



UNIVERSIDAD DE MURCIA

ESCUELA INTERNACIONAL DE DOCTORADO

Sistema de ayuda a la decisión basado en ontologías para el diagnóstico y prevención de las enfermedades en cultivos

Dña. Katty Alicia Lagos Ortiz
2020



UNIVERSIDAD DE MURCIA

ESCUELA INTERNACIONAL DE DOCTORADO

Sistema de ayuda a la decisión basado en ontologías para el diagnóstico y prevención de las enfermedades en cultivos

Dña. Katty Alicia Lagos Ortiz

Director
Dr. Rafael Valencia García
2020

Agradecimientos

En primer lugar a Dios ya que sin su amparo llegar a este fin hubiera sido imposible.

Mi agradecimiento infinito a mi esposo por su constante apoyo, por ser mi fortaleza en todo momento.

A mis hijos que han sabido comprender y entender el tiempo que he tenido que dedicar a este trabajo.

A mi madre y a toda mi familia por su cariño y por siempre estar presente.

A Rafael, persona a quien admiro mucho, un agradecimiento especial por sus valiosos aportes y su guía en la culminación de este trabajo doctoral.

Gracias infinitas.

Índice

LISTA DE ACRÓNIMOS.....	9
Resumen	11
Capítulo 1 Introducción.....	13
1.1 Introducción.....	13
Capítulo 2 Estado del Arte	19
2.1 Web Semántica	19
2.1.1 Definición.....	19
2.1.2 Elementos de una web semántica	20
2.1.3 Búsqueda de información en la web semántica.....	22
2.1.4 Capas de la web semántica	23
2.2 Ontología	25
2.2.1 Definición.....	25
2.2.2 Aplicaciones de las ontologías	27
2.2.3 Tipos de ontologías	28
2.2.4 Lenguajes y herramientas para la definición de las ontologías	30
2.3 Ontologías en el dominio de la agricultura	37
2.3.1 AgOnt: Una ontología para la agricultura del Internet de las cosas.	37
2.3.2 CROPont: Un marco para el desarrollo de una Ontología de agricultura en la web semántica.....	39
2.3.3 Soil Ontology: Ontología del Suelo para la Agricultura	42
2.3.4 Farm-Agro: Un modelo ontológico para la pimienta negra.....	44
2.3.5 PLANTS: Una arquitectura impulsada por ontologías para aplicaciones de agricultura de precisión.....	46
2.3.6 Plant Ontology: Un vocabulario controlado de estructura de plantas y etapas de crecimiento	50
2.3.7 Plant Trait Ontology: Ontología de los rasgos de las plantas	51
2.3.8 AgriOnt, Agricultural Ontology.....	53
2.3.9 Crop Ontology: Ontología de Cultivos.....	55
2.3.10 Agropedia: Repositorio de conocimiento Agrícola.....	57
2.3.11 OOPS, Ontología del Estrés Vegetal: Una metodología de estandarización semiautomatizada.....	59
2.3.12 Multi-crop Passport Ontology. Ontología multifuncional de rasgos de cultivo para datos de obtentores: libro de campo, anotación, descubrimiento de datos y enriquecimiento semántico de la literatura	60

2.4	Sistemas de ayuda a la decisión en la agricultura	65
2.4.1	EXPLAIN: Sistema de apoyo de decisión híbrido en la agricultura	66
2.4.2	MAFIC-DSS: Prototipo de un sistema de apoyo a la decisión con tecnología web y móvil para grandes cultivos.....	67
2.4.3	WEED MANAGER: Un sistema de apoyo a la decisión basado en modelos para el manejo de malezas en cultivos herbáceos.	69
2.4.4	GreenDSS: Sistema de soporte a la toma de decisiones para procesos de germinación y cultivo en invernaderos	71
2.4.5	SEFI: Sistema experto para el diagnóstico de plagas y enfermedades en los cultivos de berenjena en la región Caribe de Colombia	73
2.4.6	AGRO ASSIST ARROZ: Sistema Experto móvil para el diagnóstico y manejo integral de plagas en el arroz.	75
2.4.7	FUNGI: Sistema Experto para el diagnóstico presuntivo de enfermedades fúngicas en los cultivos.....	76
2.4.8	Crop-9-DSS: Sistema de Soporte a la Decisión para cultivos identificados.....	78
2.4.9	Sistema para el control de plagas y enfermedades en cultivos de frutilla, utilizando dispositivos móviles para la recolección de datos, y generando un plano de control de cultivo dinámico	79
2.4.10	SAIFA. Una aplicación Web para la gestión de la producción integrada del cultivo del olivo	81
2.5	Aplicaciones móviles en la agricultura	87
2.5.1	Clasificación de las aplicaciones.....	90
2.5.2	Análisis de las Aplicaciones	92
2.6	Objetivos de la tesis Doctoral.....	102
2.6.1	Motivación	102
2.6.2	Objetivos.....	104
2.6.3	Metodología.....	104
Capítulo 3 . Sistema de ayuda a la decisión basado en ontologías para el diagnóstico y prevención de las enfermedades en plantas.....		107
3.1	Introducción.....	107
3.2	Arquitectura del Sistema	109
3.3	Arquitectura de Software.....	111
3.4	Modelo de Bases de Datos.....	111
3.5	Metodología para el desarrollo del sistema.....	113
3.5.1	Análisis de requerimientos.....	113
3.5.2	Diseño de la Ontología.....	115
3.5.3	Diseño de los módulos de Sistema.....	138

Capítulo 4 Validación	147
4.1 Método	147
4.2 Proceso	149
4.3 Discusión.....	151
4.3.1 Análisis de los resultados de la prueba de funcionalidad.....	151
4.3.2 Análisis de los resultados de la encuesta de satisfacción.....	152
Capítulo 5 Conclusiones y trabajos futuros	165
5.1 Conclusiones	165
5.2 Trabajos Futuros	167
Capítulo 6 Contribuciones científicas derivadas de esta tesis doctoral	171
6.1 Publicaciones en revistas	171
6.2 Publicaciones en Congresos	171
Referencias.....	173

Índices de Figuras

Figura 2-1 Web Actual Vs. Web Semántica	19
Figura 2-2 Capas de la Web Semántica	24
Figura 2-3 Comparación de clasificaciones según nivel de generalidad	29
Figura 2-4 Elementos de un grafo RDF.....	31
Figura 2-5 Clases y propiedades de RDFS.....	31
Figura 2-6 Lenguajes en la Web Semántica	33
Figura 2-7 AgOnt Jerarquía de clases	38
Figura 2-8 Razonamiento Base de Conocimiento	39
Figura 2-9 Arquitectura CROPont	40
Figura 2-10 Subclase del grupo Fertilizador	41
Figura 2-11 Jerarquía de Clases Soil Ontology	43
Figura 2-12 Arquitectura N-tier para Soil Ontology.....	43
Figura 2-13 Clases y Subclases de la Ontología de la pimienta negra.....	46
Figura 2-14 Clases básicas de Plantas-CO y sus relaciones	48
Figura 2-15 Arquitectura del Sistema PLANTS.....	50
Figura 2-16 Ontología de estructura de la planta.....	51
Figura 2-17 Modelo de Trait Ontology y su relación con otras ontologías.....	53
Figura 2-18 Componentes de la ontología agrícola.....	54
Figura 2-19 Arquitectura de la ontología agrícola	54
Figura 2-20 Reutilización de URI en diferentes mapas.....	58
Figura 2-21 Clases generales de OOPS.....	59
Figura 2-22 Tipos de DSS	65
Figura 2-23 Arquitectura del sistema EXPLAIN.....	67
Figura 2-24 Arquitectura de MAFIC-DSS	69
Figura 2-25 Arquitectura de Weed Manager	70
Figura 2-26 Arquitectura de GreenDSS.....	71
Figura 2-27 Arquitectura SE – SEFI.....	74
Figura 2-28 Esquema del Sistema Experto Agro Assist Arroz.....	76
Figura 2-29 Esquema de Fungi	77
Figura 2-30 Diagrama de flujo Crop-9-DSS.....	79
Figura 2-31 Arquitectura del Sistema propuesto	80
Figura 2-32 Arquitectura de SAIFA.....	82

Figura 2-33 Aplicaciones móviles analizadas.....	94
Figura 3-1 Arquitectura de la Plataforma	109
Figura 3-2 Arquitectura de Software.....	111
Figura 3-3 Esquema Modelo relacional	112
Figura 3-4 Fases para el desarrollo de la propuesta.....	113
Figura 3-5 Taxonomía de Conceptos.....	124
Figura 3-6 Instancias de una Clase	126
Figura 3-7 Módulos del Sistema.....	139
Figura 3-8 Módulo Cultivos.....	139
Figura 3-9 Acciones con cultivos.....	140
Figura 3-10 Síntomas de los cultivos.....	141
Figura 3-11 Recomendaciones y tratamiento	141
Figura 3-12 Pantalla principal de la aplicación móvil.....	142
Figura 3-13 Cultivos presentados en la aplicación móvil	143
Figura 3-14 Descripción del cultivo seleccionado en la aplicación móvil.....	143
Figura 3-15 Enfermedades presentadas por el cultivo.....	144
Figura 3-16 Plagas presentadas por el cultivo	145
Figura 3-17 Malezas que afectan al cultivo	145
Figura 4-1 Análisis pregunta 1	153
Figura 4-2 Análisis Pregunta 2	153
Figura 4-3 Análisis Pregunta 3	154
Figura 4-4 Análisis Pregunta 4	155
Figura 4-5 Análisis Pregunta 5	156
Figura 4-6 Análisis Pregunta 6	157
Figura 4-7 Análisis Pregunta 7	157
Figura 4-8 Análisis Pregunta 8	158
Figura 4-9 Análisis Pregunta 9	159
Figura 4-10 Análisis Pregunta 10.....	159
Figura 4-11 Análisis Pregunta 11	160
Figura 4-12 Análisis Pregunta 12.....	161
Figura 4-13 Análisis Pregunta 13.....	162
Figura 4-14 Análisis Pregunta 14.....	163

Índice de Tablas

Tabla 2-1. Comparación de Ontologías creadas para el área agrícola.....	62
Tabla 2-2 Comparación de Sistemas de apoyo a la decisión en el área agrícola.....	84
Tabla 2-3 Aplicaciones móviles para Android.....	95
Tabla 2-4 Aplicaciones móviles para IOS.....	96
Tabla 2-5 Parámetros de Entrada Apps Android	99
Tabla 2-6 Parámetros de Salida Apps Android.....	99
Tabla 2-7 Parámetros de Entrada App IOS	100
Tabla 2-8 Parámetros de Salida Apps IOS.....	100
Tabla 3-1 Especificación de la Ontología propuesta CDCO	115
Tabla 3-2 Glosario de términos de afecciones de los cultivos	117
Tabla 3-3 Descripción de las propiedades de la Ontología para el control de cultivos.....	124
Tabla 3-4 Prioridad de los síntomas de las enfermedades.....	127
Tabla 3-5 Conjunto de Reglas de tratamientos y recomendaciones.....	128
Tabla 3-6 Conjunto de Reglas de prevención y control.....	131
Tabla 3-7 Tratamientos de las afecciones.....	131
Tabla 3-8 Recomendaciones de cuidados.....	133
Tabla 3-9 Prevención y Control.....	137
Tabla 3-10 Métricas de CDCO	138
Tabla 4-1 Encuesta de validación aplicada a los agricultores	148
Tabla 4-2 Estadísticas de agricultores encuestados.....	150
Tabla 4-3 Evaluación de los resultados.....	151

LISTA DE ACRÓNIMOS

Término	Significado
AIS	Sistema de Información Agrícola
ALC	América Latina y el caribe
API	Application Programmer Interface
CDCO	Ontología para control de enfermedades de los cultivos
CO	Ontología de cultivos
DOS-DP	Dead Simple OWL Design Patterns
DSE	Data Sharing environment
DSS	Decision Support System
ETL	Extract, Transform, Load
GO	Gene Ontology
GRIN	Sistema de Información de Recursos Genéticos
ISI	Information Sciences Institute
JSF	JavaServer Faces
JSP	Java Server Pages
KMI	Knowledge Media Institute
KSL	Knowledge Systems Laboratory
MSF	Microsoft Solution Framework
NCBO	Centro Nacional de Ontología Biomédica
NLG	Generador de lenguaje natural
NS	Namespaces
OBO	Open Biomedical Ontologies
OCX	Control ActiveXTM
OLTP	On-line transactional Processing
OWL	Web Ontology Language
PICS	Platform for the Internet Content Selection
PO	Plant Ontology
POC	The Plant Ontology Consortium
RDF	Resource Description Framework
RDFS	RDF Shema
SFS	Medidas sanitarias y fitosanitarias
SMA	Simulation Model Analyzer

SMI	Stanford Medical Informatics
SWRL	Semantic Web Rule Language
TIC	Tecnologías de la Información y la Comunicación
UML	Unified Modeling Language
URI	Uniform Resource Identifier
USDA	United States Department of Agriculture
XML	eXtensive Markup Language

Resumen

Hoy en día el manejo de las tecnologías de la información juega un papel importante en cualquier ámbito, ya que permite obtener ventajas competitivas sobre la mayoría de las industrias. La agricultura desde siempre ha sido considerada una fuente inagotable de riqueza económica y alimenticia, por esta razón los cultivos necesitan de cuidados y controles que eviten el desarrollo y la infesta de plagas en ellos, ya que éstas pueden afectar a plantaciones enteras y ocasionar serias pérdidas de productos y cultivos. En los cultivos pueden presentarse varios tipos de enfermedades, malezas y plagas y en muchos casos muy destructivos, definir o diagnosticar el tipo de plaga, es una tarea ardua, ya que los síntomas que presentan son muy diversos y dependen del tipo de plaga que ha afectado al cultivo.

La principal dificultad que presentan los agricultores es el no contar con mecanismos tecnológicos que permitan de una manera rápida acceder a información eficaz, veraz y validada por expertos en el dominio de la agricultura que permitan tomar decisiones acertadas en cuanto a recomendaciones de cuidado, mecanismos de prevención y diagnóstico de sus cultivos, considerando que cada país posee cultivos, productos, tipos de suelos y plagas diferentes.

Para contrarrestar esta dificultad, la presente investigación de tesis doctoral se basa en el desarrollo de un modelo ontológico completo y flexible, que servirá de plataforma para la construcción de un sistema de ayuda a la decisión basado en ontologías para el diagnóstico y prevención de las enfermedades en cultivos, para tal efecto se han considerado los cultivos de arroz, cacao, café, caña de azúcar, banano y maíz, el cual obtiene del dominio de los expertos el conocimiento necesario para definir los conceptos y relaciones que permitan concretar el flujo de información dentro de la ontología e integrar las fuentes de datos necesarias.

Para cumplir con la propuesta, en primer lugar, se presenta el estudio del estado del arte, desde la creación de las ontologías hasta los sistemas de ayuda a la decisión existentes tanto en aplicaciones web como aplicaciones móviles. Dentro de este análisis se ha constatado que los sistemas existentes se han creado en función de realidades actuales en cuanto a sectores poblacionales y productos cultivados. Por ese motivo este modelo ha sido dirigido a la realidad del Ecuador y los problemas presentados por los agricultores del país.

En el sistema propuesto se presenta una arquitectura para el desarrollo del proyecto, en la cual se ha integrado una solución para proporcionar un sistema recomendador para el cuidado de los cultivos, elaborando una ontología basada en el dominio de los expertos, considerando mecanismos de diagnóstico y prevención de las enfermedades en cultivos para poder validar la propuesta presentada. Esta arquitectura será la base para la construcción de un sistema de ayuda a la decisión que proporciona un soporte inteligente en el ámbito de la agricultura.

Finalmente, el sistema propuesto ha sido evaluado para el diagnóstico y prevención de los cultivos por un grupo de expertos y un grupo de agricultores, los cuales presentan problemas reales en sus cultivos, para así constatar la validez del sistema, proporcionando una herramienta eficaz que sea un soporte adecuado para los agricultores y usuarios en general que deseen información sobre enfermedades en los cultivos de arroz, cacao, café, caña de azúcar, banano y maíz.

Capítulo 1 Introducción

1.1 Introducción

La agricultura desde todos los tiempos ha sido considerada como una herramienta de trabajo y su producción aporta beneficios muy importantes para la alimentación, hoy en día la ampliación agrícola ha reducido significativamente los paisajes agrícolas mediante la expansión de tierras (Macé et al., 2007), lo que ha ocasionado un aumento de cultivo de productos alimenticios lo que conlleva a tener una amplia área de infecciones de enfermedades y plagas en los cultivos, lo cual causa considerables pérdidas económicas (Tripathy et al., 2011). Así también este aumento de cultivos agrícolas más el declive de la biodiversidad afectan el funcionamiento del control de enemigos naturales (Bianchi et al., 2006). Diagnosticar o definir el tipo de plaga o enfermedad que afecta al cultivo no es una tarea fácil para los agricultores más aún cuando la diversidad de plagas es bastante numerosa, de ahí que los agricultores han desarrollado estrategias caseras que los ayuden a manejar y controlar las enfermedades que afectan a los cultivos (Mueller et al., 2005). Muchos de los daños que causan las plagas son visibles para el agricultor y afectan a la planta de forma general y los agricultores con la experiencia que poseen en cultivos pueden identificar muchas de ellas y establecer cuidados y controles que en muchas ocasiones permiten recuperar la planta y en otras ocasiones la infesta es mayor que podría causar la pérdida del cultivo. No obstante es importante que los agricultores posean ciertos conocimientos sobre las enfermedades, plagas y malezas así como sus hábitos, para poderla identificar de forma correcta y aprender de su evolución, y de esta forma evaluar las mejores opciones y mecanismos para poder controlarlos, la identificación correcta de las enfermedades conlleva a seleccionar un control más eficaz, y un error en ella conlleva a escoger malas prácticas de control que cuestan tiempo y dinero, la identificación correcta de la plaga requiere de manejo de conocimientos de profesionales o expertos en control de enfermedades de cultivos ya que en muchas ocasiones no basta solo con mencionar lo que le sucede al cultivo sino también es necesario examinar el área donde se encontró la plaga o tener una muestra de ella.

La entomología agrícola es la ciencia que estudia los insectos que de una u otra forma afectan a las plantas, estudia además conjuntamente con las plagas, los insectos, parásitos y predadores. El gran número de insectos que existen significa que su impacto sobre el medio ambiente es muy significativo. Siendo así los insectos son el componente más importante de la biodiversidad macroscópica, de ahí nace lo

primordial de su estudio (Gullan & Cranston, n.d.). Por esta evidente razón se ha encontrado la necesidad de que el conocimiento de la entomología se pueda integrar con herramientas que ayuden a los agricultores a la toma de decisiones sobre el control prevención y manejo de plagas, herramientas que estén centradas en el manejo de conocimientos de expertos capaz de tener un poder explicativo, con la finalidad de ser una guía para organizar información y determinar pasos a seguir para el diagnóstico o prevención de los insectos que afectan a las cultivos y plantaciones, es decir una nueva forma de hacer frente a la resolución de problemas no estructurados (Coulson & Saunders, 1987).

Hoy en día la información web tiene un nuevo paradigma, ya no solo se intenta presentar información en la web para que los humanos la entiendan sino además que sea comprensible por las computadoras, y esto es lo que se conoce como web semántica (Shadbolt et al., 2006). Es una extensión de la web actual pero dotada de significado bien definido de manera que sea entendida por agentes humanos y computarizados. Las ontologías en la web semántica son utilizadas como una herramienta capaz de organizar, integrar y reutilizar información. Las ontologías son especificaciones formales y explícitas de una conceptualización compartida (Gruber, 1993b). Con el uso de las ontologías se pretende que la web se convierta en un espacio autonavegable y autocomprensible para que las búsquedas de información muestren resultados adaptados a requisitos deseados (Hoehndorf et al., 2015). En la actualidad las ontologías han incursionado en muchos campos como; en las ciencias biológicas obteniendo ontología de los genes (Ashburner et al., 2000), ontologías biomédicas (Ruiz-Martínez et al., 2012), en la dietética y la salud (Lange et al., 2007), en las enfermedades de las plantas (Lagos-Ortíz et al., 2017), entre otras.

Según lo explicado, es necesario que los agricultores posean pautas para realizar un correcto control, monitoreo, diagnóstico y prevención de las plagas que afectan a los cultivos, que permitan tomar decisiones basadas en recomendaciones realizadas por expertos en el dominio de la agricultura.

La problemática existente en nuestro país en cuanto a la falta de una aplicación que apoye a los agricultores y usuarios en general a tomar decisiones en el campo agrícola, ha sido una de las principales motivaciones para llevar a cabo esta tesis doctoral, la cual pretende presentar un sistema de soporte a la decisión basado en ontologías para el diagnóstico y prevención de las enfermedades de las plantas,

obteniendo del dominio de los expertos el conocimiento necesario para definir el diagnóstico y prevención de las plagas, este sistema utiliza ontologías para modelar el dominio de las enfermedades de los cultivos por medio de conceptos, recomendaciones, controles que se producen al afectarse un cultivo por medio de las enfermedades, plagas o malezas, dichos conceptos se basan en la experiencia y dominio de los expertos. De forma que el agricultor ingresa al sistema los síntomas encontrados en sus cultivos, y el sistema en base a estos ingresos diagnostica la enfermedad y recomienda controles para ella. Para poder realizar estos procesos el sistema utiliza un repositorio semántico y un motor de inferencia basado en reglas para poder mostrar las recomendaciones correctas que permitan al agricultor tomar la mejor decisión en cuanto al cuidado de sus cultivos.

Para el desarrollo de la presente propuesta se ha seguido una metodología documental y aplicada que permitió estructurar los módulos del sistema web y móvil para el diagnóstico y prevención de las enfermedades de las plantas. Para ellos se han establecido 4 fases bien definidas para la implementación de la propuesta:

- Estudio del estado del arte, basado fundamentalmente en los conceptos de web semántica, definiciones, tipos aplicaciones, lenguajes y herramientas utilizadas para la creación de las ontologías. Además, se realizó un análisis de sistemas de ayuda a la toma de decisiones tanto web como móviles en el dominio de la agricultura.

- Diseño de la ontología, se ha desarrollado junto con los expertos en el dominio de la agricultura y especialmente con expertos en el área de entomología y fitopatología, los conceptos y especificaciones para la creación de reglas que permitieron la creación de la ontología. La metodología escogida, luego de su respectivo análisis fue Methontology, la cual constó de las siguientes partes: *Especificación* (determinar porque se construye la ontología, cuál será su uso y quiénes serán sus usuarios finales), *conceptualización* (convierte una percepción informal del dominio en una especificación semiformal, definición del modelo conceptual de la ontología), *formalización* (Transformación del modelo a un lenguaje formal), *implementación* (construye modelos en leguajes de ontologías mediante herramientas informáticas) y *mantenimiento* (tareas de actualización y modificación de la ontología).

- Implementación del sistema propuesto, una vez creada la ontología se procedió al desarrollo del sistema web y móvil para el diagnóstico y prevención de

enfermedades de las plantas que permita el apoyo a la decisión en el campo de la agricultura. Para lograrlo se comenzó con un *análisis de necesidades*, mediante encuestas estructuradas que permitieron conocer los problemas más comunes que se presentan a los agricultores en cuanto al tratamiento que utilizan y las dosis de productos químicos aplicados a los cultivos afectados. Posteriormente se estableció la *arquitectura del sistema* basada en un repositorio de bases de conocimiento y un módulo recomendador inteligente basado en conocimiento. Luego se creó la *interfaz de usuario* basada en un diseño amigable, sencillo y de fácil navegabilidad. También se presenta la *arquitectura de software* para definir los requisitos técnicos y operacionales del sistema, de qué manera se relacionan, y su interacción para la funcionalidad especificada, siguiendo los criterios de seguridad, disponibilidad, eficiencia o usabilidad. Así también el *modelo de bases de datos*, permitió estructurar el almacenamiento del flujo de información.

- Validación de la propuesta, mediante pruebas realizadas a un conjunto de agricultores y expertos en el área agrícola que poseen cultivos de ciclo corto y perenne en el Ecuador. Considerando las posibles afecciones que puedan tener los cultivos, y así determinar mecanismos de prevención y control que ayudarían a mantener sus cultivos. La validación de la propuesta fue evaluada en función de los resultados obtenidos en cuanto a la validez y eficacia de las recomendaciones de los mecanismos de control y prevención de los cultivos. Estas pruebas consistieron en la utilización de las métricas precisión, recuperación y Valor-F, y a partir de los resultados se realizó un análisis de los valores obtenidos.

La presente tesis doctoral ha cumplido con los objetivos trazados desde el inicio y los resultados obtenidos se presentan durante el desarrollo de los capítulos que están organizados de la siguiente forma:

En el Capítulo 1 se presenta una breve introducción del trabajo de investigación, un resumen de la problemática existente en el ámbito de la agricultura, además se enfoca el origen de las enfermedades de las plantas y la ciencia que la estudia, y un enfoque de la web semántica, así como también de la forma como se han estructurado los siguientes capítulos.

