

Desarrollo de ontologías agrícolas mediante el reúso de recursos semánticos

Fernando Pech-May

Instituto Tecnológico Superior de los Ríos, Tabasco, México
{fernando.pech@cinvestav.mx }

Resumen. En México, la agricultura juega un papel muy importante debido a la dependencia económica y alimentaria. Este sector genera grandes volúmenes de datos que no son procesados y están representados en forma de texto, tablas, etc, lo que carece de significado o valor para ser utilizados en la toma de decisiones por parte de empresarios agrícolas, organismos de gobierno o investigadores del área. Esto ha ocasionado que algunas organizaciones lideradas por la Organización de la Naciones Unidas para la Agricultura y Alimentación implementen tecnologías para estructurar y formalizar el conocimiento a través de los recursos semánticos; lo que ha llevado al desarrollo de una gran cantidad de recursos semánticos agrícolas. Sin embargo, dichos recursos han sido desarrollado con las características de un país en particular, lo que hace imposible utilizarlos en el nuestro. En este documento se analizan los recursos existentes con el objetivo de brindar una información relevante que permita ser útil para la adaptación y desarrollo de nuevos recursos semánticos de los cultivos más comunes en México. Asimismo se desarrollaron tres recursos semánticos adaptados a la región de Tabasco mediante el reúso de recursos de la Organización para la Agricultura y Alimentos.

Palabras clave: ontologías agrícolas, grafo de conocimiento, OWL
FAO.

Development of Agricultural Ontologies through the Reúse of Semantic Resources

Abstract. In Mexico, agriculture plays a very important role due to economic and food dependence. This sector generates large volumes of data that are not processed and are represented in the form of text, tables, etc., which lacks meaning or value to be used in decision-making by agricultural entrepreneurs, government agencies or researchers of the area. This has caused some organizations led by the Food and Agriculture Organization of the United Nations to implement technologies to structure and formalize knowledge through semantic resources; which has led to the development of a large amount of semantic agricultural resources. However, these resources have been developed with the characteristics of

a particular country, which makes it impossible to use them in ours. This document analyzes the existing resources with the objective of providing relevant information that will be useful for the adaptation and development of new semantic resources of the most common crops in Mexico. Likewise, three semantic resources adapted to the Tabasco region were developed through the reuse of resources from the Food and Agriculture Organization.

Keywords: agricultural ontologies, knowledge graph, OWL FAO.

1. Introducción

La agricultura es el sector productivo más importante para distintos países debido a la dependencia alimentaria de millones de personas. Además, constituye un estímulo para potenciar el progreso y crecimiento productivo. Sin embargo, el sector afronta múltiples cambios y desafíos, como el incremento de la población, falta de inversión y la disponibilidad de algunos recursos naturales que son esenciales para el éxito o fracaso de los cultivos [13]. Esto hace necesario de la ayuda de tecnologías que permitan el desarrollo de agricultura sostenible y precisa. Bajo este contexto, distintas organizaciones, gobiernos y empresas, lideradas por la Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y Alimentación (FAO) han creado estrategias para la formalización de la información de los grandes volúmenes de datos agrícolas generadas por distintas fuentes como sensores de suelo, drones, estaciones meteorológicas, etc.

Todos estos datos no son procesados, y se encuentran representados en forma de texto, tablas, etc.; lo que carece de significado o valor para ser utilizados en la toma de decisiones por parte de empresas, gobierno o agricultores. Para que los datos sean de utilidad, es necesario formalizarlos para proporcionarle contexto o significado. Para la formalización, es necesario de la ingeniería del conocimiento, las tecnologías y herramientas de la web semántica, principalmente de las ontologías, para la representación del conocimiento en forma de grafos. Uno de los objetivos de la FAO es la formalización del conocimiento y la conjunción e integración de recursos agrícolas mediante la web semántica. Dichos recursos involucran ontologías, vocabularios, taxonomías, etc; estos elementos pueden ser de gran utilidad para el desarrollo de aplicaciones para cultivos sostenibles y precisos [4].

