempos mayores con los soportes tradicionales. Ya que estos soportes se enfocan en un lector vinculado al dominio, asumiendo conceptos como conocidos.

Otra ventaja dentro del grupo evaluado con soportes tradicionales, es el uso habitual de programas de SIG. Un profesional que trabaja en este ámbito comprende la información y la estructura en base al sistema geográfico, por lo que es mucho más rápida la relación entre información solicitada y ubicación o sitio de búsqueda, logrando una búsqueda más eficiente. Por lo tanto, se identificó previamente a los profesionales que trabajaban habitualmente con estos programas y se les aplicó la evaluación basada en la BDS, con esto se disminuyó esta ventaja entre y dentro del grupo.

Adicionalmente y como ya se mencionó, los evaluados con la BDS presentaron una baja familiarización con el programa Protégé, realizando la evaluación sin entrenamiento previo y/o con la lectura del manual de uso. Esta situación contribuye a la ventaja comentada anteriormente, aumentando las desigualdades entre grupos. Concretamente los evaluados con la BDS no presentaban el dominio necesario y esperado del programa, en cambio los evaluados con los soportes tradicionales, presentaban habilidades y experiencia en los soportes utilizados (Word y ArcView o ArcGis). Esta no familiarización afecta en dos aspectos, en primer lugar el evaluado no asimila la manera de conceptualizar el conocimiento en estos soportes, invirtiendo tiempo en recordar la definición de “clase”, “atributo” e instancia”. En segundo lugar como en cualquier aprendizaje de software, el no interactuar con el coarta la posibilidad de acceder más rápido y de comprender lo que se está haciendo en cada operación o movimiento. Por lo tanto, la interacción es más intuitiva y de auto aprendizaje apoyado por el evaluador en el caso de solicitar algún tipo de ayuda. Estos dos aspectos se materializan como desventajas y concretamente como demoras a lo largo de todo el ejercicio.

Esta evaluación, permitió evidenciar que los tiempos de acceso son similares con los dos soportes de información bajo las condiciones expuestas, es decir, con el dominio de la clasificación de cuerpos de agua y con las preguntas que esta permitió realizar.

La BDS utilizada constituye una base informática de la clasificación de cuerpos de agua y un soporte de gestión de éstos. Este contenido permitió realizar preguntas simples y acotadas por el dominio y su aplicación, por lo que se desconoce el comportamiento de la herramienta en entornos más complejos con requerimientos de información mayores y resolución de problemas que involucren mayor cantidad de información y conocimiento. Sin embargo, es posible plantearse la hipótesis de que en dominios más complejos, en cuanto a su magnitud e interrelaciones, y robustos la BDS cobra mayor valor, disminuyendo los tiempos de búsqueda de información, esto se avala por los resultados obtenidos en las dos últimas preguntas del cuestionario. Ambas preguntas corresponden a las más complejas de la actividad realizada las cuales requieren de conocimiento y entendimiento del dominio, ambas preguntas fueron resueltas exitosamente por los evaluados con la BDS lo que evidencia que en interrogantes y gestión de conocimiento la herramienta disminuye el tiempo invertido en la comprensión del dominio y en la búsqueda de la información requerida.

En base a los resultados y a la evaluación diseñada y aplicada se pueden plantear algunas modificaciones y/o una nueva investigación que profundice los resultados obtenidos. En primer lugar, una continuación de esta investigación podría evaluar el tiempo de acceso a la información, pero forzando a los evaluados a encontrar la respuesta correcta. Con esto se elimina la opción de equivocarse obteniendo como resultado sólo los tiempos que los evaluados toman para encontrar una respuesta. En estas condiciones y según los resultados expuestos el tiempo del grupo evaluado con soportes tradicionales debiese ser mayor.

Una segunda modificación apunta a la realización de una segunda capacitación en la que se resuelvan problemas e interrogantes del dominio. En la cual puedan visualizar claramente como se navega y localiza la información. Además de corroborar el nivel de conocimiento y experiencia en el programa antes de realizar la evaluación. Esto disminuiría la ventaja del grupo evaluado en base a soportes tradicionales.

Es importante destacar que la herramienta presentada y evaluada es una herramienta de transferencia de conocimiento y que su uso podría disminuir la brecha entre sectores semánticamente distantes, como lo es el sector científico y el sector público. Esto se avala con la evaluación expuesta en la que se comprueba que la herramienta cargada con un dominio propio de expertos, es asimilable por profesionales potenciales del sector público obteniendo tiempos de acceso similares a los obtenidos con soportes tradicionales, bajo las desventajas y observaciones ya expuestas.

Adicionalmente, los evaluados con la BDS comprenden el dominio de manera global al enfrentarse a toda la información y conocimiento de éste, finalizando con una percepción concreta del contenido del soporte. Por el contrario los evaluados con soportes tradicionales presentan un conocimiento superficial del dominio esta situación se avala por la cantidad de

preguntas y peticiones de ayuda respecto al contenido de los informes y cartografía, y por los comentarios realizados al finalizar la evaluación. En particular seis personas del grupo evaluado con soportes tradicionales requirieron ayuda, de los cuales tres solicitan ayuda en más de la mitad de las preguntas del cuestionario. Por otro lado, sólo tres personas del grupo evaluado con la BDS solicita ayuda, la cual se relaciona esencialmente con el uso del software. Es por esto que se plantea que la herramienta podría acercar actores y profesionales de mundos académicos y laborales alejados.

### **Evaluación con profesionales del Ministerio de Medio Ambiente**

La evaluación realizada con profesionales del Ministerio de Medio Ambiente permite reconocer las percepciones sobre la herramienta de cada uno de ellos. Ambas entrevistas se inician con la presentación mencionada en la metodología, en donde se contextualiza e informa sobre el trabajo realizado en la memoria enfocado en la herramienta, por tanto, se definen los términos básicos (ontología, base de datos semántica, clases, atributos, instancias y relaciones) y se expone la estructura de la BDS. Posteriormente se presenta el programa y la base de datos construida.

Luego, se les realizó la entrevista propiamente tal, la cual tiene focos diferentes para cada profesional. En la primera entrevista se busca conocer o extraer la percepción sobre la potencialidad de la herramienta en la institucionalidad chilena, su implementación y obstáculos. Por otro lado la segunda entrevista realizada a un profesional alemán, se enfoca en su experiencia internacional en el proceso de clasificación de cuerpos de agua y su implementación, por lo cual se podría vislumbrar la potencialidad de la herramienta. Es importante mencionar que a ambos profesionales se les aplicó el mismo guión de entrevista, pero ésta fue direccionada al foco que se mencionó anteriormente.

La presentación expuesta a los entrevistados genera comentarios de parte de ellos referidos a la potencialidad de uso de la herramienta, estos comprenden que el soporte alberga conocimiento, visualizándolo en su ámbito de trabajo. Otro aspecto relevante es la rápida comprensión de la estructura de la BDS explicada por el conocimiento previo en el proceso de clasificación de cuerpos de agua chileno, conocimiento ya estructurado, internalizado y utilizado por estos profesionales en el trabajo realizado en el proceso de clasificación. A continuación se expone la percepción de ambos entrevistados por temática consultada.

**Impresión sobre la herramienta:** La herramienta es aceptada y considerada un soporte de gran utilidad en el dominio y en otras temáticas, y como reservorio de conocimiento. Adicionalmente, no se considera una interfaz compleja y no se visualiza una complicación en su comprensión. Esta situación responde al conocimiento entregado en la presentación de la estructura, en la cual se explica detalladamente las clases consideradas, relaciones, atributos e instancias.

Dentro de las falencias mencionadas resalta la inexistencia de imágenes o cartografía para visualizar el cuerpo de agua y su ubicación al momento de conocer su información. Esta es

una de las limitaciones que presenta la BDS construida, sin embargo la herramienta tiene la opción de introducir imágenes mediante un atributo.

Otro aspecto que llama la atención de la BDS tiene relación con la información con la que se trabaja en la construcción y poblamiento de la BDS. Esta observación se relaciona con las definiciones que se utilizan en la BDS, las cuales debiesen ser únicas y consensuadas a nivel nacional para el éxito de la BDS y su uso en otro contexto. Particularmente se alude a la definición de cuerpo de agua utilizada, la cual no es de dominio nacional ni utilizada por todas las entidades del país. Por lo tanto, los estudios que encarga o realiza cada servicio público responden a la definición de cada uno de ellos. Existiendo información a distinta escala o relacionada a distintas unidades espaciales, por ejemplo por cuenca, subcuenca, subsubcuenca o tramos más pequeños determinados por otros criterios.

*“...entonces hay que definir correctamente cual es un cuerpo de agua, hay la dificultad de comparar datos o información porque tu tienes otro cuerpo de agua en tus pensamientos que otros expertos. Entonces la información está relacionada a otras unidades espaciales, no hay una definición nacional de los cuerpos de agua para relacionar los datos y a las informaciones”*

Al carecer de esta definición nacional se cuestiona la aplicabilidad de la BDS construida, la cual se limita a espacios determinados por la aceptación y utilización del estudio al que pertenece (clasificación de cuerpos de agua de Chile). En Alemania todas las organizaciones utilizan una única definición de cuerpo de agua por lo cual toda la información levantada responde a esa unidad espacial.

Finalmente, la limitación de la BDS es la ausencia de una definición única de cuerpo de agua a nivel nacional. Sin embargo, la BDS construida puede ser utilizada sin ningún problema en el contexto académico utilizando la definición de cuerpo de agua determinada en el proceso de clasificación. En esta misma línea la BDS podría modificarse e incluir las definiciones del término “cuerpo de agua” utilizadas por los servicios públicos con lo cual se estaría solventando el problema señalado por el entrevistado.

La limitación mencionada constituye un problema de semántica entre instituciones y/u organizaciones lo cual se puede solventar con esta herramienta, ya que su estructura permite la inclusión y diferenciación de conceptos como “cuerpo de agua”. Por lo cual se puede construir una BDS con una representación de dominio de conocimiento mayor o más general que el presentado en este estudio, incluyendo estas acepciones y generando relaciones mediante atributos conectores que permitan diferenciar claramente la información asociada a cada una de las definiciones expuestas del término en cuestión. Estas complicaciones semánticas intersectoriales a las que se expone continuamente el sector público debiesen ser abordadas por herramientas de conocimiento con lo cual la gestión de la información y el entendimiento entre los diferentes actores se facilitaría, es por esto que la inclusión y potencialidades de esta herramienta debiesen seguir investigándose.

La observación señalada por el entrevistado apunta a la BDS construida, siendo cuestionable su aplicabilidad en las condiciones nacionales. A pesar de esto, la herramienta se evalúa positivamente, por su detalle, claridad, utilidad en la realización de monitoreos y gestión, y capacidad de incluir relaciones entre componentes.

**Mejoras en la gestión del dominio y otras temáticas ambientales:** Se evalúa favorablemente a la herramienta en cuanto a su aplicación en otras temáticas, destacando el seguimiento ambiental y el proceso sancionatorio, ambos aspectos incorporables en la BDS construida. También se valora el aporte a la gestión, puesto que se visualiza como “el sistema de información para la gestión”, en este caso de los cuerpos de agua en relación a su calidad y estado ecológico. En esta línea y en la aplicación hipotética de la tipología resultante de la clasificación de cuerpos de agua, se sostiene que la herramienta aportaría en la gestión y manejo de los tipos de cuerpos de agua en el ámbito ambiental, aspecto ausente en nuestro país.

Los beneficios en el proceso de gestión tienen relación con la claridad de la información, la cual se encuentra interconectada y ordenada de una manera lógica y entendible para cualquier usuario. Adicionalmente, se valora la estructura en la que se inserta el conocimiento ya que éste pone a disposición todos los elementos necesarios para, por ejemplo, diagnosticar y monitorear en un solo soporte (BDS) y se considera como una herramienta netamente de gestión.

*“Osea respecto a los recursos hídricos... el tema de poder tener claridad porque tienes todos los elementos para diagnosticar y eso te permite aplicarlo... es una herramienta totalmente de gestión”*

Por otro lado, se visualiza una complementación de la presente BDS con otros tipos de clasificación o tipologías biológicas a diferentes escalas, siempre y cuando exista un parámetro común el cual coincida en definición y categorías. Esta visualización de la herramienta en complementación a otras temáticas robustece el sistema de conocimiento, sin embargo se requiere claridad en cuanto a la motivación y aplicación de la BDS antes de su construcción por que la integración de tipologías o temáticas debe responder a un fin.

*“...hay una tipología para las áreas riparianas entonces aquí es el río y acá área ripariana. Los expertos han hecho su tipología especial de la biodiversidad de las áreas riparianas y esta tipología resulta más detallada que la tipología de aguas superficiales... en este caso es muy importante realizar una interfaz. Por ejemplo... el parámetro de interfaz entre tipología de biodiversidad y aguas superficiales es por ejemplo la geología, silíceo y calcáreo, entonces esto tiene que ser lo mismo en la tipología de aguas superficiales, este es el parámetro de interfaz”*

Finalmente, se mencionan como temáticas potenciales para implementar este soporte de conocimiento a la biodiversidad, sitios prioritarios, áreas protegidas públicas y privadas, presiones antrópicas, vegetación, ecosistemas, representatividad de áreas protegidas.

**Obstáculos en la implementación en la institucionalidad pública:** En el proceso de implementación de la herramienta no se visualizan obstáculos. Puesto que, la mantención y actualización, actividades limitantes y muy especializadas, se encargan a profesionales capaces de adaptarse a nuevos soportes y sistemas informáticos.

*“...el tema de la mantención... pero no creo, siempre va a haber alguien encargado del tema, de esto. En ese sentido no creo que haya una limitación”*

Por otro lado, la implementación de la BDS se limita por el consenso entre actores e instituciones. Para lo cual se requiere de un trabajo adicional y anterior a la implementación de la BDS construida. Realizando esas gestiones la implementación no tendría ningún obstáculo, puesto que la herramienta es muy útil para la gestión de conocimiento dentro de una organización.

Esta observación releva el tema de la necesidad de consenso y de un trabajo conjunto de un grupo amplio de expertos en el dominio en cuestión que se plasme en la BDS. La BDS construida contiene términos consensuados en talleres y mesas de trabajo en las cuales participaron expertos y profesionales del sector público, pero los aspectos relacionados con la gestión y monitoreo fueron establecidos por el creador de la BDS.

Como se mencionó los entrevistados no declararon obstáculos técnicos ni operativos en la implementación de la herramienta. En esta línea es relevante considerar aspectos como la cultura, dinámica, tiempo y recursos humanos involucrados en el proceso de transición entre soportes de información, los cuales influirán en el éxito o fracaso de la implementación de la herramienta.

## CONCLUSIONES

Los resultados exponen que las BDS mejoran la gestión de las temáticas abordadas en la institucionalidad ambiental, disminuyendo las brechas entre el sector público y el científico y/o experto mediante la explicitación de conceptos y la interconexión de éstos, facilitando el entendimiento entre profesionales semánticamente distantes.

La base de datos semántica de la clasificación de cuerpos de agua responde a los requerimientos establecidos y a los objetivos planteados en el presente estudio. La construcción de este soporte de información requiere de un proceso de conceptualización del dominio, lo cual finalmente se materializa en la estructura de la base de datos semántica. Este ejercicio es el que genera el puente entre dominios de conocimiento especializados y usuarios o profesionales ajenos a estos, abordando los problemas de semántica entre actores. Este proceso de conceptualización y consenso se considera uno de los factores más relevantes en el éxito y utilización de una BDS, sin este ejercicio la base de datos sólo es útil para su creador y el contexto en el que este se desarrolla.

La evaluación realizada de la BDS evidencia que el soporte evaluado presenta similares tiempos de acceso a la información que los soportes tradicionales. Sin embargo, el grupo evaluado con la BDS comete menos errores (10% de respuestas en alguna categoría de error), que el evaluado con soportes tradicionales (35% de respuestas en alguna categoría de error) en dominios cercanos a los usuarios y con grandes volúmenes de información disgregada. La tendencia expuesta revela una posible diferencia a investigar entre soportes al momento de interactuar con un dominio afín pero desconocido por el usuario. Esta evidencia se acota al dominio y los profesionales evaluados, en escenarios de uso con dominios alejados del ámbito laboral y formación profesional del usuario se desconoce su impacto y tiempo de acceso a la información y conocimiento. Adicionalmente, la tendencia de los datos revela una oportunidad de implementación de la herramienta para gestión del conocimiento en el contexto laboral de estos profesionales, lo cual facilitarían la búsqueda de información en tiempos similares que los soportes tradicionales pero con una menor probabilidad de errar en la información requerida, y facilitarían el entendimiento entre profesionales agilizando los procesos del quehacer de la organización y/o institución.

La potencialidad de la herramienta en el sector público guarda estrecha relación con la disminución de las brechas entre expertos y profesionales de la institucionalidad pública, las cuales son imperceptibles en algunos escenarios, siendo obstáculos en dominios muy especializados necesarios para la toma de decisiones. La herramienta se considera un soporte útil, aplicable y adecuado para la gestión de las temáticas abordadas en el Ministerio de Medio Ambiente, como también en el resto de los servicios públicos, por su claridad e interconectividad de conceptos e información, afirmación avalada por los profesionales entrevistados.

Los resultados no son concluyentes ni aplicables a otras temáticas y/u otro contexto de uso. Sin embargo, el presente estudio logra exponer la utilidad, ventajas y facilidades que la herramienta entrega en la gestión de conocimiento, ya sea de una organización o de un área específica de estudio. Facilidades y ventajas como la conceptualización de un fenómeno, evento y/o temática, la explicitación de conceptos, el ser un repositorio robusto y completo de información y conocimiento del dominio y la adaptación de la herramienta a nuevas condiciones y problemáticas, que hacen de esta herramienta una oportunidad de mejorar la gestión de conocimiento.

Basado en las evaluaciones realizadas y al dominio utilizado, se observa una tendencia favorable al uso de las BDS en el sector público lo cual facilitaría el proceso de toma de decisiones al acceder a la información y conocimiento experto, hoy ausente en el sector público, organizado y concentrado en un único soporte de información, siendo una oportunidad para mejorar la gestión de los Recursos Naturales.

Finalmente, se considera relevante la implementación de soportes de información y conocimiento que apoyen los procesos de toma de decisiones del sector público sobre todo en áreas ambientales, las cuales normalmente tienen un nivel de incertidumbre mayor por el desconocimiento y vacíos de información ya sea locales (fenómenos en condiciones territoriales particulares) o globales (consecuencias ambientales y sociales, etc.). Esta situación provoca retrasos en las decisiones tomadas por los profesionales a cargo, decisiones normalmente requeridas con urgencia.

