

Explotación de información en el dominio geo-hídrico ecuatoriano utilizando tecnología semántica

Lucia Lupercio^{1,2}, Fernando Baculima¹, Mauricio Espinoza¹, Víctor Saquicela¹

¹ Departamento de Ciencias de la Computación, Universidad de Cuenca, Avenida 12 de abril s/n, Cuenca, Ecuador.

² Programa para el Manejo del Agua y del Suelo, Universidad de Cuenca, Avenida 12 de abril s/n, Cuenca, Ecuador.

Autores para correspondencia: lucia.lupercio@ucuenca.edu.ec, mauricio.espinoza@ucuenca.edu.ec, victor.saquicela@ucuenca.edu.ec

Fecha de recepción: 28 de septiembre 2015 - Fecha de aceptación: 12 de octubre 2015

RESUMEN

En este artículo se presenta una propuesta para la explotación de información en el dominio geo-hídrico ecuatoriano, en sintonía con la tendencia actual respecto a la integración de datos de diferentes fuentes y la publicación de estos datos aplicando los principios de *Linked Data*. Esta propuesta utiliza como lenguaje de consulta GeoSPARQL, proporcionando la capacidad de operaciones espaciales para explotación y descubrimiento de recursos que representan entidades geográficas. Estos recursos están almacenados sobre repositorios de tripletas RDF distribuidos, que se corresponden con los datos de diferentes instituciones vinculadas al dominio geo-hídrico. Esta propuesta facilita la integración y explotación de información a partir de los enlaces existentes entre recursos que hacen referencia al mismo fenómeno del mundo real. Finalmente, los recursos explotados son visualizados en un visor gráfico MAP4RDF permitiendo una visión unificada de la realidad hídrica nacional. Este visor ha sido mejorado, constituyéndose también en un aporte tecnológico.

Palabras clave: GeoSPARQL, Geo Linked Data, explotación de datos, consultas federadas;

ABSTRACT

In this article, we present an approach for exploiting the information in the Ecuadorian geo-hydrological domain, in tune with current trends relative to data integration from different sources and the publication of these data by applying the principles of *Linked Data*. Our approach uses GeoSPARQL as query language, which provides the ability to perform spatial operations for exploiting and discovery of resources that represent geographic entities. These resources are stored on distributed RDF data stores, which correspond to data from different institutions involved in geo-hydrological domain. This proposal facilitates the integration and use of information from the existing links between resources that refer to the same real-world phenomenon. Finally, the resources exploited are displayed on a graphic tool named, map4rdf, allowing a unified vision of national hydric reality. This tool has been enhanced in our approach, becoming also in a technological contribution.

Keywords: GeoSPARQL, Geo Linked Data, data discovery, federal queries.

1. INTRODUCCIÓN

Como lo afirma la Organización de Naciones Unidas (ONU), el agua es un recurso natural de vital importancia tanto para los ecosistemas como para la vida humana, además de ser un factor determinante en el desarrollo económico y social (ONU-DAES, 2014). Las tareas que involucran la planificación, monitoreo, estudio de la oferta, o administración de la demanda, de este recurso natural,

requieren de la mayor cantidad y calidad de información disponible. En este contexto, la información que cuenta con un componente espacial o Información Geográfica (IG) juega un rol importante.