En el Capítulo 2 se relata el estado del arte sobre las tecnologías que han servido de base para el desarrollo del sistema. El estudio empieza con un análisis de la web semántica, los elementos que la componen, las capas y la facilidad de búsqueda

de información gracias a la web semántica. Luego se realiza un profundo estudio de las ontologías, sus aplicaciones, tipos de ontologías en función de las características que presenta, lenguajes y herramientas que sirven para definir ontologías. Una vez definidas las herramientas, se presenta un análisis de las ontologías que existen en el campo de la agricultura y las afecciones de los cultivos, finalizando el análisis con un cuadro comparativo de las ontologías estudiadas, sus características, lenguajes de creación y dominio de las mismas. En el siguiente apartado se analizan los Sistemas de Ayuda a la Decisión en la agricultura, para identificar la arquitectura de cada sistema evaluado, la herramienta de desarrollo, los parámetros de entrada y de salida, si se estableció algún mecanismo de evaluación del sistema y el dominio en el que se enfocan. Finalmente se presenta un estudio detallado de las aplicaciones móviles creadas para estos mismos efectos y que están disponibles en Play Store como en App Store, considerando recopilar las principales características requeridas por los agricultores en el momento de elegir una de estas aplicaciones, entre las características más destacadas se pueden listar: plagas, insectos, aspectos meteorológicos, maquinaria, horas de trabajo, geolocalización, fechas de inicio de actividad en el campo, asignación de tareas y superficies destinadas al cultivo, entre otras.

El Capítulo 3 muestra la arquitectura del sistema y describe sus partes, presenta la propuesta del sistema que dará solución al problema planteado. El sistema propuesto intenta ayudar a los agricultores en las primeras etapas de desarrollo de sus cultivos y la posible detección de enfermedades mediante el uso de los conocimientos recopilados del dominio de los expertos. Para cumplir con la tarea propuesta se diseña la ontología basada en el conocimiento de los expertos para modelar el sistema. De esta forma el agricultor inicialmente recopila los síntomas que percibe de sus cultivos, luego proporciona éstos síntomas al sistema, el cual proporcionará un diagnóstico basado en los datos de entrada mediante un conjunto de reglas que se basan en las bases de conocimiento subyacentes, es decir, la ontología para control de enfermedades de los cultivos. El sistema además funciona como un ente de ayuda a la toma de decisiones, emitiendo recomendaciones de cuidados, uso de productos químicos y cantidades que se deben aplicar a los cultivos enfermos.

El Capítulo 4 presenta la validación del sistema, para lo cual se ha llevado a cabo pruebas de la aplicación con usuarios y agricultores a fin de constatar la validez y eficacia del sistema. Se establecieron pruebas del sistema con cultivos propios de los

agricultores para definir la veracidad y eficacia de los resultados obtenidos, así también se aplicaron encuestas a los agricultores para conocer la satisfacción y usabilidad del sistema propuesto.

El Capítulo 5 analiza las conclusiones obtenidas luego de las pruebas de verificación e implementación del sistema, en las que se desarrolla una síntesis de los resultados obtenidos, así como recomendaciones de trabajos futuros en función de los resultados de la presente tesis doctoral.

El Capítulo 6 muestra las contribuciones científicas realizadas a lo largo del curso doctoral que han servido de base para el desarrollo de esta propuesta.

Capítulo 2 Estado del Arte

2.1 Web Semántica

2.1.1 Definición

La web actual se basa en describir la forma en la que la información es presentada, pero realmente no muestra su significado. Esto quiere decir que, en el momento de realizar las búsquedas de información, se basan en palabras claves, pero sin relación semántica alguna. La web semántica (Berners-Lee et al., 2001) hoy en día se encuentra bien definida, la idea básica es el trabajo automatizado, integrado y que sea posible el trabajo en cooperación. La web semántica no es diferente o independiente de la web existente, más bien se considera que es una ampliación de ella, que posee significados bien definidos. Su idea principal es el procesamiento automático de datos e información, (Shadbolt et al., 2006) e interpretar símbolos a través de una teoría semántica, que busca una explicación de su significado, esta conexión es lo que permite la interoperabilidad entre sistemas. (Ver Figura 2-1)

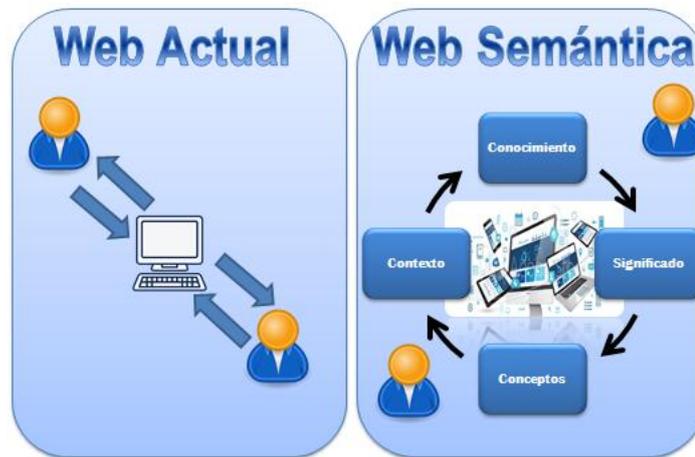


Figura 2-1 Web Actual Vs. Web Semántica

La web semántica básicamente pretende dar un significado semántico a la web mediante el uso de esquemas conceptuales y reglas con las que se definen los objetos y las posibles relaciones que existen entre ellos. De esta forma es posible la creación de métodos automatizados que ofrecen a las personas o usuarios la comprensión del contenido producido (Berners-Lee et al., 2001). En conclusión, se busca una combinación entre la presentación de contenido semántico en las páginas web y la inclusión de la inteligencia artificial, que permita a las máquinas resolver problemas realizando operaciones sobre datos que se encuentren bien definidos. Para poder

establecer esta interoperabilidad semántica en la web, es necesario conocer varios de los elementos que la componen.

2.1.2 Elementos de una web semántica

Los elementos que componen una web semántica según (Berners-Lee et al., 2001) y (Decker et al., 2000) permiten comprender el funcionamiento de la red y los roles de cada uno de ellos, entre los cuales se mencionan: XML, RDF, PICS, Ontologías y Agentes.

A continuación, se describe cada uno de ellos.

- **XML** (eXtensive Markup Language), permite diseñar lenguajes de marcado, para definir etiquetas personalizadas para descripción y organización de datos, se utiliza para representar información estructurada en la web, es decir los documentos, con la finalidad de que esta información pueda ser almacenada, transmitida, procesada, visualizada e impresa, por una variedad de aplicaciones y dispositivos.
- **RDF** (Resource Description Framework) es un método para descomponer un todo en pequeñas partes, utilizando algunas de reglas acerca de la semántica o su significado que facilitan la explicación de conceptos para ser procesados de forma más rápida, además permite la codificación, intercambio y procesamiento automático de los metadatos normalizados. RDF utiliza la sintaxis del XML para el trabajo con dichos metadatos. RDF básicamente se creó para representar el conocimiento en un entorno distribuido, de tal forma que se enfoca en el significado. Es decir, todo lo que se menciona en RDF significa algo, sea esto una referencia a algo, un concepto abstracto, o un hecho.
- **PICS** (Platform for the Internet Content Selection), permite asociar etiquetas con contenidos de Internet. Actualmente su uso a etiquetas de privacidad, licencias, entre otros. Aun cuando a inicios fue destinado al control del acceso de los niños a Internet, PICS no solamente se encarga de definir etiquetas, sino que es un mecanismo para realizar las valoraciones. Este mecanismo contiene varios elementos:
 - Etiquetas, son los metadatos que muestran la valoración de un documento.

- Servicios de valoración, quienes realizan las valoraciones, es decir organizaciones, personas o grupos.
 - Perfiles, son las reglas que se establecen para definir los filtros de búsqueda. Aunque para que el filtrado de documentos se lleve a cabo es prescindible contar con un software cliente y otro servidor con un sistema de valoración.
- **ONTOLOGÍAS**, es una especificación explícita de una conceptualización, una explicación sistemática de la existencia. Para los sistemas basados en el conocimiento, lo que "existe" es exactamente lo que se puede representar. (Gruber, 1993a). Las ontologías son grupos de enunciados en lenguajes específicos como el RDF, en él se definen reglas lógicas entre los conceptos con el fin de relacionarlos entre sí. Actualmente las ontologías se están utilizando en muchos tipos de aplicaciones informáticas como "sistemas de representación de conocimiento" en las cuales se definen las entidades, objetos, reglas y como se relacionan o interactúan entre sí. Ciertas ontologías persiguen una comprensión del conjunto de objetos que se pretende representar (UoD), debido a que para poder crear estos objetos se requiere de una especificación muy detallada. Por otro lado existen ontologías creadas con un propósito general, así se tiene como ejemplo el proyecto Cyc (Lenat et al., 1990), que fue diseñado para la construcción de una base de conocimiento que contenga el conocimiento humano para hacer inferencias.
 - **AGENTE**, se define como una entidad de software que reúne, filtra y procesa la información que presenta la web, además tiene la tarea de realizar inferencias sobre la información encontrada, en otras palabras, es una entidad autónoma que trabaja de forma continua en un entorno en el cual existen una variedad de agentes y procesos sin la necesidad de que el usuario deba tener una supervisión o control constante. Según (Hendler, 1999) un agente inteligente debería tener las siguientes características:
 - Comunicativo, es decir entender lo que el usuario desea buscar, sus preferencias, para poder comunicarse eficientemente.
 - Capaz, el agente debe poder ofrecer un servicio al usuario, es decir poder mostrar información de interés entorno al objeto buscado por el usuario.

- Autónomo, la interacción del agente con el entorno debe ser independiente y autónoma, decidiendo y actuando por sí mismo, hasta donde el usuario lo permita.
- Adaptativo, que tenga la facilidad de aprender del entorno en el cual se encuentra, y recoger información de él, por ejemplo, preferencias de los usuarios o información que puedan proveer otros agentes.

Una vez analizado estos elementos, podríamos decir que la web semántica debería tener la capacidad de procesar contenidos de la web, razonarlo, utilizar reglas de inferencias y hacer deducciones lógicas automáticamente.

En resumen, (Hendler, 1999) un agente inteligente entiende, comprende, valida y deduce lo que el usuario desea obtener en función de sus requerimientos de información.

2.1.3 Búsqueda de información en la web semántica

Han existido un sin número de proyectos que presentan enfoques que recomienden de forma dinámica los servicios web que se ajusten a las preferencias de los usuarios, desde el filtrado colaborativo hasta la recomendación de sitios basados en contenidos. Uno de estos proyectos lo propuso (Yao et al., 2013), quienes presentaron un sistema híbrido de datos de calificación y datos de contenido de servicios web, este modelo tiene un conjunto de variables latentes que describen preferencias sustanciales. Dichas preferencias se estimaron de forma estadística usando la maximización de expectativas (EM) de la cual se obtiene una mejor recomendación. En los experimentos utilizaron 3693 servicios web y como resultados experimentales obtuvieron que su enfoque superara en gran manera a los métodos convencionales de rendimiento de recomendación.

Los actuales motores de búsquedas en internet, se basan en algoritmos de emparejamiento de patrones (Cho et al., 2015) que al usuario ingresar los enlaces a buscar el algoritmo considera el número de veces que se hace referencia a ese enlace, de tal forma que lo que se recupera con este mecanismo son conceptos descontextualizados, es decir, como están basadas en sintaxis al realizar la búsqueda toma cualquier palabra que forma la estructura y presenta lo interpretado por dichas palabras y no necesariamente lo que el usuario desea encontrar.

La recuperación de la información en función de la web semántica se enfoca en tratar de imitar el sistema cognitivo del ser humano, implementando la semántica en las búsquedas de los usuarios lo que permitirá realizar búsquedas precisas. De esta forma se obtiene organización de la información, búsquedas mejoradas basadas en significado y además implementa la gestión del conocimiento, teniendo como característica principal la de no necesitar la intervención del usuario en la interpretación de la información encontrada.

Todo esto es realizable gracias a la intervención de los sistemas multiagente. Los sistemas multiagentes actualmente son la mejor herramienta para realizar aprendizaje automático en Internet, con el uso de los agentes de forma que sean semánticamente interoperables (Karaenke et al., 2012). Con esta herramienta se pretende realizar recomendaciones acertadas, sin que el usuario tenga que intervenir, pero no sólo eso, la idea va más lejos, se pretende también poder clasificar de forma automática sitios y documentos de manera acertada. Google, Yahoo, Microsoft, Amazon y Facebook, son empresas que han trabajado en la creación de sus propios grafos de conocimiento (Mika et al., 2014) para mejorar las búsquedas semánticas y con ello facilitar al usuario un procesamiento y entrega de datos inteligente.

Para poder implementar la web semántica es necesario entender la infraestructura de tecnologías y lenguajes para lo cual Berners-Lee propone una estructura lógica por capas o niveles.

2.1.4 Capas de la web semántica

La web semántica está definida como una arquitectura de capas o niveles (Berners-Lee & Hendler, 2001), la posición de cada capa difiere según su nivel de abstracción. En el nivel más bajo se encuentran tecnologías como el protocolo URI y UNICODE, y en la parte más alta las tecnologías futuras con las que se espera conseguir la web semántica inteligente. Como se observa la web semántica se basa en varias tecnologías, protocolos y lenguajes (ver Figura 2-2). Cada una de estas capas, se describen en el siguiente párrafo.

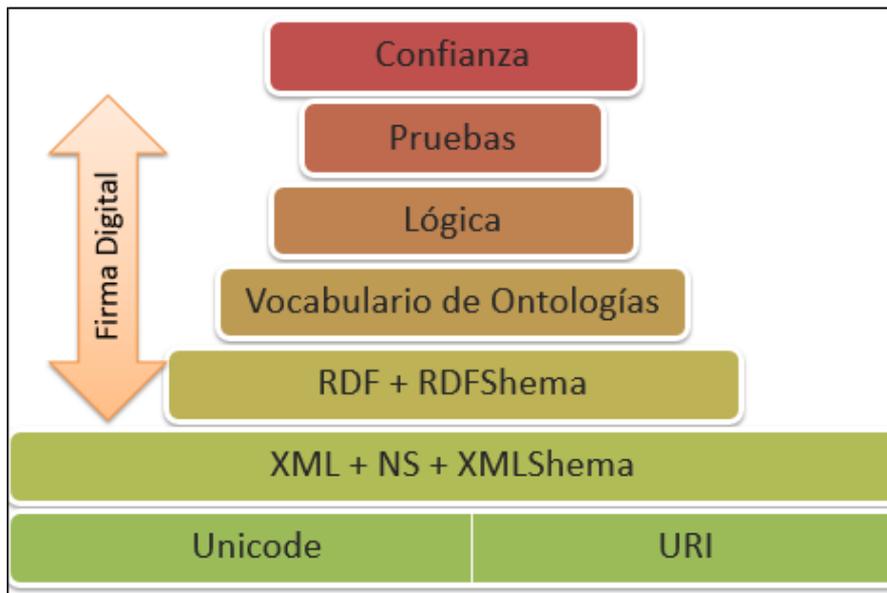


Figura 2-2 Capas de la Web Semántica

- **URI** (Uniform Resource Identifier), (Masinter et al., 2005) es una cadena de caracteres que identifica unívocamente los recursos físicos o abstractos de una red. Cualquier objeto será representado por una URI.
- **Unicode**, es un estándar de codificación de caracteres (Needleman, 2000) que se encarga de dar un único punto de código a cada carácter para facilitar el tratamiento informático, transmisión y visualización de textos de múltiples lenguajes de una forma normalizada.

Tanto el URI como el UNICODE se encuentran en la capa más baja y son las que permiten identificar los recursos de la web y representarlos en un idioma determinado.

- **XML + NS + XML Shema**, esta capa hace posible la comunicación entre los agentes, es la capa técnica de esta arquitectura. En este nivel se agrupan varias tecnologías, la XML (Extensible Markup Language), la cual presenta un formato simple y común para el intercambio de documentos (Bray et al., 2008), NS (Namespaces) sirven para proponer un método de calificar los nombres usados en los documentos XML identificados por referencias URI (Bray et al., 2009). El lenguaje XML Schema (Biron & Malhotra, 2001) permite describir la estructura y restringe el contenido de documentos XML. La unión de estas tecnologías en esta capa tiene una relación de control sintáctico.

- **RDF + RDF Shema**, RDF (Resource Description Framework) es un lenguaje que se encarga de definir modelos de datos con el fin de describir recursos, lo hace mediante tripetas sujeto-predicado-sujeto, (Klyne & Carroll, 2006), además define una sintaxis abstracta que la vincula con la semántica formal. Así también incluye conceptos clave, manejo de tipos de datos, normalización de caracteres y el manejo de referencias. RDF Schema es una extensión semántica que nace de RDF (Nejdl et al., 2000), ofrece elementos básicos para describir vocabularios con un significado adicional y recursos mediante una orientación a objetos como instancias de una o varias clases, y que éstas puedan ser organizadas jerárquicamente. Esta capa no sólo ofrece la descripción de datos, sino cierta información semántica.
- **Vocabulario de Ontología**, en esta capa el vocabulario ontológico provee criterios que permiten catalogar y clasificar la información, esta capa además permite que la web semántica extienda su funcionalidad mediante conceptos, propiedades y relaciones.
- **Lógica**, la capa lógica realiza la interpretación común de las operaciones realizadas en la capa ontológica, realizando reglas de inferencia para procesar la información existente y generar nuevos conocimientos.
- **Pruebas**, la capa de pruebas permitirá asegurar la corrección de los razonamientos realizados con las reglas de inferencias definidas, evaluando las sentencias de la capa anterior.
- **Confianza**, la capa de confianza hace un análisis de las fuentes de información, para que los agentes comprueben la veracidad de las fuentes.
- **Firma Digital**, en la capa de firma digital, son los ordenadores y agentes que se encargan de constatar que la información presentada proviene de fuentes confiables.

2.2 Ontología

2.2.1 Definición

Hoy en día es muy común escuchar que en Internet se encuentra casi todo lo que se busca, teniendo en cuenta que la idea central de la web es obtener todo tipo de conocimiento a disposición de cualquier usuario, sin límite de tiempo ni de ubicación.

Sin embargo, localizar información relevante entorno a un tema específico, es un proceso que toma tiempo y no siempre la productividad de las búsquedas y la importancia de la información recuperada es la que se pretende conseguir. El problema básicamente radica en saber dónde encontrar la información correcta de un determinado tema, si esta información es fiable, si podría servir en realidad para construir nuevo conocimiento, en un medio donde se encuentra gran cantidad de información repetitiva y que en muchas ocasiones sirve muy poco.

Varios autores han definido el término información, una de ellas es la de Floridi (Floridi, 2008), quien refiere tres categorías para identificar la información: Información como realidad (información ecológica); información para la realidad (información instructiva) y la información sobre la realidad (información semántica). Esta última se encuentra muy ligada con las ontologías en la que se pretende representar los conceptos a partir de sus significados.

El término Ontología nace a finales de los 80 en el campo de la Inteligencia Artificial como medio para compartir y reusar el conocimiento. Según Thomas Gruber (Gruber, 1993a), "una ontología es una especificación explícita de una conceptualización", se podría decir que son una herramienta para representar el conocimiento (intercambio y uso) a que se fundamenta en una comprensión compartida de un dominio específico. Las ontologías se basan en los conceptos, en lugar de palabras clave, en los sistemas de búsquedas y recuperación de información, además consiguen la integración semántica con la descripción de los contenidos de los repositorios de datos de forma independiente de la representación sintáctica de los mismos.

Las ontologías están compuestas por los siguientes elementos (Gruber, 1993b) :

- **Individuos.** Son las instancias u objetos que se quiere representar.
- **Conceptos.** Que conforman las ideas que se pretende formalizar. Dentro de este conjunto encontramos: clases de objetos, métodos, estrategias, razonamientos entre otros.
- **Relaciones.** Dentro de un dominio específico, representa la interacción entre los conceptos y los individuos. Pueden formar la taxonomía del dominio. Así por ejemplo: parte-de, subclase-de, entre otros

- **Funciones.** Representan un tipo específico de una relación, en la cual se identifica un elemento aplicándole la función y considerando los elementos de la ontología. Por ejemplo: asignar-fecha, categorizar-clase, entre otros.
- **Instancias.** Término que se utiliza para representar objetos determinados en base a un concepto.
- **Axiomas.** Se definen como aseveraciones o teoremas que incluyen reglas y se declaran en base a las relaciones que deben seguir los elementos de la ontología dentro de un dominio. Se consideran proposiciones verdaderas sin necesidad de demostración, y se los utiliza en la ontología para definir el significado de los componentes. Así también con el uso de los axiomas es posible deducir nuevos conocimientos. Por ejemplo: si tenemos que x e y son instancias de animal, x – vive en – z y x – come – y , entonces y – vive en – z .

2.2.2 Aplicaciones de las ontologías

Con el uso de las ontología se pretende que la web se convierta es un espacio autonavegable y autocomprendible de tal forma que las búsquedas de información permitan presentar resultados de las páginas que se adapten a requisitos específicos (Hoehndorf et al., 2015). Para ello las ontologías han sido creadas por la necesidad de organizar datos, gestionarlos e integrarlos (Hoehndorf et al., 2015) de manera que, con los aportes del dominio de los expertos, estos puedan ser reutilizados. Las ontologías comenzaron a utilizarse hace unos 20 años atrás en el área de las ciencias biológicas con la creación de la ontología de los genes (Ashburner et al., 2000), posteriormente se fue propagando en el área de biomedicina, la educación, el área de la geografía, la ingeniería del conocimiento, en sistemas de información, de la inteligencia artificial, y muchas otras áreas más, los campos en los que se ha desarrollado han sido diversos y multidisciplinarios, de esta forma en la literatura podremos encontrar un sin número de ontologías creadas con fines específicos como: BioOntoVerb para crear ontologías biomédicas (Ruiz-Martínez et al., 2012). En el área de la dietética y la salud (Lange et al., 2007). En el área del e-learning para evaluar los conocimientos de los estudiantes (Castellanos-Nieves et al., 2011). SEMMAS basado en ontologías que permite integrar los agentes inteligentes y los servicios de web semánticos (García-Sánchez et al., 2009) entre otras.

Las ontologías tienen un conjunto muy amplio de aplicaciones y usos que desde sus inicios han sido consideradas (Guarino, 1998) entre ellos podemos nombrar que las ontologías permiten la comunicación entre agentes humanos y las máquinas, sirven de repositorio para mantener la información organizada, es una herramienta o mecanismo para obtener información. Las ontologías también permiten la construcción de sistemas basados en conocimiento que proveen consistencia y fiabilidad de la información solicitada. Ayudan a mejorar la interoperabilidad entre sistemas de información, posibilitan la capacidad de reutilizar la información, generan confiabilidad, permiten compartir adecuadamente el conocimiento, así también facilitan el trabajo cooperativo entre organizaciones y comunidades, posibilitando la integración de visiones de usuarios. Una de las características importantes de las ontologías es que permite la búsqueda y recuperación de la información de forma automatizada, internamente trabaja con la construcción de mapas conceptuales y mapas temáticos. Las ontologías se basan en adquirir nuevos conocimientos de expertos para posteriormente ser reutilizado. Además, permiten la construcción de lenguajes de representación del conocimiento basada en expertos.

2.2.3 Tipos de ontologías

El rol principal de las ontologías dentro de la ingeniería del conocimiento es la generación de modelos de dominios proporcionando reglas y relaciones que permitan representar dicho dominio (Fensel, 2001). Varios autores han clasificado las ontologías de acuerdo a diferentes niveles o ámbitos. Muchas son las clasificaciones de las que se habla en la literatura, de las que se destacan a continuación.

Según el nivel de generalidad (Guarino, 1998), en su libro considera 3 tipos de ontologías:

- **Ontologías de alto nivel.** Este tipo de ontologías definen términos generales como: espacios, objetos, tiempos, eventos, acciones entre otros, los cuales carecen de dependencia de un problema en particular.
- **Ontologías de dominios y de tareas.** Estas ontologías especifican el vocabulario afín a un dominio (Agricultura) o a una tarea específica (Cultivo) para los términos que fueron introducidos en la ontología de alto nivel.

- **Ontologías de aplicación.** Definen conceptos que dependen de ambas, es decir de un dominio particular y de una tarea. Estos conceptos son roles realizados por las entidades de dominios mientras se desarrolla una actividad.

Según (Fensel, 2001) clasifica las ontologías de la siguiente manera:

- **Ontologías genéricas o de sentido común.** Definen conocimiento general acerca del mundo, basando en nociones básicas y conceptos. Son válidas para diferentes dominios.
- **Ontologías representacionales.** Definen conceptos que expresan conocimiento de manera orientada a objetos o marcos de trabajo, no están orientadas a un dominio particular.
- **Ontologías de dominio.** Representan conocimiento validado para un dominio específico. Se las conoce también como meta-ontologías.
- **Ontologías de métodos y ontologías de tareas.** Las ontologías de métodos utilizan términos específicos para métodos utilizados para resolver problemas, en cambio las ontologías de tareas los utilizan en tareas específicas. Las dos brindan razonamiento sobre el conocimiento del dominio.

De lo expuesto en cuanto a las clasificaciones dada por ambos autores, (Aranda & Ruiz, 2005) muestran el siguiente cuadro comparativo (ver Figura 2-3) en el cual hace una correspondencia de las ontologías.