Actualmente se están realizando distintas investigaciones para el desarrollo de recursos semánticos que incluyen vocabularios, taxonomías y ontologías que comprenden distintos dominios de la agricultura y áreas relacionadas en distintos idiomas, tales como: Agrovoc¹, Tesoro agrícola de la biblioteca nacional de agricultura (NALT)², etc; éstos son vocabularios generalizados que contienen términos específicos de distintos subdominios agrícolas tales como fertilizantes, clima, pesticidas, etc.

¹ <http://aims.fao.org/vest-registry/vocabularies/agrovoc>

² <https://agclass.nal.usda.gov/>

También se han desarrollado grafos de conocimiento de cultivos específicos tales como Plant Ontology [3], AgriOnt [10], OntoAGroHidro [2], etc. Todos estos recursos semánticos han sido desarrollados y adaptados a zonas geográficas específicas europeas, lo que lo hace inadecuado para México debido a que contiene distintas características tales como el idioma, conceptos específicos de la región, entre otros.

Esto hace necesario el desarrollo de ontologías que brinden una información organizada respecto a los principales cultivos en México y que favorezca la toma de decisiones para usuarios interesados en las actividades agrícolas. En este artículo se presenta el desarrollo de 3 recursos semánticos mediante el reúso de ontologías; esto, con el propósito que sea utilizado para sistemas de soporte para la toma de decisiones agrícolas para mejorar su sostenibilidad y precisión en nuestro país.

2. Trabajos relacionados

La Web Semántica es una extensión de la web actual que tiene como propósito organizar y estructurar el conocimiento, de manera que sea entendida o comprendida por las computadoras [9]. Además, cuenta con una serie de herramientas, entre las que destacan las ontologías [12], que representan el conocimiento en forma de grafos mediante una jerarquía de conceptos con atributos y relaciones; para su diseño y/o desarrollo, existen lenguajes entre los que destacan RDF, RDFS y OWL [1].

El conocimiento estructurado permite nuevos descubrimientos científicos mediante el enlace de distintos conjuntos de datos, de los cuales la agronomía, agricultura, alimentación, ciencia de las plantas y biotecnología son beneficiadas. En el campo de la agricultura, las ontologías han sido utilizadas para la representación del conocimiento y para el desarrollo de distintas aplicaciones y que pueden clasificarse como: 1) sistemas basados en conocimiento (aplicaciones que realizan razonamiento y sugieren soluciones mediante bases de conocimiento), 2) sensores remotos (que integran datos a través de dispositivos remotos), 3) sistema de soporte de decisiones (que representan el conocimiento y sugieren recomendaciones) y 4) sistemas expertos (aplicaciones que toman decisiones a través del razonamiento de la información).

Actualmente existe una variedad de ontologías desde las más generales hasta las más específicas; asimismo, se han creado una serie de portales que permiten visualizar y administrar recursos semánticos agrícolas. Los trabajos relacionados han sido clasificados en dos categorías: 1) recursos semánticos agrícolas y 2) portales web agrícolas.

2.1. Recursos semánticos agrícolas

La adopción de tecnologías web semánticas depende de la disponibilidad de los recursos semánticos existentes. Los recursos semánticos para la agricultura

son recursos que utilizan tecnologías semánticas para describir el conocimiento recopilado por una organización o individuo. Actualmente existe una gran variedad de recursos semánticos del dominio agrícola, como son vocabularios, taxonomías, tesauros y grafos de conocimiento; a continuación, se explican las más relevantes.