En el Ecuador la administración de los recursos hídricos, según la recién promulgada Ley de los Recursos Hídricos (Asamblea Nacional, 2014), está a cargo de la autoridad única del agua, la SENAGUA. Sin embargo, existen varias instituciones ecuatorianas, con diferentes niveles de gobierno (local, regional, nacional) que generan, utilizan y/o actualizan la IG en el dominio hídrico ecuatoriano. Esta diversidad institucional deriva en diferentes modelos, formatos, y semántica tanto para la representación como para la explotación de información. Los esfuerzos para: i) la integración (Sistema Nacional de Información SNI¹), ii) descripción para su recuperación (Perfil Ecuatoriano de Metadatos, PEM), iii) catalogación (Catálogo Nacional de Objetos Geográficos), e iv) interoperabilidad (Infraestructura Ecuatoriana de Datos Geoespaciales, IEDG), de la IG en el Ecuador están dirigidos hacia los Sistemas de Información Geográfica (SIG), las Infraestructuras de Datos Espaciales (IDEs) y en general hacia su uso en la Web. Sin embargo, en ninguno de estos esfuerzos se toma en consideración aspectos relacionados con la representación adecuada de los datos, sino más bien se hace énfasis en la presentación de la información a un usuario. Esto dificulta el descubrimiento, recuperación, reusabilidad y enriquecimiento semántico de la información existente en el dominio geo-hídrico ecuatoriano, especialmente cuando estos procesos necesitan ser automatizados. Además, cabe resaltar que en el Ecuador, la mayoría de los esfuerzos en lo que a IG se refiere y que ha sido la tendencia a nivel mundial en décadas pasadas, se dirige hacia la construcción de la IDE nacional (CONAGE, 2010). Sin embargo, algunos trabajos científicos (Klien, Einspanier, Lutz, & Hübner, 2004) han demostrado que si bien las IDEs ayudan a alcanzar la interoperabilidad sintáctica, aún no han resuelto por sí mismas la interoperabilidad semántica. Es decir las IDEs no han alcanzado un conocimiento compartido a nivel de significados tal que facilite la explotación y el descubrimiento de conocimiento sobre una temática en particular.

La tendencia y avances científicos para la publicación, explotación y descubrimiento de datos se dirigen hacia la Web Semántica (Berners-Lee, Hendler, & Lassila, 2001) concretamente a la Web de Datos Enlazados (*Linked Data*). Cada vez más datos están siendo publicados acorde a los principios de *Linked Data* (Bizer, Heath, & Berners-Lee, 2009), lo que permite que estos datos puedan ser accedidos por usuarios y máquinas. Esto se evidencia en el estado de la nube de datos enlazados del 2007 con respecto a la nube de datos enlazados del 2014, en el dominio de la IG se pasa de 7 conjuntos de datos (*datasets*) en el 2007, a 24 *datasets* en el 2014 que representa billones de tripletas en el dominio geográfico (Schmachtenberg, 2014). En este contexto, este artículo presenta un acercamiento para la explotación de información distribuida en el dominio geo-hídrico ecuatoriano. En esta propuesta los conjuntos de datos (*datasets*), fueron publicados siguiendo todos los principios de *Linked Data*. De esta forma, se utilizan *datasets* desde tres repositorios RDF (W3C, 2014b), el primer repositorio corresponde a la IG publicada gracias a la iniciativa Geo.LinkedException.ec² y los otros dos repositorios corresponden a los datos en el dominio geo-hídrico ecuatoriano publicados por el Departamento de Ciencias de la Computación de la Universidad de Cuenca³. La propuesta para la explotación de la información distribuida utiliza como lenguaje de consulta SPARQL (W3C, 2008) y la capacidad de consultas espaciales de GeoSPARQL (OGC, 2012).

El resto de este artículo continúa en la Sección 2 con una descripción de los conceptos y trabajos relacionados al descubrimiento y recuperación de IG utilizando tecnologías de la Web Semántica. En la Sección 3 se presenta un escenario actual para el consumo de información en el dominio geo-hídrico ecuatoriano. En la Sección 4 se describe la propuesta prototipo para la explotación de información distribuida en el dominio geo-hídrico ecuatoriano. Finalmente, la Sección 5 presenta las conclusiones y trabajos futuros.

¹ <http://sni.gob.ec>

² <http://geo.linkedException.ec>

³ <http://www.ucuenca.edu.ec/la-oferta-academica/oferta-de-grado/facultad-de-ingenieria/dptos/dcc>

2. TRABAJOS RELACIONADOS Y CONOCIMIENTOS PREVIOS.

En el ámbito de la Web Semántica y gracias a la aplicación de los principios de *Linked Data* (Bizer *et al.*, 2009) es posible que repositorios de diferentes productores de datos, continúen extendiéndose de forma autónoma e independiente y a la vez mantengan las relaciones existentes con información similar en otros repositorios, inclusive de otros dominios del conocimiento. De esta forma, en la Web de *Linked Data* cualquier especialista podría establecer enlaces a *datasets* que proveen información de localización. El diagrama de *Linked Open Data (LOD) 2014* (Schmachtenberg, 2014) muestra el estado actual de la nube de datos enlazados, que incluye *datasets* en el dominio geográfico entre los que se destacan: *Linked Geo Data*⁴, *Geonames*⁵, *Geo Linked Data*⁶, *Ordnance Survey*⁷, *Geo Ecuador*⁸, etc. Estos *datasets* publicados, crean un espacio de datos globalmente distribuido sobre la Web de donde subyacen nuevos retos para consumir y explotar *Linked Data* en todo su potencial (Hartig & Langegger, 2010). En este ambiente distribuido, el consumo de recursos se plantea a través del uso de consultas federadas. Los enfoques para federación sobre la Web de *Linked Data* se recogen en el trabajo de Haase *et al.* (2010), y se esquematizan en la Figura 1.