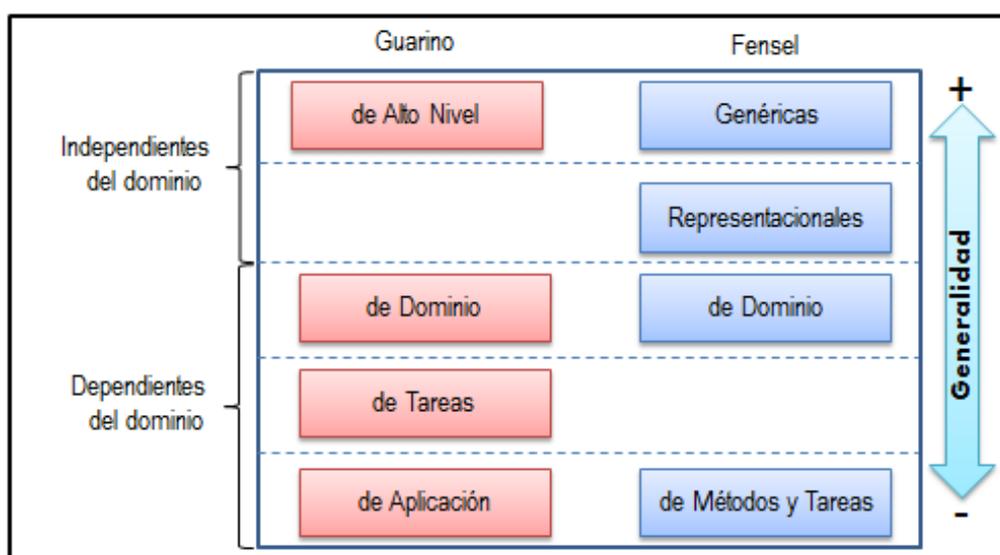


Figura 2-3 Comparación de clasificaciones según nivel de generalidad

De acuerdo al tipo de estructura de conceptualización, (Van Heijst et al., 1997) define los siguientes tipos:

- **Ontologías terminológicas.** Pretender obtener un lenguaje unificado, especificando términos para la representación del conocimiento en un dominio específico.
- **Ontologías de información.** Muestran una estructura de registros de una base de datos, para conseguir un almacenamiento estandarizado de información.
- **Ontologías de representación de conocimiento.** Definen conceptualizaciones del conocimiento, poseen una estructura más completa en función de un dominio.

2.2.4 Lenguajes y herramientas para la definición de las ontologías

2.2.4.1 Lenguajes para la definición de las ontologías

Para la descripción de la semántica en el desarrollo de las ontologías existen una variedad de lenguajes conocidos como "lenguajes de representación", estos lenguajes normalmente están basados en XML (Gomez-Perez & Corcho, 2002). A continuación, se muestran los que han sido más utilizados.

RDF¹. (Resource Description Framework) es un modelo que maneja una sintaxis neutral para representar expresiones. El modelo de datos se basa en tres tipos de objetos: Los *recursos* (página web, elemento HTML, sitio web) que se identifican por una URI; las *propiedades* que son aspectos específicos, características, atributos o relaciones que se usan para describir un recurso. Y las *sentencias*, es decir las declaraciones o enunciados. Un recurso con una propiedad más el valor asignado para dicho recurso, forman una sentencia RDF (Lassila & Swick, 1998). Las tres partes descritas se denominan "sujeto, predicado y objeto". Donde el sujeto es el recurso, el predicado es la propiedad y el objeto es el valor de la propiedad (ver Figura 2-4), las sentencias RDF se pueden representar de forma gráfica usando los "Diagramas de nodos y arcos"; en los cuales los nodos (óvalos) son los recursos, los arcos son las propiedades y los rectángulos son las cadenas de literales o valor de las propiedades.

¹ <https://www.w3.org/RDF/>



Figura 2-4 Elementos de un grafo RDF

RDFS² (RDF Shema) (Brian McBride, 2004) Es una extensión semántica de RDF, incluye un amplio vocabulario con un significado adicional. RDFS define mecanismos para especificar las clases y propiedades que son parte de un vocabulario y la relación entre ellas. Además, define a los recursos como instancias de una o varias clases, y que éstas puedan ser organizadas jerárquicamente. Estas clases pueden definir cualquier objeto como documentos, conceptos páginas web, personas, entre otros. Dichas clases son descritas por recursos como `rdfs: Class` y `rdfs: Resource`, y también por propiedades como `rdf:type` y `rdfs:subClassOf`. Las instancias son recursos que pertenecen a una clase. De tal forma que en RDF schema, una clase se considera como cualquier recurso que tenga un tipo (`rdf: type`) como propiedad cuyo valor sea un recurso `rdfs:Class` (ver Figura 2-5).

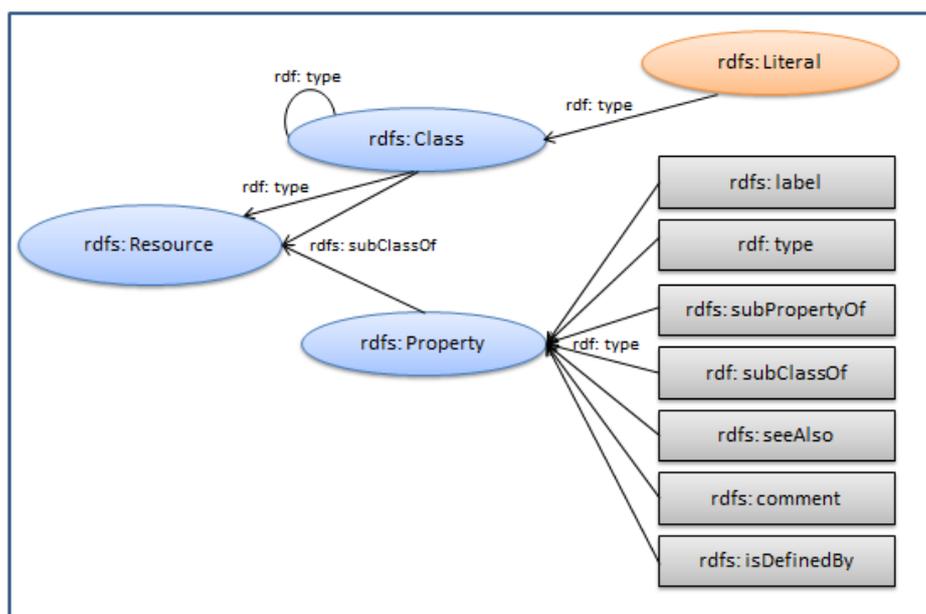


Figura 2-5 Clases y propiedades de RDFS

² <https://www.w3.org/TR/rdf-schema/>

A pesar de que RDFS es un lenguaje que define un vocabulario amplio y permite crear relaciones entre clases y establecer propiedades, hoy en día ya no es suficiente, ya que entre otras cosas no establece características de las propiedades (simétrica, inversa, transitiva), solamente acepta relaciones binarias, no permite crear clases disyuntas ni restricciones de cardinalidad. Las ontologías se basan en lenguajes formales, que buscan entender el significado de las personas y el de las máquinas (Fillotrani, 2017), es así que para suplir las limitaciones de RDFS, han surgido nuevas tecnologías como el OWL, del que se detalla a continuación.

OWL³ (Web Ontology Language) (Mankovskii et al., 2009). Es un lenguaje de etiquetado semántico usado para publicar y compartir ontologías en la WWW. Este lenguaje ha sido creado para las aplicaciones puedan procesar la información contenida en los documentos, OWL puede ser usado para representar explícitamente el significado de términos en vocabularios y las relaciones entre esos términos (OWL Working Group, 2004). Esta representación de los términos con sus respectivas relaciones es lo que se denomina una *ontología*. Owl es recomendación de W3C (Consortio World Wide Web) en el año 2004, y para el 2009 se aprobó una revisión llamada OWL2. OWL es una extensión de RDF, utiliza las mismas tripletas descritas anteriormente, aunque tiene mayor expresividad y funcionalidad a la hora de expresar el significado y la semántica. Adicionalmente permite representar contenidos de la web para que sea interpretado por las máquinas.

El lenguaje OWL proporciona tres sub-lenguajes que se diferencian por el nivel de expresividad, y que han sido diseñados para comunidades de desarrolladores y usuarios

OWL Lite, (Euzenat & Valtchev, 2004) es un sub-lenguaje de baja complejidad formal, es útil para los usuarios que requieren de una clasificación jerárquica de conceptos (clases) y restricciones simples, es decir restricciones cardinales (de 0 ó 1). Adicionalmente ofrece una ruta de migración para tesauros y otras taxonomías.

OWL DL, (Description Logic), (Sirin et al., 2007) es el lenguaje utilizado cuando los usuarios requieren una mejor expresividad, y se garantiza

³ <https://www.w3.org/TR/owl-features/>

que las conclusiones sean computables y que los cálculos terminen en un tiempo finito. OWL DL incluye todos los constructos de OWL, aunque pueden usarse solo bajo ciertas normas de restricción, por ejemplo, mientras una clase puede ser una subclase de otras clases, dicha clase no puede ser una instancia de otra. En conclusión, OWL DL ofrece una máxima expresividad manteniendo un razonamiento eficiente.

OWL Full, está dirigido a usuarios que requieren la máxima expresividad y libertad sintáctica de RDF, aunque no tiene garantía computacional. De tal forma que una clase se considera como una colección de clases individuales y como clase individual propiamente dicha a la vez. OWL Full incorpora los niveles Lite y DL y permite combinar OWL y RDF.

Un documento OWL (Lite, DL, Full) es un RDF document, y un documento RDF es un documento OWL Full, pero sólo algunos documentos RDF podrían ser documentos OWL Lite o OWL DL legales. En consecuencia, al realizar una migración de RDF a OWL hay que tener precaución.

Como se ha dicho anteriormente muchos de los lenguajes creados para representar ontologías han sido basados en XML como se puede observar en la Figura 2-6 (Gomez-Perez & Corcho, 2002).

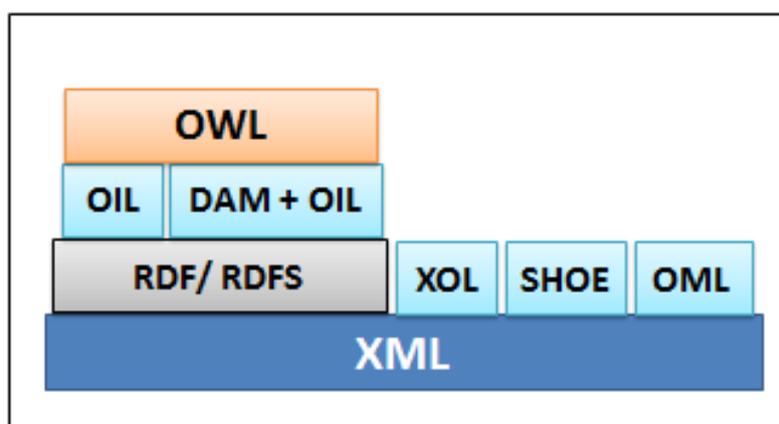


Figura 2-6 Lenguajes en la Web Semántica

OWL 2⁴ nace con el fin de mejorar la especificación del Lenguaje original OWL, con un enfoque específico para definir ontologías con un significado

⁴ <https://www.w3.org/TR/owl2-overview/>

formalmente definido, proporcionan clases, propiedades, individuos y valores de datos. Un documento OWL 2 suele compartirse como un documento RDF/XML. OWL 2 define un estilo funcional para la sintaxis de los constructos que están definidos en base su estructura (Motik et al., 2009). OWL 2 también proporciona sub-lenguajes o perfiles que se diferencian por sus propiedades y que son subconjuntos de OWL DL y son:

OWL 2 EL: facilita realizar las tareas de razonamiento básicas en tiempos polinomiales, especialmente cuando se trabaja con ontologías grandes, en las cuales es mejor el rendimiento y eficiencia en los algoritmos que la expresividades del lenguaje (Dentler et al., 2011).

OWL 2 QL: permite acceso a las ontologías por medio de lenguajes relacionales como SQL y garantiza que las tareas sean resueltas es espacio logarítmico. Es posible utilizarlos en la definición de ontologías para instancias de datos en bases de datos relacionales y posteriormente ser tratada como consultas a bases de datos (Kontchakov et al., 2014).

OWL 2 RL: este perfil ejecuta razonamientos en tiempo escalable o polinomial, y es posible implementarlos a través de un lenguaje de reglas, siendo susceptible de implementación y usando técnicas de bases de datos en formas de tripletas RDF. OWL 2 RL utiliza restricciones sintácticas en el lenguaje, tales como restricciones sobre construcciones y restricciones sobre axiomas, lo que da como resultado razonamientos complejos (Motik et al., 2009).

2.2.4.2 Herramientas para la definición de las ontologías

Las herramientas son instrumentos para codificar una ontología en base a un lenguaje. Son editores que facilitan a los usuarios la definición de nuevos conceptos, relaciones e instancias. Normalmente dan la facilidad de importar y extender ontologías ya existentes. Estas herramientas incluyen navegadores gráficos, capacidad de búsqueda y verifican restricciones (Aarti & Poonam, 2013). A continuación, se presentan algunos ejemplos de las herramientas:

Ontolingua Server⁵: (Farquhar et al., 1997) Herramienta creada por KSL (Knowledge Systems Laboratory) de la Universidad de Stanford. Ofrece un entorno de colaboración distribuido con el cual es posible navegar, crear, editar, modificar y utilizar ontologías, basadas en formularios.

OntoSaurus⁶: (Corcho & Fernández-López, 2003) Herramienta desarrollada por ISI (Information Sciences Institute) de la Universidad de California del Sur. Proporciona una interfaz gráfica enlazada a varias bases de conocimiento. Consta de un servidor de ontologías que utiliza LOOM⁷ para la representación del conocimiento y un navegador web de ontologías.

WebOnto⁸: (Domingue, 1998) Herramienta basada en web, desarrollada por KMI (Knowledge Media Institute) de Open University. Permite a los usuarios crear, navegar y editar modelos de conocimiento sobre la web. Webonto es un editor de ontologías para el modelado conceptual operativo. Facilita el escalado de ontologías.

Protégé⁹: (N. F. Noy et al., 2003) Herramienta desarrollada por SMI (Stanford Medical Informatics). Aplicación de código abierto, es un editor de ontologías y de bases de conocimiento que contiene una biblioteca de complementos que adicionan funcionalidades al entorno. Herramienta JAVA que provee una arquitectura extensible para crear aplicaciones de bases de conocimiento personalizadas.

WebODE¹⁰: (Arpírez et al., 2001) Herramienta desarrollada en el Laboratorio de Inteligencia Artificial de la Universidad Técnica de Madrid. Se la utiliza como servidor web con interfaz web, sirve para modelar el conocimiento utilizando ontologías. El núcleo del entorno es el servicio de acceso ontológico usado por las aplicaciones conectadas al servidor. Facilita la máxima flexibilidad e interoperabilidad con otras aplicaciones de negocios empresariales.

⁵ <http://ontolingua.stanford.edu/>

⁶ <https://www.isi.edu/isd/ontosaurus.html>

⁷ Lenguaje de representación del conocimiento desarrollado por investigadores de IA en la Universidad de California del Sur.

⁸ <http://projects.kmi.open.ac.uk/webonto/>

⁹ <https://protege.stanford.edu/>

¹⁰ <http://webode.dia.fi.upm.es/>

OntoEdit: (Sure, Y., Erdmann, M., Angele, J., Staab, S., Studer, R., & Wenke, 2002) Permite crear y gestionar ontologías. Posee versión gratuita y profesional. Confía en los estándares del W3C y ofrece muchas interfaces exportables a la mayor parte de lenguajes de representación de ontologías. Esta herramienta permite crear, navegar y modificar ontologías. Provee un entorno extensible y flexible basado en la arquitectura de complementos con funcionalidades para la edición de ontologías y además permite exportar e importar ontologías en varios formatos.

OILEd: (Bechhofer et al., 2001) Es un editor de ontologías que permite al usuario construir ontologías utilizando DAML+OIL. Es posible conectarse al motor de inferencia FACT, el cual provee funciones de comprobación de coherencia y clasificación automática de conceptos. Además, provee visualización gráfica de ontologías.

Apollo: (Kapoor & Sharma, 2010) Herramienta amigable y fácil de usar para el modelado de conocimiento. El modelado se basa en clases, instancias, funciones y relaciones. En la fase de edición se realiza la comprobación de coherencia total. Además, tiene su propio lenguaje interno de almacenamiento de las ontologías, pero también puede exportar la ontología desde diferentes lenguajes de representación. La interfaz de usuario tiene una arquitectura abierta y está escrito en lenguaje JAVA.

Neon Toolkit¹¹: (Haase et al., 2008) es un editor de ontologías multiplataforma de código abierto, soporta el desarrollo de tecnologías en F-Logic y OWL/RDF, está construido sobre la plataforma Eclipse, está diseñado en una arquitectura abierta y modular, además admite componentes distribuidos para la gestión de ontologías, el razonamiento y la colaboración en red. Actualmente proporciona 45 complementos que encierran varias actividades de ingeniería ontológica, que incluyen: anotación y documentación, desarrollo, interacción humano-ontológica, adquisición del conocimiento, administración, modularización y personalización, plugins de Neón, página principal, dinámica de ontologías, evaluación de ontologías, coincidencias de la ontología, razonamiento e inferencia y reutilización.

¹¹ http://neon-toolkit.org/wiki/Main_Page.html

Todas las herramientas evaluadas permiten el diseño e implementación de las ontologías. Cada una ofrece características particulares que conllevan al desarrollo de las ontologías.

2.3 Ontologías en el dominio de la agricultura

En la última década, los expertos de cada área reconocen la importancia y urgencia de construir y aplicar sistemas de organización de información y formas de representar el conocimiento en cada una de sus áreas en un contexto digital, incorporando instrumentos como los tesauros, las clasificaciones y las ontologías. La agricultura no es la excepción, varias han sido las ontologías que se han creado en el ámbito del control de los cultivos, cada una de ellas con enfoques específicos, las cuales persiguen definir los términos y sus relaciones orientadas al área agrícola, así como también definir reglas de inferencia. La idea principal es crear una semántica formal con la estandarización de los significados, que tengan definidas las restricciones de integridad, que tengan capacidad de inferencia y que finalmente estén disponibles para poderlas reutilizar y compartir por expertos, profesionales y agricultores. En los siguientes párrafos analizaremos las ontologías creadas en este ámbito, los resultados obtenidos y las aplicaciones prácticas.

2.3.1 AgOnt: Una ontología para la agricultura del Internet de las cosas.

AgOnt, (Hu et al., 2011) es una ontología creada para integrar sistemas de TI a la agricultura del IOT (Internet de las cosas) (Gubbi et al., 2013), ha sido creada en base de terminologías agrícolas y fases de ciclos de vida de las plantas que incluyen desde las semillas, plantas, transporte, almacenamiento hasta la venta de los productos. Y su finalidad ha sido proporcionar un mecanismo que ayude a la interoperabilidad semántica entre diferentes sistemas en la nube, para crear una base para integración del sistema de información agrícola. Con esta unificación del metamodelo, las fuentes de datos de agricultura pueden integrarse de manera adecuada. AgOnt, es una ontología basada en IEEE que es la llamada SUMO (Suggested Upper Merged Ontology) (Niles & Pease, 2001), que es la ontología pública más grande que existe y es muy utilizada en la investigación y aplicaciones que necesitan realizar búsquedas, lingüística y razonamiento.

La estructura de la ontología se ha basado en dos tipos de relaciones dentro del ciclo de vida de un producto agrícola, la relación de un producto y sus propiedades y la

relación de los productos con sus productos originales. En función de aquello los autores han definido 3 relaciones entre entidades a saber que son Is-a, Has-property, source-from. Adicionalmente se han definido 5 dominios como clases principales de la ontología que son: Productos, Fases, Condiciones de cultivos, localización y tiempo. Cada una de ellas con sus jerarquías de clases (ver Figura 2-7). La clase Condiciones captura mediante sensores inteligentes los datos del entorno en cuanto al estado del producto y pretenden propagarse en el internet de las cosas. Se han establecido 6 fases por las que pasa un producto desde el cultivo hasta su almacenaje y comercialización. Además, la clase localización y tiempo que determinan donde está ubicado el producto y el tiempo concreto de la actividad del producto respectivamente.

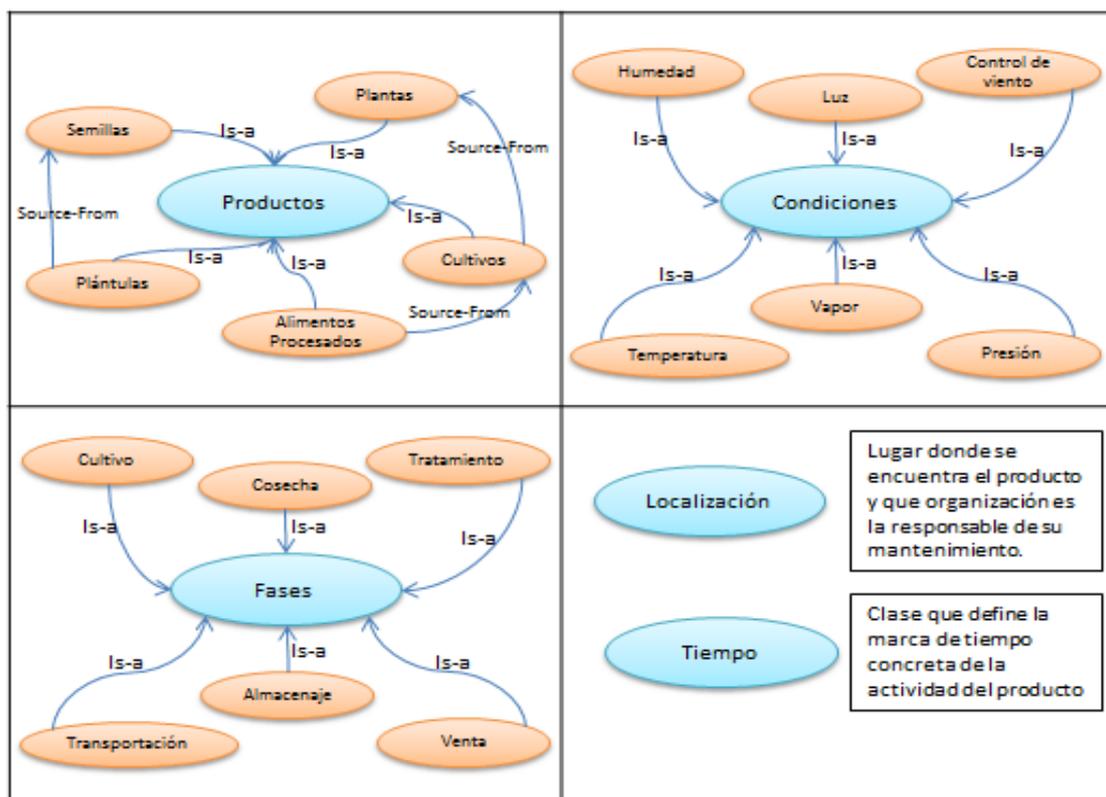


Figura 2-7 AgOnt Jerarquía de clases

Con esta descripción AgOnt pretende proveer una base lógica en la semántica del campo de los productos agrícolas, con la finalidad de que otros sistemas de información se enlacen mediante un middleware semántico (ver Figura 2-8).

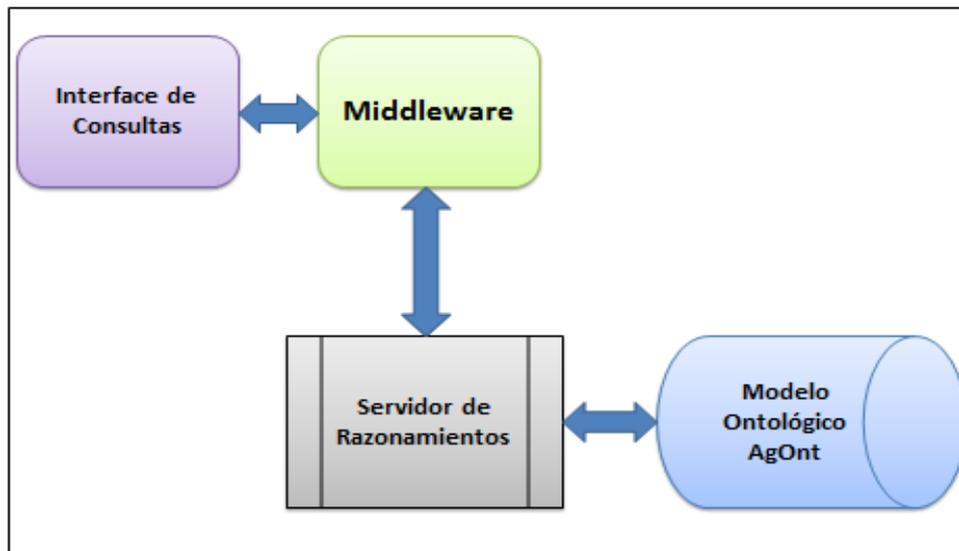


Figura 2-8 Razonamiento Base de Conocimiento

En conclusión, con esta ontología propuesta un usuario puede consultar los términos agrícolas y sus relaciones y además conocer la instancia concreta de los productos, condiciones y relaciones, y con la ayuda de la base de conocimiento de la ontología conocer por ejemplo la condición anormal de un producto conseguido en algunas de sus fases. A través del middleware semántico sería posible razonar sobre aspectos específicos de los productos agrícolas, y conocer los historiales de los productos desde su cultivo hasta su transportación, almacenaje y comercialización.