## BIBLIOGRAFÍA

Abell, R., M. Thieme, C. Revenga, M. T. Bryer, M. Kottelat, N. Bogutskaya, B. Coad, N. Mandrak, S. B. Contreras, W. A. Bussing, M. L. J. Stiassny, P. Skelton, G. R. Allen, P. Unmack, A. Naseka, R. Ng, N. Sindorf, J. Robertson, E. Armijo, J. V. Higgins, T. J. Heibel, E. Wikramanayake, D. Olson, H. López, R. E. Reis, J. G. Lundberg, M. H. Sabaj and P. Petry. 2008. Freshwater ecoregions of the world: a new map of biogeographic units for freshwater biodiversity conservation. *BioScience* 58:403-414.

Agencia Catalana del Agua, 2006. Segunda parte. Protocolo de evaluación de la calidad hidromorfológica. In Protocolo HIDRI Protocolo para la valoración de la calidad HIDromorfológica de los RÍos. Disponible en: [http://aca-web.gencat.cat/aca/documents/ca/directiva\\_marc/protocol\\_hidri\\_cas.pdf](http://aca-web.gencat.cat/aca/documents/ca/directiva_marc/protocol_hidri_cas.pdf). Leído el 18 de diciembre de 2011.

Alameida, M. y M. Bax. 2003. Uma visão geral sobre ontologias: pesquisa sobre definições, tipos, aplicações, métodos de avaliação e de construção. *Ci. Inf.* 32 (3): 7- 20.

Alba, J., I. Pardo, N. Prat y A. Pujante. 2005. Metodología para el establecimiento el Estado Ecológico según la Directiva MARCO del Agua. Protocolos de muestreo y análisis para invertebrados bentónicos. Disponible en: [http://195.55.247.234/webcalidad/estudios/indicadoresbiologicos/Manual\\_bentonicos.pdf](http://195.55.247.234/webcalidad/estudios/indicadoresbiologicos/Manual_bentonicos.pdf). Leído 17 de diciembre 2011.

Allan, D. and M. Castillo. 2007. *Stream Ecology. Structure and function of running waters*. Second edition. Springer. 436p.

Barchini, G. 2006. Sistemas de información: nuevos escenarios basados en ontologías. *Journal of Information systems and technology Management* 3(1): 3-18.

Barchini, G., M. Álvarez, D. Palliotto y G. Fortea. 2009. Evaluación de la Calidad de los sistemas de información basados en ontologías. pp.645-662. *In*: Universidad Politécnica de Valencia, IX Congreso Isko- España, Nuevas perspectivas para la difusión y organización del conocimiento. España, 11 al 13 de marzo de 2009.

Bardowicks, K. 2005. El uso del índice biológico en la determinación de aguas superficiales en Alemania. *Revista ciencia Ahora* 16(8): 1-7.

Bermúdez, L. and M. Piasecki. 2004. Role of ontologies in creating hydrologic metadata. Disponible en: <http://idea.library.drexel.edu/bitstream/1860/769/1/2006042018.pdf>. Leído el 15 de diciembre de 2009.

Borja, Á., J. Franco, V. Valencia, J. Bald, I. Muxika, M.J. Belzunce and O. Solaun. 2004. Implementation of the European water framework directive from the Basque country (northern Spain): a methodological approach. *Marine Pollution Bulletin* 48:209-218.

Braukmann, U. and R. Biss. 2004. Conceptual study – An improved method to assess acidificación in German streams by using benthic macroinvertebrates. *Limnologica* 34: 433-450.

Brunke, M. 2004. Stream typology and lake outlets- a perspective towards validation and assessment from northern Germany (Schleswig-Holstein). *Limnologica* 34:460-478 (2004).

Carstensen, J., U. Helminen and A. Heiskanen. 2004. Typology as a structuring mechanism for phytoplankton composition in the Baltic Sea. *Baltic Sea Typology Coastline Reports* 4: 55 – 64.

Casazza, G., C. Silvestri and E. Spada. 2003. Classification of coastal waters according to the new Italian water legislation and comparison with the European Water Directive. *Journal of Coastal Conservation* 9:65-72.

Castillo, E., J. Gutiérrez y A. Hadi. 1997. *Sistemas Expertos y Redes Probabilísticas*. Academia de Ingeniería, Madrid. Disponible en: <http://garota.fismat.umich.mx/~htejeda/gutierjm/BookCGH.pdf> Leído el 15 de julio de 2012.

Comisión Nacional de Medio Ambiente (CONAMA). 2010. Clasificación de cuerpos de agua. Informe Final, Santiago, Chile. 115p.

Contreras, J. y J. Martínez. s.a. Tutorial ontologías. Disponible en: [http://www.sedic.es/gt\\_normalizacion\\_tutorial\\_ontologias.pdf](http://www.sedic.es/gt_normalizacion_tutorial_ontologias.pdf). Leído el 10 de marzo de 2010.

Corcho, O., M. Fernández-López and A. Gómez-Pérez. 2003. Methodologies, tools and languages for building ontologies. Where is their meeting point? *Data & Knowledge Engineering* 46: 41-64.

Corcho, O., M. Fernández-López, A. Gómez-Pérez and A. López-Cima. 2005. Building legal ontologies with METHONTOLOGY and WebODE. pp. 142-157. *In: Law and the Semantic Web: Legal Ontologies, Methodologies, Legal Information Retrieval, and Applications*. Springer. 249p.

De Giusti, M., G. Villarreal, A. Sobrado y A. Vosou. 2009. Recuperación y clasificación automática de información, resultados actuales y perspectivas futuras. pp. 49-53. *In: V Simposio Internacional de Bibliotecas Digitales*, en Universidad de New México, Estados Unidos. 27 y 28 de octubre de 2009.

Dyer, B. 2001. The freshwater ecoregions of Chile. Final report Freshwater Ecoregions of the World, World Wildlife Fund, 20p.

EULA. 2010. Programa de investigación para la restauración ambiental de los lagos urbanos de la ciudad de Concepción. Disponible en: [http://www.eula.cl/doc/recuperacion\\_ambiental\\_rurrutia.pdf](http://www.eula.cl/doc/recuperacion_ambiental_rurrutia.pdf). Leído 19 de diciembre de 2011.

Feld, C. 2010. Bioevaluación en el marco de la Directiva Marco de Agua, en el contexto de la segunda fase de la clasificación de cuerpos de agua de Chile. Presentación en el Taller Tipología y bioevaluación. Santiago, Chile. 3 -7 de enero de 2011.

Figueroa, R., M. Suarez, A. Andreu, V. Ruiz y M. Vidal. 2009. Caracterización Ecológica de Humedales de la zona semiárida en Chile central. *Gayana* 73(1): 76-94.

Flórez, H. 2008. Construcción de ontologías OWL. *Investigación y Desarrollo* 4(1): 19-34.

Fosalba, C., C. Iglesias, M. Meerhoff y F. Teixeira de Mello. s.a. Documento de difusión: Rehabilitación y restauración de ecosistemas degradados, lagos eutróficos. Disponible en: <http://imasd.fcien.edu.uy/difusion/tacuaremba/clases/clase%204%20restauracion%20acuaremba.pdf>. Leído 19 de diciembre de 2011.

Fuster, R. y M. Llambías, s/a. Capítulo 1: Recursos hídricos e hidrología. *In: Fuster, R. (Ed.) Fundamentos para la gestión de Recursos Hídricos, Universidad de Chile. (En edición).*

García, A. 2004. Instrumentos de representación del conocimiento: tesauros versus ontologías. *Anales de documentación* 7: 79-95.

Gil, O., A. Gil y F. García. 2007. Una ontología de vinos españoles. pp.407-410. *In: Actas da Conferencia IADIS Ibero-Americana WWW/INTERNET. Vila Real, Portugal. 7-8 de Octubre de 2007.* Disponible en: [http://www.iadis.net/dl/final\\_uploads/200713P064.pdf](http://www.iadis.net/dl/final_uploads/200713P064.pdf). Leído el 12 de marzo de 2010.

González, M. 2000. Evaluación de Software Educativo orientaciones para su uso pedagógico. Universidad de EAFIT, Medellín, Colombia. Disponible en: <http://www.tecnoedu.net/lecturas/materiales/lectura27.pdf>. Leído el 26 de agosto de 2011.

González, M. y D. García. 2006. Propuesta de caracterización jerárquica de los ríos españoles para su clasificación según la Directiva Marco de la Unión Europea. *Limnetica* 25 (3): 693-712.

Granado, C. 1996. *Ecología de Peces*. Primera Edición, Universidad de Sevilla, España. 361p.

Gruber, T. 1993. Toward principles for the design of ontologies used for knowledge sharing. *International Journal Human-Computer Studies* 43: 907-928.

Guerra, G. 1992. Manual de Administración de empresas Agropecuarias. Segunda Edición, Instituto Interamericano de Ciencias Agrícolas, San José, Costa Rica. 579p.

Haslett, S. 2009. Coastal systems. Segunda edición. Routledge introductions to environment series. 216p.

Higgins, M., T. Bryer, M.I. Khoury and T.W. Fitzhugh. 2005. A freshwater classification approach for biodiversity conservation planning. *Conservation Biology* 19(2): 432-445. *In: CONAMA. 2010. Clasificación de cuerpos de agua. Informe Final, Comisión Nacional del Medio ambiente, Santiago, Chile. 115p.*

Jáimez-Cuéllar, P., S. Vivas, N. Bonada, S. Robles, A. Mellado, M. Álvarez, J. Avilés, J. Casas, M. Ortega, I. Pardo, N. Prat, M. Rieradevall, C. Sáinz-Cantero, A. Sánchez-Ortega, M. Suárez, M. Toro, M. Vidal-Abarca, C. Zamora-Muñoz y J. Alba-Tercedor. 2002. Protocolo GUADALMEND (PRECE). *Limnetica* 21(3-4): 187-204.

Juristo, N., A. Moreno y S. Vegas. 2005. Técnicas de Evaluación de Software. Disponible en: <http://is.ls.fi.upm.es/udis/docencia/erdsi/Documentacion-Evaluacion-6.pdf>. Leído el 25 de agosto de 2011.

Kendall, K. y J. Kendall. 2005. Análisis y Diseño de Sistemas. Sexta edición, Pearson Educación. 726p.

León, M. s.a. Desarrollo de una ontología para los aspectos constructivos de la seguridad en caso de incendio en la edificación aplicación a la consulta inteligente del documento básico S.I. del código técnico de la edificación. Proyecto Fin de carrera departamento de ingeniería del diseño. Universidad de Sevilla, Escuela Técnica superior de Ingenieros. Andalucía, España. 303p.

Liao, Shu-Hsien. 2005. Expert system methodologies and applications- a decade review from 1995 to 2004. *Expert Systems with Applications* 28: 93-103.

Logan, P. and M. Furse. 2002. Preparing for the European Water Framework Directive making the links between habitat and aquatic biota. *Aquatic Conserv: Mar. Freshw. Ecosyst.* 12: 425-437.

Lorenz, A., C. Feld and D. Hering. 2004. Typology of streams in Germany based on benthic invertebrates: Ecoregions, zonation, geology and substrate. *Limnologica* 34: 379-389.

Lozano, A. 2001. Ontologías en la Web Semántica, (ICWE01) Cuadernos de Investigación en Ingeniería Informática. Ingeniería Web: Nuevos Retos Tecnológicos en la Era de la Información. Ediciones Servitec 5:7-11.

Marreno, M., J. Morato, J. Lloréns y J. Moreiro. 2006. Definición de un marco para el desarrollo de metodologías para fusión de ontologías. pp. 115-122. *In:* Acta de Conferencia IADIS Ibero-Americana WWW/internet. Murcia, España. 6 y 7 de octubre de 2006.

McElarney, Y.R. and B. Rippey. 2009. A comparison of lake classifications based on aquatic macrophytes and physical and chemical water body descriptors. *Hydrobiologia* 625:195–206.

Mendoza, M., H. Plascencia, C. alcántara, F. Rosete y G. Bocco. 2009. Análisis de la Aptitud Territorial. Una perspectiva biofísica. Primera Edición, México. 141p.

Miguel, V., M. López y N. Montaña. 2008. Desarrollo de una ontología para la conceptualización de un ambiente virtual de aprendizaje constructivista. *Archivos venezolanos de Farmacología y Terapéutica* 27(2): 125-128.

Miliarium. 2004. Mejora de hábitat fluvial para poblaciones piscícolas. Disponible en: <http://www.miliarium.com/Proyectos/RestauracionAmbiental/varios/mejorahabitatfluvial.a.sp>. Leído el 19 de diciembre de 2011.

Ministerio de Medio Ambiente (MMA). 2011a. Definición de la Clasificación de Cuerpos de Agua. Informe Final, Santiago, Chile. 69p.

Ministerio de Medio Ambiente (MMA), 2011b. Generación de Información Cartográfica para el Sistema de Tipología de Ríos y Lagos de Chile. Segundo Informe de avance, Base Cartográfica, Santiago, Chile. 48p.

Moog, O., A. S.-Kloiber, T. Ofenböck & J. Gerritsen. 2004. Does the ecoregion approach support the typological demands of the EU ‘Water Framework Directive’?. *Hydrobiologia* 516: 21–33.

Morales, C., Y. González, V. Carmona y S. Espíritu. 1998. Evaluación de software educativo. Instituto Latinoamericano de la Comunicación Educativa, Unidad de Investigación y Modelos Educativos. Disponible en: [http://investigacion.ilce.edu.mx/panel\\_control/doc/c36,evaluacsoft.pdf](http://investigacion.ilce.edu.mx/panel_control/doc/c36,evaluacsoft.pdf). Leído el 26 de agosto de 2011.

Mujica, L. y H. Morinigo. 2001. Contaminación bacteriológica del arroyo guante parte del lago de Salto Grande CTM. Presentado en III seminario sobre calidad de agua y contaminación organizado por la comisión Administradora del Río Uruguay. Disponible

en: <http://www.caru.org.uy/publicaciones/3erSeminario-sobre-calidad-de-las-aguas-y-contaminacion.pdf#page=117>. Leído el 11 de diciembre de 2011.

Muñoz, A. y J. Aguilar. 2009. Ontología para bases de datos orientadas a objetos y multimedia. Disponible en: <http://pisis.unalmed.edu.co/avances/archivos/ediciones/Edicion%20Avances%202009%20/19.pdf>. Leído el 8 de enero de 2010.

Noy, N y D. McGuinness. 2005. Desarrollo de Ontologías-101: Guía para crear tu primera ontología. Disponible en: [http://protege.stanford.edu/publications/ontology\\_development/ontology101-es.pdf](http://protege.stanford.edu/publications/ontology_development/ontology101-es.pdf). Leído 14 Marzo de 2010.

Odum, E. y G. Barret. 2006. Fundamentos de ecología. Quinta Edición. Ed. Thomson International, 624 p. *In*: CONAMA. 2010. Clasificación de cuerpos de agua. Informe Final, Comisión Nacional del Medio ambiente, Santiago, Chile. 115p.

Organización de cooperación y desarrollo económico (OCDE). 2005. Evaluación del desempeño ambiental. Disponible en: [http://www.ine.cl/canales/menu/OCDE/OCDE\\_Informes/InformeMedioAmbiente2005texto.pdf](http://www.ine.cl/canales/menu/OCDE/OCDE_Informes/InformeMedioAmbiente2005texto.pdf). Leído el 8 de enero 2010.

Ortiz, J.L. 2002. La directiva marco del agua (2000/60/CE): Aspectos relevantes para el proyecto GUADALMED. *Limnetica* 21(3-4): 5-12.

Parlamento Europeo. 2000. Directiva 2000/CE del Parlamento Europeo y del Consejo por la que se establece un marco comunitario de actuación en el ámbito de la política de aguas. Texto conjunto aprobado por el Comité de Conciliación contemplado en el apartado 4 del artículo 251 del Tratado. Bruselas, 18 de julio de 2000. 41p. más anexos.

Parra, O., C. Caldovinos, R. Urrutia, M. cisternas, E. Habit y M. Mardones. 2003. Caracterización y tendencias tróficas de cinco lagos costeros de Chile Central. *Limnetica* 22(1-2):51-83.

Pedraza-Jiménez, R., L. Codina y C. Rovira. 2007. Web semántica y ontologías en el procesamiento de la información documental. *El profesional de la información* 16(6): 569-578.

Pérez, D. 2007. Un modelo de integración preprocesamiento de información distribuida basado en ontologías. Tesis doctoral. Universidad politécnica de Madrid, Facultad de Informática. Madrid, España. 217p.

Pujante, A., F. Martínez-López y G. Tapia. 1995. Macroinvertebrados y calidad de las aguas de los ríos próximos a la central térmica de Andorra (Teruel, España). *Limnética* 11(2): 1-8.

Ramírez, Z. s.a. Las ontologías como herramienta en la gestión del conocimiento. 10p. Disponible en: <http://www.bibliociencias.cu/gsd/collect/eventos/archives/HASH0115/5555a872.dir/doc.pdf>. Leído el 12 de marzo de 2010.

Ramos, E., Núñez, H. y R. Casañas. 2009. Esquema para evaluar ontologías únicas para un dominio de conocimiento. *Enlace: Revista Venezolana de Información, Tecnología y conocimiento* 6(1): 57-71.

Rauscher, H.M. 1995. Natural resource decision support: theory and practice. *AI Applications* 9(3): 1-2.

Render, B., R. Stair y M. Hanna. 2006. *Métodos Cuantitativos para los Negocios*. Novena Edición, Editorial Pretince Hall. 728p.

Ringuelet, R. 1962. *Ecología acuática continental*. Eudeba Editorial Universitaria de Buenos Aires, Argentina. 138p.

Rivera, N., G. Maturana, S. Arenas, A. Tangarife y J. Guzman. 2009. SISDEON: Un sistema de información sobre el desplazamiento forzado en Colombia mediante el uso de ontologías. *Revista Avances en Sistemas e informática* 6(3): 163-168.

Roldán-García, M. y J. Aldana-Montes. 2007. Las bases de datos y la Web semántica: ficción o realidad. pp. 11-18. *In: Actas de EIDBD 2007: Evolución de la Investigación y la Docencia en Bases de Datos*. ISSN: 1988-3455. Zaragoza, España. 11 de septiembre de 2007.

Roldán-García, M. y J. Aldana-Montes. 2008. DBOWL: persistencia y escalabilidad de consultas y razonamientos en la web semántica. pp. 2 - 8. *In: I Simposio de doctorado en Web Semántica*. Actas del I Simposio de doctorado en Web Semántica. Salamanca, España. 11 al 13 de noviembre de 2007.