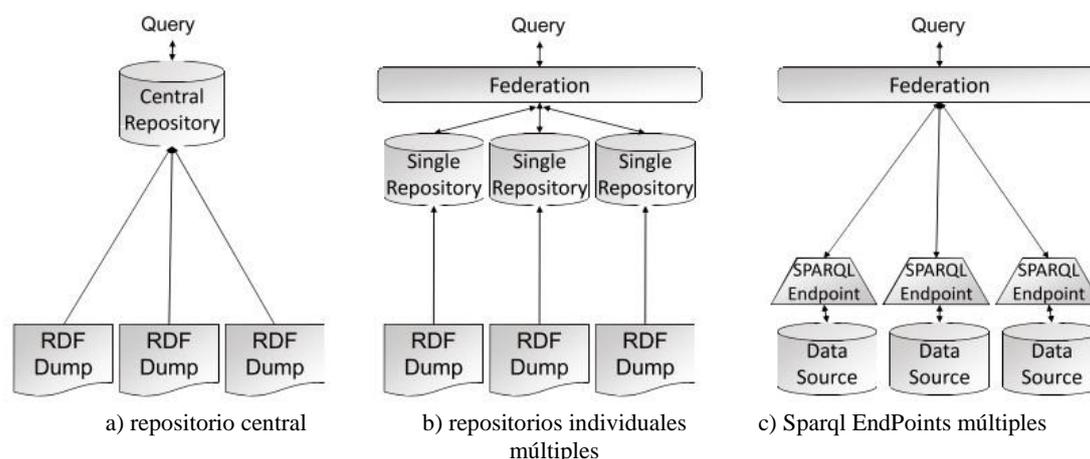


Figura 1. Enfoques para federación en *Linked Data* (Haase *et al.*, 2010).

El enfoque de la Figura 1a muestra que los recursos RDF son centralizados en un solo repositorio, en 1b el enfoque plantea repositorios individuales a través del volcado de RDFs, y el tercer enfoque 1c utiliza múltiples servicios *Sparql EndPoint*. En lo referente a la explotación de *datasets* del dominio geográfico, no se han encontrado trabajos relacionados, sin embargo, el enfoque propuesto en este artículo usa la propuesta identificada en la Figura 1c aplicada al dominio geohídrico. Así los recursos son consumidos por un usuario final (máquina o humano) a través de múltiples servicios *Sparql EndPoint*. Las consultas sobre cada *Sparql EndPoint* utilizan lenguaje SPARQL, y para la explotación de la IG se hace uso del estándar GeoSPARQL.

En lo que respecta a la visualización gráfica de *datasets* en el dominio geográfico y publicados bajo las guías de *Linked Data*, han surgido algunas iniciativas como *Semmap*⁹ que es una herramienta que permite al usuario explorar, inferir y consultar el contenido de los datos enlazados en forma gráfica. En esta herramienta el usuario puede además escoger un *Sparql Endpoint* y un grafo a través de cajas de selección sobre la pantalla provista con mapas. Otra herramienta es MAP4RDF (León *et*

⁴ <http://linkedgeo.org/>

⁵ <http://www.geonames.org/>

⁶ <http://geo.linkeddata.es/>

⁷ <http://data.ordnancesurvey.co.uk/datasets/os-linked-data>

⁸ <http://geo.linkeddata.ec>

⁹ <http://cstadler.aksw.org/facete/>

al., 2012), la misma que en su versión original permite la visualización de IG modelada según el vocabulario W3C GeoXG¹⁰.