2.3.2 CROPont: Un marco para el desarrollo de una Ontología de agricultura en la web semántica

CROPont, (Bansal & Malik, 2011) es una ontología creada para controlar el ciclo de producción de cultivos y que sea una base sólida para la creación de un AIS (Sistema de Información Agrícola) impulsado por ontologías, CROPont utiliza como vocabulario base a AGROVOC (FAO.org, 2018), el cual es desarrollado por la FAO (Food and Agriculture Organization) y consta de un tesoro que se utiliza para buscar términos, definiciones y relaciones entre ellos, es utilizado para búsquedas y recuperación de datos en sistemas de información agrícolas (Sánchez-Alonso & Sicilia, 2009). Es decir, CROPont trabaja directamente con los conceptos de AGROVOC, juntos hacen una base de conocimiento utilizando herramientas web semánticas, cuando los expertos en el dominio de la agricultura agregan datos en forma de instancias haciendo uso de las reglas de inferencia.

La ontología propuesta es posible crearla utilizando Protégé OWL (N. F. Noy et al., 2003) para ingresar información en formas de instancias o mediante SWRL (Semantic Web Rule Language) (O'Connor et al., 2005) y para las reglas de inferencia con el uso de JESS (Java Expert System Shell) que es un motor de inferencia basado en lenguaje JAVA(O'Connor et al., 2005). Una vez ejecutado el razonamiento CROPont se convertiría en un repositorio de conocimiento experto, que sería el que contenga la información de las instancias y las reglas definidas por los expertos en el dominio, información de plantas, suelos, fertilizantes, prácticas de cultivos entre otras, y dentro del marco propuesto actuaría como un bloque de construcción del sistema general.

CROPont, propone una arquitectura que se basa inicialmente en el vocabulario AGROVOC, esta es la base para los conceptos que pretende mostrar la ontología, luego mediante un editor de reglas como Protégé ingresar las instancias y establecer las reglas de inferencia para que con la ayuda del razonar, crear el banco de conocimiento experto, posteriormente con el uso de un procesador de consultas SPARQL Query Processor¹² (W. W. W. Consortium, 2013) mostrar los resultados de las consultas a los usuarios. Resultados que serán presentados mediante una interfaz de usuario gráfica semántica en el momento que los usuarios escojan los conceptos y propiedades que deseen consultar. En la Figura 2-9 se muestra una descripción de la arquitectura diseñada.

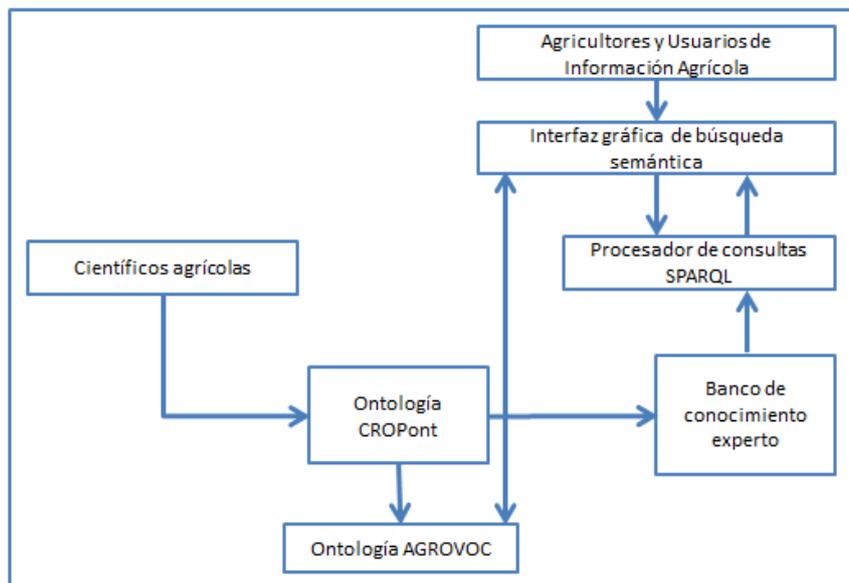


Figura 2-9 Arquitectura CROPont

¹² <https://www.w3.org/TR/rdf-sparql-query/>

A continuación, se presenta un diseño de la taxonomía inicial de CROPont, con los conceptos organizados como una taxonomía jerárquica, de tal forma que las instancias del modelo serían: Fertilizador, Enfermedad de Plantas, Estaciones, Etapa del cultivo, Clima, Suelo, Planta, Zona y Semillas. Posteriormente el autor muestra cómo sería la ontología de la instancia Fertilizador al adicionarles las subclases de este grupo (Ver Figura 2-10).

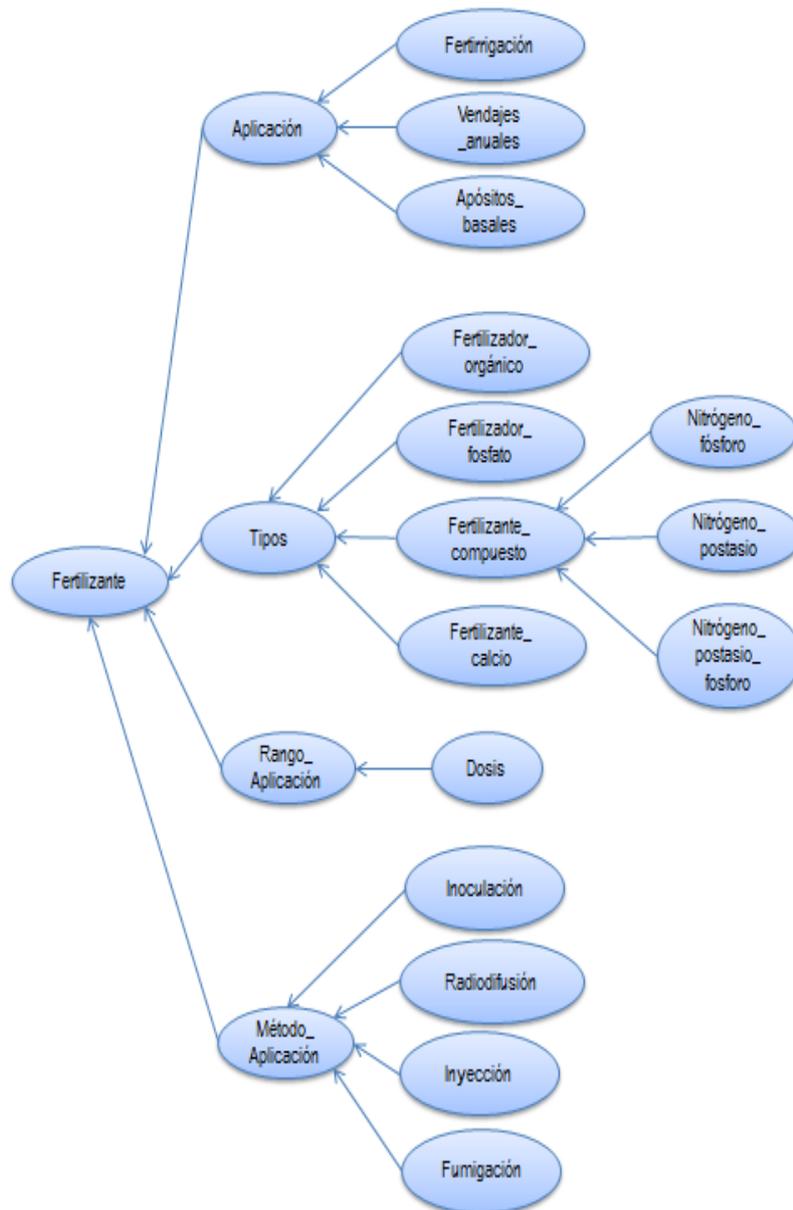


Figura 2-10 Subclase del grupo Fertilizador

Finalmente, CROPont pretende proporcionar una vía rápida y fácil de buscar información en el ámbito agrícola, utilizando en su jerarquía los conceptos más abstractos del dominio de la agricultura, de tal forma que el usuario pueda encontrar

de forma eficiente la información que desea, la cual esta respaldada por el conocimiento y dominio de los expertos en el área.

2.3.3 Soil Ontology: Ontología del Suelo para la Agricultura

Según (Das, 2010) para crear una taxonomía del suelo es necesario considerar las propiedades observables del mismo, así también considera que la clasificación realizada por la USDA (United States Department of Agriculture) es la más reconocida a nivel mundial (Soil Survey Staff, 2006), en la cual ha sido basada la creación de Soil Ontology, su objetivo principal es establecer una jerarquía de clases que ayude a comprender la relación entre las entidades y sus atributos. Su diseño se fundamenta en un sistema utilizado para clasificar suelos y tienen como fin establecer una buena comunicación entre los científicos dedicados a estudios de suelos y usuarios inmersos en este tema que se encuentren en cualquier parte del mundo. Y posteriormente con el uso de la ontología sería posible desarrollar una interfaz de usuarios que permita consultar y realizar un estudio en detalle de la taxonomía del suelo, la clasificación de nuevos suelos y la relación de conocimientos, entre los agentes creados y los sistemas de software. Esta ontología serviría también como herramienta de correlación para realizar estudios de suelos, y por ello debe utilizarse en conjunto con otros estudios como: interpretaciones de levantamientos de suelos y predicciones cuando se hace estudios de planificaciones del uso del suelo.

Para crear la taxonomía de un dominio, se requiere de la colaboración de muchos expertos que luego de tener la experiencia de investigar por varios años pueden ofrecer sus conocimientos con el fin de crear una jerarquía de conceptos del dominio, en este caso del suelo. Soil Ontology ha utilizado Protégé OWL para la implementación de la ontología, SPARQL para las consultas de los usuarios, de manera que sea portable con cualquier sistema o editor de ontologías con soporte para OWL, lo que podría facilitar la interrelación con otras tecnologías dentro de la web semántica.

Para el desarrollo de la ontología se han definido la jerarquía de las clases con 7 suelos disponibles en India como son: Alfisoles, Aridisols, Entisoles, Inceptisoles, Molisoles, Ultisoles y Vertisoles. Para el ejemplo de la ontología se ha tomado el suelo alfisoles, de tal forma que se han creado Orden, Suborden, Gran grupo y Subgrupo, respectivamente según la jerarquía que se presenta a continuación, en el cual se muestra un ejemplo en Protégé de la clase Alfisols y su jerarquía de clases (ver Figura 2-11).

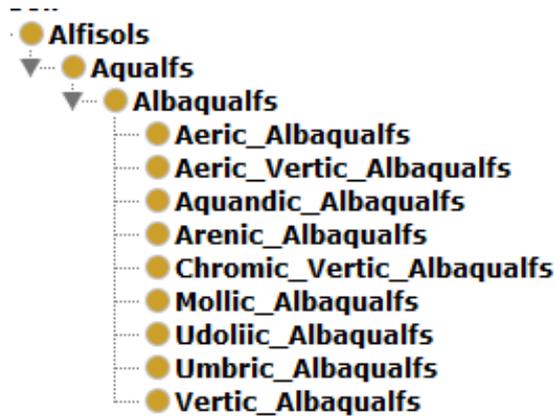


Figura 2-11 Jerarquía de Clases Soil Ontology

Una vez creadas clases, se han creado las propiedades, los valores y los individuos. Así mismo se realizan el conjunto de restricciones para todas las clases, estableciendo las cardinalidades de la misma manera.

Este trabajo termina con la propuesta del diseño de un software que permita consultar la ontología creada, para lograr el fin se ha utilizado la arquitectura N-Tier para el desarrollo del software, para el entorno NetBeans6.9 y Protégé OWL. El desarrollo web está basado en JSP (Java Server Pages) y para establecer las consultas a la ontología SPARQL (Seaborne & Manjunath, 2007). La interfaz del cliente HTML y Java Script. Para crear la aplicación semántica, es decir la capa Semantic Web Framework se ha utilizado JENA(B. McBride, 2002). En la Figura 2-12 se muestra la arquitectura propuesta por el autor.

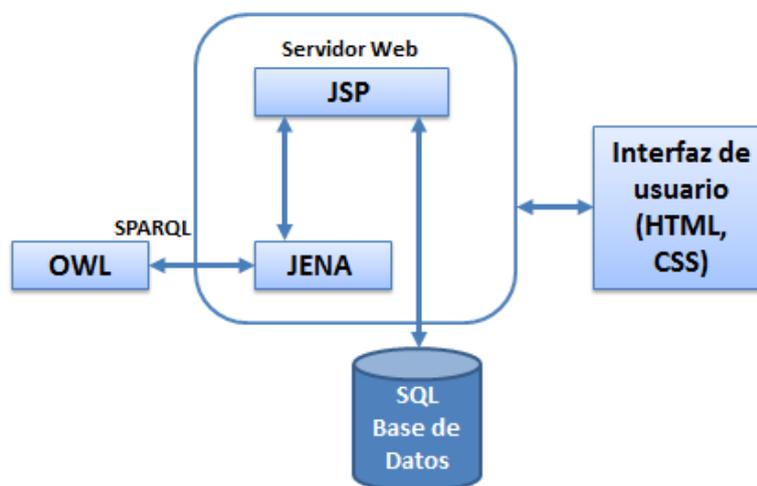


Figura 2-12 Arquitectura N-tier para Soil Ontology

En conclusión, con la creación de Soil Ontology los expertos en el dominio de la agricultura podrían ver y editar la base de conocimiento o la ontología del suelo, o realizar sugerencias sobre lo ya establecido. Además, es posible realizar búsquedas utilizando los términos taxonómicos del suelo, facilitando la información a personas interesadas y usuarios en general.

2.3.4 Farm-Agro: Un modelo ontológico para la pimienta negra

Farm-Agro (Sumathy Easwaran & Thottupuram, 2011) ha sido desarrollada como una ontología de la pimienta negra para el sector agroalimentario. Está basada en especificaciones RDF/OWL, y está diseñada para la extracción de nuevos conocimientos en las áreas de la piperina, acetite de pimienta, posibles enfermedades, entre otras. En la India la pimienta negra (*Piper nigrum* L) se cultiva en varios sectores de esta población, tiene un nivel de producción significativamente alto lo que la hace muy importante a nivel nacional e internacional. Por este motivo requiere de mucha atención las prácticas de gestión dependiendo de las zonas agroclimáticas donde se encuentran, estas prácticas que incluyen el manejo de nutrientes, luz, agua, cosecha y procesos de curación de la pimienta, requieren de especial atención para evitar el desarrollo de afro toxinas que provocan que el producto se deteriore e impide la comercialización del mismo, para ello hoy en día se proponen las tecnologías de producción que pueden guiar y recomendar al agricultor durante todo su proceso.

El modelo presentado pretende colaborar en el ámbito de la investigación agrícola, mediante una ontología de la pimienta negra que considera las categorías de: cultivos, variedad, propagación, enfermedades, procesamiento-cosecha y valor agregado de productos. Los *cultivos* se pueden clasificar por el suelo donde la cultivan: área costera, laderas, colinas y valles; la pimienta negra se cultiva en lugares húmedos de clima tropical. En cuanto a las *variedades* en la India se cultivan más de 75 variedades de pimienta (Ravindran & Kallapurackal, 2012). En la *propagación*, la pimienta tiene tres tipos de brotes: semilla, acodo o esqueje; los tipos de plantas dependerán de los tipos de materiales que se utilicen en las plantaciones. Las *enfermedades* y las plagas normalmente atacan a la raíz y son causadas por hongos lo que produce grandes problemas en la industria de la pimienta; entre las estudiadas para esta ontología están: Phytophthora, phyllody, infección foliar, infección del cuello, daño de la raíz, polu fungicida, enfermedad de la hoja pequeña entre otras. El *procesamiento-cosecha*, se lo realiza una vez que las plantaciones estén

completamente maduras y se lo nota al cambiar de color; los procesos a realizar en esta fase son: la trilla (separación del grano de la paja), el secado (secar la humedad de los granos), la limpieza y la clasificación (separar las materias extrañas o impurezas de las semillas).

Para el diseño e implementación de la ontología de la pimienta negra se han utilizado las siguientes etapas (N. Noy & McGuinness, 2001): determinar el alcance, considerar la reutilización, enumerar términos, definir taxonomía, definir propiedades, definir facetas, definir instancias, comprobar anomalías. A continuación, se muestra la taxonomía de clases creada para Farm-Agro. (ver Figura 2-13).

conceptos de dominio y por otro lado los estudios biológicos del comportamiento de las plantas, con la finalidad de hacer que PLANTS sea un componente importante que sirva de base para sistemas agrícolas. Esta investigación se ha realizado en el contexto del proyecto I+D financiado por la Unión Europea (Cassells et al., 2006). Plants describe una arquitectura basada en ontologías que puede utilizarse en aplicaciones agrícolas de precisión, se pretende esquematizar un sistema híbrido que incluya componentes de software, hardware (sensores, actuadores y controladores), almacenamiento de datos (bases de conocimientos, metadatos), elementos biológicos (plantas) y medio ambiental; con estos parámetros el objetivo es conservar un estado aceptable en las plantas e incentivar el crecimiento eficiente de la planta.

Las plantas poseen un lenguaje vegetal que se pueden apreciar a través de señales visibles, señales medibles y signos volátiles los cuales pueden ser medidos, en consecuencia es posible tratarlos con el uso de tecnologías (Goumopoulos et al., 2004), de tal forma que los sensores y actuadores permitirían proporcionar información del estado de la planta. Según (Weiser, 1999) en su publicación hace énfasis en la computación ubicua, que posee un entorno digital. En el caso de las plantas con el uso de los artefactos, podrían comunicar sus propiedades en este espacio digital, de tal forma que sería posible la creación de sociedades mixtas de plantas y artefactos con un sistema distribuido jerárquico de varias capas que permita la interacción con el medio ambiente.

Para formar la sociedad mixta se han creado los componentes ePlanta, eIrrigación, eFertilizador entre otros, que serían las entidades (eEntidad), con el fin de representarlos en un espacio digital y las capas estarían compuestas por módulos de hardware/software para detectar el entorno (sensores) y actuar sobre él (actuadores), procesar y almacenar datos, así también contiene un esquema de toma de decisiones para evaluar estados de la planta y establecer alarmas que le permitan interrelacionarse con las demás entidades. Las eEntidades que identifican objetos para intercambio de información en redes locales o globales se denominan eArtefactos, éstos pueden ser: lámparas, sistemas de irrigación, fertilización, sombreado, cámaras, celulares entre otros.

La creación de la ontología PLANTS se basa en la gestión distribuida que maneja las plantas y artefactos, su objetivo es permitir la interacción semántica entre ellos, por medio de la conceptualización del conocimiento, que permita cumplir con los

requisitos del sistema y respaldar sus funcionalidades dentro del dominio de las plantas. El conocimiento que se pretende representar ha sido dividido en las siguientes categorías: conceptualización de sociedades mixtas, caracterización de las plantas, caracterización de sensores y actuadores, reglas para la toma de decisiones. Además, la ontología PLANTS está dividida en dos capas: Ontología Básica de Plantas (Plants-CO) que contendrá el vocabulario común; y la Ontología Superior de Plantas (Plants-HO) que representará el conocimiento específico de las entidades.

Las herramientas utilizadas para la representación de la jerarquía de clasificación ontológica ha sido UML (Unified Modeling Language) (Larman, 2003) utilizando rectángulos y flechas con diamantes. Plants-CO posee la semántica indispensable para la relación entre entidades, además contiene la definición de cada entidad. A continuación en la Figura 2-14 se muestra una representación de las clases básicas y sus relaciones.

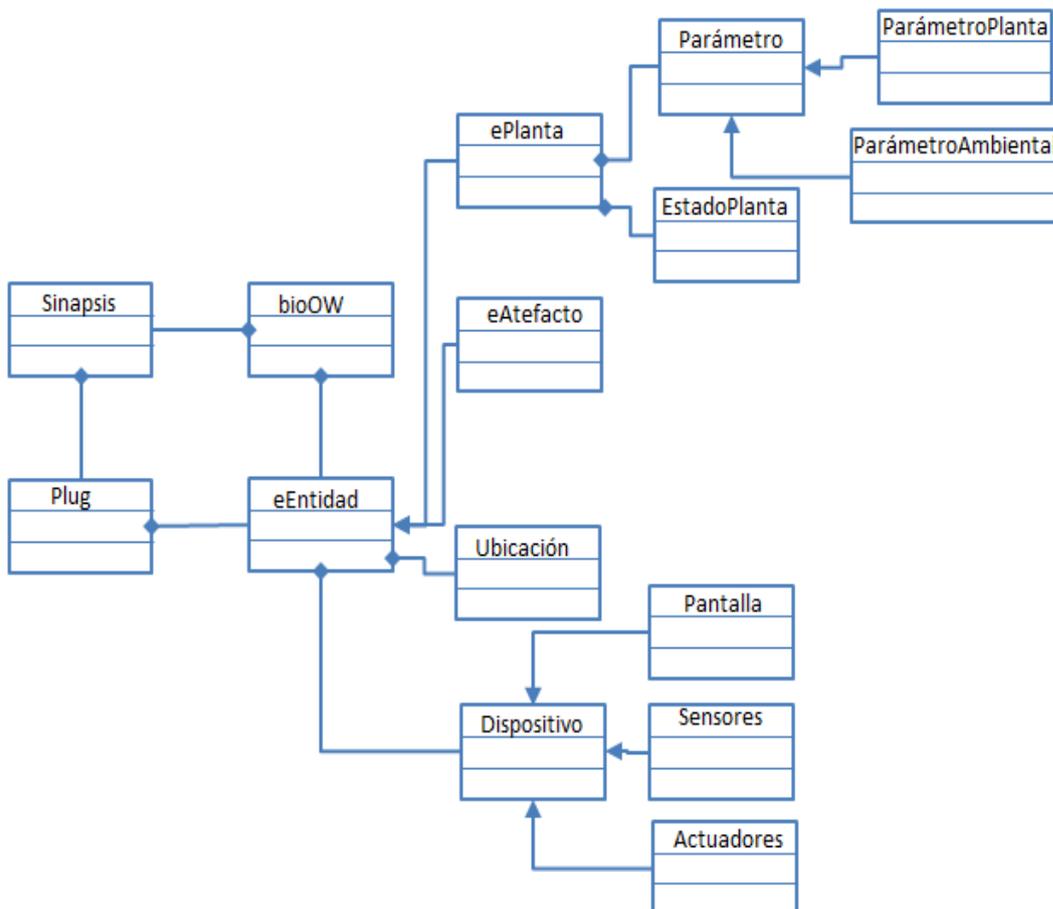


Figura 2-14 Clases básicas de Plantas-CO y sus relaciones

Plants-HO se ha representado como instancias de las clases que han sido definidas previamente en Plants-CO, representa el conocimiento privado de cada entidad. Plants-HO puede cambiar con el tiempo y estos cambios no perjudicarán a Plants-CO.

La relación de las sociedades mixtas, está respaldada por el sistema PLANTS, su arquitectura se muestra en la Figura 2-15 en la cual el *Gestor de Procesos* es el módulo coordinador que supervisa y ejecuta las reglas de reacción definidas; el *Administrador del Estado de Hardware* contiene el estado que reflejan los actuadores y sensores; el *Gestor de Interacciones* mantiene la relación que existe entre las plantas y los artefactos; el *módulo de Comunicación Punto a Punto* permite la comunicación entre las entidades con algoritmos y protocolos para comunicación inalámbrica; el Gestor de Ontologías manipula el conocimiento representado por la ontología PLANTS y proveen métodos para definir conceptos específicos y agregar conocimientos nuevos. El *Gestor de Reglas* es el mecanismo que gestiona las reglas que definen las operaciones lógicas de las entidades, para el proceso de toma de decisiones. El *Motor de Inferencias* (reglas en JESS) respalda el proceso de toma de decisiones el cuál ejecuta sus reglas en el momento que el administrador del estado de hardware le transmite cambios en los valores de los parámetros medibles de los sensores. La *Base de Reglas*, es un repositorio que almacenan archivos en formato Jess y en un formato simple similar al XML. Todos los módulos finalmente se relacionan entre sí para generar las recomendaciones adecuadas de las plantas en función de los datos obtenidos, es decir de parte de los artefactos.

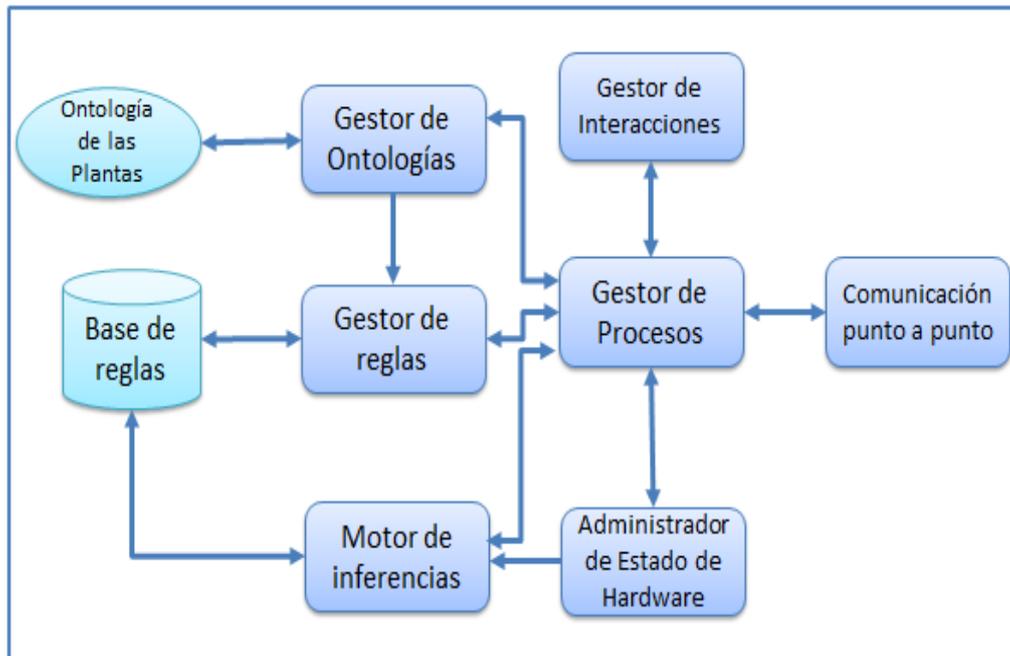


Figura 2-15 Arquitectura del Sistema PLANTS

2.3.6 Plant Ontology: Un vocabulario controlado de estructura de plantas y etapas de crecimiento

El POC (The Plant Ontology Consortium)¹³ reúne varias bases de datos de plantas en el área de las plantas, botánica y genómica, con la finalidad de desarrollar vocabularios robustos y entendibles acerca de las estructuras de las plantas y sus etapas de desarrollo, los cuales se encuentran relacionados por ontologías (Pankaj Jaiswal et al., 2005). La ontología presentada en PO (Plant Ontology) presenta los cultivos de arabis, arroz y maíz, relacionando diferentes vocabularios para la descripción de las etapas de anatomía, morfología y crecimiento de las plantas.