- Agrovoc³ es uno de los recursos de mayor tamaño. Contiene términos y conceptos sobre la agricultura, alimentos, nutrición pesca, silvicultura y medio ambiente; está disponible en 27 idiomas y cuenta con 35,000 conceptos y 40,000 términos; es compatible con datos enlazados abiertos (LOD, del inglés Link Open Data) y se encuentra enlazado con 16 recursos. Agrovoc contiene distintas irregularidades en las relaciones entre conceptos; sin embargo, es utilizado para crear nuevos recursos ontológicos y adaptarlas a una región en particular.
- Chinese Agricultural Thesaurus (CAT) [9] contiene 40 categorías principales, más de 63 mil conceptos e incluye más de 130 mil relaciones semánticas.
- Tesoro Agrícola de la Biblioteca Nacional de Agricultura (NALT)⁴ contiene 128,25 términos agrícolas en inglés y español, 40 categorías, como la clasificación de cultivos y 63,000 conceptos de cultivos de leguminosa, frijol etc. También es compatible con los esquemas de datos abiertos vinculados y se encuentra integrado a otros recursos semánticos.
- Plant Ontology (PO) [3]. Relacionada con anatomía multiespecífica y desarrollada para la anotación de genes y fenotipos. Se encuentra en distintos idiomas. Contiene más de 2. 2 millones de anotaciones que unen los términos de PO a 110,000 objetos de datos que representan genes o modelos de genes, proteínas, ARN, germoplasma y loci de rasgos cuantitativos (QTL) de 22 especies de plantas.
- OntoAgroHidro [2]. Ontología de dominio creada por expertos investigadores con interés en los recursos hídricos, cambio climático y uso de la tierra. Cuenta con 6 principales clases de las que se desglosan subclases de otros, relaciones, propiedades y casos.
- Agricultural Ontology (AgriOnt) [10]. Proporciona una visión general del dominio de la agricultura, conceptos agrícolas y ciclos de vida entre semillas, plantas, cosecha, transporte y consumo; también proporciona relaciones entre los conceptos agrícolas y conceptos relacionados con el clima, condiciones del suelo y fertilizantes. Además, se compone por 447 clases y más de 700 axiomas.

2.2. Portales web agrícolas

Existen portales web que alojan un conjunto de recursos semánticos del dominio agrícola tales como:

- Agroportal [8]. Contiene 98 ontologías y tesauros; permite la anotación semántica, almacena y explora los datos enlazados.

³ <http://aims.fao.org/vest-registry/vocabularies/agrovoc>

⁴ <https://agclass.nal.usda.gov/>

- Crop Ontology [6]. Aloja un conjunto de ontologías enfocadas en el dominio agrícola, permite cargar diccionarios de rasgos para el mejoramiento del cultivo y la creación directa de ontologías; asimismo, permite consultar, crear, actualizar o eliminar ontologías.
- CIARD Ring [11]. Es un portal con servicios web semánticos que contiene 3201 conjuntos de datos y 5327 servicios de datos. Además, permite indexar una serie de herramientas de software para analizarlos.
- Vest⁵. Es un repositorio perteneciente a la FAO y Godan. Cuenta con 398 recursos y descripción de grafos con LOD. Además, permite hacer consultas en SPARQL [5].

3. Desarrollo de ontologías agrícolas

El desarrollo de ontologías requiere de un gran esfuerzo, expertos en el dominio del conocimiento y una gran cantidad considerable de tiempo. Sin embargo, existen distintos recursos semánticos que pueden reusarse para la creación de nuevos recursos agrícolas adaptados a una región en particular. En este trabajo se desarrollaron las ontologías del maíz y frijol mediante el reúso de recursos semánticos obtenidos en Crop Ontology. Asimismo, fue necesario el análisis y creación de distintos subdominios tales como cultivo, fertilizantes, pesticidas, recursos geográficos, los cuales se relacionan con los recursos antes mencionados. Parte de estos recursos fueron desarrollados por organizaciones antes mencionadas.

Para la reutilización de las ontologías, se analizaron su estructura e identificación de métricas (ver Cuadro 1) así como el código fuente para la identificación de etiquetas del lenguaje utilizado (*owl:class*, *rdfs:label*, etc.).