3. ESCENARIO DE LA IG EN EL DOMINIO HIDRICO ECUATORIANO

En el Ecuador, existen varias instituciones ecuatorianas, con diferentes niveles de gobierno (local, regional, nacional) que generan, utilizan y o actualizan la IG en el dominio hídrico. Por ejemplo dos instituciones vinculadas a la administración de IG en el dominio geo-hídrico ecuatoriano son el IGM (entre otras, provee de capas de ríos y lagunas) y la SENAGUA (entre otras, provee capas de división de unidades hidrográficas). Cada institución, IGM y la SENAGUA publican su información individualmente, a través de una página Web en formato HTML. Cada página Web provee: un visor gráfico que no posibilita la visión integrada de la información desde otras fuentes; servicios estándares del OGC que no alcanzan la interoperabilidad semántica de la información que presentan; y archivos descargables en formato *Shapefile* que requieren de software adicional para su visualización. En este escenario, un usuario que consulta o busca información de lagunas de una unidad hidrográfica específica, o busca información de una laguna de nombre “xyz”, realiza un proceso manual de recuperación en cada página Web. Es decir en este escenario no existe entendimiento semántico entre las fuentes, la información mostrada es entendida únicamente por humanos y no por mecanismos automáticos de máquinas, y además no se proveen mecanismos para el descubrimiento de información existente sobre otras fuentes.

4. EXPLOTACIÓN DE INFORMACION GEOHÍDRICA

Ante el escenario planteado en la Sección 3, una alternativa es el modelamiento semántico usando ontologías de los datos hídricos provenientes de diferentes fuentes. Esta alternativa ofrece algunas ventajas: i) la facilidad de recuperar datos al ofrecer mejores prestaciones a los motores de búsqueda, y ii) la mejora en la interoperabilidad entre productores de datos pues se intercambia información legible por máquina que puede automatizar estas tareas (Berners-Lee *et al.*, 2001). Además gracias a la aplicación de los principios de publicación de datos enlazados (Bizer *et al.*, 2009), se puede mejorar la reutilización y el enriquecimiento de la información publicada.

En el caso concreto de este proyecto dos fuentes heterogéneas y autónomas fueron publicadas sobre 2 repositorios virtuales internos de la Universidad de Cuenca, acorde a los principios de *Linked Data*. Para esto se diseñó e implementó un modelo ontológico para representar las principales características del dominio geo-hídrico ecuatoriano (Lupercio, 2015). La creación de este modelo estuvo basado en la metodología Neón (Suárez-Figueroa *et al.*, 2012) la cual, se apoya en los aspectos de colaboración de desarrollo de ontologías y la reutilización, así como en la evolución dinámica de las redes de ontologías en entornos distribuidos. Este modelo ontológico para la representación de las geometrías utilizó el vocabulario GeoSPARQL. Además, a partir de archivos *Shapefiles* se han generado recursos en formato RDF siguiendo la “guía metodológica para la publicación de *Linked Data*” (Villazón-terrazas & Corcho, 2011) y las mejores prácticas para publicar *Linked Data* (W3C, 2014a). Tanto la construcción del modelo ontológico como el proceso de generación de RDF, los enlaces entre recursos y la calidad de estos enlaces no forman parte de este artículo. Sin embargo, se menciona en resumen que, el modelo ontológico consta de más de 150 conceptos en el dominio hídrico, se han generado más de 15 mil recursos RDF (ríos, lagunas, cuencas hidrográficas) con más de 3 mil enlaces entre estos recursos. Usuarios interesados en las actividades que conforman este proceso pueden consultar (Lupercio, 2015).

La propuesta para la explotación y descubrimiento de conocimiento geo-hídrico ecuatoriano, parte de tres repositorios de tripletas RDF:

¹⁰ <http://www.w3.org/2005/Incubator/geo/XGR-geo-20071023/>

- 1) Repositorio Virtual RDF - IGM. Contiene más de 250 mil entidades geográficas en formato RDF generados a partir de las capas de ríos y lagunas a nivel nacional, provenientes del Instituto Geográfico Militar (IGM), a escala 1:5000.
- 2) Repositorio RDF - PROMAS. Contiene cerca de 19 mil entidades geográficas en formato RDF generados a partir de las capas de ríos y lagunas de la cuenca del río Paute, a escala 1:25000 (capas actualizadas por PROMAS a partir de fuentes originales del IGM).
- 3) *GeoLinkedData* (ec). Iniciativa ecuatoriana para la publicación de IG en la Web de *Linked Data*, contiene recursos RDF de la división política del Ecuador (provincias, cantones, poblados).