La ontología de la estructura de la planta está definida por un vocabulario compuesto de términos botánicos que definen las estructuras morfológicas y anatómicas de las plantas, y que definen algunas etapas del ciclo de vida de una planta (etapas de crecimiento) y de la estructura de una planta (etapa de desarrollo), las etapas incluyen la etapa vegetativa, etapa reproductiva, germinación entre otras. Los términos botánicos incluyen órganos, tejidos y tipos de células; no están incluidos los atributos de los componentes ni las estructuras subcelulares, éstas se encuentran en la Ontologías de los Genes (Clark et al., 2005). La organización jerárquica establece la relación padre-hijo, entre los términos utilizados, como se muestra en la Figura 2-16

¹³ www.plantontology.org

; se ha creado una red de términos botánicos que representan la complejidad morfológica y el desarrollo de las plantas.

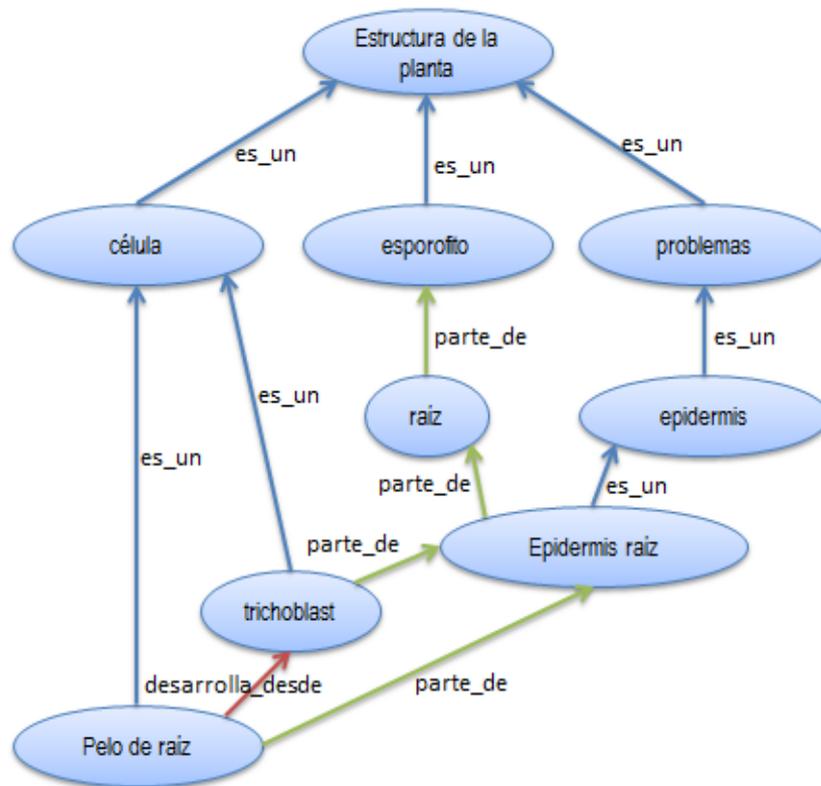


Figura 2-16 Ontología de estructura de la planta

Todos los términos de la ontología de la planta se identifican por medio de un identificador único o número de acceso, y están asociados con una definición que describe su significado y está vinculado a su referencia. Aunque muchos de los términos tienen sinónimos que se manejan de forma diferente y se han creado taxonomías propias para evitar confusiones.

Finalmente el navegador de Plant Ontology es una herramienta basada en la web para explorar y buscar ontologías, y se puede acceder a ella mediante el link <http://www.plantontology.org/amigo/go.cgi>. Está creado en OBO como texto plano y almacenado en MySQL, adicionalmente posee un modelo de objetos Perl y una API (Application Programmer Interface) de acceso a los datos.

2.3.7 Plant Trait Ontology: Ontología de los rasgos de las plantas

Hoy en día se han desarrollado varias ontologías que permiten especificar los rasgos de las plantas, tema importante en el dominio de la agricultura con el fin de abordar ciertos desafíos científicos como por ejemplo la seguridad alimentaria. Los

autores de Plant Trait Ontology (Arnaud et al., 2012) presentan una visión de una ontología de referencia de rasgo vegetal de especies neutrales y generales con el fin de vincular dominios de conocimientos dispares que permita la integración de datos y minería de datos entre especies.

La idea principal de la ontología es conseguir acceso sin problemas a varias fuentes de datos interrelacionadas sobre datos de rasgos genotípicos y experimentales para explorar preguntas de interés biológico (Barry Smith et al., 2007), en una ontología los términos se relacionan lógicamente y respaldado por el conocimiento prevaleciente, lo que facilita a los investigadores utilizar términos adecuados en publicaciones científicas o manuales sobre evaluaciones de calidad/rasgo y obtener datos vinculados a estos términos en bases de datos anatómicas, genéticas, genómicas y otras biológicas.

La integración de datos y/o la minería de datos de rasgos de plantas impiden la integración y comparación de datos fenotípicos y genéticos entre especies e incluso entre taxones. La solución a este problema es el desarrollo de una verdadera ontología de rasgo de planta de referencia que integrará y vinculará muchas ontologías específicas del cultivo y el clado.

Existen desarrollos con colaboración internacional para crear ontologías multiespecíficas como las Ontologías de las plantas (PO) y la ontología del rasgo (TO). La TO describe rasgos fenotípicos en plantas y se organiza en ocho clases principales, lo que abarca una amplia gama de rasgos de plantas y sus especies. La TO se está desarrollando en colaboración con la ontología de las plantas, que describe las estructuras morfológicas y anatómicas de todas las plantas, así como las etapas del desarrollo de las estructuras de las plantas (Avraham et al., 2008) Ver Figura 2-17.

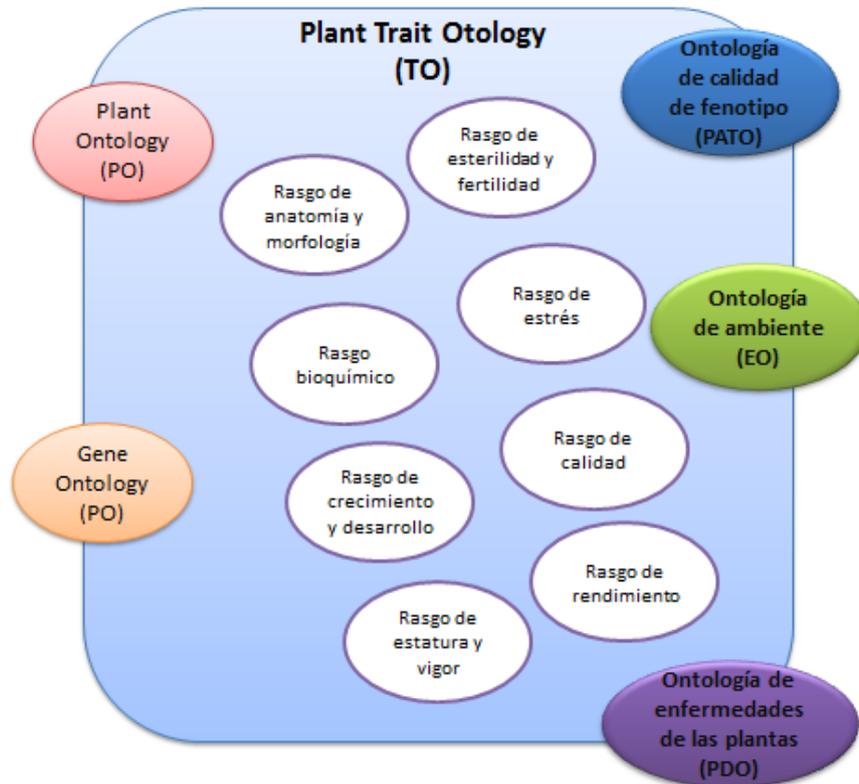


Figura 2-17 Modelo de Trait Ontology y su relación con otras ontologías

Todas las ontologías específicas de cultivo y clado, así como la PO y TO, se están desarrollando sobre una plataforma común, el software OBO-Edit (Barry Smith et al., 2007) desarrollado y promovido por GO (Gene Ontology); (G. O. Consortium, 2010). Todas estas ontologías también utilizan una serie de tipos de relaciones comunes. Los más comunes son 'is_a' y 'part_of', relaciones asignadas por OBO-Foundry (Barry Smith et al., 2005).

Las ontologías están disponibles en el sitio de BioPortal del NCBO (Centro Nacional de Ontología Biomédica) (<http://bioportal.bioontology.org>) para acceso público.

2.3.8 AgriOnt, Agricultural Ontology

AgriOnt (Ngo et al., 2018), se ha creado como un marco de conocimiento para una ontología agrícola, con el fin de crear sistemas inteligentes, la cual no solo está orientada al dominio de la agricultura sino también que engloba otros conjuntos de datos entre ellos una ontología geográfica, subdominios empresariales e internet de las cosas IoT como se muestra en la Figura 2-18. Según (Xie et al., 2007), un sistema de servicio inteligente basado en el conocimiento agrícola tiene una ontología

específica de la agricultura y un método para la adquisición y representación del conocimiento agrícola.

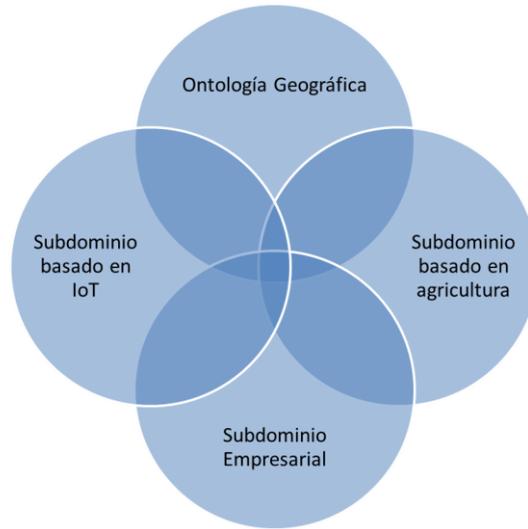


Figura 2-18 Componentes de la ontología agrícola

Esta ontología además permite vincular los recursos disponibles en función de la jerarquía y sus relaciones semánticas. Los conceptos o clases de cada subdominio se heredan de la clase Entity(Thing), que incluye dos subclases VirtualEntity y PhysicalEntity como se puede observar en la Figura 2-19.

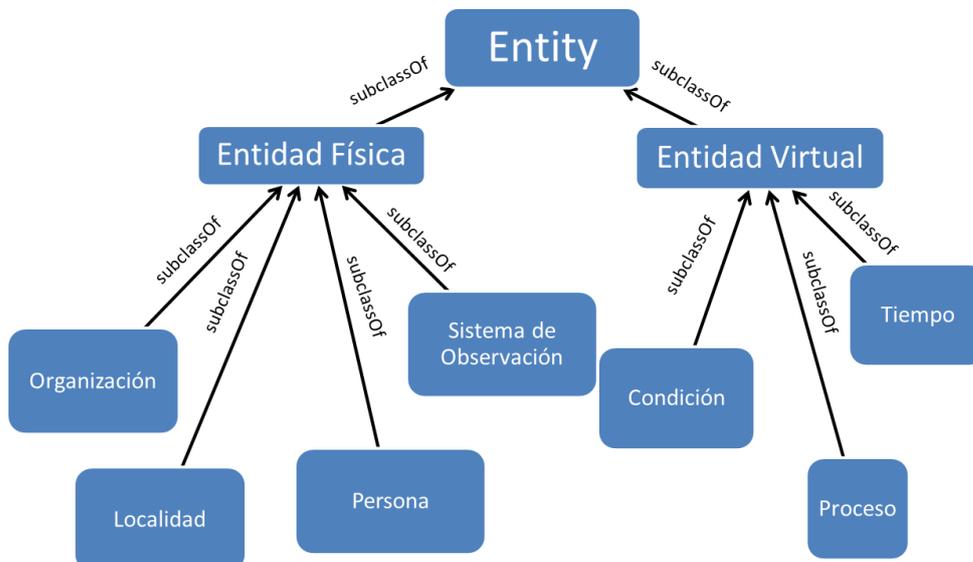


Figura 2-19 Arquitectura de la ontología agrícola

AgriOnt incluye cuatro subdominios que son:

- Subdominio agrícola.- que posee clases básicas como: Cultivo, Granja, Producto, Fertilizante y Condición. Esta última incluye las condiciones agrícolas necesarias para que se lleve a cabo una producción, es decir el suelo, el agua, el clima y sus características principales como temperatura, viento, humedad y propiedades del suelo.
- Subdominio IoT.- pretende conectar sistemas de sensores entre los objetos. Incluye las clases: Sistema de Observación, Sensor, Característica de interés y Valor de Observación. Estas clases en conjunto permiten monitorear con la ayuda de los sensores las condiciones de las plantaciones como el suelo, agua y clima, de esta forma se puede observar y obtener valores para codificar las características de interés.
- Subdominio Geográfico.- este subdominio posee las relaciones longitud, latitud, población, área entre otras instancias geográficas.
- Subdominio Empresarial.- para la creación de la ontología agrícola es necesario vincular la parte agrícola con el IoT para poder controlar y monitorear la producción, ente control se puede ejecutar mediante las clases empresa, persona y granja y sus subclases por ejemplo de empresa (Compañías, Organizaciones de gobierno entre otras) y de personas (Propietarios de granjas o agricultores).

AgriOnt se ha creado con 447 clases y más de 700 axiomas relacionados con la agricultura. En su ontología se describen conceptos agrícolas y ciclo de vida de semillas, plantas, procesos de cosecha, transportación y consumo de productos. Además, posee relaciones entre las condiciones de cima, suelo, fertilizantes, enfermedades.

Para los sistemas agrícolas inteligentes, es necesario el control químico y biológico de las enfermedades de las plantas y de los animales que para el caso de ésta ontología dichas clases se extraen de ontologías externas como Animal Disease Ontology y Plant Disease pages of APS.

2.3.9 Crop Ontology¹⁴: Ontología de Cultivos

Crop Ontology (Matteis et al., 2013) es un proyecto que nació con la finalidad de proporcionar un lugar útil para la comunidad de cultivos para generar vocabularios

¹⁴ www.croponontology.org

estandarizados y estructurados en ontologías del área agrícola. Además, permite integrarse con otras herramientas por medio de su interfaz de programación para la búsqueda y recuperación de los términos contenidos en el vocabulario.

Esta ontología permite la búsqueda dentro de una base de datos enorme encontrar términos relacionados con los cultivos, reproducción y germoplasma, información que se encuentra libre para ser utilizada por investigadores involucrados en el área, quienes podrán acceder mediante una cuenta y podrán realizar modificaciones y aportes en el proceso de la construcción de la ontología, mediante una interfaz sencilla de usar la cual utiliza un motor de búsqueda de texto, a través de un servicio web RDF.

Desde el sitio web es posible crear una ontología con el uso de estructuras de árbol plegable, mediante el cual se insertan los nombres de los conceptos y sus relaciones.

Crop Ontology trabaja con el marco RDF y describe expresiones como sujeto-predicado-objeto conocidos como tripletas, los cuales almacenan y vinculan datos de forma general y universal por medio de OWL y RDF para poder definir, relacionar y dar significados a los conceptos creados.

En cuanto a la tecnología utilizada, el código está disponible para los investigadores y se encuentra documentado en GitHub¹⁵, es posible utilizarlo y adaptarlos a las necesidades de cada quien. Es posible descargar la ontología en formato RDF/Turtle y es posible convertirlo en otros formatos de ser necesario. Otro componente para destacar para la ontología es Google App Engine el cual es un servicio de alojamiento web que presta Google para ejecutar aplicaciones sobre la infraestructura de Google, lo cual proporciona mayor escalabilidad, lo que hace que el sistema sea resistente a la demanda de tráfico alto de datos.

En conclusión, Crop Ontology fue creada con la finalidad de crear un punto de encuentro para que las comunidades interesadas en los cultivos puedan discutir y construir generaciones nuevas de vocabularios estándares que servirán de base para la gestión futura de datos de biodiversidad.

¹⁵ <https://github.com/bioversity/Crop-Ontology>

2.3.10 Agropedia: Repositorio de conocimiento Agrícola

Agropedia (Sini et al., n.d.) se crea como un modelo integral que organiza contenido digital en el ámbito agrícola con el propósito de reunir a comunidades del área agrícola que permita la organización del conocimiento, además colocar a disposición de los usuarios repositorios de conocimiento agrícola construido de modo colaborativo y se encuentra en diferentes idiomas inglés, Hindú y Telegu.

Dentro del sistema Agropedia hay 2 elementos importantes que son:

- Modelos de conocimiento.- son la representación estructural del conocimiento con la utilización de uso de símbolos para la representación del conocimiento y sus relaciones con el uso de herramientas semánticas.
- Objetos de conocimiento.- se refiere a los recursos útiles que tengan relación con la agricultura, como documentos, archivos de audio, videos, imágenes entre otros.

La primera versión del sistema Agropedia incluía indexación basada en conceptos, navegación de mapas de conocimiento, material agregado por expertos, biblioteca de contenidos, calendarios de cultivos y recomendaciones de los cultivos.

El modelo de conocimiento creado para Agropedia, se lo desarrolló con expertos en el área agrícola, el cual contiene: un mapa general de nivel superior, un mapa específico del arroz el cual incluye plagas y enfermedades, un mapa de pesticidas, un mapa de actividades un mapa de sistemas de cultivos y las zonas de desarrollo. Además, están en desarrollo mapas adicionales que permitan complementar el proyecto general.

El lenguaje utilizado para desarrollar Agropedia es OWL, ya que está basado en la semántica y es procesable por los computadores, es posible utilizar otros lenguajes con el fin de que sean compatibles con otras herramientas con la finalidad de que exista una fácil reutilización y transferencia de datos.

La metodología utilizada para la socialización de los modelos de conocimientos creados fue utilizar el conjunto de modelos en talleres de capacitación con el uso de la herramienta Editor de Ontologías Conceptual (COE). Este modelo de conocimiento es posible crearlo utilizando cualquier herramienta, pero tiene una restricción la cual es

que los modelos con los cuales será posible la integración deben poderse exportar en OWL.

En cuanto a las relaciones que proporciona la ontología se tiene:

- "are", para la subclase Of;
- "is a", representa una instancia de un concepto;
- `DataTypeProperty`, vincula las personas con los valores de los datos;
- `ObjectProperty`, vincula individuos a individuos.

Las directrices creadas en Agropedia permite la vinculación de diferentes mapas, lo cual permite la navegación del conocimiento a través de los mapas que fueron creados con diferentes propósitos. Como se observa en la Figura 2-20.

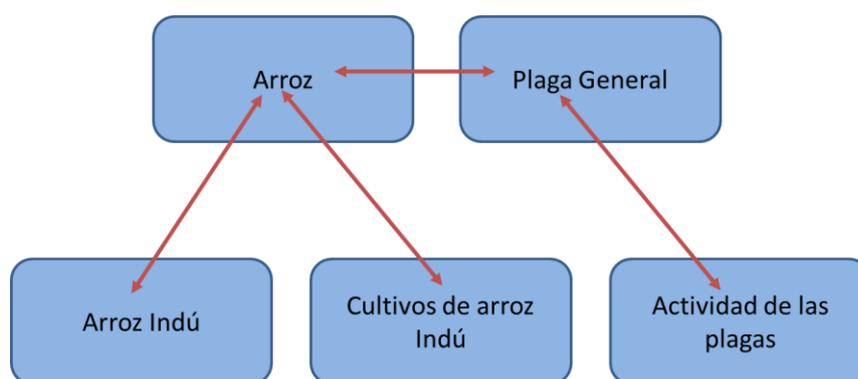


Figura 2-20 Reutilización de URI en diferentes mapas

El modelo de conocimiento aquí estudiado está estructurado en 3 mapas (sistemas de cultivo del arroz, manejo de enfermedades, preparación del campo), de forma estructurada en diferentes áreas del arroz como: producción, posproducción, preparación, siembra, cosecha y trilla, manejo posterior a la cosecha, plagas y enfermedades del arroz, la idea principal fue crear mapas que con la ayuda del dominio de los expertos se puedan generar otros con nuevos conocimientos como variedades de arroz, manejo de nutrientes, entre otros.

Adicionalmente se tiene estructurado un mapa de pesticidas, con tres subclases que son: herbicidas, insecticidas y fungicidas; cada uno de ellos a su vez con subclases específicas. La idea principal de este mapa es tener una referencia para preparar mapas de otros cultivos que utilicen los mismos pesticidas y de esta manera poder vincularlos.

En este proyecto la idea principal es utilizar el modelo como elemento esencial para organizar datos, el usuario podrá seleccionar los conceptos y asociarlos a los recursos deseados. Así también si el usuario busca información, puede seleccionar conceptos específicos y el sistema mostrará todos los recursos asociados a dichos conceptos, en el idioma que prefiera.

Se buscó construir un repositorio basado en tecnologías semánticas que generaron una ontología genérica de cultivos y una específica de arroz, modelos genéricos para pesticidas y enfermedades.

2.3.11 OOPS, Ontología del Estrés Vegetal: Una metodología de estandarización semiautomatizada

OOPS (Meier et al., 2018) presenta un método semiautomatizado que sirve para definir y etiquetar el estrés vegetal utilizando patrones de diseño de las ontologías. Se pretende estandarizar y vincular el estrés vegetal con ontologías ya desarrolladas como por ejemplo con las clasificaciones taxonómicas.

La ontología creada en este proyecto del estrés vegetal posee dos clases generales: el estrés biótico y el abiótico. Ver Figura 2-21

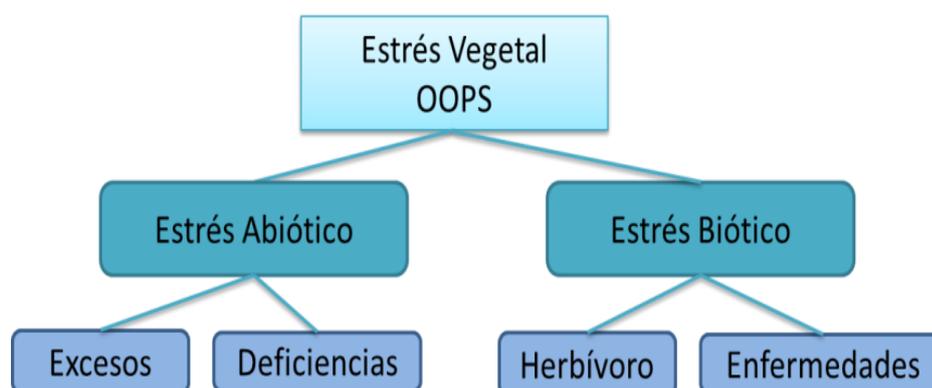


Figura 2-21 Clases generales de OOPS

A su vez el estrés abiótico tiene 2 subclases de estrés, el causado por excesos o deficiencias de algún componente. Así también el estrés biótico tiene 2 subclases que son el estrés herbívoro y enfermedades causadas a las plantas. La ontología inicial se fue poblando con otras ontologías como la del rasgo de la planta (Cooper et al., 2018) y la de las enfermedades basándose en el sitio web de la American Phytopathological Society (www.aspnet.org) (Poelen & Laporte, 2018).

Para la creación de esta ontología los autores han utilizado patrones de diseño para poder automatizar su desarrollo, dichos patrones siguen el estándar de Dead Simple OWL Design Patterns (DOS-DP) (Osumi-Sutherland et al., 2017), y se los utiliza para convertir la lista de términos de forma automática en lenguaje de ontología web.

Según se ha especificado el estrés vegetal es causado por algún elemento o una entidad química, y que normalmente afecta a toda la planta. Así también las enfermedades de las plantas se han definido por tres clases de objetos. Huésped, patógeno y la estructura de la planta. El tratamiento de la enfermedad que se le asigna a la planta dependerá de la localización de la infección.

Las enfermedades de las plantas normalmente pueden infectar a varias plantas huéspedes, esta relación en la ontología se encuentra definida y agrupada de forma taxonómica, así es posible filtrar las enfermedades basadas en el huésped o por el agente que la causó. El conjunto inicial de estrés vegetal se creó con todos los rasgos de plantas abióticas de la ontología de rasgos de las plantas, posteriormente se extrae los nombres de enfermedades, plantas, hospedadores y patógenos y lo vincula a la taxonomía de NCBI.