Roldán, G. y J. Ramírez. 2008. *Fundamentos de limnología neotropical*. Segunda Edición. Editorial Universidad de Antioquía, Colombia. 421p.

Sánchez, D. 2007. *Domain Ontology Learning from the Web*. Tesis Doctorado en informática. Universidad Politécnica de Catalunya. Tarragona, España 226p. Disponible en: <http://www.tesisexarxa.net/TDX-0122108-103125/>. Leído el 5 enero de 2010

Schernewski G. and M. Wielgat. 2004. A Baltic Sea typology according to the EC-Water Framework Directive: Integration of national typologies and the water body concept. *Baltic Sea Typology Coastline Reports* 4: 1- 26.

Schmitt, L, G. Maire, P. Nobelis and J. Humbert. 2007. Quantitative morphodynamic typology of rivers: a methodological study based on the French Upper Rhine basin. *Earth Surfaces Processes and Landforms* 32:1726-1746.

Stair, R. y G. Reynolds. 2000. *Principios de Sistemas de Información: Enfoque Administrativo*. Cuarta edición, Internacional Thomson Editores. 692p.

Verdonschot, P. F. M. and R. C. Nijboer. 2004. Testing the European stream typology of the Water Framework Directive for macroinvertebrates. *Hydrobiologia* 516: 35–54.

Verdonschot, P. F.M. 2006. Evaluation of the use of Water Framework Directive typology descriptors reference sites and spatial scale in macroinvertebrate stream typology. *Hydrobiologia* 566:39–58.

Virchez, J. y C. Salazar. 2003. Mejoramiento ambiental de un río urbano: El caso del río Junction Creek, Sudbury, Ontario, Canadá. pp. 256- 265. *In: Díaz, C., C. Fall, E. Quentin, M. Jiménez, M. Esteller, S. Garrido, C. López y D. García (Eds). Agua potable para comunidades rurales, reuso y tratamientos avanzados de aguas residuales domésticas. Disponible en: <http://tierra.rediris.es/hidrored/ebooks/ripda/index.html#>. Leído el 19 de diciembre de 2011*

Vlek, H.E. , P. F. M. Verdonschot and R.C. Nijboer. 2004. Towards a multimetric index for the assessment of Dutch streams using benthic macroinvertebrates. *Hydrobiologia* 516:173-189.

Walker, D. 2002. Decision support, learning and rural resource management. *Agricultural systems* 73: 113 – 127.

## ANEXOS Y APÉNDICES

### Apéndice I. Manual básico de navegación de la BDS

La base de datos semántica se compone de clases, atributos, instancias y relaciones.

Las **clases** representan un patrón o plantilla en la que se basan objetos que son similares. Es decir, un objeto que pertenezca a una clase posee características, métodos, tipo de datos (los valores pueden diferir) descritas en esta (Muñoz y Aguilar, 2009). Por ejemplo, tipos de cuerpos de agua, tipos de vegetales, muebles, etc.

Existen clases Abstractas y concretas. Las clases concretas son aquellas que contienen instancias dentro de ellas. Las abstractas son las que no permiten la introducción de instancias. En el programa las circunferencias amarillas representan las clases concretas (p.e. clase “drink” de la Figura 14), y las clases abstractas se representan por un anillo amarillo (p.e. “Australian región” en la Figura 14).

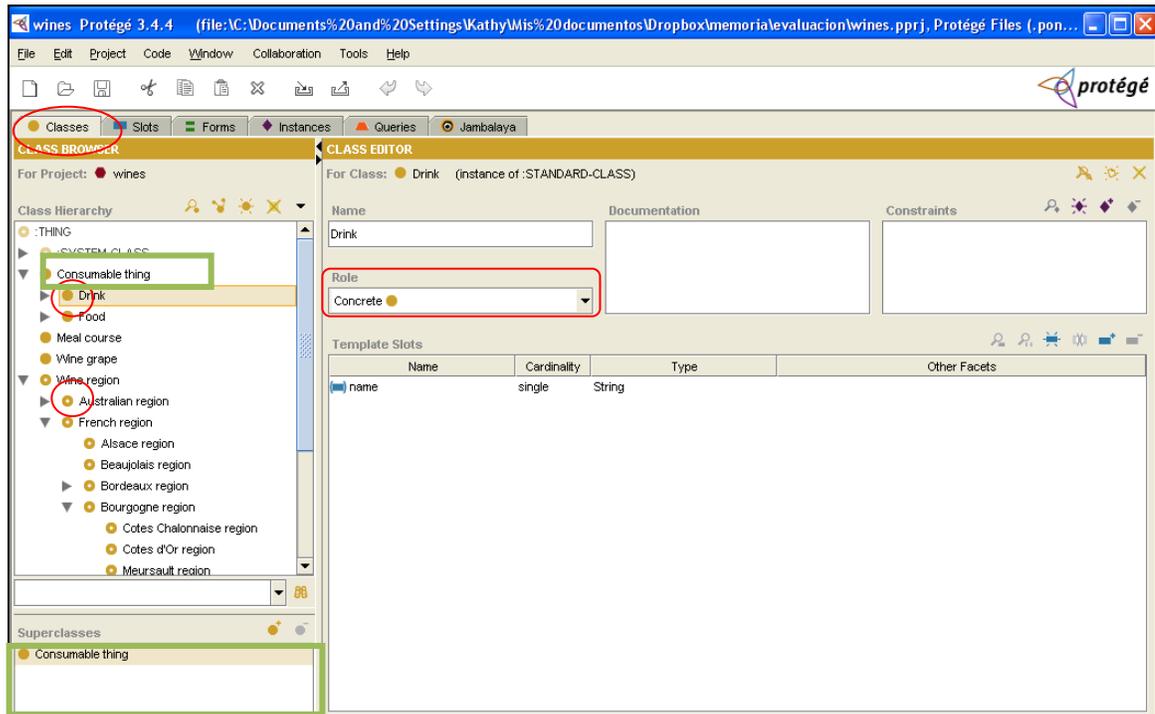


Figura 14. Interfaz para clases del programa Protégé

Todas las clases son individualizadas en base a un Nombre, Rol (especificación del tipo de clase, concreta o abstracta), Documentación (definición de la clase), Restricciones y

Atributos (“Template slots”). En la sección de Atributos se enumeran los atributos o slots que definen a la clase.

Los **atributos** son características que definen a cada clase, es decir, su estructura interna. En la Figura 15 se exponen los atributos asignados a la clase “winery” (“location”, “name”, “produces”).

Si se selecciona un atributo, por ejemplo “location”, este se visualiza azulado, luego se puede seleccionar el icono correspondiente a una lupa (🔍) con la cual se puede visualizar la información del atributo. Esta información también se encuentra en la pestaña “Slots”.

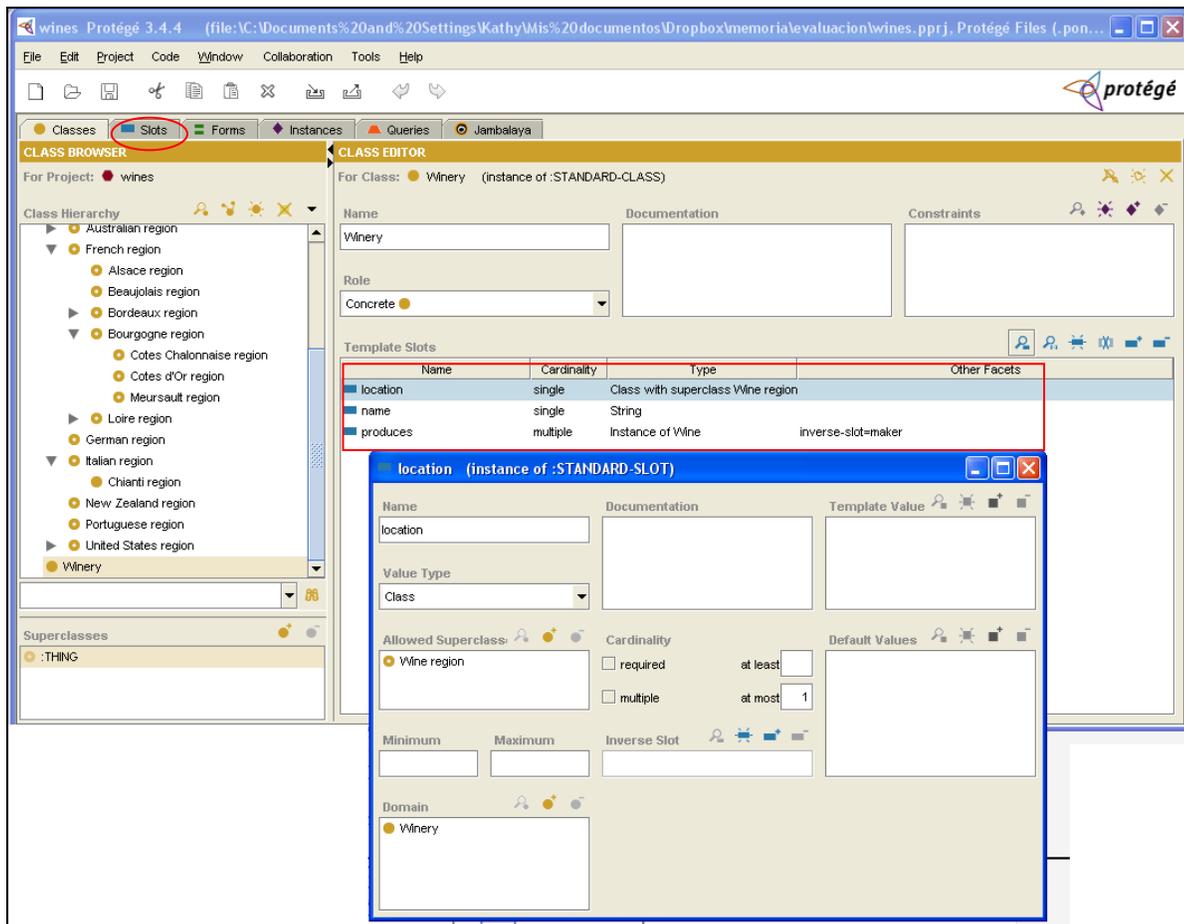


Figura 15. Visualización de atributos en la pestaña de clases

En la Figura 16 se observan los atributos con un resumen de su información, como lo es su cardinalidad, esto tiene relación con el número de valores que es posible ingresar, si el atributo es single sólo permite el ingreso de un valor, si es múltiple permite el ingreso de más de un valor. El “type” tiene relación con la naturaleza del valor a ingresar, por ejemplo éste puede corresponder a números, letras (“string”), instancias de otra clase, clases o valores preestablecidos (“symbol”).

Name	Cardinality	Type	Other Facets
location	single	Class with superclass Wine region	
name	single	String	
produces	multiple	Instance of Wine	inverse-slot=maker

Figura 16. Características de los Atributos

En la pestaña slots se pueden visualizar todos los atributos contenidos en la base de datos semántica en orden alfabético. Estos al igual que las clases contienen información asociada, como el nombre, tipo de valor (si se considera el tipo instance, class o symbol, los valores permitidos se encuentran en la sección “Allowed Classes”), la documentación y el dominio, que corresponde a las clases en las cuales se considera el atributo. En la Figura 17 el slot “maker” sólo es considerado en la clase “Wine”.

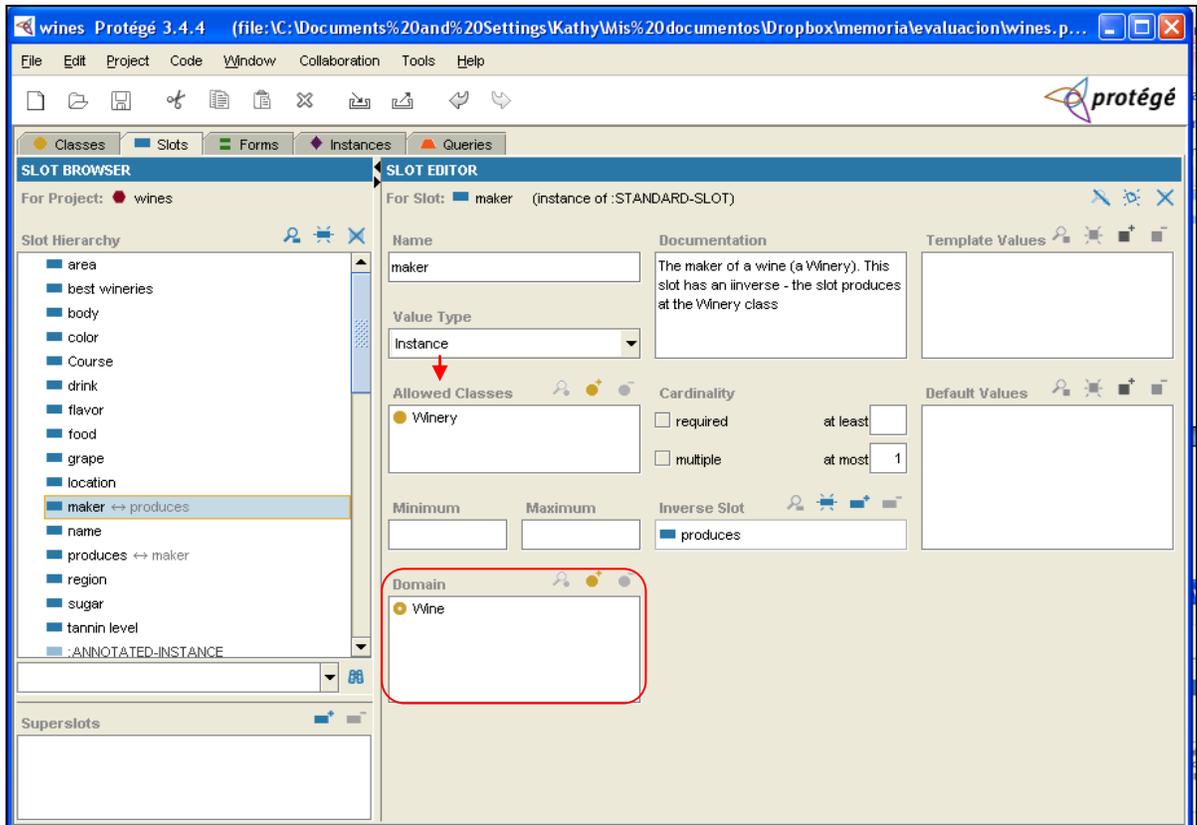


Figura 17. Interfaz para Atributos

Las **instancias** son las ocurrencias de las clases en la realidad, es decir, cada atributo de clase queda asignado con un valor concreto. En palabras simples las instancias son aquellos objetos, criterios, situaciones, etc. que son clasificados en las clases por que cumplen con la definición de la clase y que pueden ser caracterizados por los atributos (“slots”) de la clase en cuestión.

Por ejemplo, si tenemos una clase denominada muebles, las instancias serían todos los objetos que concuerdan con la definición de la clase mueble, como lo son escritorios, sillas, mesas, etc. Cuando se ingresa una instancia todos los atributos que caracterizaban la clase toman un valor.

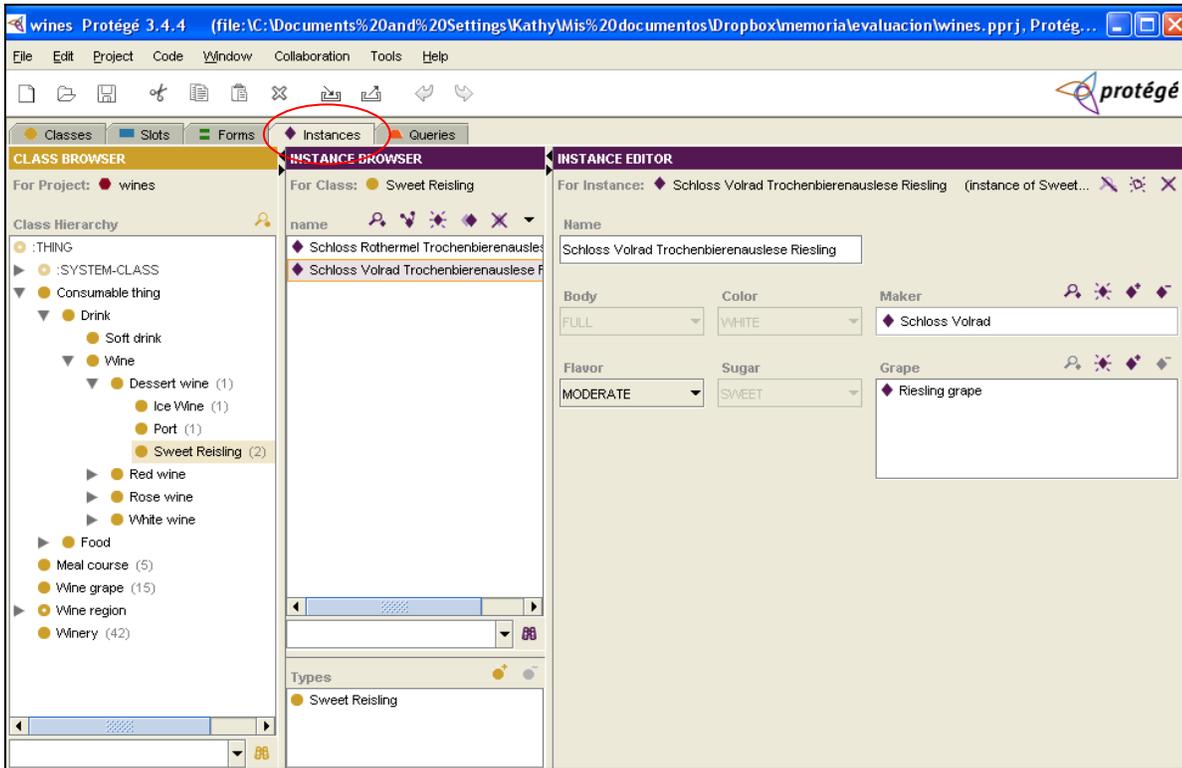


Figura 18. Interfaz para instancias

En Figura 18 se observa la instancia “Schloss Volrad Trochenbierenauslese Riesling” la cual pertenece a la clase “Sweet Reising”. Esta clase tiene asignados los atributos: “body”, “color”, “flavor”, “grape”, “maker”, “name” y “sugar”, todos estos toman un valor al ingresar la instancia, asignado por el creador de la base de datos. Esta información es exclusiva de la instancia, lo que la hace única y diferente al resto de instancia de la misma clase, en este caso de la clase “Sweet reising” que se ve destaca con amarillo, en la barra lateral.