Tabla 1. Descripción de las métricas ontológicas.

Métricas Ontológicas	
Nombre	Descripción
Axiomas	Propiedades adicional que describen el comportamiento de una clase
Clases	Individuos/objetos con características en común
Propiedades de objeto	Descripción de características y atributos de un objeto
Individuos	Objetos particulares del dominio
Propiedades de anotación	Descripción más detallada de las clases
Subclases	Clase hija de otra clase

⁵ <http://aims.fao.org/vest-registry>

3.1. Ontología del maíz

La ontología del maíz fue desarrollada con la finalidad de medir los rasgos del maíz a través de diferentes variables según el método o escala utilizada. La ontología proporciona nombres de rasgos de mejoradores armonizados, métodos de medición, escalas y variables estándar. Además, hace uso del recurso SKOS⁶ para documentación de la transitividad, definición, etiquetado, asignación de acrónimos y asignación de prefijos. Asimismo, adopta términos de ontologías biomédicas abiertas. La Figura 1 muestra las clases principales de la ontología y en el Cuadro 2 se aprecia las métricas totales de la ontología. A continuación, se describe cada clase.

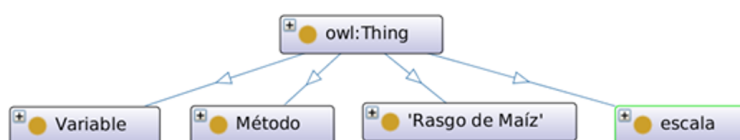


Fig. 1. Clases principales de la ontología del maíz; vista desde Protege [7].

- Rasgos del maíz.** Esta clase (ver Figura 2) contiene características físicas y químicas de la planta tales como: 1) *rasgos agronómicos*, que se conforma por una lista de características físicas (altura de la oreja de la hoja, aspectos de la planta, número de orejas, número de granos, entre otros); 2) *rasgos de calidad*, que presenta una lista de características respecto a la calidad del grano del maíz y se establece mediante la constitución física para determinar la textura, dureza y la composición química (contenido del hierro, zinc, textura del grano, etc.); 3) *rasgos de estrés abiótico*, que se conforma por dos subclases que determinan los rasgos negativos de la adaptación de la planta ante distintas condiciones de estrés (gravidad de la hoja y de voladura); 4) *rasgos de estrés biótico*, subclases que determinan el impacto negativo de factores como hongos, virus y herbívoros que dañan la planta (gravidad del óxido común, incidencia del haz negro, incidencia de la pudrición del tallo, incidencia del virus de la raya del maíz, presencia de enfermedades fúngicas, severidad de la raya tropical, etc.); 5) *rasgos fenológicos*, proporciona una lista de características que determinan el ciclo de vida de la planta (intervalo de sedación de la antesis, tiempo de antesis, madurez, seda y senescencia de la hoja del oído); 6) *rasgos fisiológicos*, presenta una lista de características respecto a procesos químicos y físicos asociados a la vida de la planta (contenido de la clorofila, glucosa y prolina en el grano, ajuste osmótico, índice de agua, etc.); 7) *rasgos morfológicos*, se conforma por una serie de características respecto a los órganos que componen el cuerpo de la planta (tallo, hoja, raíces, etc.).

⁶ <https://skos.um.es/>

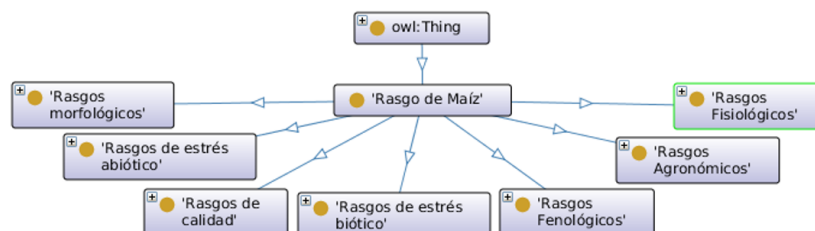


Fig. 2. Subclases de la clase “Rasgo de Maíz”.