Finalmente se puede concluir que OOPS para ser creada requirió del dominio de expertos para garantizar la jerarquía resultante, así mismo permite agregar términos a la jerarquía dependiendo de los patrones apropiados. Además, utiliza una relación de los entes del estrés vegetal, es decir huésped, patógeno y entidades químicas, y utilizando las jerarquías y ontologías taxonómicas que existen, los investigadores pueden aprovechar la relación entre los hospedadores de la planta, los patógenos y los entes químicos para predecir con mayor precisión los objetivos de los marcadores moleculares e identificar las funciones genéticas sensibles al estrés.

2.3.12 Multi-crop Passport Ontology. Ontología multifuncional de rasgos de cultivo para datos de obtentores: libro de campo, anotación, descubrimiento de datos y enriquecimiento semántico de la literatura

Las bases de datos de cultivos agrícolas son fuentes importantes y completas de información ya que proporcionan información fenotípica y genotípica comparativa sobre aspectos de biología vegetal y agrícola. Dichas bases de datos se crean con el fin de ofrecer conjuntos de vocabularios para varias especies de plantas. (Shrestha et al., 2010).

La ontología de cultivos (CO) comprende rasgos para los cultivos de garbanzos, maíz, papa, arroz, sorgo y trigo, también se incluyen términos de la estructura vegetal y anatomía del banano trigo y maíz. Esta ontología posee dos herramientas para el uso de los investigadores que son: Servicio de búsquedas CO y el Crops Terminizer de marcado de texto ontológico.

Para cada uno de los cultivos se identificaron relaciones entre los términos con la finalidad de construir las ontologías de rasgos específicos mediante el estándar Open Biomedical Ontologies (OBO) utilizando la herramienta OBO Edit, cada uno de los términos tiene asignado un identificador único CO seguido de un número de tres dígitos que sería para referencias estos conceptos.

Para la creación de la ontología se ha utilizado el lenguaje de programación Java y Perl, además herramientas para almacenar catálogos de ontologías. Estas herramientas de Java y Perl incluyen GCPModelToOwl, GPCOBOParser, OBOWriter, OboToChadoLoader y OwlToChadoWriter.

Por otro lado, para el perfeccionamiento de CO se contó con la colaboración de un grupo de expertos criadores, fisiólogos, agrónomos y patólogos, quienes validaban la información obtenida e intercambiar información que permita enriquecer la CO.

CO posee nueve subclases que son: Germoplasma general y ontología de pasaportes, Ontología taxonómica, Anatomía de las plantas y ontología del desarrollo, Fenotipo y ontología de rasgos, Ontología genómica estructural y funcional, Ubicación y entorno Ontología, Ciencia general Ontología y Otros. Cada clase posee conceptos relacionados con los recursos genéticos de las plantas. Estos vocabularios tienen relación con los desarrollados por la FAO de las Naciones Unidas y Biodiversity International.

La subclase de ontología taxonómica reúne las ontologías de taxonomía de plantas de bases de datos de taxonomía externas, como el Sistema de Información de Recursos Genéticos (GRIN) del Departamento de Agricultura de los Estados Unidos, el Centro Nacional de Información Biotecnológica (NCBI), UniProt y PO. El POC (P. Jaiswal et al., 2016) ha proporcionado la base de datos de PO que incluye datos de la estructura de la planta, anatomía, morfología y etapas de desarrollo (Ilic et al., n.d.).

Tabla 2-1. Comparación de Ontologías creadas para el área agrícola

Título	Disponible para descargar	Métricas				Lenguajes utilizados	Arquitectura de Software	Dominio
		Clases	Profundidad Máxima	Individuos	Propiedades			
AgOnt (Hu et al., 2011)	No	N/A	N/A	N/A	N/A	(SUMO) Suggested Upper Merged Ontology	Interfaz de consultas, middleware, servidor de razonamientos	Ciclo de cultivos
CROPont (Bansal & Malik, 2011)	No	N/A	N/A	N/A	N/A	Protégé OWL, Java Expert System Shell.	Interfaz de búsqueda semántica y procesador de consultas SPARQL	Ciclo de producción de cultivos
Soil Ontology (Das, 2010)	No	N/A	N/A	N/A	N/A	Protégé OWL, SPARQL.	Arquitectura N-Tier, NetBeans6.9 y Protégé OWL, JSP, HTML y Java Script, JENA	Clasificación de suelos
Farm-Agro (Sumathy Easwaran & Thottupuram, 2011)	No	N/A	N/A	N/A	N/A	Protégé, OntoGraf y HermiT reasoned	No especifica	Pimienta Negra
Plants (Goumopoulos et al., 2009)	No	N/A	N/A	N/A	N/A	UML, Jess	Arquitectura basada en gestores de procesos que coordina los módulos de comunicación, inferencias, y de reglas.	Agricultura de Precisión
Plant Ontology (Pankaj Jaiswal et al., 2005)	Si	2000	10	0	13	Owl, MySql, OBO (Open Biological Ontology)	Perl y una API que simplifica el acceso a los datos.	Estructura de la planta y ciclo de vida de la planta
Plant Trait Ontology (Arnaud et al., 2012)	Si	4928	28	0	122	OBO (Open Biological	PHP y una API para acceso a datos	Rasgo vegetal de especies neutrales

						Ontology)		y generales
AgriOnt, Agricultural Ontology (Ngo et al., 2018)	Si	447	N/A	101	69	OWL	No especifica	Cultivos, enfermedades, condiciones de clima
Crop Ontology (Matteis et al., 2013)	SI	N/A	N/A	N/A	N/A	OWL RDFS Jena Turtle (Terse RDF Triple Language)	Arquitectura basada en interfaces que permiten la creación de nuevos vocabularios. Inicialmente utilizan OBOEdit y lo convierten a RDF. Además se encuentra alojada en la nube usando el componente Google App Engine.	Creación de vocabularios estandarizados en el área de cultivos
Agropedia (Sini et al., n.d.)	Si	179	N/A	116	34	OWL, SGV	No especifica	Cultivos de arroz
OOPS (Meier et al., 2018)	No	N/A	N/A	N/A	N/A	OWL	Interfaces que permiten la búsqueda de enfermedades con el uso de patrones de diseño que permiten establecer una búsqueda eficiente.	Estrés vegetal
Multi-crop Passport ontology	Si	124	5	110	0	OWL, OBO edit Java, Perl	No especifica	Interoperabilidad de datos del arroz, garbanzos, maíz, sorgo y tirgo

Las ontologías analizadas en este apartado ver Tabla 2-1, permiten el control de cultivos y producción de cultivos en su mayoría, y permiten el acceso a la ontología para conocer conceptos creados y mantenidos por el dominio de expertos y relacionadas a las plantas, sus estructuras y sus ciclos de vida; es importante destacar que el campo de agricultura depende básicamente del tipo de suelo, los factores climáticos y los países donde se cultivan o producen las plantas. Cada una de las ontologías presentadas se encuentran limitadas por estos parámetros característicos. Ninguna de ellas se ha centrado en las enfermedades o insectos que afectan a los cultivos, de forma que permita establecer una base de conocimiento en la cual se relacionen las enfermedades y los insectos con los diferentes cultivos que pueden ser afectados, y sus posibles mecanismos de diagnóstico o prevención. Además, es claro que cada una de las ontologías depende del lugar donde se encuentran los cultivos.

La agronomía, el medio ambiente y las ciencias de las plantas son áreas que se deben interrelacionar y los datos que generan permiten obtener información significativa y una interoperabilidad semántica que conlleva a la innovación. AgroPortal (Jonquet et al., 2015) pretende desarrollar un repositorio ontológico para plantas y cultivos de arroz y trigo, que sirva de referencia en el ámbito de la agronomía, reutiliza la tecnología NCBO BioPortal¹⁶. Además, ofrece un portal de ontología para almacenar ontologías, búsqueda y control de versiones, visualización, comentarios, así como también servicios para anotar semánticamente datos y explotarlos y almacenarlos; alojados en una infraestructura semántica compatible con la web. Lo que si es cierto es que la mayoría de los investigadores que crean ontologías lo hacen con el fin de que ellas sirvan de repositorio abierto para investigadores, científicos y expertos en el dominio de la agricultura que deseen incrementar las clase, subclases y datos registrados y crear nuevos conceptos.

Existe una instancia local que es un prototipo que posee 15 ontologías relacionadas con plantas, las características principales del portal son: buscar ontologías, anotaciones con las ontologías, almacenar y hacer mapeos entre ontologías además de las características de BioPortal que están disponibles también en AgroPortal.

¹⁶ <http://biportal.bioontology.org/>

En el siguiente apartado se analizan los Sistemas de Soporte a la Decisión en el ámbito de la agricultura el cual servirá de horizonte para conocer los esfuerzos y avances tecnológicos que han existido en ésta área, sus alcances y limitaciones.

2.4 Sistemas de ayuda a la decisión en la agricultura

Los Sistemas de ayuda o soporte a la decisión se los conoce como DSS (Decision Support System) es un sistema de información computarizado que presenta diferentes alternativas de solución a un problema determinado y que permite tomar una decisión (Power et al., 2015). Existen tipos de DSS más específicos orientados a tareas particulares según se observa en la Figura 2-22.



Figura 2-22 Tipos de DSS

Los DSS son sistemas de apoyo que se orientan normalmente al análisis de los datos generado por un sistema y que sirvan a los directivos a la toma eficiente de decisiones, mediante la generación de alternativas que contengan estimaciones, evaluaciones y comparación de alternativas posibles a fin de escoger la mejor opción posible. Las características de los DSS son más llamativas que sus definiciones y el potencial que posee (Sprague, 1980). Entre las características de los DSS se pueden mencionar: permiten extraer información de forma dinámica y flexible y poder manipularla; dan soporte a la toma de decisiones; proveen formas de mostrar la información al usuario; es posible tomar múltiples decisiones al mismo tiempo y ofrecen soporte en todas las fases del sistema de toma de decisiones.

Sin duda las áreas en las cuales los DSS han incursionado son innumerables, por ejemplo en el comercio electrónico, en subastas para saber que producto ofertar o cuando y donde vender; portales web para clientes y empleados; tiendas virtuales que utilicen data mining o data warehouse (Ruiz et al., 2009); en el área de la medicina colaborando con los médicos en el proceso de diagnóstico, cuidado del paciente, planes terapéuticos entre otros (Silva Layes et al., 2011); plataformas móviles de recomendaciones y autocontrol de enfermedades crónicas (Medina-Moreira et al., 2018); en el área de la agricultura ayudando a los agricultores a enfrentar problemas complejos en la producción y enfermedades de los cultivos y recomendaciones de buenas prácticas (Lagos-Ortíz et al., 2017); entre muchos otros campos más. Este proyecto de tesis nos centraremos en los sistemas de apoyo a la decisión en el ámbito agrícola, con el fin de conocer las posibilidades y limitantes de cada uno, analizando sus módulos, funcionalidad y arquitectura.

2.4.1 EXPLAIN: Sistema de apoyo de decisión híbrido en la agricultura

EXPLAIN (Greer et al., 1994), propone un sistema de apoyo de decisión híbrido que interpreta el resultado de un modelo de simulación cuantitativa y sistemas expertos y luego construye recomendaciones al usuario del área agrícola. En los sistemas expertos basados en conocimiento, el razonamiento y el dominio del conocimiento se encuentran de forma explícita, en cambio en los sistemas expertos basados en reglas no poseen una precisión de forma cuantitativa, especialmente con grandes cantidades de datos, ya que no son creados con ese fin (Grzymala-Busse, 2012).

Un sistema de apoyo a las decisiones debe proporcionar explicaciones orientadas para diferentes tipos de usuarios del sistema, los modelos de usuario permiten que los sistemas se adapten a estos requisitos (Kobsa & Wahlster, 1989). EXPLAIN se crea con la visión de ser un sistema de soporte a las decisiones, que genera explicaciones a usuarios particulares. El sistema tiene una arquitectura conformada por una interfaz de usuario, un modelo de simulación, un módulo de explicación y un modelo de usuario. (Ver Figura 2-23)

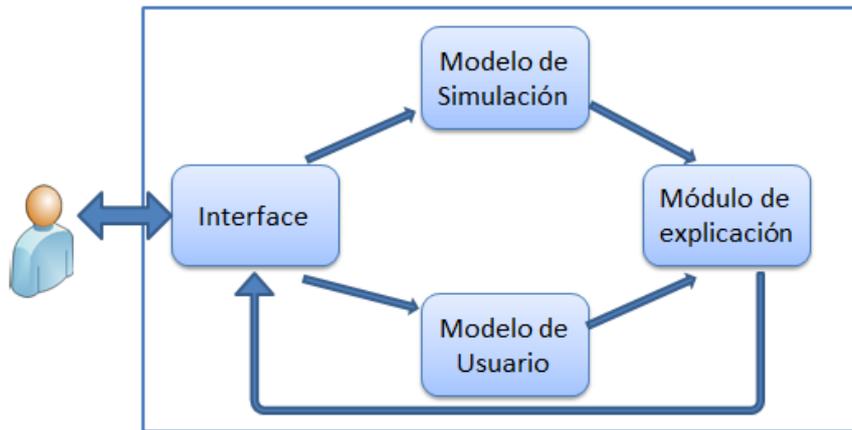


Figura 2-23 Arquitectura del sistema EXPLAIN

El Modelo de Simulación recoge las preguntas de los usuarios y realiza un análisis generando valores numéricos como resultados. El Modelo de Usuario establece los parámetros generales y específicos del usuario, utilizados para individualizar las explicaciones. El Módulo de Explicación interpreta estos valores numéricos y provee explicaciones, considerando la información que provee el modelo de usuario, este módulo a su vez cuenta con tres componentes el SMA (Simulation Model Analyzer) el individualizador y un NLG (generador de lenguaje natural).

La salida del modelo de simulación pasa por una interpretación por el SMA, el individualizador toma dicha representación y la información del modelo de usuario y genera una explicación individualizada. Con esto el NLG escoge un grupo de plantillas y produce la explicación del lenguaje natural para ser presentada al usuario.

Explain resultó ser un proyecto ambicioso, reúne muchas tecnologías de inteligencia artificial en desarrollo. Además, se están buscando nuevos estereotipos y plantillas de explicación y modelos de usuario para mejorar explicaciones individualizadas.

2.4.2 MAFIC-DSS: Prototipo de un sistema de apoyo a la decisión con tecnología web y móvil para grandes cultivos

MAFISC-DSS (Antonopoulou et al., 2010) es un prototipo de un sistema de apoyo a la toma de decisiones basado en la web y en tecnologías móviles, que intenta apoyar a los agricultores en la selección de cultivos alternativos y durante todo el periodo del cultivo; se han considerado cultivos como maíz, soja, sorgo, colza y cardo por ser productos de uso potencial en Grecia. Este sistema propone una opción para que los agricultores de la Unión Europea que se dedican muchos años a los mismos

cultivos intenten con nuevos productos alternativos y de esta manera cumplir con las demandas de mercado, la razón por la que no lo hacen quizás sea la inseguridad, falta de propuestas y falta de conocimientos técnicos de los agricultores (Binfield et al., 2004).

Este prototipo implementa varios módulos para las necesidades de colaboración, información y gestión de los agricultores basados en web, adicionalmente proporcionan información sobre el proceso y comercialización de cultivos, modelos de simulación y pronóstico y sistemas expertos para control de plagas y selección de cultivos.

El sistema consta de siete módulos: *Módulo de perfil de usuario*, que almacena datos del agricultor y tipo de cultivos que ha realizado, ubicación y cantidad de ingresos en años anteriores para generar el historial del agricultor; *Módulo GIS*, posee la información del uso de la tierra, ubicación catastral, característica del suelo y datos climáticos; *Módulo de política agrícola*, el cual posee todas las políticas y directrices de la UE y están seccionadas por cada cultivo, se encuentran codificadas con esquemas de representación del conocimiento, para generar informes independiente; *Módulo de perfil de mercado*, que provee la información de mercado y los costos de cultivos para cada uno de los productos estudiados, precios de mercado, demanda, especificaciones de fertilizantes y pesticidas, medios de transporte y costo de energía; *Módulo de cultivo*, que a su vez consta de dos submódulos, uno que tiene bases de conocimientos sobre los cultivos (suelo, clima, técnicas de cultivo) y el otro que es sistema experto para el control químico y orgánico de plagas y enfermedades; *Módulo de asesoramiento*, este módulo básicamente se relaciona con los anteriores (excepto con el manejo de plagas) y provee una decisión de cultivos alternativos ofreciendo un asesoramiento adecuado; y el *Módulo de Interacción*, es como un chat que permite el intercambio de mensajes y de imágenes que serían analizadas por expertos para poder proporcionar un diagnóstico. La Figura 2-24 muestra la arquitectura de los módulos de MAFIC-DSS que se basa en un modelo de tres capas: la capa de almacenamiento, la capa de aplicación y la capa de presentación.

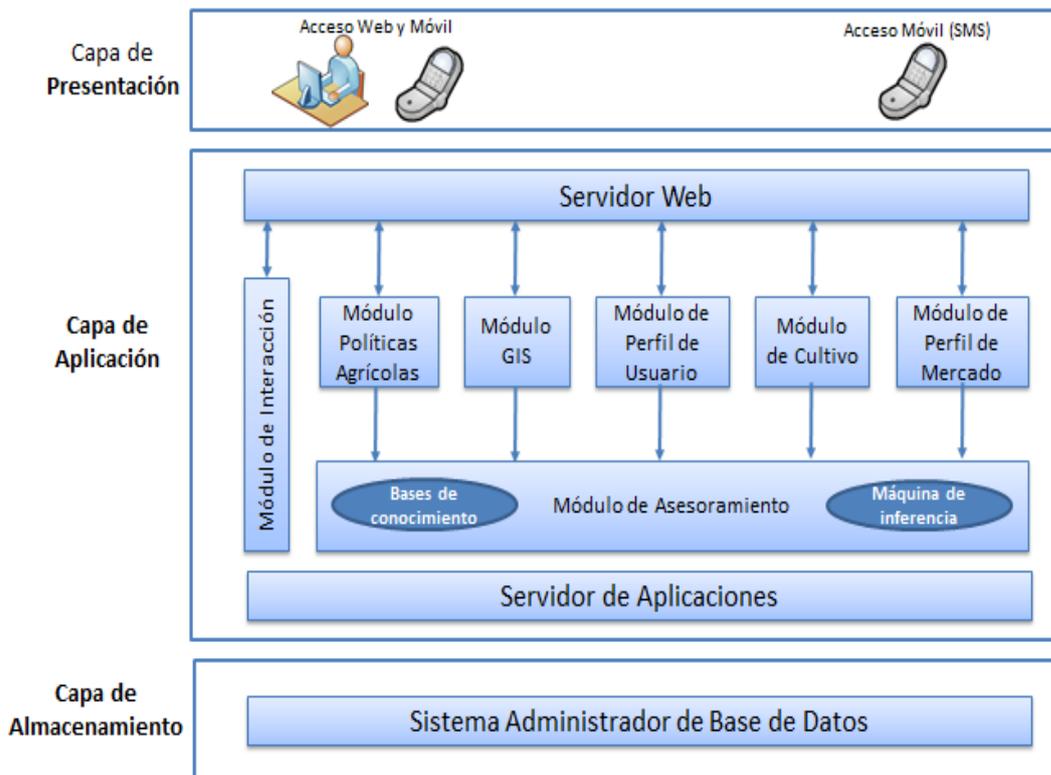


Figura 2-24 Arquitectura de MAFIC-DSS

El sistema proporciona e incorpora datos para cinco plantas específicas de Grecia y está presentado en idioma griego, se está desarrollando la plataforma en inglés. El sistema necesita actualización continua para incluir módulos adicionales dependiendo de las necesidades de los usuarios.

2.4.3 WEED MANAGER: Un sistema de apoyo a la decisión basado en modelos para el manejo de malezas en cultivos herbáceos.

Weed Manager (Parsons et al., 2009) es un sistema de apoyo a la decisión que intenta ayudar a los agricultores en el control de malezas en los cultivos en diferentes temporadas, el sistema está enfocado al cultivo de trigo, posee un modelo de decisión heurística de etapas múltiples, además utiliza programación dinámica estocástica. El sistema consta de una herramienta de planificación para investigar estrategias de control de malezas y una herramienta de planificación rotativa para considerar opciones de control en varios años. El autor además consideró una encuesta a agricultores de Francia en la que consideraban además otros factores como año actual, rotación y plazos (Macé et al., 2007). El sistema está basado en modelos y contiene una base de datos completa de herbicidas que se usan en los cultivos de trigo en invierno.

La estructura del sistema se muestra en la Figura 2-25, los datos se almacenan en Microsoft Access, y se accede a ellas por vínculos dinámicos DLL. El módulo de soporte a la decisión está realizado en Microsoft Visual C++ 6.0 usando componentes orientados a objetos.

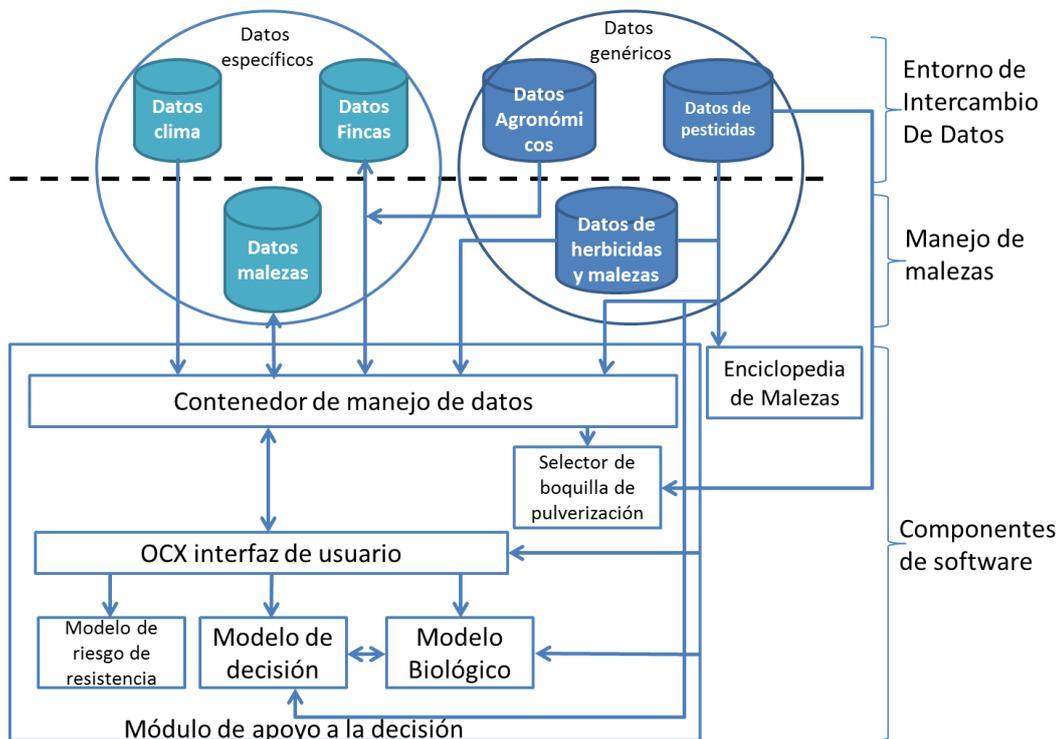


Figura 2-25 Arquitectura de Weed Manager

El componente Contenedor se representa como una unión de objetos (OLETEM). La clase documento proporciona el manejo y recuperación de datos del usuario del DSE (Data Sharing environment). El control ActiveX™ (OCX) controla la interfaz de usuario y los modelos de Weed Manager, además separa el manejo de bases de datos de la interfaz de usuario y trabaja el sistema en un contenedor diferente. El DSE proporciona datos de pesticidas, herbicidas, restricciones de dosis máximas y mezclas, la cual la extrae de la base de datos LIAISON¹⁷ proporcionada por la Dirección de Seguridad de Pesticidas del Reino Unido (Thomas et al., 2000).

Con estos datos es posible predecir el crecimiento de una planta durante la temporada completa. Además, es posible combinar estos datos con datos meteorológicos proporcionados por el usuario y otros que dependen de cada sitio y región de Reino Unido.

¹⁷ www.liaison.csl.gov.uk

Weed Manager fue desarrollado y probado para soportar en la toma de decisiones en el control de las malezas, los módulos probados en su mayoría presentaron datos satisfactorios, pero otras pruebas estuvieron limitadas por la cantidad de datos que poseían, para lo cual se desea a futuro aumentar la información de las malezas. Los autores pretenden ampliar con la finalidad de incluir decisiones de biodiversidad y otros impactos ambientales.

2.4.4 GreenDSS: Sistema de soporte a la toma de decisiones para procesos de germinación y cultivo en invernaderos

El principal problema que enfrentan los países en vía de desarrollo cuando desean adoptar tecnología, son los altos costos de implementación y mantenimiento. Por eso hoy en día existen propuestas que permiten controlar y monitorear cultivos.

Green DSS (Cobo et al., 2008), es un sistema de soporte a la toma de decisiones, que maneja tecnologías de procesamiento de datos, procesamiento analítico en línea y minería de datos, para mejorar los procesos agrícolas dentro de los invernaderos y apoyar a investigadores y agricultores en técnicas eficientes de cultivos dentro de los invernaderos.

El DSS aquí presentado muestra una arquitectura que permite de manera eficiente el flujo de la información y se muestra en la Figura 2-26.