Los atributos, como se mencionó, pueden tener como valores a una instancia de otra clase. Por ejemplo, el atributo “Maker” tiene como posibles valores a las instancias de la clase “Winery” (el valor aparece con un diamante morado y existe un menú de iconos morados sobre el atributo; Figura 19). Para poder visualizar la información de esa instancia basta con seleccionar “Schloss volrad” y presionar el icono correspondiente a una lupa (🔍). Con lo cual se despliega una ventana con la información de la instancia “Schloss Volrad” (clase “Winery”). Esta información también se despliega en la pestaña de instancia pero pinchando la clase “Winery”.

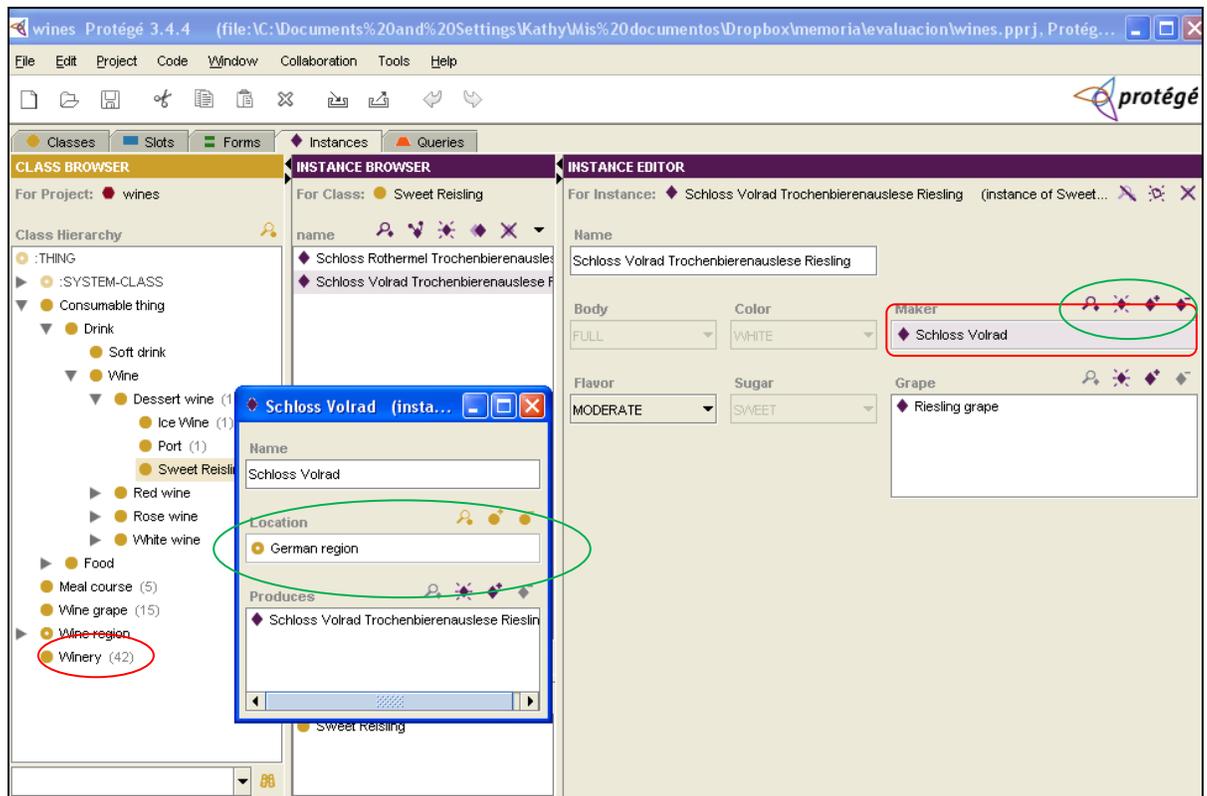


Figura 19. Visualización de información de instancias utilizadas como valores de atributos

Como se ve en la Figura 19 la instancia “Schloss Volrad” presenta 3 atributos, de la clase winery, que la definen. Los cuales son “name”, “location”, y “produces”, en donde “location” corresponde a un atributo que toma valor de clase (aparece el símbolo de clase anillo amarillo) y “produces” constituye un atributo que toma valor de instancia de otra clase.

Bajo cualquier listado de instancias, clases y atributos aparece una barra como la expuesta en la Figura 20, en la cual se pueden buscar instancias, clases o atributos, las que deben estar escritas de forma idéntica al ingresado en la base de datos, de no ser así el programa no arrojará resultados.



Figura 20. Barra de búsqueda de instancias, clases y atributos

A continuación en la Figura 20 se observa la interfaz para la realización de consultas.

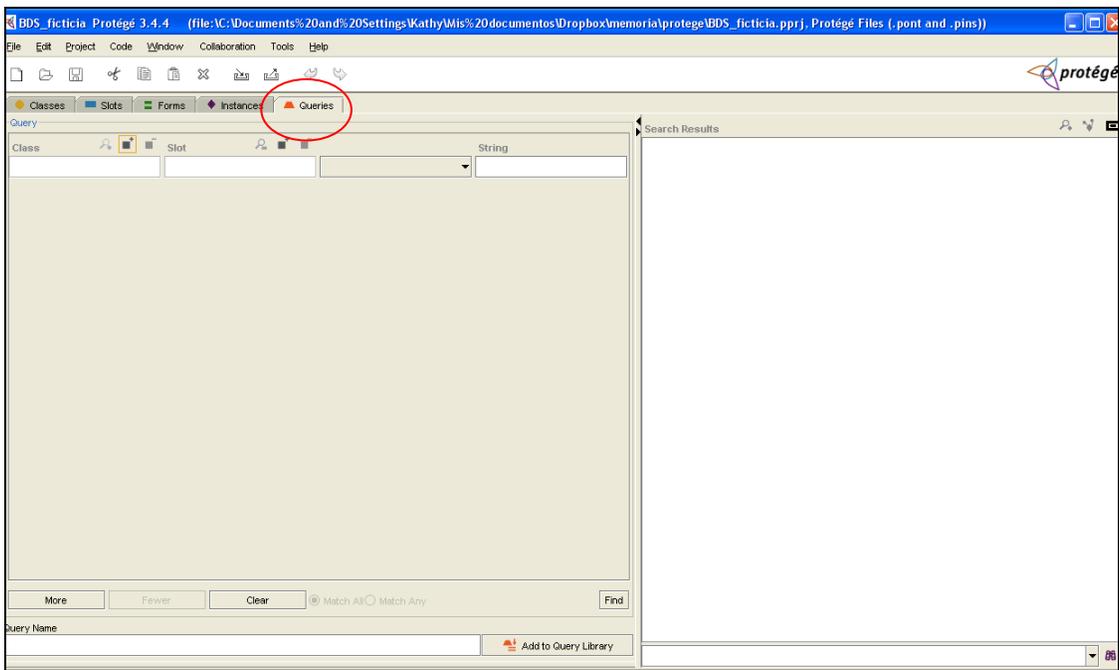


Figura 21. Interfaz de la sección de consultas

Para realizar consultas en esta pestaña se debe especificar la clase en la que se desea buscar, el atributo y el valor de éste. Al presionar “find” el programa entrega todas las instancias que cumplen con ese requisito. Adicionalmente se pueden hacer preguntas compuestas, seleccionando la opción more, especificando más de un atributo (slot) de la misma clase.



Figura 22. Visualización de opciones de búsqueda

Para la realización de consultas existen dos opciones “Match all” la cual entrega las instancias que cumplen con todos los requisitos expuestos (intercepta) y “Mach Any” que entrega las instancias que cumplen al menos con uno de estos (suma) (Figura 22).

A continuación se expone un ejemplo: en el cual se buscan los vinos que presenten color “White” y que no sean dulces. Al correr la pregunta con “find”, el programa entrega 18 instancias que cumplen con estos requisitos.

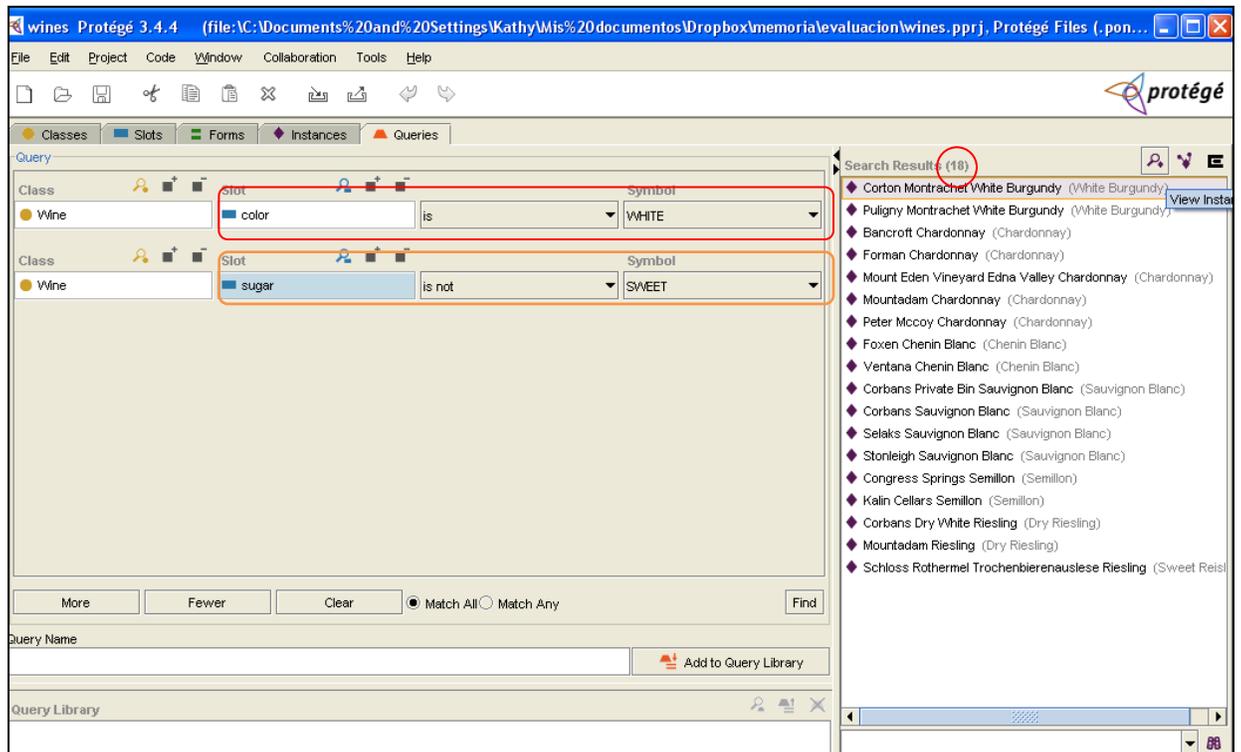


Figura 23. Ejemplo de consulta en el software Protégé

Cada una de estas instancias pueden visualizarse seleccionando la instancia y luego el icono de lupa.

El icono  muestra las ubicaciones en las que se encuentra la instancia en cuestión por ejemplo el vino “Bancroft Chardonnay”, aparece como instancia en la clase Chardonnay (subclase de la clase “Wine”), pero a su vez es considerada en otras instancias de la base de datos, en las cuales constituye un valor de atributo. Es decir, el vino “Bancroft Chardonnay” es introducido como un valor del atributo “produces” en la instancia “Bancroft” (Figura 24).

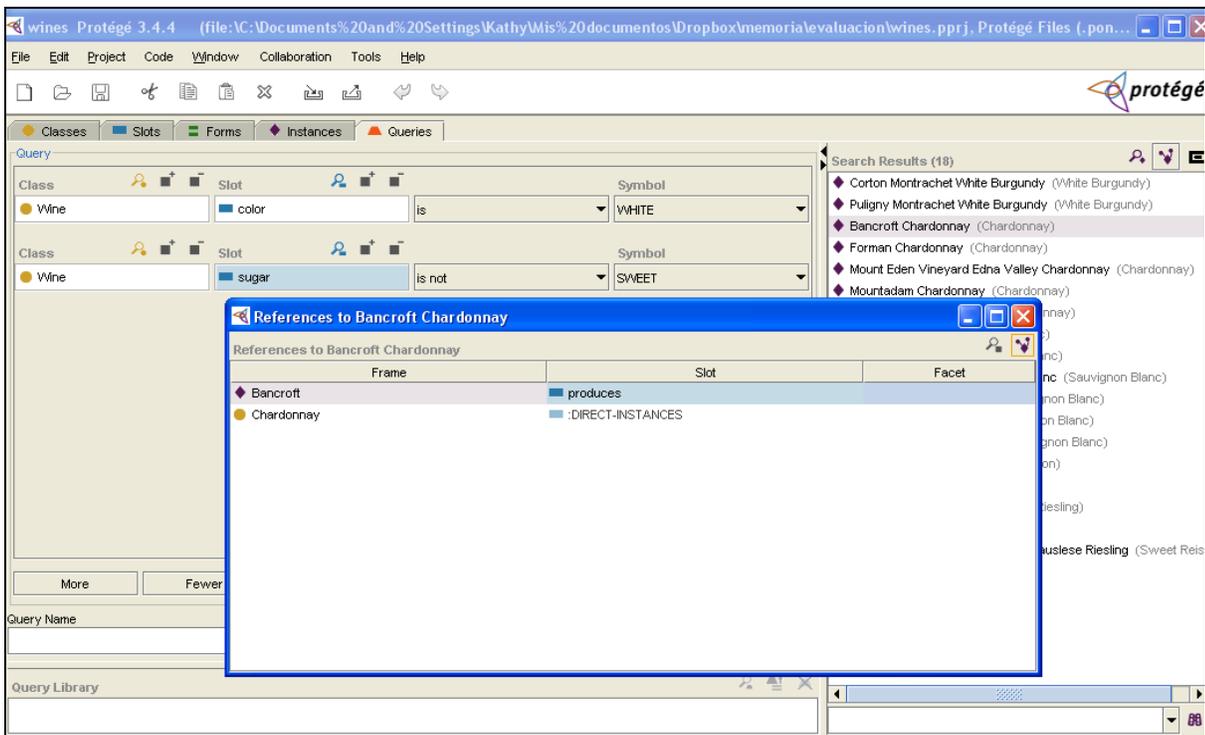


Figura 24. Vinculación de una instancia con componentes de la base de datos semántica

Adicionalmente, el programa entrega la clase a la que pertenece la instancia al costado de ésta entre paréntesis. Esto cobra valor cuando las consultas son realizadas sobre clases de mayor jerarquía (Figura 24).

Las preguntas realizadas pueden ser guardadas en la base de datos en la opción “Add to Query Library” (Figura 25).

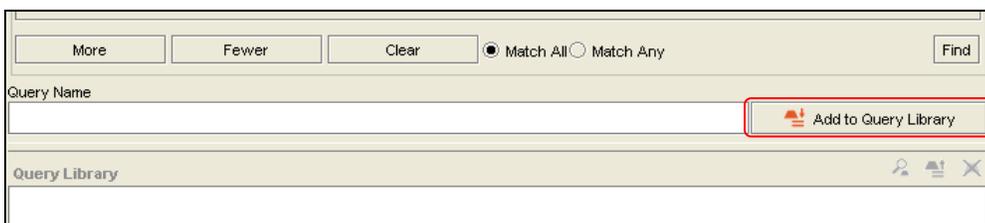


Figura 25. Mecanismo de incorporación de consultas a la base de datos semántica

Es importante limpiar las casillas de preguntas (clase, slot e instancia) para realizar una nueva consulta.

Una aplicación interesante en el programa Protégé, es la aplicación **jambalaya**, la cual se habilita en Project → Configure.

La activación de la aplicación genera una nueva pestaña al costado de “Queries”. En este módulo del programa se puede visualizar un esquema de la base de datos semántica, se pueden cargar las instancias o no hacerlo todo depende de la necesidad del usuario de consultar el esquema. Hay diversos diseños en el menú vertical encerrado en el polígono rojo en la Figura 26. El esquema que se visualiza corresponde al último del menú.

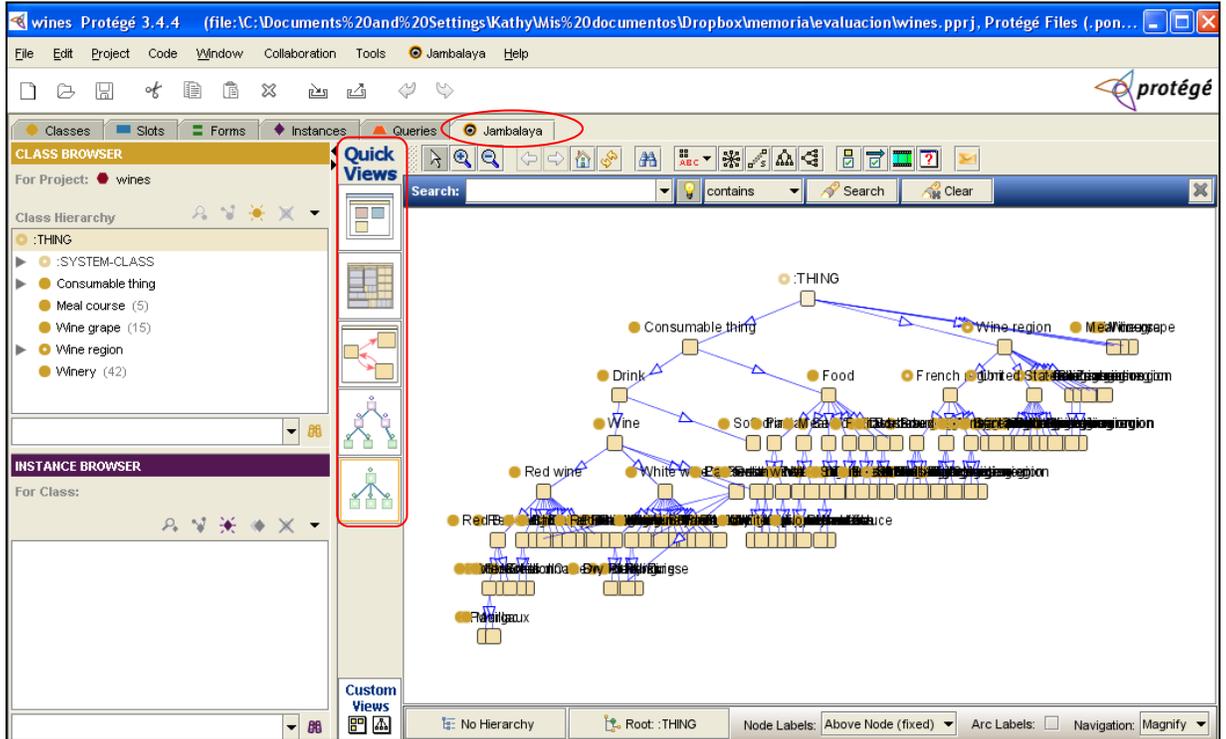


Figura 26. Interfaz de aplicación Jambalaya

## Apéndice II. Cuestionario de evaluación

### Cuestionario aplicable al dominio de Clasificación de cuerpos de agua

Responda las siguientes preguntas en base al material facilitado. Este cuestionario constituye un ejercicio académico en el cual se compararán los tiempos de respuesta y acceso a la información de dos soportes de información: informes y cartografía, y base de datos semántica.