- **Método.** Clase que se conforma por algunos de los métodos de medición que permiten evaluar el cultivo e identificar problemas tales como: 1) conteo, subclase que se conforma por una serie de métodos que permiten el conteo de algunos rasgos de la planta (número de plantas dañadas por busseola y parcela, número de plantas afectada por el complejo de acrobacia de maíz por parcela, gorgojos del maíz en una muestra, etc.); 2) cálculo, se compone por una serie de métodos que permiten el cálculo de algunos de los rasgos de la planta (días para la antesis, senescencia, de la oreja, días hasta la madurez, pesos secos de la base, fecha de la senescencia de la hoja del oído, etc.); 3) estimación, subclases que determinan una estimación de algunos rasgos del maíz (fecha de sedación, vencimiento, etc.); 4) medición, se integra por una serie de métodos que permiten medir rasgos químicos y físicos de la planta (azúcar, sacarosa, glucosa, zinc, peso seco de la mazorca, etc.).
- **Escala.** Integrada por 7 subclases: 1) *tiempo*, permite establecer el día, mes y años de algunos de los métodos preestablecidos (estimación o cálculo de ciertos rasgos de la planta); 2) *nominal*, permiten la medición de rasgos físicos específicos de la planta (escala de la forma de la oreja, arreglo de hilera de granos de la hoja, color del tallo, color del grano, etc.); 3) *numérico*, contiene una serie de escalas numéricas (porcentajes, relación de la posición del oído, escala de proporción, número de rango, etc.); 4) *ordinal*, se conforma por una serie de intervalos que permiten medir los rasgos físicos y químicos de la planta (escala de senescencia, colores de la mazorca, posición del oído, textura del grano, germinación estándar, apertura de la borla, etc.); 5) *texto*, permite relacionar la estimación de la presencia de enfermedades fúngicas del maíz; 6) *código* y 7) *duración*, fungen como soporte en cuestión a métodos extras.
- **Variable.** Cuenta con más de 100 subclases que son datos susceptibles de ser modificados, de acuerdo con la relación entre cada una de sus relaciones.

3.2. Ontología del frijol

La ontología fue desarrollada para medir los rasgos del frijol, métodos de medición y escalas. Se utiliza SKOS para la transitividad, etiquetados, asignación acrónimos, etc. Consta de 3 clases principales (ver Figura 3) denominadas: 1)

escala, 2) rasgos del frijol común y 3) método. En el Cuadro 3 se aprecia las métricas totales de la ontología. A continuación, se describe cada uno.

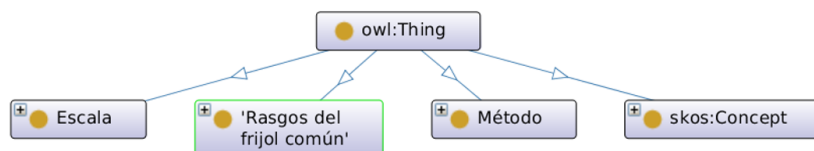


Fig. 3. Clases principales de la ontología del Frijol.