Estos tres repositorios están implementados sobre el *tripleStore Parliament*¹¹ que a la fecha de escritura de este artículo, es el único *tripleStore* que provee servicio *Sparql EndPoint* con soporte para consultas federadas y operaciones espaciales de GeoSPARQL. A través del servicio *Sparql EndPoint* se puede consumir, explotar, descubrir los recursos a través de lenguaje de consultas sobre un grafo RDF. Por su parte GeoSPARQL, estándar de la OGC, constituye un vocabulario representación de datos espaciales en la web semántica y a su vez constituye una extensión al lenguaje de consulta SPARQL y provee un conjunto de funciones espaciales según los modelos topológicos: Simple Features (ISO, 2004), Egenhofer (Egenhofer, 1989) y RCC8 (Randell *et al.*, 1992). Estas funciones de GeoSPARQL son aplicables para la ejecución de operaciones y análisis espacial, sobre objetos geométricos representados en RDF (OGC, 2012).

En la Figura 2 se muestra la propuesta para la explotación de información de recursos distribuidos en el dominio geo-hídrico ecuatoriano. Los *datasets* publicados en RDF son consumidos a través de un *Sparql Endpoint* utilizando el lenguaje de consultas SPARQL con la extensión para consultas espaciales de GeoSPARQL. Parte del resultado de estas consultas corresponde a geometrías que si fuesen mostradas de forma tabular no es obvia su interpretación por humanos. Por ejemplo: una geometría en formato WKT se muestra como secuencia de caracteres: MULTILINESTRING (-79.15965193071605 -2.989914685432179, -79.1595920355185 -2.9900722825310284,...). Para facilitar la interpretación de la información, un aporte de este trabajo se enfoca en la utilización de la herramienta MAP4RDF, la cual ha sido mejorada para soportar tanto el consumo de consultas espaciales utilizando GeoSPARQL, como la visualización de geometrías con sus atributos (la herramienta MAP4RDF mejorada está disponible para descargarla¹²).

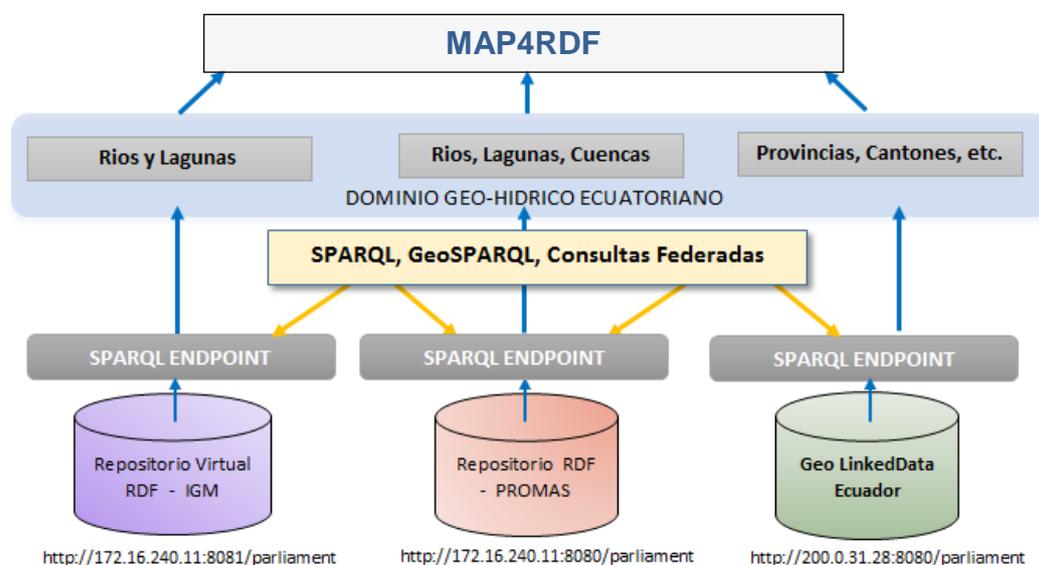


Figura 2. Esquema para explotación y descubrimiento de información geo-hídrica ecuatoriana.