**Hora de inicio de ejercicio:** \_\_\_\_\_

**1. ¿Qué lagos de la ecorregión altiplano se encuentran en la categoría “alta” del criterio altitud del sistema de tipología? (mencione 5)**

**2. ¿A qué tipo de lago pertenece el lago Budi? ¿Qué características biológicas relevantes presenta el tipo?**

Tipo de lago: \_\_\_\_\_

Aspectos

biológicos: \_\_\_\_\_

**3. ¿A qué unidad de paisaje de río pertenece el tramo de río delimitado por la subsubcuenca 02104 (Código definido por la Dirección General de Aguas)?**

Unidad de paisaje de río: \_\_\_\_\_

**4. Mencione otro tramo de río (sección de río determinado por la subsubcuenca por ejemplo: Río Maipo en la subsubcuenca x) que pertenezca a la unidad de paisaje de la pregunta anterior.**

Tramo de río (mencione el río o el código de la subsubcuenca): \_\_\_\_\_

**5. ¿Qué características abióticas (criterios del sistema de tipología) posee el Estero Pocuro (ssc 05411)? (especifique los rangos de cada una de las categorías mencionadas, por ejemplo si se menciona altitud baja los rangos debiesen ser menores a x msnm)**

Ecorregión

Caudal medio: Clase \_\_\_\_\_ Rango de la clase \_\_\_\_\_

Pendiente media: Clase \_\_\_\_\_ Rango de la clase \_\_\_\_\_

Geología: Clase \_\_\_\_\_

Sustrato predominante: Clase \_\_\_\_\_

Altitud:                      Clase \_\_\_\_\_                      Rango de la clase \_\_\_\_\_

**6. ¿Qué cuerpo de referencia le corresponde al lago Llanquihue?**

Cuerpo de referencia: \_\_\_\_\_

**7. ¿En qué estado ecológico se encuentra el Lago Castor (considere cada índice de calidad ecológica independientemente, es decir, un estado ecológico por índice)? Compárelo con las metas ecológicas establecidas.**

Estado Ecológico Actual:

Meta ecológica:

Conclusión:

**8. ¿Qué medidas de acción se puede implementar para alcanzar la meta ecológica establecida para el Lago Castor?**

**Hora de término:** \_\_\_\_\_

### Apéndice III. Glosario de clases y atributos

El presente glosario corresponde a las definiciones de clases y atributos incluidos en la base de datos semántica de la clasificación de cuerpos de agua. Las definiciones fueron extraídas de los informes y de literatura relacionada con el dominio. En algunos casos se fusionaron y adaptaron para mayor comprensión de los términos en el dominio.

#### Clases

##### 1. Subsubcuenca

Superficie de terreno conformado por el área de drenaje de una sección o tramo de río tributario, es la unidad mínima de planificación dentro de una cuenca. La Subcuenca se define como “la superficie de terreno cuya escorrentía superficial fluye en su totalidad a través de una serie de corrientes, ríos y eventualmente, lagos hacia un determinado punto de un curso de agua (generalmente un lago o una confluencia de ríos)” (Parlamento Europeo, 2000).

##### 2. Ecorregión

“Unidades territoriales en que se espera encontrar condiciones físicas homogéneas que determinan ecosistemas acuáticos. Área extensa que abarca uno o más sistemas de agua dulce que contiene un conjunto distintivo de comunidades naturales de agua dulce que comparten la gran mayoría de las especies dinámicas ecológicas” (CONAMA, 2010; MMA, 2011a).

##### 3. Clasificación de cuerpos de agua

“Proceso en el cual una colección de instancias de cuerpos de agua se les asigna pertenencia a una de las clases de una tipología” (sistema de tipología, tipología de cuerpos de agua y unidades de paisaje de agua) (CONAMA, 2010).

##### 4. Unidades de Paisaje de agua

“Paisajes prácticamente homogéneos en cuanto a sus características geológicas, geomorfológicas y pedológicas. Representan el predominio de uno o varios Tipos de cuerpo de agua, que pueden alternarse en pequeños espacios al interior de esta unidad. En general, las Unidades de Paisaje se elaboran mediante la superposición de diferentes mapas básicos (de geología, suelos, mapas hidrológicos o mapas topográficos, por nombrar algunos ejemplos), proceso que puede realizarse tanto de forma manual como digital, utilizando sistemas de información geográfica. Las Unidades de Paisaje se pueden representar cartográficamente, y la determinación de sus límites constituye una síntesis gruesa de información básica de distintos tipos, que no se deben sobreinterpretar en la definición del Tipo de cada curso de agua” (MMA, 2011).

### **5. Unidades de paisaje de agua de Ríos (UP\_de\_río)**

Paisajes homogéneos en cuanto a las características abióticas, las que influyen en la existencia de ríos con condiciones similares. Estas unidades se definieron en base a opinión de expertos y cartografía. La aproximación de unidades de paisajes de agua de ríos constituye la base para la futura discusión y definición de tipos de ríos en el país (MMA, 2011).

### **6. Unidades de paisaje de agua de Lagos (UP\_de\_lago)**

Paisajes homogéneos en cuanto a las características abióticas, las que influyen en la existencia de lagos con condiciones similares. Estas unidades se definieron en base a opinión de expertos y cartografía. La aproximación de unidades de paisajes de agua de lagos constituye la base para la futura discusión y definición de tipos de lagos en el país (MMA, 2011a).

### **7. Tipología de cuerpos de agua**

“Conjunto de tipos de cuerpos de agua que en condiciones naturales podrían existir en un territorio” (MMA, 2011a). Los tipos representan a los diversos ecosistemas acuáticos del país.

### **8. Tipo de río**

“Expresión de un río que se presenta bajo determinadas condiciones del entorno natural (por ejemplo, geológicas, geomorfológicas), sin contemplar las intervenciones humanas” (MMA, 2011a). Un tipo de río representa un ecosistema con características particulares (físicas, químicas y biológicas) que lo diferencia de otros ambientes acuáticos.

### **9. Tipo de lago**

“Expresión de un lago que se presenta bajo determinadas condiciones del entorno natural (por ejemplo, geológicas, geomorfológicas), sin contemplar las intervenciones humanas” (MMA, 2011a). Un tipo de lago representa un ecosistema con características particulares (físicas, químicas y biológicas) que lo diferencia de otros ambientes acuáticos.

### **10. Sistema de Tipología de cuerpos de agua**

“Herramienta que recoge aquellas variables que permiten diferenciar tipos de cuerpos de agua, de un territorio en particular, según la biocenosis de cada uno de ellos en sus estados naturales” (MMA, 2011).

### **11. Sistema de Tipología de Río (ST\_de\_Río)**

Resultado del cruce de las variables abióticas (rangos) del sistema de tipología que permiten diferenciar ríos.

### **12. Río altiplánico**

La presente clase considera las combinaciones reales de los rangos de los criterios del sistema de tipología de ríos que se ubican en la ecorregión Altiplano.

**13. Río atacameño**

La presente clase considera las combinaciones reales de los rangos de los criterios del sistema de tipología de ríos que se ubican en la ecorregión Atacama.

**14. Río mediterráneo**

La presente clase considera las combinaciones reales de los rangos de los criterios del sistema de tipología de ríos que se ubican en la ecorregión Mediterránea.

**15. Río valdiviano**

La presente clase considera las combinaciones reales de los rangos de los criterios del sistema de tipología de ríos que se ubican en la ecorregión Lagos Valdivianos.

**16. Río patagónico**

La presente clase considera las combinaciones reales de los rangos de los criterios del sistema de tipología de ríos que se ubican en la ecorregión Patagonia.

**17. Sistema de Tipología de Lago (ST\_de\_Lago)**

Resultado del cruce de las variables abióticas (rangos) del sistema de tipología que permiten diferenciar lagos.

**18. Lago altiplánico**

La presente clase considera las combinaciones reales de los rangos de los criterios del sistema de tipología de lagos que se ubican en la ecorregión Altiplano.

**19. Lago atacameño**

La presente clase considera las combinaciones reales de los rangos de los criterios del sistema de tipología de lagos que se ubican en la ecorregión Atacama.

**20. Lago mediterráneo**

La presente clase considera las combinaciones reales de los rangos de los criterios del sistema de tipología de lagos que se ubican en la ecorregión Mediterránea.

**21. Lago valdiviano**

La presente clase considera las combinaciones reales de los rangos de los criterios del sistema de tipología de lagos que se ubican en la ecorregión Lagos Valdivianos.

**22. Lago patagónico**

La presente clase considera las combinaciones reales de los rangos de los criterios del sistema de tipología de lagos que se ubican en la ecorregión Patagonia.

**23. Sistema de Tipología de Aguas de Transición (ST\_Agua\_de\_Transición)**

Resultado del cruce de las variables abióticas (rangos) que permiten diferenciar estuarios, del sistema de tipología.

#### **24. Cuerpos de agua continentales**

“Masa o extensión de agua quietas o corrientes en la superficie del suelo y todas las aguas subterráneas situadas hacia tierra desde la línea que sirve de base para medir la anchura de las aguas territoriales” (formaciones como ríos, lagos y estuarios, o aguas de transición, océanos, mares) (Parlamento Europeo, 2000; CONAMA, 2010).

#### **25. Río**

“Masa de agua continental que fluye en su mayor parte sobre la superficie del suelo, pero que puede fluir bajo tierra en parte de su curso” (Parlamento Europeo, 2000). El Río para efectos del presente dominio corresponde a tramos de río determinados por las subsubcuencas.

#### **26. Lago**

“Masa de agua continental superficial quieta” (Parlamento Europeo, 2000). En los cuerpos de aguas Lénticos (aguas estancadas) el circuito metabólico se cierra y completa en sí mismos (Ringuelet, 1962). No se consideran cuerpos de agua artificiales como tranques y embalses.

#### **27. Aguas de transición o estuarios**

“Masas de agua superficial próximas a la desembocadura de los ríos que son parcialmente salinas como consecuencia de su proximidad a las aguas costeras, pero que reciben una notable influencia de flujos de agua dulce” (Parlamento Europeo, 2000). Según Granado (1996), el estuario es una masa de agua semicerrada que tiene una conexión libre con el mar abierto, y que en el interior, el agua del mar está diluida a niveles con agua dulce procedente del drenaje continental. Estos cuerpos de agua están influenciados por el curso fluvial y el mar, y se caracterizan por su inestabilidad y cambios frecuentes en sus características químicas (Ringuelet, 1962).

#### **28. Agua subterránea**

“Todas las aguas que se encuentran bajo la superficie del suelo en la zona de saturación y en contacto directo con el suelo o el subsuelo” (Parlamento Europeo, 2000).

#### **29. Criterio sistema de tipología**

Criterios o “variables que permiten diferenciar tipos de cuerpos de agua, de un territorio en particular, según la biocenosis de cada uno de ellos en sus estados naturales” (MMA, 2011a).

#### **30. Criterio ST de río**

“Variables que permiten diferenciar tipos de ríos de un territorio, según la biocenosis de cada uno de ellos en sus estados naturales” (MMA, 2011a).

#### **31. Criterio ST de lago**

“Variables que permiten diferenciar tipos de lagos de un territorio, según la biocenosis de cada uno de ellos en sus estados naturales” (MMA, 2011a).

### **32. Criterio ST de Agua de Transición**

“Variables que permiten diferenciar tipos de estuarios de un territorio, según la biocenosis de cada uno de ellos en sus estados naturales” (MMA, 2011a).

### **33. Criterio externo al ST**

Criterios externos al Sistema de tipología utilizados para la descripción de unidades de paisajes de agua.

### **34. Criterio de clasificación:**

Criterios utilizados en el proceso de clasificación ya se para diferenciar tipos de cuerpos de agua o para definir unidades de paisaje.

### **35. Sustrato predominante**

Composición física (materiales) del lecho del cauce. Este criterio “es relevante para los macroinvertebrados, peces y otros organismos animales y vegetales que habitan en las aguas y riberas de los ríos”. (CONAMA, 2010).

El sustrato es la vivienda y el refugio de organismos, en el desarrollan todo su ciclo de vida, por lo que las condiciones de este determinan a las comunidades existentes en los diferentes tramos de río. Es importante mencionar la dificultad de asociación entre organismos y sustratos, ya que en algunos casos las especies interactúan con más de un sustrato. En conclusión el sustrato determina el hábitat fijo de los organismos, como espacio de vida y refugio, su productividad, diversidad y biomasa, entre otras características (Allan y Castillo, 2007).

La arena es considerada un sustrato pobre debido a su inestabilidad y a los bajos niveles de oxígeno, en estos sectores se asientan organismos como oligoquetos, moluscos y quironómidos (Roldán y Ramírez, 2008). Al igual que la arena, el limo en altas concentraciones es considerado perjudicial debido a la reducción de la heterogeneidad del hábitat y de espacios intersticiales, estos últimos correlacionados directamente con la abundancia y riqueza de taxas (Allan y Castillo, 2007). Las zonas con sustratos rocosos y pedregosos presentan especies con adaptaciones morfológicas (ganchos o ventosas) las cuales evitan el arrastre por la corriente (Roldán y Ramírez, 2008).

### **36. Tamaño lago**

Extensión en unidades de área de un lago. Criterio de clasificación de lagos. “Se relaciona frecuentemente con el régimen de estratificación termal, profundidad del lago, diversidad de nichos y, con ello, la diversidad de especies y la estructura de la red trófica de la comunidad presente” (CONAMA, 2010).

### **37. Amplitud de mareas**

“Altura existente entre la marea más baja (bajamar) y la más alta (pleamar)” (CONAMA, 2010).

Diferencia en cuanto a la distribución del número de especies y su abundancia total dependiendo del cinturón de la zona intermareal; siendo los cinturones contiguos a las líneas de bajamar y pleamar los que manifiestan una reducción de diversidad y abundancia biológica. Ello puede deberse a que: 1º la línea de bajamar está sometida a un ciclo de

mareas; el cual hace que permanezca bastante tiempo sumergidas y por lo tanto sus características se asemejan a las del terreno inmediatamente inferior sumergido durante todo el año; y 2° la línea de pleamar en oposición a las características de la 1ª permanece la mayor parte del tiempo sin sumergir y por tanto se asemeja a la línea inmediatamente superior que corresponde con la zona de salpicaduras (Ringuelet, 1962).

### **38. Altura lago**

Altitud media (Distancia media vertical del cuerpo de agua sobre el nivel del mar) de lago esperable en la unidad de paisaje y/o la combinatoria de criterios del sistema de tipología.

La altura interviene en el clima y, con ello, en la temperatura, precipitación y patrones vegetacionales, factores que influyen, por ejemplo, en el ingreso de nutrientes al agua (Higgins et al., 2005, citado en CONAMA, 2010).

La altitud se correlaciona con la temperatura, la cual es considerada una variable crítica en ecosistemas acuáticos, esta variable determina las tasas metabólicas de organismos y la distribución de estos a lo largo del cuerpo de agua y en regiones geográficas (Allan y Castillo, 2007).

### **39. Altura río**

Altitud media de los ríos de una subsubcuenca esperables en la unidad de paisaje y/o la combinatoria de criterios del sistema de tipología.

La altura interviene en el clima y, con ello, en la temperatura, precipitación y patrones vegetacionales, factores que influyen, por ejemplo, en el ingreso de nutrientes al agua (Higgins et al., 2005, citado en CONAMA, 2010).

Como se mencionó, la altitud se correlaciona con la temperatura, la cual es considerada una variable crítica en ecosistemas acuáticos, esta variable determina las tasas metabólicas de organismos y la distribución de estos a lo largo del cuerpo de agua y en regiones geográficas (Allan y Castillo, 2007).

### **40. Estratificación**

La estratificación térmica ocurre en cuerpos de agua lénticos. La estratificación crea diferencias de densidades entre capas, la capa superior denominada epilimnio, la inferior hipolimnio y la intermedia metalimnio. En el epilimnio se concentran los organismos fotosintéticos mientras que en el hipolimnio se concentran sustancias minerales producto de la descomposición de materia orgánica. En períodos de circulación (sin estratificación térmica) estas dos capas se distribuyen por todo el cuerpo de agua. Este proceso condiciona la estructura de las comunidades acuáticas y dirige los procesos biológicos en los ecosistemas lacustres (Odum y Barret, 2006; Ringuelet, 1962).

### **41. Geología**

Criterio común de clasificación utilizado en ríos y lagos. “Entrega información sobre los contenidos naturales de minerales en las rocas, lo que se asocia tanto a nutrientes y a los diferentes niveles de conductividad eléctrica” (MMA, 2011b). Este criterio es un predictor de la calidad natural del agua, ya que no es influida por actividades antrópicas. La geología de los lagos se ve determinada por las aguas entrantes al cuerpo de agua.

**42. Pendiente**

Pendiente media de los cauces de una Subsubcuenca (Inclinación media del lecho de cauce en relación a la horizontal, del segmento de río perteneciente a una determinada Subsubcuenca) esperable en los Ríos de la Unidad de paisaje y/o combinatoria de criterios del sistema de tipología.

Determinante de las características hidráulicas de los ríos, relacionándose con características del río y de la biocenosis. Determina la velocidad, la cual se relaciona con la cantidad de oxígeno disuelto (la agitación excesiva induce la pérdida de oxígeno; Roldán y Ramírez, 2008), y de esta forma, con los nutrientes que es capaz de albergar e influye en el sustrato del cauce (CONAMA, 2010).

**43. Profundidad**

Distancia vertical desde el nivel superior del cuerpo de agua a su nivel inferior. Criterio de clasificación de lagos. “Relacionada con la estratificación y con la disponibilidad de luz, lo cual afecta la estructura trófica y funcionamiento de los lagos” (CONAMA, 2010). La profundidad presenta una relación inversa con la productividad de los niveles tróficos de los lagos grandes y con la densidad fitoplanctónica. Adicionalmente se correlaciona directamente con la capacidad del cuerpo de agua para absorber factores externos (Roldán y Ramírez, 2008).