- **Rasgos del frijol común.** Esta clase se conforma por subclases (ver Figura 4) que definen características físicas y químicas de la planta del frijol, tales como: 1) *rasgos agronómicos*, define una lista de características físicas (altura de la planta, aspectos de la planta, vainas por planta, tamaño de semilla, etc.); 2) *rasgos de calidad*, describe características o componente respecto a la calidad de la semilla del frijol (hierro, fósforo, proteína, Zinc, etc); 3) *rasgos bioquímicos*; determinan la composición química de la planta (presencia del marcador de ADN unido al gen bc-3, bgm-1, BGYMV, etc); 4) *rasgos de estrés biótico*, determinan el impacto negativo de factores como hongos, virus y herbívoros que dañan la planta (gusano de tallo, virus de la necrosis del mosaico común, mancha de hoja harinosa, etc.); 5) *rasgos fenológicos*, proporciona características que determinan el ciclo de vida de la planta (días para florecer, días hasta la madurez fisiológica y etapa de crecimiento); 6) *rasgos fisiológicos*, subclase que presenta una lista de características de procesos químicos y físicos asociados a la vida de la planta (discriminación de isótopos de carbono del grano, pérdida de hojas, cantidad de nódulos efectivos en frijol arbustivo, contenido de calcio de semilla en campo, etc.); 7) *rasgos morfológicos*, conforma una serie de características que componen el cuerpo de la planta (vaina, hoja, raíces, etc.).
- **Método.** La clase se conforma con más de 100 métodos de medición que permiten evaluar el cultivo y a su vez identificar problemas (método agronómico de eficiencia del agua, longitud basal de la raíz, orientación del pico de la vaina, etc.).
- **Escala.** Clase derivada de la clase método. Se encuentra integrada por más de 100 tipos de escalas tales como porcentajes, intervalos del 1 al 9, evaluación de escalas en categorías, gramos, entre otras.

3.3. Ontología de subdominios relacionados

Esta ontología fue realizada para albergar características locales en relación con el clima, la cultura, idiomas y las variedades de plantas locales relacionadas

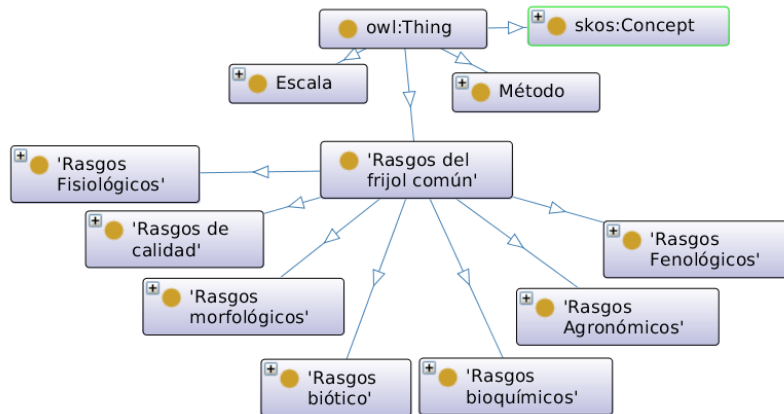


Fig. 4. Subclase de la clase “Rasgos del frijol común”.

con actividades agrícolas. Contiene subdominios para distintos cultivos. Entre los subdominios de mayor relevancia creados son fertilizantes, pesticida y ambiente (ver Figura 5). En el Cuadro 4 se aprecia las métricas totales de la ontología. A continuación, se describen las clases principales.

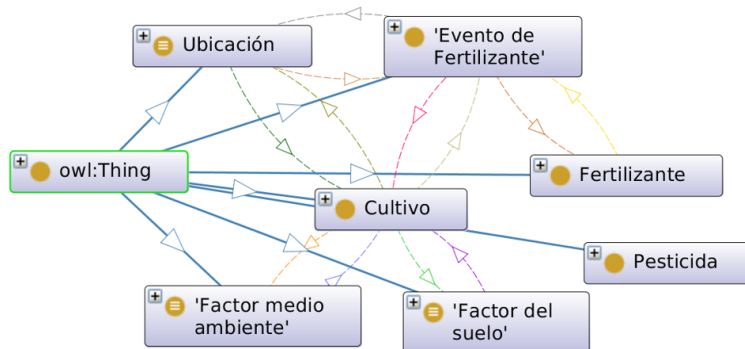


Fig. 5. Clases principales de la ontología de subdominios.