¹¹ <http://parliament.semwebcentral.org>

¹² <http://promas.ucuenca.edu.ec/Promas/index.php/departamento-de-sistemas.html?id=156>

Un ejemplo de consulta federada se muestra en la Figura 3a, en donde a través de la instrucción *SERVICE* se logra agregar a los datos del repositorio *RDF-IGM*, aquellos pertenecientes al repositorio *RDF-PROMAS*. Además, gracias a los enlaces existentes entre los *datasets*, es posible enriquecer la información resultante; esto se muestra en la Figura 3a al utilizar el predicado “owl: SameAs”, para descubrir otros objetos geográficos que están haciendo referencia a la misma entidad geográfica del mundo real. En este ejemplo se consulta por la “Laguna Toreadora”. El resultado de esta consulta se muestra en la Figura 3b, en formato *Turtle*¹³, en donde se resalta un nuevo atributo de la “Laguna Toreadora” proveniente del segundo repositorio, *RDF-PROMAS*. Se destaca que del segundo repositorio no es necesario conocer los modelos ontológicos de representación de la información.

Tanto el resultado de la consulta federada mostrado en la Figura 3b, el resultado de otras consultas y demás datos enlazados del dominio geo-hídrico ecuatoriano, pueden ser visualizados en el visor gráfico MAP4RDF, permitiendo una visión unificada de los recursos publicados en RDF; esto se muestra en la Figura 4, en donde se observa la “Laguna Toreadora” con sus atributos respectivos.

```

PREFIX geo: <http://www.opengis.net/ont/geosparql#>
PREFIX owl: <http://www.w3.org/2002/07/owl#>
PREFIX rdfs: <http://www.w3.org/2000/01/rdf-schema#>
PREFIX hydronto: <http://geo.linkeddata.es/ontology/>
PREFIX iso19115: <http://loki.cae.drexel.edu/~wbs/ontology/2004/09/iso-19115#>
PREFIX prov: <http://www.w3.org/ns/prov#>
CONSTRUCT {
    ?resource rdfs:label ?label.
    ?resource rdfs:Organization
    ?Organization.
        ?resource hydronto:regimen ?regimen.
        ?resource iso19115:denominator
        ?escala.
        ?resource owl:sameAs ?otherResource.
        ?otherResource ?properties ?object
    }
WHERE {
    ?resource a <http://geo.linkeddata.ec/ontology#laguna>.
    ?resource rdfs:label "Laguna Toreadora".
    ?resource prov:Organization ?Organization.
    ?resource hydronto:regimen ?regimen.
    ?resource iso19115:denominator ?escala.
    ?resource owl:sameAs ?otherResource.
SERVICE <http://172.16.240.11:8082/parliament/sparql> {
    ?otherResource ?properties ?object } }
    
```

Figura 3a. Ejemplo de consulta federada en el dominio geo-hídrico ecuatoriano.

¹³ <http://www.w3.org/TR/turtle/>

```

@prefix owl: <http://www.w3.org/2002/07/owl#> .
@prefix iso19115: <http://loki.cae.drexel.edu/~wbs/ontology/2004/09/iso-19115#> .
@prefix hydrontology: <http://geo.linkeddata.es/ontology/> .
@prefix rdfs: <http://www.w3.org/2000/01/rdf-schema#> .
@prefix geo: <http://www.opengis.net/ont/geosparql#> .
@prefix geoec: <http://geo.linkeddata.ec/ontology#> .
@prefix prov: <http://www.w3.org/ns/prov#> .
<http://geo.linkeddata.ec/resource/laguna/Laguna%20Toreadoraad29251de99655452c72820c488107d04e437d34>
  owl:sameAs
  <http://promas.linkeddata.ec/resource/laguna/Laguna%20Toreadora58571597062cd7a93114b3809d11051398944ca>
  ;
  iso19115:denominator 50000 ;
  prov:Organizacion "Instituto Geográfico Militar (IGM)" ;
  hydrontology:superficie 179581.51475.

<http://promas.linkeddata.ec/resource/laguna/Laguna%20Toreadora58571597062cd7a93114b3809d11051398944ca>
  a <http://promas.linkeddata.ec/ontology#laguna>, hydrontology:Laguna,
  <http://www.opengis.net/ont/geosparql#Feature> ;
  hydrontology:nombre "Laguna Toreadora" ;
  hydrontology:perimetro 2558.11526826 ;
  hydrontology:superficie 17.9724048969 ;
  hydrontology:regimen "PERENNE";
  geo:hasGeometry <http://promas.linkeddata.ec/resource/laguna/e58571597062cd7a93114b3809d11051398944ca> ;
  prov:Organization "Programa para el Manejo del Agua y del Suelo (PROMAS)" ;
  rdfs:label "Laguna Toreadora", "Laguna Toreadora"@es ;
  iso19115:denominator 25000.
  