**44. Salinidad del estuario**

Cantidad proporcional de sales que contiene el cuerpo de agua. Criterio de clasificación de aguas de transición o estuarios. “Tiene relación con la capacidad de mezcla del estuario, y depende del viento en el caso de estuarios anchos, de la marea, las corrientes y de las diferencias de densidad entre agua dulce y agua marina. La marea tiende a mezclar las aguas y el agua fluvial tiende a estratificar el estuario” (CONAMA, 2010).

Esta variable condiciona a las especies ya que se relaciona con la tolerancia salina que posean, existiendo una marcada zonación ecológica (especialmente en invertebrados; Haslett, 2009).

**45. Salinidad**

Salinidad esperable en los ríos y/o lagos de la Unidad de paisaje, tiene relación con la conductividad eléctrica y predice condiciones químicas. La conductividad eléctrica predice la salinidad, por lo tanto, las categorías establecidas se constituyen en base a ésta (CONAMA, 2010).

**46. Caudal medio anual:**

Caudal medio anual en estado natural de ríos esperable en la unidad de paisaje y/o la combinatoria de criterios del sistema de tipología.

Este criterio “explica condiciones de escurrimiento, humedad, temporalidad de la zona inundada y otras características relevantes para la biocenosis” (CONAMA, 2010).

**47. Evaluación de cuerpos de agua**

Herramientas y/o variables que conforman la evaluación de los cuerpos de agua, es decir, herramientas de diagnóstico y monitoreo, variables y conceptos a considerar, y

herramientas de gestión. La evaluación ecológica o bioevaluación de un cuerpo de agua consta de la elaboración del diagnóstico y monitoreo que conforma todo el método para establecer el nivel de calidad ecológica del cuerpo de agua con respecto a un cuerpo de referencia. Por lo tanto, luego de la definición de tipos de cuerpo de agua se define el cuerpo de referencia en base a estudios y conocimiento experto. Posteriormente se definen las presiones o estresores e índices, con los cuales se realizan mediciones y análisis de correlaciones para finalmente definir los índices definitivos. Estos y la escala de calidad ecológica serán la base del diagnóstico.

#### **48. Herramientas de diagnóstico y monitoreo**

Herramientas y/o variables que forman parte del proceso de diagnóstico y monitoreo de los cuerpos de agua sujetos a la tipología.

#### **49. Herramientas de gestión**

Herramientas y/o variables de gestión que forman parte del proceso de restauración y/o manejo de los cuerpos de agua.

#### **50. Cuerpo de agua de referencia**

“Cuerpos de agua (ríos, lagos, aguas costeras o de transición) que, al menos en tramos parciales, han sufrido las menores alteraciones posibles en cuanto a su hidromorfología, calidad de agua, caudal y biocenosis” (MMA, 2011a).

El cuerpo de agua de referencia es el punto de partida en la bioevaluación de cuerpos de agua, ya que es el referente del tipo de cuerpo de agua.

#### **51. Estresor**

“Perturbaciones y/o presiones que impactan ríos y lagos. Los estresores controlan diferentes parámetros ambientales, tienen diferentes impactos sobre diferentes grupos de organismos, por ende se pueden evaluar utilizando indicadores de uno o varios grupos de organismos”. (Feld, 2010). Cada tipo tiene estresores particulares los que posteriormente se evalúan en base a índices o métricas con los cuales se establecen correlaciones, con el fin de verificar si los organismos o comunidades determinantes del índice son modificables o impactados por la degradación y su gradiente. Por lo tanto la elección de perturbaciones constituye un segundo paso después de la identificación del cuerpo de referencia.

#### **52. Métricas o índices**

“Características medibles y cuantificables de la comunidad biológica que se pueden predecir y que fehacientemente responden a estrés ambiental. Las métricas deben estar en correlación con la degradación (análisis de correlación), cubrir diferentes aspectos de la comunidad (composición, abundancia, diversidad, sensibilidad/tolerancia), tener relevancia ecológica y no ser redundantes” (Feld, 2010).

#### **53. Calidad ecológica**

Escala de calidad ecológica del índice o métrica evaluada en un cuerpo de agua. Cada tipo de cuerpo de agua presenta escalas particulares, ya que la correlación entre los índices y la

degradación del cuerpo de agua se realiza por tipo biológico. Además es probable que cada tipo de río presente índices y estresores particulares. La escala de calidad ecológica es esencial para diagnosticar un cuerpo de agua.

#### **54. Calidad río:**

Escala de calidad ecológica para ríos.

#### **55. Calidad lago**

Escala de calidad ecológica para lagos.

#### **56. Índice A**

Escala de calidad ecológica de ríos para el índice A.

#### **57. Índice B**

Escala de calidad ecológica de ríos para el índice B.

#### **58. Índice C Ríos**

Escala de calidad ecológica de ríos para el índice C.

#### **59. Índice C Lagos**

Escala de calidad ecológica de lagos para el índice C.

#### **60. Índice D**

Escala de calidad ecológica de lagos para el índice D.

#### **61. Medidas de restauración**

Acciones y medidas que atenúan las presiones y mejoran las condiciones naturales y la biocenosis del cuerpo de agua. Las acciones nacen de la relación entre la meta ecológica por tipo e índice medido y el estado ecológico del cuerpo de agua (resultado de la aplicación de la escala de calidad ecológica. Las medidas pueden atenuar un estresor o un conjunto de ellos y buscan alcanzar la meta ecológica.

#### **Atributos**

1. **Altitud lago:** Categoría del criterio altura (Muy baja, baja, media, alta y muy alta) que da lugar a una combinatoria de criterios del sistema de tipología de lagos.
2. **Altitud río:** Categoría del criterio altura (Muy baja, baja, media, alta y muy alta) que da lugar a una combinatoria de criterios del sistema de tipología de ríos.
3. **Amplitud de mareas:** Categoría del criterio amplitud de mareas (micromareal, mesomareal y macromareal) que da lugar a una combinatoria de criterios del sistema de tipología de aguas de transición.
4. **Aplicación:** Dominio de aplicación del criterio abiótico.
5. **Área:** Extensión en unidades de área de un lago.
6. **Bioindicador:** Corresponde a el o los índices y métricas que evaluarán la calidad ecológica del tipo de cuerpo de agua.

7. **Calidad ecológica a:** Categoría de la escala de calidad ecológica del índice a que toma el cuerpo de agua (río).
8. **Calidad ecológica b:** Categoría de la escala de calidad ecológica del índice b que toma el cuerpo de agua (río).
9. **Calidad ecológica c ríos:** Categoría de la escala de calidad ecológica del índice c que toma el cuerpo de agua (río).
10. **Calidad ecológica c lagos:** Categoría de la escala de calidad ecológica del índice d que toma el cuerpo de agua (lago).
11. **Calidad ecológica d:** Categoría de la escala de calidad ecológica del índice d que toma el cuerpo de agua (lago).
12. **Categoría:** Corresponde al nombre de la categoría de clasificación del criterio del sistema de tipología.
13. **Categoría de calidad:** Categoría de calidad ecológica. Se consideran 5 categorías alta, buena, media, mala y pobre.
14. **Caudal medio anual:** Categoría del criterio caudal medio (Alto, medio alto, medio bajo y bajo) que da lugar a una combinatoria de criterios del sistema de tipología de ríos.
15. **Código de la subsubcuenca:** Código establecido por la DGA para cada subsubcuenca.
16. **Combinatoria presente:** Combinatoria de los criterios del sistema de tipología presente en un tipo de cuerpo de agua.
17. **Condición:** Condición de la herramienta de gestión, pudiendo corresponder a una variable (concepto) o una herramienta materializable en el proceso de la evaluación de cuerpo de agua. La variable corresponde a un concepto o elemento fundamental identificado para continuar con el proceso de evaluación. En cambio, la herramienta consiste en un instrumento propio e indispensable del proceso.
18. **Cuerpo de referencia:** Cuerpo de agua considerado la referencia ecológica del tipo de río o lago.
19. **Definición estresor:** Caracterización de la presión o impacto al que se ve expuesto el cuerpo de agua.
20. **Definición índice:** Definición del indicador, variables que considera y correlación con el estado ecológico del cuerpo de agua.
21. **Descripción:** Descripción de la unidad territorial en cuanto a sus características geográficas y climáticas.
22. **Descripción medida:** Descripción de la medida de restauración.
23. **Descripción de tipo:** Descripción del ecosistema acuático del tipo de cuerpo de agua (Ecorregión, descripción general, rangos correspondientes de los criterios del sistema de tipología, régimen hidrológico, características de comunidades de peces, invertebrados, macrófitas y fitobentos).
24. **Ecorregión:** Ecorregión en la que se emplaza la unidad, cuerpo de agua, tipo y/o la combinatoria de criterios del sistema de tipología.
25. **En base a:** Hace referencia al cuerpo de agua en el que se basó la delimitación de las unidades de paisaje, los tipos, criterio y combinatoria de clasificación del sistema de tipología y/o escala de calidad ecológica.

26. **Escala de calidad ecológica:** Escala de calidad ecológica establecida mediante análisis de correlación (índice-degradación) de cada tipo de cuerpo de agua. La escala se define por índice y por tipo biológico.
27. **Estratificación:** Categoría del criterio estratificación (Amíctico, meromíctico, monomíctico y polimíctico) que da lugar a una combinatoria de criterios del sistema de tipología de ríos.
28. **Estresor:** Impacto o degradación con la que se asocia el índice.
29. **Estresor a mejorar:** Estresor y/o impacto abordables o mejorables por la medida de restauración.
30. **Factor:** Hace referencia al tipo de variable bajo la cual se realizó la clasificación, es decir, a variables bióticas o abióticas.
31. **Geología:** Categoría del criterio geología (Silíceo, evaporíticos y otros y calcáreo) que da lugar a una combinatoria de criterios del sistema de tipología de ríos y lagos.
32. **Herramienta de:** Definición del tipo de herramienta utilizada para la evaluación de cuerpos de agua. Existen dos posibilidades: diagnóstico monitoreo o gestión.
33. **Influencia marina:** Influencia marina al cuerpo de agua, en cuanto a las mareas y las corrientes del mar. Se consideran dos opciones **inexistente/indirecta**, referido a los cuerpos de agua que no presentan influencia marina o que esta es imperceptible y **directa** representa a aquellos cuerpos de agua que desembocan al mar existiendo una relación directa entre ambos cuerpos de agua. Los cuerpos de agua con influencia directa son cuerpos inestables y con frecuentes cambios en sus condiciones químicas.
34. **Inserto en:** Ubicación geográfica, es decir, si la unidad de paisaje se ubica en el sector continental o insular del país.
35. **Lago tipología:** Lagos presentes en el tipo de lago, es decir, lagos que presentan las características (atributos) definidas en el tipo (instancia).
36. **Lagos ST:** Lagos presentes en la combinación de criterios del sistema de tipología, es decir, ríos que presentan las características abióticas (atributos) definidas por la combinatoria (instancia).
37. **Lago UP:** Lagos presentes en la Unidad de paisaje, es decir, lagos que presentan las características (atributos) definidas en la instancia.
38. **Meta ecológica índice a:** Estado o calidad ecológica establecida como adecuada para cada tipo de **río** en relación a sus condiciones naturales y el cuerpo de referencia. La meta ecológica se establece por índice por lo cual se tendrán tantas metas como índices existan. En este caso la meta ecológica corresponde al índice a. La meta ecológica es establecida por la institucionalidad pública por lo que constituye una decisión política.
39. **Meta ecológica índice b:** Estado o calidad ecológica establecida como adecuada para cada tipo de **río** en relación a sus condiciones naturales y el cuerpo de referencia. La meta ecológica se establece por índice por lo cual se tendrán tantas metas como índices existan. En este caso la meta ecológica corresponde al índice b. La meta ecológica es establecida por la institucionalidad pública por lo que constituye una decisión política.
40. **Meta ecológica índice c:** Estado o calidad ecológica establecida como adecuada para cada tipo de **río o lago** en relación a sus condiciones naturales y el cuerpo de referencia. La meta ecológica se establece por índice por lo cual se tendrán tantas metas como índices existan. En este caso la meta ecológica corresponde al índice c. La meta

ecológica es establecida por la institucionalidad pública por lo que constituye una decisión política.

41. **Meta ecológica índice d:** Estado o calidad ecológica establecida como adecuada para cada tipo de **lago** en relación a sus condiciones naturales y el cuerpo de referencia. La meta ecológica se establece por índice por lo cual se tendrán tantas metas como índices existan. En este caso la meta ecológica corresponde al índice d. La meta ecológica es establecida por la institucionalidad pública por lo que constituye una decisión política.
42. **Movimiento:** Movimientos de agua del cuerpo. Hay dos categorías las **aguas detenidas** y las **aguas corrientes**, las que corresponden a los cuerpos lénticos y lóticos, respectivamente. Las aguas detenidas corresponden a cuerpos de agua en el que su circulación es imperceptible, en cambio las aguas corrientes son las que se desplazan siendo perceptible su movilidad.
43. **Nombre:** Nombre de la ecorregión de agua dulce de Chile, el estresor, presión o impacto al que se ve expuesto el cuerpo de agua, el índice que se evaluará en el proceso de diagnóstico y monitoreo o la medida de restauración.
44. **Nombre agua transición:** Nombre del estuario.
45. **Nombre cuerpo de agua:** Nombre que la Dirección General de Aguas le asigna a cada uno de los cuerpos de agua.
46. **Nombre combinatoria:** Nombre que representa a la combinatoria de criterios del sistema de tipología (conformada por la combinación de las categorías de los criterios).
47. **Nombre de índice:** Nombre del índice del cual se establece una escala de calidad ecológica.
48. **Nombre de subsubcuenca:** Nombre de la Subsubcuenca, establecido por la DGA.
49. **Nombre UPR:** Nombre de la unidad de paisaje de agua de ríos.
50. **Nombre UPL:** Nombre de la unidad de paisaje de agua de lagos.
51. **Nombre tipo:** Nombre del tipo de río o lago determinado por la biocenosis del ecosistema acuático.
52. **Pendiente media:** Categoría del criterio pendiente (Alta, media y baja) que da lugar a una combinatoria de criterios del sistema de tipología de ríos.
53. **Pertenencia a cuenca:** Nombre de la cuenca a la que pertenece la subsubcuenca
54. **Pertenencia a subcuenca:** Nombre de la subcuenca a la que pertenece la subsubcuenca
55. **Predictor de:** Especificación del predictor biológico o ecológico del ecosistema acuático del criterio del sistema de tipología.
56. **Profundidad:** Categoría del criterio profundidad (bajos, medios y profundos) que da lugar a una combinatoria de criterios del sistema de tipología de lagos.
57. **Propio de:** Se refiere a la conexión de la herramienta de gestión con otro instrumento o etapa de proceso de evaluación, pudiendo ser una característica de éste.
58. **Protocolo de medición:** Procedimiento de medición del indicador.
59. **Rango:** Intervalo establecido para la categoría de calidad ecológica del índice. Este intervalo resulta del análisis de correlación entre la degradación y el índice por tipo de cuerpo de agua.
60. **Régimen hidrológico:** Representa la predominancia de el o los aportes al sistema fluvial (origen de las aguas; Fuster y Llambías, s/a).  
Existen los siguientes tipos de régimen:

Pluvial: Los ríos se alimentan principalmente de precipitaciones líquidas, por tanto, presentará los máximos caudales en las temporadas de lluvia, durante la temporada seca el caudal será considerablemente menor.

Nival: Los caudales máximos se presentan en la temporada estival debido al derretimiento de las nieves, durante el resto del año el caudal será notoriamente menor.

Mixto: La alimentación corresponde tanto a aportes de aguas de lluvias como del derretimiento de las nieves, por ende, mantiene un caudal relativamente constante durante todo el año.

61. **Región política administrativa:** Región político administrativa de Chile, en la que se ubica el cuerpo de agua.
62. **Requisitos de implementación:** Condiciones necesarias para la implementación de la medida.
63. **Río tipología:** Ríos presentes en el tipo de río, es decir, ríos que presentan las características (atributos) definidas en el tipo (instancia).
64. **Ríos ST:** Ríos presentes en la combinación de los criterios del sistema de tipología, es decir, ríos que presentan las características (atributos) definidas en la instancia.
65. **Río UP:** Ríos presentes en la Unidad de paisaje, es decir, ríos que presentan las características (atributos) definidas en la instancia.
66. **Salinidad:** Categoría del criterio salinidad que caracteriza los cuerpos de agua de las unidades de paisaje de agua.
67. **Salinidad agua de transición:** Categoría del criterio salinidad (Agua dulce, euhalino, mesohalino, oligohalino y polihalino) que da lugar a una combinatoria de criterios del sistema de tipología de agua de transición.
68. **Significado:** Corresponde a los valores o significado que corresponde a cada categoría de clasificación del criterio.
69. **ST lago:** Combinatoria del sistema de tipología al que pertenece el cuerpo de agua.
70. **ST río:** Combinatoria del sistema de tipología al que pertenece el tramo de río.
71. **Subsubcuenca:** Subsubcuencas por las que se extiende o se ubica la unidad de paisaje, ríos, lagos, tipos de ríos y lagos, y combinatoria de criterios del sistema de tipología.
72. **Sustrato predominante:** Categoría del criterio de sustrato (limo, arena, grava o roca) que da lugar a una combinatoria de criterios del sistema de tipología de río.
73. **Tamaño lago:** Categoría del criterio tamaño de lago (muy pequeño, pequeño, mediano, grande) que da lugar a una combinatoria de criterios del sistema de tipología de lago.
74. **Tipo:** Tipo de río o lago del cual se establece el cuerpo de referencia y una escala de calidad ecológica.
75. **Tipología lago:** Tipo de lago al que pertenece el cuerpo de agua.
76. **Tipología ríos** Tipo de río al que pertenece el cuerpo de agua.
77. **Ubicación:** Localización de los cuerpos de agua con respecto a la superficie de la tierra. Si el cuerpo de agua se ubica bajo la tierra se denomina **subterráneo** y si fluye sobre esta se denomina **superficial**.
78. **Unidad clasificación:** Hace referencia al elemento clasificado, pudiendo ser el territorio (cuencas, subsubcuencas, regiones, etc.) o el cuerpo de agua (lago, estuario, agua costera o tramo de río).
79. **UP lago:** Unidad de paisaje de lago al que pertenece el lago.
80. **UP río:** Unidad de paisaje de río al que pertenece el tramo de río.