- **Fertilizantes.** Los fertilizantes se definen como un material orgánico o inorgánico que se agrega a un suelo para suministrar uno o más nutrientes vegetales esenciales para la planta. La ontología contiene instancias que establecen información relevante respecto a fertilizantes existentes tales como: composta, abono encalado, abono orgánico, abono verde, etc. También se define una clase denominada “evento de fertilizantes”, que contiene concep-

tos tales como síntoma, cantidad, tiempo, problema creciente, método de cosecha, etc (ver Figura 6)

- **Ambiente.** Los factores y recursos ambientales garantizan la calidad de los cultivos; en esta ontología aborda estos conceptos clasificándolos en dos clases: 1) factores de medio ambiente, proporciona información sobre factores externos basados en cultivos o granjas, como humedad, luz solar, viento, CO2 y fuente de agua; 2) factores de suelo, incluye todas las condiciones necesarias del suelo relacionadas con los cultivos (tipo de suelo, valor del ph, textura y características del suelo, etc.).
- **Pesticida.** Contiene una lista de pesticidas, orgánicos e inorgánicos, que pueden aplicarse a los cultivos.

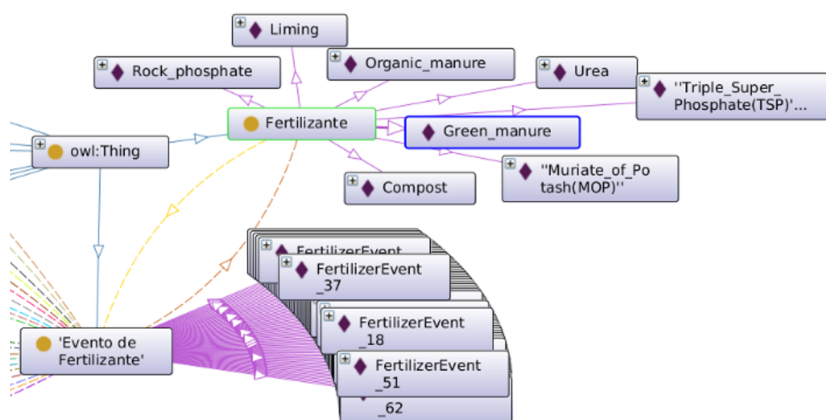


Fig. 6. Instancias de la subclase “Fertilizante”.

Para el desarrollo de los recursos semánticos (ontologías) antes mencionadas, se reusaron una variedad existente. En la ontología del maíz se obtuvo más de 11500 axiomas, 1103 clases y más de 2700 subclases (ver Cuadro 2). Respecto a la ontología del frijol, 1070 clases, 1434 subclases y 1056 individuos (ver Cuadro 3). Cabe destacar que la ontología de subdominios aún está en desarrollo, hasta el momento se han obtenido 1070 clases, 1435 subclases y 1056 individuos (ver Cuadro 4).

4. Conclusiones

La web semántica juega un papel muy importante para la estructuración del conocimiento; proporciona tecnologías y herramientas para la formalización del conocimiento. Esto ha ayudado a formalizar los datos agrícolas obtenidos desde distintas fuentes como sensores de suelo, drones, estaciones meteorológicas, etc.

Tabla 2. Métricas de la ontología del maíz.

Métricas Ontológicas del Maíz	
Métrica	Cantidad
Axiomas	11542
Axiomas lógicos	3810
Axiomas de declaración	2196
Clases	1103
Propiedades de objeto	3
Individuos	1088
Propiedades de anotación	9
Subclases	2722

Tabla 3. Métricas de la ontología del frijol.

Métricas Ontológicas del Frijol	
Nombre	Cantidad
Axiomas	8315
Axiomas lógicos	2490
Axiomas de declaración	2131
Clases	1070
Propiedades de objeto	2
Individuos	1056
Propiedades de anotación	8
Subclases	1434

Tabla 4. Métricas de la ontología de subdominios.