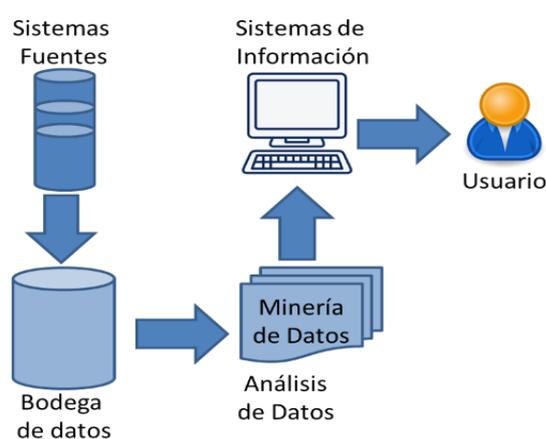


Figura 2-26 Arquitectura de GreenDSS

Para el caso del GreenDSS, se han tomado en cuenta 4 áreas de negocio: trabajo de campo, pregerminación, germinación y repique. Inicialmente se recolectaran los datos que presente el sistema de control y monitoreo del invernadero, que serán parte de los Sistemas fuentes u orígenes de datos, se debe considerar que los sistemas

de control de monitoreo no siempre tienen la capacidad de medir todas las variables necesarias para el proceso, por lo tanto deben ser registradas de forma manual (trazabilidad de semillas, tipos de suelos, número de hojas que tiene la plántula) por ello es necesario contar con un OLTP(on-line transactional Processing) para poder garantizar su integridad. Estos datos almacenados normalmente manejan diferentes formas de almacenamiento por lo tanto deben ser transformados para ser cargados a la bodega de datos con un formato similar, este proceso recibe el nombre de ETL (Extract, Transform, Load).

Una vez guardado los datos, éstos pasan a la etapa de análisis de datos, aquí se obtendrá conocimiento a partir de dichos datos con el apoyo de las herramientas OLAP, que analiza y cruza información obtenida, y de minería de datos, la cual utiliza un conjunto de reglas ya definidas con el fin de encontrar patrones en información oculta pero de manera automatizada, la información obtenida a través de este proceso permite mostrarla finalmente de forma gráfica y ya es útil para la toma de decisiones estratégicas.

GreenDSS realiza análisis en línea en tiempo real, implementa procesos de trazabilidad, es decir puede identificar el lugar de procedencia de una semilla, de qué árbol fue extraída, que tratamientos pregerminativos y de repique ha utilizado hasta las plagas que la atacaron.

El sistema en primera instancia solicita como entradas, ingreso de datos de las actividades que se hacen durante las visitas a las zonas productoras de investigación, como el registro de la localización de las fuentes semilleras, de árboles productores asociados a cada fuente y el registro de las recolecciones de semilla. Luego en la etapa de pregerminación, el sistema lleva control de grupos pregerminativos de la recolección de semillas, tipo de tratamiento empleado, duración del proceso, y porcentaje de semillas útiles. Posteriormente en la etapa de germinación, el sistema controla los grupos germinativos creados a partir de la etapa anterior y registra posición de siembra, sistema de siembra, semillas útiles y mediciones manuales o automáticas mediante sensores. La siguiente etapa es la de repique, en la cual se ingresa los procedimientos de repique aplicados y tratamientos de plagas, así también variables como temperatura y humedad. En la siguiente etapa es posible analizar y sintetizar los datos haciendo comparaciones, análisis histórico para la toma de decisiones. Finalmente, la minería de datos (Clasificación) identifica condiciones

ambientales ideales para someter a las semillas y a las plántulas que permitan mayor productividad en los procesos.

De esta forma los autores pretenden que el sistema tenga un gran apoyo en la agroindustria, ya que al poder minimizar los tiempos que toma el análisis de los datos es posible obtener información oportuna que sirva para la toma de decisiones.

2.4.5 SEFI: Sistema experto para el diagnóstico de plagas y enfermedades en los cultivos de berenjena en la región Caribe de Colombia

En Colombia la producción de la berenjena está manipulada por pequeños agricultores, que poseen poca tecnología, lo que no permite el desarrollo agrícola adecuado, al tener información suficiente que permita una buena toma de decisiones para el crecimiento y competitividad de la producción. En función de lo detallado los autores han decidido realizar este estudio en la región Caribe de Colombia con el objetivo de diseñar e implementar un sistema experto SEFI para el diagnóstico de plagas y enfermedades en los cultivos de la berenjena (Bula et al., 2013).

Para la creación del sistema se implementó una metodología compuesta por fases que permitieron lograr el objetivo deseado. En la primera fase se recolectó información para crear un sistema experto y un estudio de las herramientas y los lenguajes de programación adecuados. La segunda fase se basó en la planeación de un documento que contenía el estudio de factibilidad, tareas del sistema experto y determinación de los requisitos de alto nivel. La tercera fase se centró en crear la base del conocimiento necesario para diagnosticar las enfermedades de dicho cultivo, para ello se contó con la asesoría de expertos especialistas en cultivos de la berenjena, así como también de revisión de literatura. La cuarta fase estuvo orientada a la codificación y verificación, en la cual se diseñan las reglas de inferencia en función de los síntomas de los cultivos para determinar sus plagas y enfermedades. En esta fase además se diseñó la arquitectura de sistema, los módulos e interfaces. La quinta fase se centró en las pruebas y evaluación del sistema y a creación del manual de usuario.

El sistema experto finalmente se creó en función de tres módulos que son la base del conocimiento, el motor de inferencia y la interfaz de usuario. La base de conocimiento está compuesta por las reglas, es decir las estructuras condicionales. El motor de inferencia, que hace el proceso de razonamiento humano con la información

obtenida. Y la interfaz de usuario, la cual sigue el patrón de conversación humana, teniendo en cuenta las ventanas útiles para obtener información del usuario.

La base de conocimiento fue dividida en 2 grandes módulos: el de plagas y el de enfermedades, para cada uno de ellos el usuario mediante un cuestionario de 31 preguntas, ingresa datos de las características del cultivo en cuanto a los tallos, hojas frutos y follaje, así como también la estación climática (seca, lluviosa), a partir de estos datos el sistema evalúa la información y presenta un diagnóstico de la plaga y de la enfermedad y presenta un tratamiento adecuado para cada caso. El sistema trabaja con 9 plagas y 8 enfermedades.

Por otro lado, la arquitectura del Sistema SEFI se realizó en un ambiente WEB de 3 capas: modelo, controlador y vista (ver Figura 2-27). La capa Modelo contiene el motor de inferencia, el cual analiza datos y genera respuesta, además la base de datos PostgreSQL que es muy rápida, robusta y multiplataforma. La capa controlador contiene la base de conocimiento las herramientas de programación utilizadas. Por último, la capa vista que recibe los datos de la capa modelo y los muestra a través de la interfaz por medio de internet.

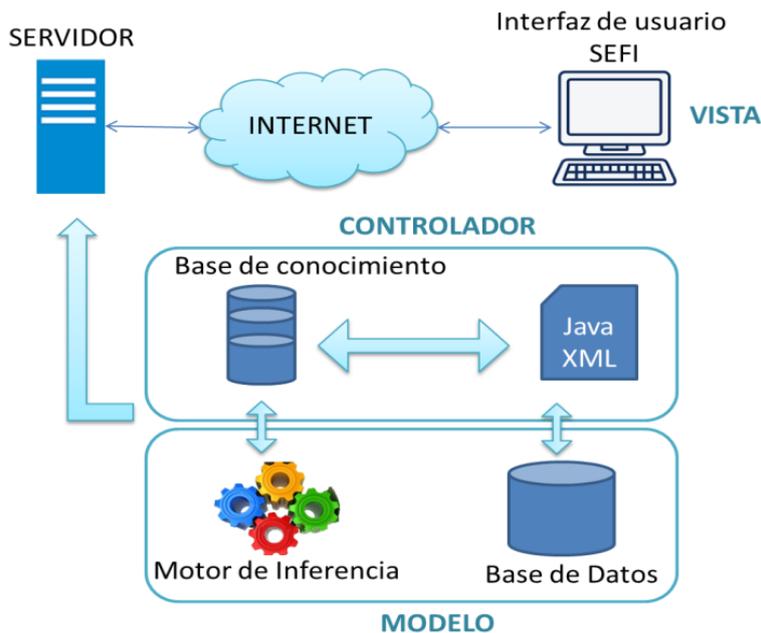


Figura 2-27 Arquitectura SE – SEFI

Los autores concluyen que el sistema ofrece una velocidad de respuesta muy alta, según las pruebas realizadas a especialistas y estudiantes de los últimos niveles

de la carrera de Agronomía, además de proveer una herramienta educativa para interesados en el cultivo de la berenjena.

2.4.6 AGRO ASSIST ARROZ: Sistema Experto móvil para el diagnóstico y manejo integral de plagas en el arroz.

En Perú, el valle de Jequetepeque tiene como actividad económica primordial la producción del arroz, sin embargo no ha desarrollado una adecuada metodología en cuanto a la tecnología y preparación de sus agricultores, ellos usan sus conocimientos empíricos, además no existe una adecuada asistencia técnica que oriente a dar soluciones eficientes, lo que en muchas ocasiones dan como resultado pérdidas en sus cultivos por la afección de plagas debido al desconocimiento de tratamientos y controles adecuados.

Con estos antecedentes, los autores (Barrantes Angulo & Vigo Portilla, 2015) proponen un sistema experto móvil para el diagnóstico y manejo integral de plagas en el arroz, el cual se creó a partir de una base de conocimiento desarrollada en función de la experiencia obtenida de especialistas en el cultivo del arroz, los cuales dieron ideas claras acerca de los síntomas de las plagas que afectan al cultivo, además se obtuvo información del vademécum agrario, que contiene productos químicos para tratamientos de plagas en los cultivos. A partir de los síntomas obtenidos por el sistema, se realiza un diagnóstico de la plaga que afecta al cultivo, posteriormente se especifica un tratamiento efectivo para el cultivo afectado, el cual presentará los medicamentos apropiados, la forma de aplicación y ciertas recomendaciones. Con ello se pretende dar un manejo integral de las plagas en los cultivos y ayudar a los agricultores a realizar controles efectivos y así evitar pérdidas en la producción del arroz.

Para el desarrollo de Agro Assist Arroz se han utilizado un conjunto de herramientas de software entre ellas el gestor de Base de Datos MySQL, basado en el lenguaje (SQL), JQuery Mobile como framework para dispositivos táctiles compatible con smartphones y tablets. Del lado del Servidor se ha utilizado PHP como lenguaje de programación para contenido web dinámico.

El funcionamiento del sistema experto inicia cuando el agricultor selecciona los síntomas que presenta su cultivo, posteriormente el sistema experto mostrará el nombre de la plaga que se ha diagnosticado, un manejo integral para la plaga y la

dosis para aplicar a la plaga diagnosticada, un esquema de funcionamiento del sistema se puede visualizar en la Figura 2-28.

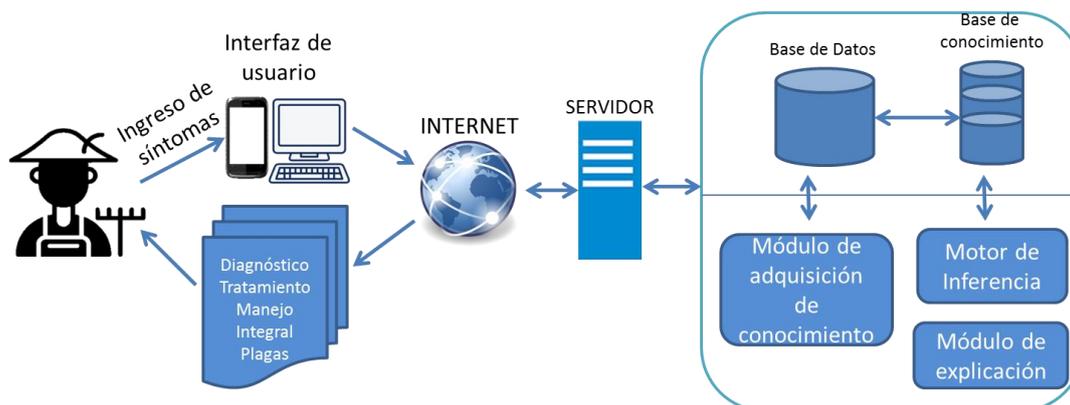


Figura 2-28 Esquema del Sistema Experto Agro Assist Arroz

Los síntomas ingresados por el usuario están relacionados básicamente con cinco plagas que afectan al cultivo del arroz como son: Gusano Rojo, Mosquilla, Sogata, Cañero y Cogollero. Para obtener los resultados deseados, los autores han desarrollado un sistema experto compuesto por dos partes; un ambiente de desarrollo para construir los componentes y con la experiencia y dominio de los expertos crear las bases de conocimiento, además un ambiente de consulta, el cual es utilizado por el usuario para obtener la información requerida. Para determinar los resultados esperados se trabajó con un motor de inferencia, el cual simula la estrategia de solución de acuerdo a los síntomas ingresados, un módulo explicativo, que define la estrategia encontrada y un módulo de adquisición del conocimiento que ofrece la estructuración e implementación del conocimiento.

Una vez que el sistema estuvo operativo se realizó pruebas con una muestra de 43 plantas de arroz, y 50 agricultores del sector, de las cuales se obtuvo un 80% de aceptación del sistema en cuanto a funcionalidad y confiabilidad para encontrar un diagnóstico eficaz para el control de plagas en el cultivo del arroz.

2.4.7 FUNGI: Sistema Experto para el diagnóstico presuntivo de enfermedades fúngicas en los cultivos

En la actualidad, la producción agrícola tiene mayor pérdidas debido a enfermedades producidas por microorganismos fitopatógenos, como bacterias, hongos o nematodos, tanto en la fase de cosecha como en la postcosecha (Fisher et al., 2012). Estos microorganismos desarrollan afectaciones en los rendimientos de los cultivos. Debido a la importancia de poseer una herramienta que permita determinar

enfermedades fúngicas en el área agrícola, los autores (Quintero-Domínguez et al., 2019) proponen el desarrollo de un sistema experto para el diagnóstico presuntivo de enfermedades fúngicas en los cultivos de la provincia de Sancti Spíritus en Cuba.

El sistema experto Fungi, se desarrolló para emitir un diagnóstico rápido y eficaz de enfermedades (hongos) que afectan a los cultivos de arroz, frijol, tabaco, plátano, ajo, cebolla, maíz, café y cacao. Las etapas seguidas para el desarrollo del sistema fueron: Identificación del problema a resolver; Establecimiento de los conceptos para representación de conocimiento, elementos de dominio, conceptos, propiedades y las relaciones entre ellos; Formalización de las estructuras de organización del conocimiento; Implementación de las reglas que engloban el conocimiento de los expertos y las pruebas y validación del sistema.

La estructura de Fungi fue diseñada en tres capas: la base de conocimiento, el motor de inferencia y la interfaz de usuario. A su vez la base de conocimiento está dividida por cada tipo de cultivo y éste a su vez por un bloque de preguntas, diagnósticos y tratamientos. Ver Figura 2-29.

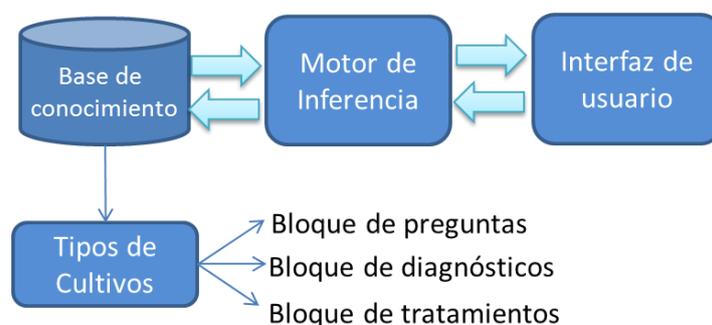


Figura 2-29 Esquema de Fungi

El bloque de preguntas contiene reglas donde se define la pregunta que se solicita al usuario. El bloque de diagnóstico determina el hongo que afecta al cultivo presentando su nombre científico. Y el bloque de tratamientos recomienda medidas agrotécnicas, químicas y biológicas según la enfermedad encontrada.

Para el desarrollo de Fungi se utilizó SWI-Prolog y en las interfaces se utilizó Java, estas herramientas permitieron poder utilizarse en diferentes sistemas operativos.

El usuario de Fungi debe seleccionar el tipo de cultivo afectado (arroz, frijol, tabaco, plátano, ajo, cebolla, maíz, café y cacao), posteriormente responderá un

conjunto de preguntas a partir del cual el sistema emitirá un diagnóstico del hongo que posee el cultivo, luego se emite una lista de medidas agrotécnicas, biológicas y químicas para tratar la enfermedad que afecta al cultivo.

Una vez implementado el sistema se aplicaron pruebas de caja negra, así también 30 casos reales de la Dirección Provincial de Protección Fitosanitaria con el criterio de especialistas microbiológicos e informáticos, logrando una tasa del 93.3% de aciertos. Los diagnósticos obtenidos permitieron validar el conocimiento y las pruebas permitieron comprobar un buen funcionamiento del sistema.

2.4.8 Crop-9-DSS: Sistema de Soporte a la Decisión para cultivos identificados

Crop-9-DSS (Ganesan, 2007) es un sistema de ayuda a la toma de decisiones en el manejo integral de cultivos (coco, arroz, anacardo, pimiento, plátano, cuatro verduras como amaranto, bhindi, brinjal y cucurbitáceas) que cubre desde el manejo de agua, fertilizantes, sistemas de protección de cultivos e implementos. Una versión de muestra se encuentra en Kerala Agricultural University en la India.

El sistema básicamente consiste en una base de conocimiento; un motor de inferencia que conduce el proceso de razonamiento; una base de datos; un módulo de explicación que explica la conclusión y el proceso de razonamiento en sí; y un editor de base de conocimiento, la cual contiene reglas de inferencia para el proceso de razonamiento.

Para el desarrollo del sistema en primer lugar se realizó la organización de la información obtenida de expertos entomólogos, patólogos, horticultores, agrónomos, consiguiendo fuentes como datos, fotos videos, requisitos de fertilizantes, manejo del agua, implementos agrícolas. En segundo lugar la creación del diagrama de flujo de datos (Ver Figura 2-30). Y finalmente la entrada de datos en el Shell y compilación de la base de conocimiento. La herramienta usada en la interfaz de usuario fue Macromedia flash MX professional 2004 6.0. XML como script de marcado.

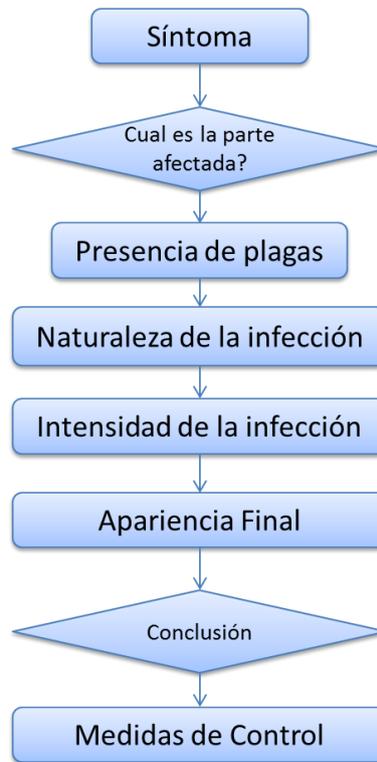


Figura 2-30 Diagrama de flujo Crop-9-DSS

El funcionamiento del software comienza cuando el usuario escoge el cultivo deseado, en base al cultivo responde una serie de preguntas, luego aparece una lista de afecciones para el cultivo, en la cual deberá seleccionar la adecuada. El sistema generará una lista de síntomas, así como también videos, fotos, gráficos de ayuda al usuario. El usuario además deberá ingresar el tipo de tierra, tipo de plantación y manejo de nutrientes, y el sistema le presentará un conjunto de recomendaciones de cálculo de fertilizantes y agua para los cultivos, así también selección de implementos agrícolas, maquinarias y solución a problemas de máquinas agrícolas.

Crop-9-DSS se creó como una herramienta de apoyo a la decisión para agricultores y profesionales del campo de la agricultura con el fin de que pueda sugerir recomendaciones para el control de sus cultivos.

2.4.9 Sistema para el control de plagas y enfermedades en cultivos de frutilla, utilizando dispositivos móviles para la recolección de datos, y generando un plano de control de cultivo dinámico

El sistema ha sido desarrollado para un productor de frutilla ubicado en Ecuador, provincia de Pichincha, Quito en el Sector Tababela, actualmente los datos son recolectados por el Ing. Agrónomo de forma manual, lo que ocasiona pérdida de

información, no permite llevar un control adecuado de la información obtenida y no es posible obtener reportes eficientes. Por lo expuesto el autor (Baquero Sandoval, 2013) presenta un sistema para el control de plagas y enfermedades en cultivos de frutilla, utilizando dispositivos móviles para la recolección de datos, y generando un plano de control de cultivo dinámico, el cual identifica la enfermedad o plaga que afecta al cultivo y genera mecanismos de tratamiento y control con uso adecuado de dosis de productos.

Las herramientas de software utilizadas son sistema operativo Windows7, MySQL, Servidor Web Apache y lenguaje PHP, AJAX, CSS, JavaScript a fin de que se pueda cumplir con los requerimientos y expectativas del usuario. La metodología utilizada es el modelo de procesos MSF (Microsoft Solution Framework) el cual es adaptable, escalable, flexible y agnóstico.

El sistema propuesto permite recolectar datos por medio de un dispositivo móvil, mediante el cual el usuario selecciona el problema ya sea plaga o enfermedad, esta información mediante procesos informáticos pasa a una base de datos para construir una aplicación que genere un plano de cultivo dinámico, con los que sea posible la generación de reportes eficientes, así como productos utilizados para el control de las enfermedades de los cultivos y que el usuario pueda tener información base para la toma decisiones. La arquitectura general del sistema se muestra en la Figura 2-31.

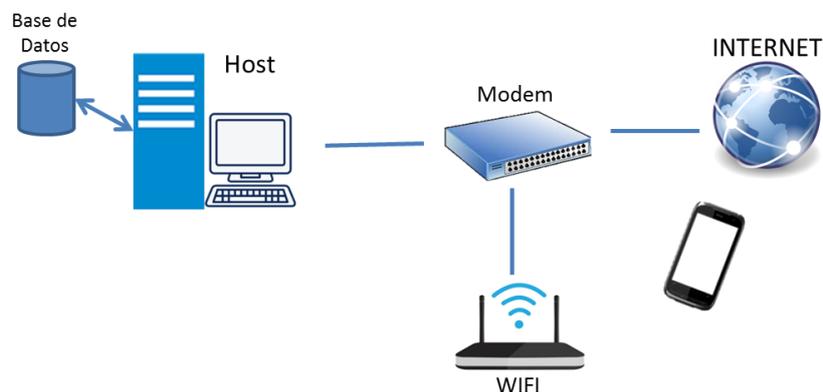


Figura 2-31 Arquitectura del Sistema propuesto

Una vez implementado el sistema, se tomó como muestra un conjunto de usuarios quienes con su clave y usuario ingresaron al sistema y se realizaron las pruebas funcionales de usabilidad y de operatividad, además se realizaron pruebas de caja blanca y de caja negra, y el sistema obtuvo una buena aceptación.

2.4.10 SAIFA. Una aplicación Web para la gestión de la producción integrada del cultivo del olivo

El olivo es uno de los cultivos de gran importancia en Andalucía, los agricultores cada vez buscan nuevas técnicas que permitan el uso eficiente de los recursos. Las plagas son enfermedades de cultivos que deben ser controladas de manera eficiente a fin de evitar pérdidas en las plantaciones. Los autores (Túnez et al., 2016) presentan el sistema web SAIFA (Sistema de Alerta e Información Fitosanitaria Andaluz) para la monitorización de la producción integrada del olivo en Andalucía, así también sirve de apoyo a los técnicos agrícolas en el cumplimiento de estándares de calidad en producción integrada la cual defines principios y reglas para conseguir una producción de calidad usando eficientemente los elementos productivos considerando criterios de sostenibilidad y respeto al medio ambiente.

SAIFA es una aplicación basada en la web y que ayuda a la toma de decisiones en la gestión y control de la producción integrada para el cultivo del olivo. Por un lado, apoya a las tareas de los técnicos de campo con los procesos de validación de datos y soporte a la toma de decisiones en cuanto a los tratamientos del cultivo. Por otro lado, da facilidades a los coordinadores para dar visión global del cultivo de olivo y generar reportes para mejorar la producción y control de plagas.