- 81. Valor altitud:** Valor de altitud media de los ríos presentes en una subsubcuenca o de un lago, en metros sobre el nivel del mar. El valor asignado a cada tramo de río refleja la situación de la subsubcuenca a la que pertenece.
- 82. Valor caudal:** Valor de caudal en m<sup>3</sup>/s de los ríos presentes en una subsubcuenca, en condiciones naturales (sin intervenciones antrópicas). El valor asignado a cada cuerpo de agua refleja la situación de la subsubcuenca a la que pertenece.
- 83. Valor índice a:** Valor que toma el índice a en el cuerpo de agua (río).
- 84. Valor índice b:** Valor que toma el índice b en el cuerpo de agua (río).
- 85. Valor índice c:** Valor que toma el índice c en el cuerpo de agua (río y lago).
- 86. Valor índice d:** Valor que toma el índice d en el cuerpo de agua (lago).
- 87. Valor pendiente:** Valor de pendiente media de los ríos presentes en una subsubcuenca, en porcentaje. El valor asignado a cada cuerpo de agua refleja la situación de la subsubcuenca a la que pertenece.
- 88. Zona hidrológica:** Clasificación del territorio según escurrimiento superficial, en la que se ubica el cuerpo de agua.  
Se consideran 3 clases:  
Arreico: “No existe escurrimiento superficial sin embargo existen afloramientos de agua subterránea denominados aguadas” (Fuster y Llambías, s/a).  
Endorreico: “Existe escurrimiento superficial pero sus cauces intermitentes no logran llegar al mar” (Fuster y Llambías, s/a).  
Exorreico: “Ríos desembocan al mar durante todo el año” (Fuster y Llambías, s/a).

## Apéndice IV. Instancias Supuestas de la BDS

A continuación se exponen las instancias supuestas que se introdujeron en la segunda versión de la base de datos semántica. Es importante recordar que estas instancias supuestas fueron seleccionadas de estudios internacionales por lo que no presentan validez nacional.

### Estresores o presiones antrópicas

#### Contaminación orgánica

“Contaminación producida antrópicamente por descargas de aguas servidas no depuradas e industriales, estas aguas presentan un alto índice de bacterias y organismos patógenos, modificando las características biológicas y orgánicas del cuerpo receptor (cuerpo de agua natural)”.

En un cuerpo de agua contaminado con materia orgánica se distinguen 3 tramos (Mujica y Morinigo, 2001):

“Zona polisaprobia: muy contaminada, elevada población de bacterias y materia orgánica, si el cuerpo de agua receptor es contaminado con aguas servidas se encontrarán bacterias como *Escherichia coli*, bacterias filamentosas, hongos filamentosos, oligoquetos como el tubifex y baja concentración de algas. El oxígeno desaparece y aumenta el CO<sub>2</sub>, aumentando la demanda bioquímica de oxígeno (DBO).

Zona mesosaprobia: contaminación media, las bacterias ya han eliminado gran parte de la contaminación orgánica. Se caracteriza por malos olores, lodos y falta de oxígeno al ser consumido por bacterias. La población de protozoarios es enorme y aparecen larvas resistentes a la falta de oxígeno (sifideos y quironómidos)

Zona oligosaprobia: el agua está en condiciones similares a las que tenía antes de que se hubiera producido la contaminación. La demanda de oxígeno es baja y la cantidad de oxígeno es alta, el fondo se compone de materias inorgánicas derivados de nitrógeno, azufre y fósforo, conduciendo al cuerpo de agua a la eutrofización. Comienzan a colonizar algas como las cianófitas, euglenófitas y clorofitas y finalmente aparecen las diatomeas”.

#### Eutrofización

Enriquecimiento de las aguas con nutrientes a un ritmo tal que no puede ser compensado por su eliminación definitiva por mineralización, de manera que el exceso de materia orgánica producida hace disminuir enormemente el oxígeno en las aguas profundas, provocando fuertes modificaciones en la biocenosis de un cuerpo de agua.

“La eutrofización representa el proceso de envejecimiento natural de los lagos, como resultante de la acumulación gradual de nutrientes, un incremento de la producción biológica y la depositación paulatina de sedimentos provenientes de la cuenca de drenaje. En condiciones naturales el proceso de eutrofización es lento, y las tasas de cambio ocurren normalmente a escalas temporales de milenios. Sin embargo por causas antrópicas relacionadas con el mal uso del suelo, el incremento de la erosión y por la descarga de aguas servidas se ve acelerado a escala temporal de décadas o menos” (Parra *et al.*, 2003)

**Acidificación**

“Aumento de la acidez de las aguas, altera el equilibrio de iones del agua y aumenta el contenido de aluminio y otros metales pesados, la acidificación es producida por ácidos fuertes como sulfuro y nitrito. El sulfato es la causal primordial a largo plazo. La acidificación afecta a todas las taxas siendo las más relevantes las poblaciones de peces las cuales dejan de reproducirse, mermando o liquidando a las poblaciones” (Pujante *et al.*, 1995).

“En aguas acidificadas cabría esperar un alto contenido en aniones  $\text{SO}_4^{2-}$  y  $\text{NO}_3^-$ ” (Pujante *et al.*, 1995).

**Degradación hidromorfología**

“Se refiere a las condiciones morfológicas del cuerpo de agua y su entorno (Zona ripariana). Las perturbaciones hidromorfológicas son aquellas que modifican las características del cuerpo de agua y su entorno modificando el ecosistema y por ende las comunidades acuáticas. Estas modificaciones corresponden a gradientes de pendientes, incremento y alteraciones en los patrones de sedimentación, aportes de nutrientes, entubamientos, etc” (Parra *et al.*, 2003).

**Índices**

**Nombre:** Índice de saprobio

**Definición**

Aplicable a ríos y lagos

“El sistema saprobio es una clasificación de organismos conforme a su resistencia a la contaminación la cual produce una insuficiencia de oxígeno. Las bacterias y los microorganismos en el agua utilizan oxígeno para reacciones biológicas para reducir los contaminantes, como nitrógeno, por eso el grado de la contaminación está relacionado con la cantidad de oxígeno presente en el agua. Para tener la posibilidad de comparar distintos puntos de un río se desarrolló un índice de saprobio el cual muestra el grado de la contaminación del agua que se determina por la preferencia de los organismos indicativos por establecerse en este lugar. Buenos organismos indicativos son animales y vegetales que viven solamente en un rango pequeño del estado biológico de un río o lago. Las especies indicadoras reciben un valor saprobico dependiente de la tolerancia frente a la contaminación” (Bardowicks, 2005).

**Procedimiento**

“Se toman muestras de fauna de un segmento del cuerpo de agua y se observan las características florísticas del lugar. Se determinan las especies colectadas y se estima su frecuencia, según una tabla que asocia un grado de frecuencia con rangos de cantidad de individuos colectados de la especie. Adicionalmente necesitamos el valor saprobio de la especie, asociado a la tolerancia de esta a la contaminación y la importancia indicativa de la especie (literatura). La información de todas las especies se introduce en la fórmula del índice de saprobio” (Bardowicks, 2005):

$$S = \frac{\sum (s_i * h_i * g_i)}{\sum (h_i * g_i)}$$

S: índice saprobio de la prueba

$s_i$ : valor de saprobio de la especie  $i$

$h_i$ : valor de la frecuencia de la especie  $i$

$g_i$ : importancia indicativa de la especie  $i$

$n$ : cantidad de las distintas especies

**Nombre:** Índice de acidificación

**Descripción**

“Se consideran grupos de macroinvertebrados bentónicos los cuales presentan una particular importancia como indicadores biológicos de los efectos ecológicos de la acidificación de las aguas” (Braukmann y Biss, 2004).

“La respuesta de macroinvertebrados a la acidez del agua es muy contraria a la experimentada en aguas contaminadas con efluentes antrópicos. Por ejemplo una gama de organismos oxígeno dependientes de agua fría es muy sensible a la contaminación por efluentes pero sorprendentemente son tolerantes a valores de pH bajos. Por lo que la bioindicación con macroinvertebrados respecto de la acidez requiere de estudios independientes al sistema saprobio” (Braukmann y Biss, 2004).

“Los cuerpos de agua pueden clasificarse en 5 categorías según acidez, todos ellos tienen asociados macroinvertebrados por lo que su presencia indicaría la clase de acidificación del cuerpo de agua. Se recomienda la categorización a nivel de especies, el nivel de género puede ser utilizado con pequeñas larvas de estadios juveniles que no son identificables a nivel de especie. Si se diagnostica utilizando el género y este presenta especies con distintos niveles de acidez se asigna el valor de indicador más pobre de todos los taxones de este género para evitar un resultado muy positivo” (Braukmann y Biss, 2004).

A continuación se exponen los 5 tipos de acidez según Braukman y Biss (2004):

“Tipo 1, Continuamente neutro (no ácido): El pH se mueve en un rango de 6.5 a 7, nunca bajo de 6. La capacidad de ácido se encuentra entre 0.5 y 3 mmol/l. Los arroyos se encuentran amortiguados a la entrada de ácido atmosférico y no exhiben empobrecimiento biológico de especie, son ricos en especies de macroinvertebrados bentónicos.

Valor de clase: 1

Rango de pH: no ácido

Sensibilidad de pH de los taxones: ácidos sensibles”

“Tipo 2, Predominantemente neutral para episodios ligeramente ácidos: Valores de pH entre 6.5 y 6, no bajan del 5.5. La capacidad de ácido se sitúa entre 0.3 y 0.2 mmol/l, siendo mayor al valor crítico 0.1. Las corrientes amortiguan los efectos de ácido, siendo excluidos del sistema biológico. La biocenosis se recupera rápidamente de los aislados episodios de afluentes de ácido. No se produce un empobrecimiento notable de la comunidad.

Valor de clase: 2

Rango de pH: ligeramente ácido

Sensibilidad de pH de los taxones: ácido sensible a moderada”

“Tipo 3, Periódicamente (críticamente) ácidos: El pH normalmente se encuentra bajo los 6.5, los valores de pH mínimo con frecuencia caen por debajo de 5.5, debido a la afluencia de ácido durante el deshielo de la primavera o después de fuertes lluvias. La capacidad del ácido se sitúa entre 0.1 y 0.2 mmol/l, la capacidad puede caer frecuentemente bajo el 0.1, valor crítico.

Valor de clase: 3

Rango de pH: crítico

Sensibilidad de pH de los taxones: ácidos tolerantes”

“Tipo 4, Periódicamente (fuertemente) ácida: El pH normalmente se encuentra en un rango ácido, en torno al 5.5, a lo largo del año. La capacidad media se encuentra por debajo de 0.2 mmol/l, por lo general en torno al valor crítico de 0.1 mmol/l. Estos cuerpos de agua muestran pronunciados daños ecológicos a las comunidades acuáticas, con ausencia de los taxones sensibles a los ácidos durante todo el año.

Valor de clase: 4

Rango de pH: fuertemente ácido

Sensibilidad de pH de los taxones: resistente a ácido”

“Tipo 5, Continua acidez extrema: El pH se encuentra en el rango muy ácido por debajo de 5.5 durante todo el año. El pH mínimo de regularidad disminuye considerablemente por debajo de 5 y, a veces por debajo de 4.3. La capacidad media de ácido se encuentra por debajo del valor crítico 0.1 mmol/l. Estas corrientes presentan daños visibles.

Valor de clase: 5

Rango de pH: extremadamente ácido

Sensibilidad de pH de los taxones: muy resistente a ácidos”

### ***Procedimiento***

“Se deben tomar las muestras en el cuerpo de agua en cuestión, cuidando que las especies sean realmente representativas de la realidad ecológica, es decir, que presenten la abundancia adecuada, para realizar una evaluación lo menos sesgada posible. Se realiza una medición de frecuencia acumulativa hasta encontrar el umbral, es decir, se suma la frecuencia correspondiente a la clase 1 si esta no alcanza el umbral se debe continuar la suma con la clase siguiente, si esto no ocurre hasta alcanzar la clase 5 no se puede realizar la bioindicación. Por otro lado, si se encuentra el valor umbral con la suma de la clase 1, el cuerpo de agua puede ser catalogado como no ácido” (Braukmann y Biss, 2004).

“Una alternativa a la suma acumulativa de frecuencia de las clases es la suma de valores de dominancia de los taxones para cada clase de acidez hasta un dominio total de 10%. Considerándose ese taxón para la categorización de acidez. Es importante tener una base de datos con el rango de acidez aceptable por los organismos” (literatura; Braukmann y Biss, 2004).

“Con el valor de clase de acidificación se puede asignar a la categoría de calidad establecida por la DMA” (Braukmann y Biss, 2004).

Valor 1: Alto

Valor 2: Bueno

Valor 3: Moderado

Valor 4: Pobre

Valor 5: Malo

**Nombre:** Calidad de la vegetación de ribera (QBR)

**Descripción**

“El índice de calidad del bosque de ribera QBR varía entre 0 y 100. Está organizado en 5 rangos de calidad que se representan sobre un mapa con un código de colores estandarizado. Evalúa el grado de conservación de las riberas basándose en el grado de cobertura vegetal de las riberas, en la estructura vertical de la vegetación, en la calidad y diversidad de la cubierta (presencia de especies introducidas plantaciones) y en el grado de naturalidad del canal fluvial. Cada uno de los bloques recibe un valor de 0 a 25, la suma de los 4 bloques constituye la puntuación final del índice” (Agencia Catalana de agua, 2006).

“En la puntuación del QBR suman todos los elementos que aportan cierta calidad al ecosistema de ribera, y resta todo aquello que supone un distanciamiento respecto a las condiciones naturales. El QBR es pues una medida de las diferencias existentes entre el estado real de las riberas y el estado potencial, de modo que el nivel de calidad es máximo cuando las riberas evaluadas no presentan alteraciones debidas a las actividades humanas” (Agencia Catalana de agua, 2006).

“Adicionalmente y por el efecto que produce la temporalidad de un curso fluvial en las dimensiones y la composición estructural y específica de sus riberas, se considera un protocolo para ríos de las siguientes características: Ríos intermitentes y ríos efímeros” (Agencia Catalana de agua, 2006).

**Procedimiento**

“Se debe seleccionar un tramo de unos 150 metros procurando que albergue unas riberas representativas de la masa de agua. Hay que considerar la totalidad de la anchura potencial del bosque de ribera para el cálculo del QBR. En ella diferenciaremos y delimitaremos visualmente el canal bajo del río, la orilla y la ribera” (Agencia Catalana de Agua, 2006; Jáimez *et al.*, 2002).

“En cada bloque hay que entrar por una de las cuatro opciones principales, puntuando 25, 10, 5 o 0. Se puede escoger solamente una entrada: la que cumpla la condición exigida siempre leyendo de arriba a abajo. La puntuación final de cada bloque será modificada por las condiciones expuestas en la parte baja de cada bloque, tantas veces como se cumpla la condición (sumando o restando). De las cuatro opciones principales se ha de escoger sólo una.

La puntuación final de cada bloque se redondeará a 25 si excede de esta cifra o a 0 si es negativa. Las condiciones se analizarán considerando ambos márgenes del río como una sola unidad” (Agencia Catalana de Agua, 2006; Jáimez et al., 2002).

La puntuación final se extraerá de la suma de los cuatro bloques y, por lo tanto, variará entre 0 y 100. A continuación se exponen los bloques a considerar (Agencia Catalana de Agua, 2006; Jáimez *et al.*, 2002):

### **Bloque 1: Grado de cobertura ripariana**

“Se mide el % de cobertura de toda la vegetación, exceptuando las plantas de crecimiento anual. Se tienen en cuenta, pues, árboles, arbustos (tanto pequeñas matas como grandes arbustos), lianas, cañas y herbáceas no anuales. Se consideran ambos lados del río conjuntamente.

Se evalúa el grado de cobertura tan sólo de las riberas, excluyendo las orillas y el canal bajo”.

### **Bloque 2: Estructura de la cobertura**

“La puntuación se realiza según el porcentaje de cobertura de árboles y arbustos. Se valora solamente sobre las zonas donde existe cobertura de vegetación, no sobre la totalidad de las riberas. Hay que tener en cuenta que sobre una misma superficie, la suma del porcentaje de cobertura de árboles y arbustos puede ser superior al 100% dado que son estratos de vegetación diferentes que pueden sobreponerse”.

### **Bloque 3: Calidad de la cobertura**

“Para rellenar este apartado hay que determinar primero el tipo geomorfológico mediante las indicaciones adicionales. Una vez seleccionado el tipo geomorfológico contaremos el número de especies arbóreas y arbustivas nativas presentes en la orilla y la ribera. En ríos efímeros, los arbustos considerados de porte arbóreo en el apartado de estructura serán contabilizados también como árboles en este bloque”.

### **Bloque 4: Grado de naturalidad del canal fluvial**

“La modificación de las terrazas adyacentes al río implica que el canal de éste se reduzca, los márgenes se hagan más derechos y el río más recto. Los campos de cultivo cercanos al río y las actividades extractivas producen este efecto. Cuando además existen estructuras sólidas, como paredes, muros, etc., los signos de alteración son más evidentes y la puntuación más baja”.

### **Nombre: Índice QAELS**

#### **Descripción**

“El índice QAELS fue elaborado para la determinación del estado ecológico de los sistemas lagunares someros de Cataluña. Este reúne aspectos de riqueza y abundancia de invertebrados bentónicos. Este índice se compone de dos métricas” (Alba *et al.*, 2005):

- 1) ACCO: basado en la abundancia de cladóceros, copépodos y ostrácodos.

Esta métrica se calcula de la siguiente manera

ACCO= sumatoria ( $k_i \times n_i$ )

$n_i = N_i + N_{tot}$

donde:

i: taxones indicadores

$n_i$ : abundancia relativa del taxón i

$N_i$ : Abundancia del taxón i

$N_{tot}$ : suma de la abundancia de los taxones indicadores

$K_i$ : valor de calidad del taxón i (se obtiene del análisis de PCA)

El valor de calidad y el valor de abundancia se obtienen de un análisis de correlación entre la presencia del taxón y la calidad de la masa de agua.

2) RIC: basado en la riqueza de insectos y crustáceos

RIC= N° géneros de crustáceos + N° de formas adultas de coleópteros y heterópteros+ N° familias de larvas y pupas de insectos

Finalmente le índice QAELS se obtiene mediante la siguiente fórmula

QAELS=  $(ACCO + 1) \times \log(RIC+1)$

### **Procedimiento**

“Para el muestreo se requiere la identificación de las estaciones en el litoral del lago, las cuales deben ser representativas de la diversidad de hábitats existentes y de los posibles impactos humanos debido a las actividades y/o usos existentes en el lago y zonas circundantes. La caracterización de los hábitats litorales debe incluir: tipo de sustrato mineral y vegetal, profundidad, tipo de vegetación de ribera” (Alba *et al.*, 2005).

“En lagos de superficie mayor a 50 hectáreas se recomienda establecer más de una estación de muestreo” (Alba *et al.*, 2005).