Métricas Ontológicas de Subdominios relacionados	
Nombre	Cantidad
Axiomas	5591
Axiomas lógicos	4041
Axiomas de declaración	977
Clases	83
Propiedades de objeto	191
Propiedades de datos	45
Individuos	657
Propiedades de anotación	4
Subclases	33

Por otra parte, a pesar de la gran cantidad de recursos semánticos disponibles, en México aún existe pocos trabajos en la formalización del conocimiento agrícola, lo que podría ayudar en el desarrollo de aplicaciones para el cultivo sostenible y preciso. La presencia de la web semántica en el sector agrícola abona a esta nueva etapa del campo en México y se manifiesta en diversos aspectos tales como: 1) la evolución en la aceptación de estas tecnologías por parte de los empresarios y técnicos es consecuencia del cambio generacional, la profesionalización del sector y la penetración social de las ciencias compu-

tacionales y 2) la madurez de las aplicaciones avanzadas de gestión empresarial (gestión de clientes, de insumos, control de producción, etc.) que han pasado de ser productos solo disponibles para grandes corporaciones a ser accesibles por cooperativas y empresas agroalimentarias de cualquier tamaño.

Referencias

1. Arenas, M., Ugarte, M.: Designing a query language for rdf: Marrying open and closed worlds. *ACM Trans. Database System* 42(4), 21:1–21:46 (oct 2017), <http://doi.acm.org/10.1145/3129247>
2. Bonacin, R., Nabuco, O.F., Ivo, P.J.: Ontology models of the impacts of agriculture and climate changes on water resources: Scenarios on interoperability and information recovery. *Future Generation Computer Systems* 54, 423–434 (2016)
3. Cooper, L., Jaiswal, P.: *The Plant Ontology: A Tool for Plant Genomics*, vol. 1374. Humana Press, New York, NY (2016)
4. Drury, B., Fernandes, R., Moura, M.F., de Andrade, A.: A survey of semantic web technology for agriculture. *Information Processing in Agriculture* 6, 487–501 (2019)
5. DuCharme, B.: *Learning SPARQL*. O'Reilly Media, Inc. (2013)
6. Durufle, H., Laporte, M.A., Matteis, L., Valette, L., Agbona, A., Agrama, H., Agrawal, S.K.: The crop ontology: Improving the quality of 18 crop trait dictionaries for the breeding management system and adding new crops. In: *General Research Meeting of the Generation Challenge Programme* (2014)
7. Horridge, M., Knublauch, H., Rector, A., Stevens, R., Wroe, C.: *A Practical Guide To Building OWL Ontologies With The Protege-OWL Plugin*. University of Manchester, 1 edn. (2004), <http://home.skku.edu/~samoh/class/sw/ProtegeOWLTutorial.pdf>
8. Jonquet, C., Toulet, A., Arnaud, E., Aubin, S., Yeumo, E.D., Emonet, V., Graybeal, J., Larmande, P.: Agroportal: A vocabulary and ontology repository for agronomy. *Computers and Electronics in Agriculture* 144, 126–143 (2018)
9. Liang, A., Sini, M.: Mapping agrovoc and the chinese agricultural thesaurus: definitions, tolos, procederus. *New Review of Hypermedia and Multimedia* pp. 51–62 (2007)
10. Ngo, Q.H., Le-Khac, N., Kechadi, T.: *Ontology Based Approach for Precision Agriculture*, vol. 11248. Springer, Cham (2018)
11. Pesce, V., Maru, A., Archer, P., Malapela, T., Keizer, J.: Setting up a global linked data catalog of datasets for agriculture. In: Garoufallou, E., Hartley, R.J., Gaitanou, P. (eds.) *Metadata and Semantics Research*. pp. 357–368. Springer International Publishing (2015)
12. Saha, G.: Web ontology language (owl) and semantic web. *Ubiquity* 2008(September), 1:1–1:1 (Sep 2007), <http://doi.acm.org/10.1145/1295289.1295290>
13. Trendov, N., Varas, S., Zeng, M.: *Tecnologías digitales en la agricultura y las zonas rurales* (2019), <http://www.fao.org/3/ca4887es/ca4887es.pdf>