```

Figura 3b. Resultado de consulta federada en el dominio geo-hídrico ecuatoriano.

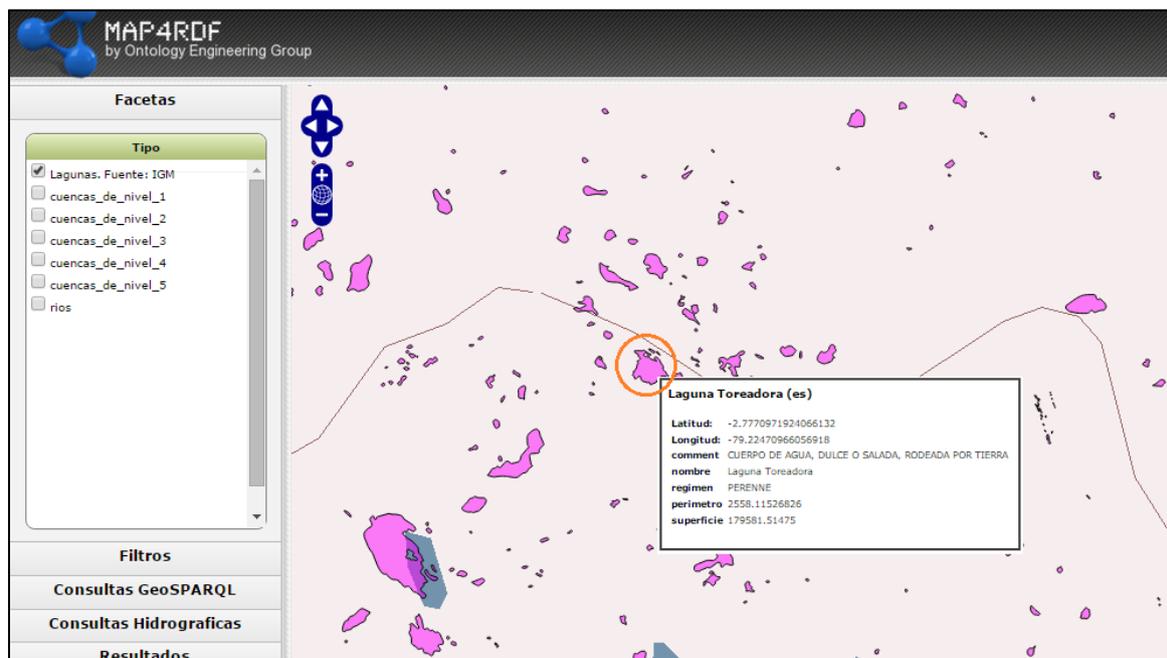


Figura 4. Visualización de fenómenos hídricos sobre MAP4RDF

5. CONCLUSIONES Y TRABAJO FUTURO

En esta propuesta para la explotación de información en el dominio geo-hídrico ecuatoriano, se utilizó como lenguaje de consulta GeoSPARQL, el cual proporcionó la capacidad para la ejecución de operaciones espaciales sobre recursos almacenados en repositorios de tripletas RDF distribuidos correspondientes a diferentes instituciones vinculadas al dominio geo-hídrico. El enfoque que se utilizó para la federación de consultas sobre múltiples *Sparql EndPoint* permitió resultados enriquecidos a partir de los *datasets* integrados a la vez que los *datasets* conservaron su autonomía. Los recursos explotados se mostraron sobre visor gráfico linkeddata.ec lo que permitió una visión unificada de la realidad hídrica nacional. Para la presente propuesta, queda pendiente la explotación y consumo de información de otros repositorios del dominio geo-hídrico más allá del contexto ecuatoriano.

AGRADECIMIENTOS

La propuesta presentada en este artículo, forma parte de las investigaciones realizadas en el proyecto “Integración, almacenamiento y explotación de datos hidro-meteorológicos utilizando Big Data y Web Semántica” financiado por la Dirección de Investigación de la Universidad de Cuenca (DIUC).