“Se puede realizar el muestreo de salobre, que consiste en realizar pasadas con una red de muestreo con un recorrido de bajada seguido de un recorrido aproximadamente 1 metro cerca del fondo y subiendo hasta la superficie, esto se denomina “dipping”. Se deben realizar pasadas en puntos representativos y el contenido se guardará en un recipiente y se fijará. La muestra finaliza con la limpieza de 2 o 3 piedras sumergidas con el fin de extraer aquellos organismos adheridos a ellas” (Alba *et al.*, 2005).

“Otra opción es la extracción de vegetales para obtener muestras de invertebrados epifíticos. Este muestreo se realiza con un tubo de PVC el cual es introducido al tallo o grupo de tallos posteriormente se introduce un tapón en la parte superior, luego es cortado el tallo e introducido el tapón inferior. De esta forma se obtienen los organismos que se ubicaban en el tallo y aquellos que se encontraban en su alrededor” (Alba *et al.*, 2005).

## Escala de calidad por índice

Cuadro 10. Índice Saprobio para Ríos

<b>Tipo</b>	<b>Alta</b>	<b>Buena</b>	<b>Moderado</b>	<b>Pobre</b>	<b>Mala</b>
Tipo 1	< 1.2	< 1.8	< 2.56	< 3.26	<=4
Tipo 2	<1	< 1.52	< 2.4	< 3.5	<=4
Tipo 3	< 1.23	< 1.89	< 2.35	< 3.16	<=4
Tipo 4	< 1.65	< 2.12	< 2.98	< 3.45	<=4
Tipo 5	< 1.2	< 2.15	< 2.56	< 3.16	<=4
Tipo 6	< 1.35	< 1.96	< 2.48	< 3.15	<=4
Tipo 7	< 1.12	< 1.26	< 2.29	< 3.47	<=4
Tipo 8	< 1.25	< 1.98	< 2.30	< 3.33	<=4
Tipo 9	< 1.15	< 1.26	< 2.48	< 3.49	<=4
Tipo 10	< 1.18	< 1.27	< 2.47	< 3.47	<=4
Tipo 11	< 0.98	< 1.59	< 2.65	< 3.35	<=4
Tipo 12	< 1.18	< 1.69	< 2.58	< 3.47	<=4
Tipo 13	< 1.3	< 1.98	< 2.88	< 3.67	<=4
Tipo 14	< 1.5	< 2.01	< 2.98	< 3.58	<=4
Tipo 15	< 1.17	< 2.25	< 2.99	< 3.69	<=4
Tipo 16	< 1.02	< 1.96	< 2.49	< 3.77	<=4
Tipo 17	< 1.03	< 1.68	< 2.48	< 3.19	<=4
Tipo 18	< 1.28	< 2.63	< 3.03	< 3.59	<=4
Tipo 19	< 1.08	< 1.98	< 2.48	< 3.56	<=4
Tipo 20	< 1.01	< 1.59	< 2.57	< 3.18	<=4
Tipo 21	< 1.11	< 2.01	< 2.96	< 3.46	<=4
Tipo 22	< 1.18	< 2.56	< 3.04	< 3.72	<=4
Tipo 23	< 1.04	< 1.88	< 2.33	< 3.55	<=4
Tipo 24	< 1.11	< 1.9	< 2.84	< 3.58	<=4
Tipo 25	< 1.23	< 1.98	< 2.84	< 3.48	<=4
Tipo 26	< 1.17	< 1.87	< 2.25	< 3.14	<=4
Tipo 27	< 1.09	< 1.88	< 2.15	< 3.19	<=4
Tipo 28	< 1.25	< 1.96	< 2.45	<3.78	<=4
Tipo 29	< 1.32	< 1.87	< 2.98	< 3.74	<=4
Tipo 30	< 1.21	< 1.96	< 2.38	< 3.51	<=4
Tipo 31	< 1.08	< 1.76	< 2.37	< 3.41	<=4
Tipo 32	< 1.07	< 1.82	< 2.31	< 3.44	<=4
Tipo 33	< 1.09	< 1.68	< 2.37	< 3.32	<=4
Tipo 34	< 1.02	< 1.58	< 2.47	< 3.58	<=4

(continúa)

Cuadro 11. Índice Saprobio para Ríos (continuación)

<b>Tipo</b>	<b>Alta</b>	<b>Buena</b>	<b>Moderado</b>	<b>Pobre</b>	<b>Mala</b>
Tipo 35	< 1.01	< 1.63	< 2.69	< 3.54	<=4
Tipo 36	< 1.31	< 1.91	< 2.61	< 3.62	<=4
Tipo 37	< 1.08	< 1.92	< 2.53	< 3.67	<=4
Tipo 38	< 1.09	< 1.88	< 2.58	< 3.61	<=4
Tipo 39	< 1.05	< 1.63	< 2.51	< 3.63	<=4
Tipo 40	< 1.01	< 1.69	< 2.58	< 3.54	<=4

Cuadro 12. Índice de Saprobio para Lagos

<b>Tipo</b>	<b>Alta</b>	<b>Buena</b>	<b>Moderada</b>	<b>Pobre</b>	<b>Mala</b>
Tipo 1	< 1.2	< 1.8	< 2.56	< 3.26	<=4
Tipo 2	< 1.15	< 1.96	< 2.78	< 3.58	<=4
Tipo 3	< 1.01	< 1.99	< 2.56	< 3.83	<=4
Tipo 4	< 1.05	< 1.76	< 2.53	< 3.42	<=4
Tipo 5	< 1.08	< 1.62	< 2.43	< 3.19	<=4
Tipo 6	< 1.26	< 1.69	< 2.57	< 3.65	<=4
Tipo 7	< 1.27	< 1.64	< 2.49	< 3.57	<=4
Tipo 8	< 1.19	< 1.69	< 2.43	< 3.47	<=4
Tipo 9	< 1.16	< 1.82	< 2.49	< 3.41	<=4
Tipo 10	< 1.14	< 1.83	< 2.46	< 3.49	<=4
Tipo 11	< 1.16	< 1.87	< 2.43	< 3.51	<=4
Tipo 12	< 1.02	< 1.83	< 2.46	< 3.58	<=4
Tipo 13	< 1.06	< 1.68	< 2.16	< 3.28	<=4
Tipo 14	< 1.49	< 2.13	< 2.64	< 3.83	<=4
Tipo 15	< 1.05	< 1.91	< 2.67	< 3.46	<=4
Tipo 16	< 1.01	< 1.82	< 2.49	< 3.85	<=4
Tipo 17	< 1.09	< 1.93	< 2.52	< 3.48	<=4

Cuadro 13. Escala de calidad ecológica de índice de acidificación

<b>Calidad Ecológica</b>	<b>Valor</b>	<b>pH</b>	<b>Capacidad de ácido (mmol/l)</b>	<b>Presencia de taxones</b>
Alta	1,00	6.5 - 7	0.5 - 3	ácidos sensibles
Buena	2,00	6.5-6	0.3-0.2	ácido sensible a moderada
Moderada	3,00	6.5-5.5	0.1-0.2	taxones ácido tolerantes
Pobre	4,00	alrededor 5.5	en torno a 0.1	ausencia de taxones sensibles al ácido
Mala	5,00	bajo 5.5	bajo 0.1	taxones muy resistentes a ácidos

Fuente: Braukmann y Biss, 2004

Cuadro 14. Escala de calidad ecológica del índice de calidad de riberas (QBR)

<b>Calidad ecológica</b>	<b>Rango</b>
Alta	$\geq 95$
Buena	75-90
Moderada	55 -70
Pobre	30-50
Mala	$\leq 25$

Fuente: Agencia Catalana de Agua, 2006; Jáimez et al., 2002.

Cuadro 15. Escala de calidad ecológica del índice QAELS

<b>Calidad ecológica</b>	<b>Rango</b>
Alta	QAELS $\geq 8$
Buena	$6 \leq$ QAELS $< 8$
Moderada	$4 \leq$ QAELS $< 6$
Pobre	$2 \leq$ QAELS $< 4$
Mala	QAELS $< 2$

Fuente: Alba *et al.*, 2005

**Cuerpo de agua de referencia y meta ecológica por índice y tipo**

Cuadro 16. Meta ecológica por índice para cada tipo de Río

<b>Tipos de ríos</b>	<b>Cuerpo de referencia</b>	<b>Índice de saprobio</b>	<b>Índice de acidez</b>	<b>índice QBR</b>
Tipo 1	Río Lluta (abajo río azufre)	Alta	Alta	Buena
Tipo 2	Río Lauca	Alta	Alta	Buena
Tipo 3	Estero Cueva pintada	Buena	Alta	Buena
Tipo 4	Río san salvador	Buena	Buena	Moderada
Tipo 5	Río Lluta (entre Q. socoroma y Q. Poconchile)	Buena	Buena	Moderada
Tipo 6	Río Hurtado (bajo junta Q. San Agustín)	Alta	Alta	Alta
Tipo 7	Río Hurtado (entre bajo Q. atajo y bajo junta Río Chacay)	Buena	Buena	Alta
Tipo 8	Río Grande (entre río Mostazal y río Rapel)	Buena	Buena	Buena
Tipo 9	Estero Punitaqui (hasta los mantos)	Buena	Buena	Buena
Tipo 10	Estero Punitaqui (entre arriba Los Mantos y bajo junta E. Las Mojadas)	Buena	Buena	Buena
Tipo 11	Río Olivares	Alta	Alta	Alta
Tipo 12	Río Coya	Alta	Alta	Alta
Tipo 13	Estero Upeo	Buena	Buena	Alta
Tipo 14	Río Ñuble (entre Río Los Sauces y bajo E. Bullileo)	Buena	Buena	Moderada
Tipo 15	Río Itata (entre Río Diguillin y E. Coyanco)	Alta	Alta	Alta
Tipo 16	Río Colorado (entre Río Olivares y Río Maipo)	Alta	Alta	Alta
Tipo 17	Río Mataquito (entre E. del Durazno y bajo E. la Pellana)	Buena	Buena	Moderada
Tipo 18	Río Biobio (entre Río Rucañuco y Río Pehuenco)	Alta	Alta	Alta
Tipo 19	Río Queuco (entre Río Niremetun y Río Biobio)	Buena	Alta	Alta
Tipo 20	Río Laja (entre E. Polcura y Río Rucue)	Buena	Buena	Buena

(continúa)

Cuadro 17. Meta ecológica por índice para cada tipo de Río (continuación)

<b>Tipos de ríos</b>	<b>Cuerpo de referencia</b>	<b>Índice de saprobio</b>	<b>Índice de acidez</b>	<b>índice QBR</b>
Tipo 21	Río Lumaco (entre Río Colpi y Río Quillen)	Buena	Buena	Buena
Tipo 22	Río Chol Chol (entre Río Renaico y Río Imperial)	Buena	Buena	Buena
Tipo 23	Estero Fillingue	Buena	Buena	Alta
Tipo 24	Río Curanipe	Buena	Buena	Alta
Tipo 25	Río Maichin (hasta bajo E. Cuatro M.)	Alta	Alta	Alta
Tipo 26	Río Chirre (hasta junta Río Quilihue)	Buena	Buena	Alta
Tipo 27	Estero Plalafquen	Buena	Buena	Alta
Tipo 28	Río Trafun	Buena	Buena	Buena
Tipo 29	Río Quilanlar	Alta	Alta	Alta
Tipo 30	Río Ventisqueros	Alta	Alta	Alta
Tipo 31	Río Ladgren	Alta	Alta	Alta
Tipo 32	Río El Salto	Buena	Alta	Alta
Tipo 33	Río Aros	Buena	Alta	Alta
Tipo 34	Río Tranquilo	Buena	Alta	Alta
Tipo 35	Río Cisnes Bajo Estero La Turbina	Buena	Alta	Alta
Tipo 36	Río Rasmunssen (subsubcuenca del río Rasmusen hasta frontera)	Buena	Buena	Alta
Tipo 37	Río Gallegos	Alta	Alta	Alta
Tipo 38	Río Grey	Alta	Alta	Alta
Tipo 39	Río Santa María	Alta	Alta	Buena
Tipo 40	Río Mallines	Alta	Alta	Alta

Cuadro 18. Meta ecológica por índice para cada tipo de Lago

<b>Tipos de lagos</b>	<b>Cuerpo de referencia</b>	<b>Índice de saprobio</b>	<b>Índice QAELS</b>
Tipo 1	Laguna Chungara	Alta	Buena
Tipo 2	Laguna Tara	Alta	Buena
Tipo 3	Laguna Parinacota	Alta	Alta
Tipo 4	Laguna de la Laja	Alta	Alta

(continúa)

Cuadro 19. Meta ecológica por índice para cada tipo de Lago (continuación)

<b>Tipos de lagos</b>	<b>Cuerpo de referencia</b>	<b>Índice de saprobio</b>	<b>Índice QAELS</b>
Tipo 5	Laguna Conguillio	Alta	Buena
Tipo 6	Lleulleu	Moderada	Moderada
Tipo 7	Laguna Cabildo	Moderada	Moderada
Tipo 8	Lago Todos los santos	Buena	Buena
Tipo 9	Lago Budi	Moderada	Moderada
Tipo 10	Laguna Trinidad	Moderada	Moderada
Tipo 11	Laguna Chaiguata	Alta	Buena
Tipo 12	Lago Cochrane	Buena	Buena
Tipo 13	Lago Jeinemeni	Buena	Buena
Tipo 14	Laguna San Rafael	Buena	Buena
Tipo 15	Lago Traiguen o tronador	Buena	Buena
Tipo 16	Lago Balmaceda	Buena	Buena
Tipo 17	Laguna de los Cisnes	Buena	Buena

### **Medidas de restauración**

**Tratamiento de aguas servidas:** El tratamiento de aguas servidas contribuye al mejoramiento de la calidad ecológica de los cuerpos de agua receptores.

Procedimiento: El tratamiento es tarea del gobierno o de la sanitaria correspondiente, por lo cual el sistema y proceso depende de las características de las instalaciones y de la factibilidad de esta.

**Reducción de nutrientes y uso de detergentes sin fosfato:** El uso de detergentes o sustancias con concentraciones menores de nutrientes (especialmente fósforo) contribuye al mejoramiento de la calidad ecológica de los cuerpos de agua receptores.

Procedimiento: el cambio de productos es una decisión netamente política y económica de las empresas y organizaciones que los utilicen. Se puede generar incentivos a nivel gubernamental o certificaciones que beneficien a la empresa en cuanto a su competitividad.

**Remoción de sedimento:** El fósforo se acumula en el sedimento de los cuerpos de agua y es liberado en épocas de baja de nutrientes, por lo que su remoción contribuye a la disminución de niveles de nutrientes y por ende a la mejora de las condiciones ecológicas del cuerpo de agua (Fosalba *et al.*, s.a.).

**Agregado de aluminio:** Método químico para la disminución y amortiguación de la eutrofización. Este método consiste en el agregado de aluminio o sales de hierro a la columna de agua para aumentar la adsorción de fósforo al sedimento, y provocar la

disminución de la disponibilidad de éste para fitoplancton. Los efectos del método son inciertos (Fosalba *et al.*, s.a.).

**Oxigenación del hipolimnio** (fondo del lago): Este método químico consiste en la adición de oxígeno para mantener la adsorción de fósforo al hierro (unión sensible a condiciones redox) y así disminuir la disponibilidad de fósforo (Fosalba *et al.*, s.a.).

**Biomanipulación:** La biomanipulación es un método biológico de restauración de lagos el cual consiste en la introducción de peces piscívoros, la remoción de peces que comen zooplancton (planctívoros) y/o viven sobre el fondo (bentívoros) y el trasplante/protección de macrófitas, especialmente sumergidas. Este método busca el aumento de peces piscívoros para disminuir la población de peces zooplanctívoros y de esta forma disminuir el fitoplancton disponible (Fosalba *et al.*, s.a.).

**Rediseño de la red de drenaje, el uso de la vegetación y/o a construcción de humedales:** Corresponden a medidas externas al cuerpo de agua, considerando cambios en el sistema de drenaje para que la descarga no se realice en el cuerpo de agua, el uso de vegetación como amortiguación o bien la construcción de humedales que absorben y filtran el contenido de nutrientes disminuyendo la contaminación (EULA, 2010).

**Revegetación de las riberas:** Reemplazo de vegetación exótica por especies autóctonas del sector. Se pueden realizar podas continuas y sustitución de individuos exóticos. Esto contribuirá a que las especies nativas colonicen la ribera del río.

**Deflectores de corriente (o de ala):** “El fin de esta medida es cambiar la dirección del flujo para proteger las orillas. Fácil construcción a partir de diversos materiales: troncos, piedras, gaviones. Instalación precisa para evitar ser erosionados y arrastrados por las crecidas. Diseño de forma triangular con su lado de mayor longitud bien anclado en las orillas” (Miliarium, 2004).

**Azudes:** “Pequeñas presas de perfil bajo utilizadas para crear o ahondar pozas y recolectar y sujetar gravas que potencien los frezaderos naturales en ríos de fuertes pendientes. Construcción: troncos piedras y gaviones. Diseño: en forma recta y en forma angular (gran protección a los anclajes laterales)” (Miliarium, 2004).

**Disposición de bolos y berruecos:** “Grandes piedras que soportan las fuertes crecidas sin ser arrastradas y representan cobertura y refugio para los peces y zonas de cría para los alevines. Su disposición en las orillas deja estrechos huecos entre ellas para la plantación de estaquillas. Estabilizan los taludes” (Miliarium, 2004).

**Mejora de la vegetación de las orillas:** “El fin de esta medida es proveer de refugio y alimento de origen terrestre a los peces, estabilizar los taludes de orilla, mantener las aguas a temperaturas frescas en verano, proteger de la heladas invernales y controlar la forma de la selección transversal del cauce, favoreciendo formas más profundas que tienen una mayor capacidad de refugio” (Miliarium, 2004).

**Eliminar descargas de líquidos con pH bajos:** Se debe disminuir o eliminar las descargas de riles con pH ácidos.

**Disminución de emisiones de dióxido de azufre a la atmósfera:** La disminución de dióxido de azufre en la atmósfera, este compuesto aumenta la acidez de los cuerpos de agua al caer como lluvia ácida.

**Neutralizar acidez:** Para neutralizar la acidez se recomienda la adición de limo y de sustancias básicas como hidróxido de calcio y/o carbonato de calcio (Virchez *et al.*, s.a.).

## **Apéndice V. Bases de datos semánticas**

Las bases de datos semánticas pobladas, base de datos de cuerpos de agua (BDS 1) y base de datos con supuestos (BDS 2), se entregan en formato digital junto al instalador del programa Protégé.