REFERENCIAS

- Asamblea Nacional, 2014. *Ley Orgánica de Recursos Hídricos, Usos y Aprovechamiento del Agua*. Disponible en <http://www.agua.gob.ec/ley-de-aguas/>.
- Berners-Lee, T., J. Hendler, O. Lassila, 2001. *The Semantic Web*. Disponible en http://www-sop.inria.fr/acacia/cours/essi2006/Scientific%20American_%20Feature%20Article_%20The%20Semantic%20Web_%20May%202001.pdf, 4 pp.

- Bizer, C., T. Heath, T. Berners-Lee, 2009. *Linked Data - The Story So Far*. IJSWIS. Disponible en <http://tomheath.com/papers/bizer-heath-berners-lee-ijswis-linked-data.pdf>, 26 pp.
- CONAGE, 2010. *Políticas Nacionales de Información Geoespacial*. Disponible en https://ipgh.org/Secciones-Nacionales/ECUADOR/Files/Politic-Nales_Info-Geoesp.pdf, 52 pp.
- Egenhofer, M., 1989. *A formal definition of binary topological relationships*. In: Third International Conference on Foundations of Data Organization and Algorithms (FODO), Paris, France, W. Litwin and H. Schek (eds.), Lecture Notes in Computer Science, Vol. 367, Springer-Verlag (Vol. 367, pp. 457-472). Disponible en http://doi.org/10.1007/3-540-51295-0_148.
- Haase, P., T. Mathäß, M. Ziller, 2010. *An evaluation of approaches to federated query processing over linked data*. I-SEMANTICS '10 Proceedings of the 6th International Conference on Semantic Systems.
- Hartig, O., A. Langegger, 2010. A database perspective on consuming linked data on the Web. *Datenbank-Spektrum*, 10(2), 57-66.
- ISO, 2004. *ISO 19125:2004 Geographic information - Simple feature access*. Disponible en http://www.iso.org/iso/iso_catalogue/catalogue_tc/catalogue_detail.htm?csnumber=40114.
- Klien, E., U. Einspanier, M. Lutz, S. Hübner, 2004. An architecture for ontology-based discovery and retrieval of geographic information. *Discovery*, 179, 179-188.
- León, A., F. Wisniewski, B. Villazón-Terrazas, O. Corcho, 2012. *Map4rdf-faceted browser for geospatial datasets*. In: First Workshop on USING OPEN DATA. W3C. Retrieved from <http://oa.upm.es/14511/>
- Lupercio, L., 2015. *Aporte metodológico para el monitoreo de recursos hídricos utilizando tecnologías semánticas*. Tesis, Universidad Pontificia de Salamanca, Madrid, España.
- OGC, 2012. *OGC GeoSPARQL - A geographic query language for RDF data*. Disponible en <http://doi.org/http://www.opengeospatial.org/>.
- ONU-DAES, 2014. *Gestión integrada de recursos hídricos*. Disponible en <http://www.un.org/spanish/waterforlifedecade/iwrm.shtml>.
- Randell, D., Z. Cui, A.G. Cohn, 1992. *A spatial logic based on regions and connection*. In: Proceedings of the 3rd Int. Conf. Knowledge Representation and Reasoning, Morgan Kaufmann (pp. 165-176). Disponible en <http://doi.org/10.1.1.35.7809>.
- Schmachtenberg, M., C. Bizer, H. Paulheim, 2014. *State of the LOD Cloud 2014*. Disponible en <http://linkeddatacatalog.dws.informatik.uni-mannheim.de/state/>.
- Suárez-Figueroa, M.C., A. Gómez-Pérez, E. Motta, A. Gangemmi (Eds.), 2012. *Ontology engineering in a networked world*. Springer Berlin Heidelberg, 444 pp.
- Villazón-terrazas, B., O. Corcho, 2011. *Methodological guidelines for publishing linked data*. Disponible en http://delicias.dia.fi.upm.es/wiki/images/7/7a/07_MGLD.pdf, 53 pp.
- W3C, 2008. *SPARQL query language for RDF*. Disponible en <http://www.w3.org/TR/rdf-sparql-query/>.
- W3C, 2014a. *Best practices for publishing linked data*. Disponible en <http://www.w3.org/TR/ld-bp/>.
- W3C, 2014b. *Resource description framework (RDF)*. Disponible en <https://www.w3.org/RDF/>.