La arquitectura de SAIFA responde básicamente a tres capas: El nivel de interfaz, para el intercambio de información entre técnicos y coordinadores; el nivel de gestión basado en las funcionalidades para los diferentes tipos de usuarios; y el nivel de servicios el cual utiliza recursos como el servicio de gestión de base de datos, el servicio de gestión del conocimiento, el servicio GIS, el servicio de generación de informes, el servicio de comunicación y el servicio de configuración. Y por último el nivel de datos. Un esquema de la arquitectura se muestra en la Figura 2-32

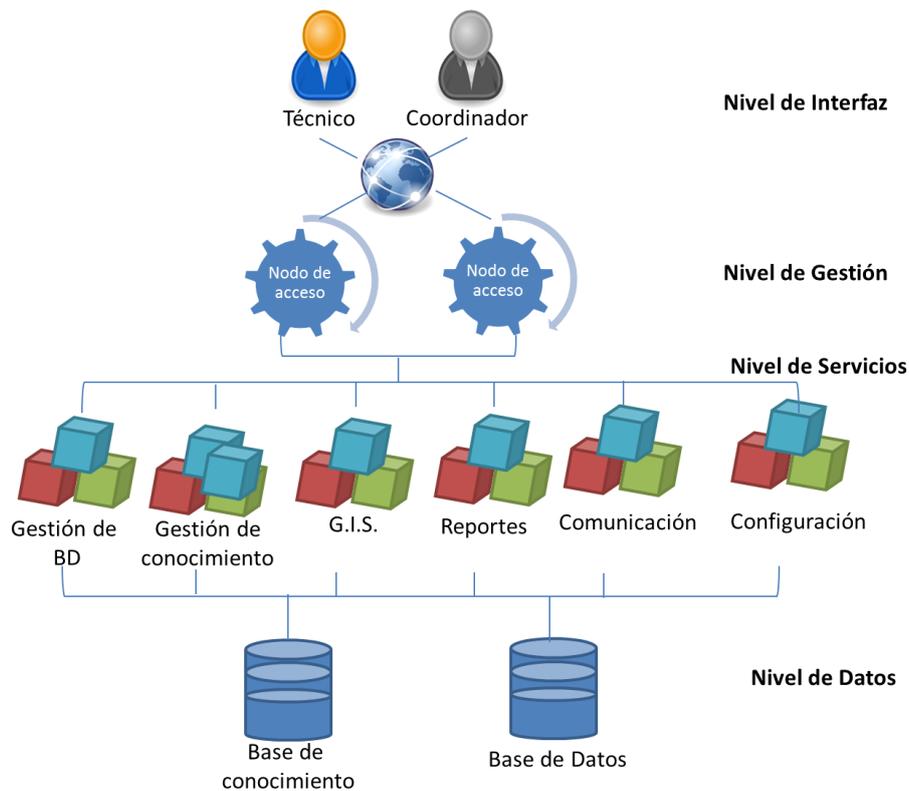


Figura 2-32 Arquitectura de SAIFA

Para el desarrollo de SAIFA se ha utilizado como lenguaje de programación la tecnología Java, Oracle como base de datos, JSF (JavaServer Faces) y Apache Tomcat Server. Para las interfaces se utilizó AJAX con el fin de mejorar la interacción con usuarios.

SAIFA mantiene 2 roles a saber, el de técnico y el de coordinador. Los técnicos visitan las parcelas para inspeccionar ciertas actividades como riego, poda, laboreo y recolección, a partir de las cuales obtienen información que será ingresada en el sistema. Los técnicos podrán obtener del sistema la ubicación geográfica, recintos, previsión climática para los siguientes 7 días. El sistema además ofrece información detallada de la parcela, así es posible determinar el nivel de infestación de la parcela y analizar la evolución de la enfermedad en un periodo de tiempo. Muestra también los tratamientos realizados y prescribe tratamientos para las plagas. Es posible también acceder a información externa de la biología de los patógenos, accede al vademécum interno de sustancias activas para ser utilizadas en los tratamientos, para lo cual SAIFA ha implementado la construcción de redes bayesianas para utilizar el proceso de inferencia y obtener la predicción.

Los coordinadores por su parte se encargan de monitorizar y controlar los cultivos y comprobar que las políticas están siendo implementadas por los técnicos y de esta manera tomar decisiones de mejora o prevención. Así también el sistema posee tareas de configuración, de explotación y de envíos de alertas a fin de controlar eficientemente los cultivos.

Para la fase de evaluación de sistema, se utilizó un proceso de análisis y cuestionarios con 34 preguntas a un grupo de técnicos y coordinadores, en un entorno real de los municipios de Tabernas, Taha y Uleila del Campo De Almería en Andalucía, se trabajó con 7 días de prueba. Los resultados obtenidos han sido positivos en un 73%. Por otro lado, el 76% opina que en una aplicación intuitiva y el 71% de acuerdo con las funcionalidades de calendarios de muestreos. Finalmente, los autores en función de los resultados realizaron mejoras al mismo.

Tabla 2-2 Comparación de Sistemas de apoyo a la decisión en el área agrícola

Sistemas de Apoyo a la Decisión	Evaluación del Sistema	Parámetros Entrada	Parámetros Salida	Lenguajes utilizados	Idioma	Dominio
EXPLAIN (Greer et al., 1994)	Materia orgánica del suelo Textura Profundidad de capa superior Clima	Resultado de un modelo de simulación cuantitativa Cambios de rendimiento de suelos	Recomendaciones en el área agrícola	Clip 5.1	Inglés	
MAFIC-DSS (Antonopoulou et al., 2010)	7 agricultores 10 Agrónomos 15 Estudiantes 5 Investigadores	Datos del agricultor, tipo de cultivos, ingresos años anteriores	Decisión de cultivos alternativos ofreciendo un asesoramiento adecuado Información de mercados Costos de cultivos	JAVA – PHP PostgreSQL XML Play SMS (móvil)	Griego	Cultivos de maíz, soja, sorgo, colza y cardo
Weed-Manager (Parsons et al., 2009)	100 agricultores y consultores	Datos de las plantas Datos de la finca Clima	Herbicidas, dosis máximas, aplicación, dosis.	Microsoft Access Microsoft Visual C++ 6.0	Español	Control de malezas en el Cultivo de trigo
SSD Manzano (Mondino & González-Andújar, 2006)	N/A	Imágenes de los síntomas de enfermedades, insectos plaga y malas hierbas.	La enfermedad, plaga que interfiere con el cultivo y recomendaciones de control			Cultivo del manzano
GreenDSS (Cobos et al., 2008)	3552 registros de prueba	Registro de: Actividades de campo Fuentes semilleras, Número de semillas	Recomienda posibles condiciones ambientales ideales para semillas. Cataloga proceso de	Herramientas OLTP OLAP Minería de datos	Español	Germinación y cultivos de invernaderos

		Árboles productores Posición de siembra Mediciones de los semilleros	germinación Identificación de fuente semillera			
SEFI (Bula et al., 2013)	Ingenieros Agrónomos Estudiantes de VIII a X semestre	Para plagas y enfermedades: Características que presenta el cultivo en tallos, hojas, frutos, follaje (mediante un formulario de 31 preguntas) Estación climática	Diagnóstico de la plaga Tratamiento para la plaga Diagnóstico de la enfermedad Tratamiento de la enfermedad	Swi-prolog Java PostgreSQL XML	Español	Cultivo de berenjena
AGRO ASSIST ARROZ (Barrantes Angulo & Vigo Portilla, 2015)	50 agricultores del Valle de Jequetepeque	Selección de síntomas uno por uno	Diagnóstico y control integral de la plaga. Plan de tratamiento con recursos, métodos de aplicación y consejos adicionales	JQuery Mobile con Php HTML MySQL	Español	Control integral de plagas en el arroz
FUNGI (Quintero-Domínguez et al., 2019)	Pruebas de caja negra al sistema 30 Pruebas de casos reales con especialistas de la Dirección Provincial de Protección Fitosanitaria	Selección del cultivo Responder una serie de preguntas	Diagnóstico Lista de medidas agro técnicas, biológicas y químicas para ser aplicadas como tratamiento	SWI-Prolog Java	Español	Control de hongos que afectan a los cultivos de arroz, frijol, tabaco, plátano, ajo, cebolla, maíz, café y cacao.
CROP-9-DSS (Ganesan, 2007)	N/A	Conjunto de preguntas de los cultivos Selecciona el síntoma del	Identificación de plagas y enfermedades con medidas de control, sistema de	Macromedia Flash MX XML	Inglés	Control de cultivos de Kerala (India), a saber, coco, arroz, anacardo,

		cultivo Tipo de tierra Tipo de plantación Región-Variedad	recomendación de fertilizantes, sistema de gestión del agua e identificación de implementos agrícolas			pimiento, plátano, cuatro verduras como amaranto, bhindi, brinjal y cucurbitáceas
Sistema para el control de plagas y enfermedades en cultivos de frutilla (Baquero Sandoval, 2013)	Conjunto de usuarios Se realizaron las pruebas funcionales de usabilidad y de operatividad, además se realizaron pruebas de caja blanca y de caja negra	Síntomas de cultivos Tipos de problemas	Parcela de cultivos infectadas Reportes productos para combatir enfermedades o plagas	SO Windows 7 MySQL Servidor Web Apache PHP AJAX, CSS, JavaScript	Español	Control de cultivos de frutilla
SAIFA (Túnez et al., 2016)	Grupos de técnicos y coordinadores 7 días de prueba Cuestionarios de 34 preguntas	Datos de riego, poda, laboreo y recolección Parcelas Superficies Plagas	Tratamiento de plagas Prescripción de medicamentos Previsión climática Acceso a vademécum Ubicación geográfica Recintos	Java Oracle JSF Apache Tomcat AJAX	Español	Control de cultivos de olivo

Los sistemas de soporte a la decisión analizados en este apartado (ver Tabla 2-2) permiten en su mayoría el control de plagas y enfermedades en los cultivos de diferente origen, dependiendo de los cultivos, ellos poseen un conjunto de plagas que los afectan y para cada uno existen tratamientos específicos que contienen tiempos y dosis de aplicación de los productos químicos que permiten tratar las enfermedades.

Cada uno de los sistemas y aplicaciones presentados están orientados a cultivos específicos especialmente aquellos de mayor rendimiento del lugar donde se encuentran. Muchos de los sistemas proveen un conjunto de recomendaciones en función de las enfermedades de las plantas ya sea para diagnóstico o prevención.

Los autores de los sistemas presentados han utilizado diferentes herramientas de desarrollo y metodologías para el desarrollo de sus herramientas. Específicamente en Ecuador aún no se ha desarrollado un sistema que permita el control de plagas y enfermedades de los principales cultivos del país, considerando que es un país productivo y siendo el sector agrícola el principal eje que alimenta la economía del país.

2.5 Aplicaciones móviles en la agricultura

La interrelación de las TIC's y el sector agrícola jugará un papel predominante en la administración de los recursos agrícolas en las décadas posteriores (Salazar et al., 2016) considerando que la demanda alimenticia para el 2050 será de 900 mil millones hará falta aumentar la producción alimentaria en 60% para satisfacer las necesidades de alimentación de esta población (Zeigler et al., 2016), la eficiencia en los cultivos, es decir, producir más con menos es un reto que se espera conseguir; es así que el desarrollo de aplicaciones informáticas pretenden guiar al pequeño, mediano, gran agricultor y/o estudiantes de agronomía en el tratamiento de enfermedades de las plantas y plagas, agricultura de precisión, calidad de la producción, entre otras.

Las SFS (medidas sanitarias y fitosanitarias) establecen "estándares para proteger la salud de animales y plantas y la seguridad alimentaria"(Melgar-Quiñonez et al., 2005). Éstas son esenciales para minimizar las pérdidas de cosecha causadas por plagas, lo cual sigue siendo un gran reto para la productividad de las explotaciones agropecuarias en toda ALC (América Latina y el caribe) (David et al., 2000). Las TIC (Tecnologías de la Información y la Comunicación) juegan un papel importante en el

desarrollo y crecimiento del sector agropecuario al ofrecer una amplia variedad de soluciones que pueden ayudar a mejorar la productividad y sostenibilidad de los pequeños productores, con un mejor acceso a “servicios financieros, los datos agropecuarios, el pronóstico meteorológico y un mayor acceso a información relacionada con el mercado” (Ali & Kumar, 2011).

Sin embargo, las limitaciones en la infraestructura, la educación o la inversión en los servicios complementarios en toda la región limitarán la medida en la que los productores podrán formar parte de estas redes y cadenas de valor (López et al., 2017). Los dispositivos inteligentes como Smartphones y el desarrollo de aplicaciones móviles han llegado a formar parte de la vida diaria de las personas, se cree que el comportamiento de esta tecnología ha progresado desde contar con aplicaciones básicas hasta disponer de aplicaciones desarrolladas con funciones avanzadas multiplataforma (Meyer & Shaheen, 2017). El uso de este tipo de dispositivos móviles con conexión a internet se ha incrementado significativamente, tal es así que se estima que para el año 2020 dos mil millones de personas tendrán y harán uso de uno de estos (Dehnen-Schmutz et al., 2016). Han existido estudios relacionados con el uso de las aplicaciones móviles en muchos ámbitos, siendo una de ellas el área de la medicina de mucha importancia, ya que se la utiliza para el control de enfermedades (Medina-Moreira et al., 2016). Así también uso de esta tecnología ha incursionado en el manejo y administración de cultivos agrícolas, integrando la cadena de suministro agrícola con la información de mercado, aumento en el acceso a los servicios de extensión y facilitar enlaces de mercado (Qiang et al., 2012).

Una mayor participación de los especialistas en TI en la investigación agrícola podría mejorar el desarrollo de tecnologías adecuadas a las personas que se dedican a esta actividad. Los cultivos mejorados, con mayores rendimientos y mejor adaptados a las plagas y enfermedades, también pueden ahorrar trabajo. Las variedades que se cosechan en temporadas de poca demanda de mano de obra pueden contribuir a superar el problema de la insuficiencia de la mano de obra. Las técnicas de gestión integrada de plagas pueden hacer disminuir la necesidad de mano de obra y los costos de la aplicación de plaguicidas, reducir la exposición de los agricultores a productos químicos peligrosos y aumentar los rendimientos. En los países de América Latina y el Caribe la importancia que tiene la agricultura en el PIB se ha evidenciado el uso de estas aplicaciones es en el sector Agropecuario. En la región de ALC, solo se invierte US\$1,10 en la investigación por cada \$100 generados por los productos del sector

agrícola, pese a que históricamente esta investigación ha producido un enorme retorno sobre esas inversiones a mediano y largo plazo. En las economías más desarrolladas, estas inversiones suelen ser tres veces mayores que lo que se invierte en la región de ALC (Alston, 2000).

Los Gobiernos invierten en la agricultura en términos del porcentaje del PIB agrícola y de la cantidad invertida por cada país. La proporción de las inversiones del tesoro público por categoría en cada país, representada por las gráficas circulares respectiva es constante en cada caso (Engstrom & West, 2014).

El uso de aplicaciones agrícolas no solo es una realidad en países desarrollados en el que según estudios se ha conseguido involucrar la sociedad que labora en el medio junto con la tecnología, sino también se permite generar evidencias de las técnicas utilizadas, el estudio de suelos y plagas que permiten a la comunidad agrícola a comprender las tendencias y medidas a tomar a medida que surjan y se conviertan en una retroalimentación que permita buscar el desarrollo tanto a nivel científico como político(Dehnen-Schmutz et al., 2016).

La utilización de aplicaciones móviles en este sector puede llegar a ser de tanta relevancia que de acuerdo a resultados de investigaciones del uso de estas aplicaciones aporta como una herramienta capaz de promocionar desde educación básica y lectura hasta el monitoreo y reducción de deforestación y degradación de bosques. Finalmente según el Banco Mundial las aplicaciones móviles son una estrategia para el desarrollo rural participativo y la información generada de las mismas puede llegar a aportar la toma de decisiones en momentos de crisis de este sector productivo(Pongnumkul et al., 2015).

Estas tecnologías pueden ofrecer una solución óptima e integral en este sector debido a que considerando ciertas características y funcionalidades las aplicaciones móviles pasan a ser un aporte en el proceso agropecuario. En los siguientes párrafos se pretende efectuar una comparación de las bondades que puedan ofrecer las aplicaciones móviles en el desarrollo de la actividad diaria debido a que como todo proceso es preciso la adopción del mejoramiento de nuevas y mejores tecnologías que involucre la modernización de la producción agrícola.

Por lo expuesto a continuación se presenta la evaluación y comparación de las aplicaciones alojadas tanto en Play Store como en App Store, considerando recopilar

las principales características requeridas por los agricultores en el momento de elegir una de estas aplicaciones, entre las características más destacadas se pueden listar: plagas, insectos, aspectos meteorológicos, maquinaria, horas de trabajo, geolocalización, fechas de inicio de actividad en el campo, asignación de tareas y superficies destinadas al cultivo, entre otras.

2.5.1 Clasificación de las aplicaciones

Los procesos inmersos en la agricultura cada vez demandan una mayor automatización, mediante las TIC se intenta controlar y hacer seguimiento a los cultivos, (Auernhammer, 2001) así hoy en día existe el termino de Agricultura de precisión, que es un término agronómico que define la gestión de parcelas agrícolas sobre la base de la observación, la medida y la actuación frente a la variabilidad inter e intra-cultivo. El control y manejo automatizado de los cultivos también se ha vuelto prioritario. En la actualidad existen un conjunto de aplicaciones móviles creadas para automatizar estos procesos en el ámbito agrícola. Según el estudio realizado en el presente trabajo se ha intentado clasificar un conjunto de aplicaciones escogidas dentro de las más preferidas por los usuarios y que están disponibles para sistemas operativos IOS y Android, con el objetivo de dividir las según sus usos y finalidades:

2.5.1.1 Agricultura de Precisión

A esta categoría pertenecen las aplicaciones que permiten trabajar la agricultura de precisión (Ramos-Gourcy, 2017), es decir, la aplicación de tecnologías y principios para hacer levantamientos topográficos, manejar la variabilidad espacial y temporal asociada con todos los aspectos de la producción agrícola con el propósito de mejorar el rendimiento de los cultivos y la calidad ambiental. (Pierce & Nowak, 1999), llevar registros de actividades insumos empleados, rendimientos obtenidos, calibrar equipos, hacer cálculos entre otros. Agripresión es una de las aplicaciones que pertenecen a esta clasificación, la cual hace las funciones de un GPS portátil, mostrando a los usuarios punto a punto, para las muestras que se recogen en el campo. Se la utiliza para calcular el área de glebe, la generación de la red de muestreo y la exportación de puntos de rejilla de muestreo y frontera para generar mapas muestreados y recomendados.

2.5.1.2 Aplicaciones de seguimiento y control de cultivos

Muchas de las aplicaciones diseñadas para la agricultura se enfocan en el control y la gestión de los cultivos agrícolas, y aun cuando los requerimientos del agro son muy amplios, las aplicaciones tratan de abarcar estos aspectos, aun a pesar de que en varias ocasiones son limitantes. Los agricultores buscan controlar sus cultivos desde la fase de la siembra, tener la posibilidad de generar mapas electrónicos, tener un historial de sus cultivos en los campos y tener la posibilidad de tomar notas de ellos. Una de las aplicaciones encontradas con este fin es Agroptima, la cual permite realizar diversas funciones para el control de cultivos, entre ellas anotar las labores agrícolas, cumplir con el cuaderno de campo y aumentar la rentabilidad con el control de costos (Agroptima, 2012). Así también existen otras apps que realizan estas funciones como Agrivi y Cultivapp.

2.5.1.2.1 Aplicaciones Informativas - Bases de datos de referencia

Hoy en día existe un gran número de páginas, empresas, negocios entre otros que comercializan productos para el agro desde abonos hasta productos para el cuidado y fumigación de los cultivos, por esa razón en esta categoría se han incluido las aplicaciones que permiten presentar información sobre estos productos, herbicidas, pesticidas, fungicidas, abonos basados en lo que se conoce como vademécums. PlantCarePro y Soy de campo son aplicaciones que pertenecen a esta categoría y que fueron diseñadas con la finalidad de ofrecer información de primera mano a los agricultores.

2.5.1.2.2 Aplicaciones de Redes Sociales

En el área de la Agricultura son varios los especialistas que en ella están inmersos, como los agrónomos, fitopatólogos, entomólogos, ambientales, especialistas, proveedores entre otros. Por esta razón y debido que es muy frecuente consultar con profesionales sobre temas determinados, se han creado aplicaciones que pretenden ofrecer una base de datos de contactos de profesionales y agricultores inmersos en el agro, AgroContactos es una aplicación que permite mantener la información actualizada de personas especializadas en el agro como agricultores comerciantes, especialistas, proveedores, entre otros, afin de que personas interesadas se contacten con especialistas y conseguir la información deseada que ayude a la decisión en el cuidado de sus cultivos.

2.5.1.2.3 Aplicaciones para el control de plagas y nutrientes

Las plagas agrícolas en los cultivos son normalmente el desencadenante de un gran número de daños en las plantaciones, así como también producen pérdidas altas de ingresos. Dentro de esta categoría se engloba a las aplicaciones que se dedican al control de las plagas que afectan a los cultivos, recomendando a los usuarios los nutrientes a utilizar y cantidades óptimas de productos que deben considerar, a fin de que los agricultores se instruyan en el buen manejo de sus cultivos desde la siembra, cosecha y post cosecha, incluyendo el control de nutrientes y de herbicidas para contrarrestar la proliferación de las plagas, y de esta forma el uso de plaguicidas sea el adecuado dependiendo del problema encontrado. AgriApp y AgroIn, son aplicaciones móviles creadas y diseñadas con este fin, mediante las cuales el usuario debe ingresar las enfermedades presentadas y la aplicación recomienda las cantidades de productos a aplicar.

2.5.2 Análisis de las Aplicaciones

En la actualidad, el uso de aplicaciones móviles es cada vez más prioritario, en el campo agrícola, más agricultores, agrónomos y proveedores usan dispositivos móviles para mantener comunicación y además conocer información referente a su área de trabajo. Para poder analizar las aplicaciones existentes en el mercado enfocadas a la agricultura se ha realizado la búsqueda en las tiendas oficiales para Android e IOS disponibles para los usuarios en general. Con la finalidad de que las búsquedas sean lo más cercanas posible a lo que se intenta encontrar se las han realizado en función de los términos usados en el campo de la agronomía como son: agricultura, agro, cultivos y plagas. Para reforzar el estudio y análisis de las aplicaciones presentadas se realizó una búsqueda de estudios similares obtenidos en otros lugares (Pongnumkul et al., 2015), realizó una revisión sistemática de aplicaciones de teléfonos inteligentes que utilizan sensores integrados para proporcionar soluciones agrícolas, encontrando de 22 artículos analizados, 12 agrícolas, 3 de sistemas de información y 4 de servicios de extensión, de los cuales encontró que las cámaras y el GPS son los sensores más populares que han sido utilizados ya que no hay la necesidad de adquirir nuevos dispositivos ya que los smartphones en su mayoría los poseen. Por otro lado (Dehnen-Schmutz et al., 2016) se realizó una encuesta a 57 agricultores británicos y franceses acerca del uso de tecnologías de teléfonos inteligentes, uso de las aplicaciones para el control de sus cultivos y predisposición de los agricultores para participar en proyectos de ciencias ciudadanas agrícolas. Del estudio se obtuvo que el 89% de los encuestados tenían un teléfono inteligente, el

84% utilizaba su teléfono para administrar sus cultivos y el 72% lo usa a diario. Estos estudios dan como resultado la importancia de trabajar con tecnología móvil en un entorno en el cual se da prioridad a su facilidad de descarga y practicidad de uso enfocado a sus beneficios.

Por lo detallado anteriormente en el presente análisis se han realizado búsquedas exhaustivas de las aplicaciones orientadas a la agricultura en las tiendas de AppStore y PlayStore basada en los sistemas IOS e Android respectivamente. De la búsqueda de las apps basadas en IOS, se obtuvo 86 aplicaciones en función de los términos ingresados. De las 86 aplicaciones 2 no fueron consideradas en el estudio ya que eran orientadas a huertos caseros y no cumplían con las funciones generales que se desean analizar y de los comentarios no satisfactorios de los usuarios que realizaron descargas de estas aplicaciones. Posteriormente se realizó la búsqueda de las apps basadas en Android, para estas búsquedas se usaron las mismas palabras clave y se obtuvo 104 aplicaciones, de las cuales 6 aplicaciones no cumplían con los requerimientos necesarios. En total se analizaron 190 aplicaciones orientadas a la agricultura desde App Store y Play Store, para considerarlas se analizó desde el monitoreo del cultivo, el control de plagas, cuadernos de campo, medición de tierras, uso de fitosanitarios, cantidad de pesticidas a usar y aplicaciones que proporcionan datos meteorológicos, además de revistas e información acerca de la agroindustria; información de plagas; fitosanitarios; cuidado de cultivos; productividad de cultivos, entre otros.

Luego del análisis y las búsquedas realizadas se obtuvieron los siguientes hallazgos; existe una gran cantidad de aplicaciones que realizan tareas relacionadas con la agricultura. Se ha considerado la búsqueda en función de la efectividad de las aplicaciones, así también como su usabilidad y la popularidad entre los usuarios. Como resultado del proceso de búsqueda y análisis, se ha encontrado que, en la tienda oficial de App Store, las aplicaciones basadas en IOS eran gratuitas de tal forma que los usuarios podían descargarlas y usarlas libremente. Y en la tienda oficial de Play Store las apps para Android se encontraron 2 aplicaciones pagadas, sus precios oscilaban entre \$ 2,07 y \$ 4,67 dólares. Como parte de este estudio se analizaron en total 190 aplicaciones, de las cuales 188 eran libres, lo que suponía una fuerte razón para que exista la posibilidad de que los usuarios puedan descargarlas para su uso. Además, se evaluó la calificación obtenida en ambas tiendas. En Play Store, se encontró que 86 apps para Android cumplían con la calificación de 4.0 a 5.0 estrellas. Mientras que en

las tiendas de App Store 84 apps para IOS cumplían con una evaluación de 4+ y 17+. Las dos tiendas manejan diferentes formas de calificación de sus aplicaciones. Finalmente se consideraron 20 aplicaciones móviles (10 de IOS) y (10 de Android), las cuales fueron escogidas por su efectividad, funcionalidad y popularidad entre los usuarios. (Ver Figura 2-33)

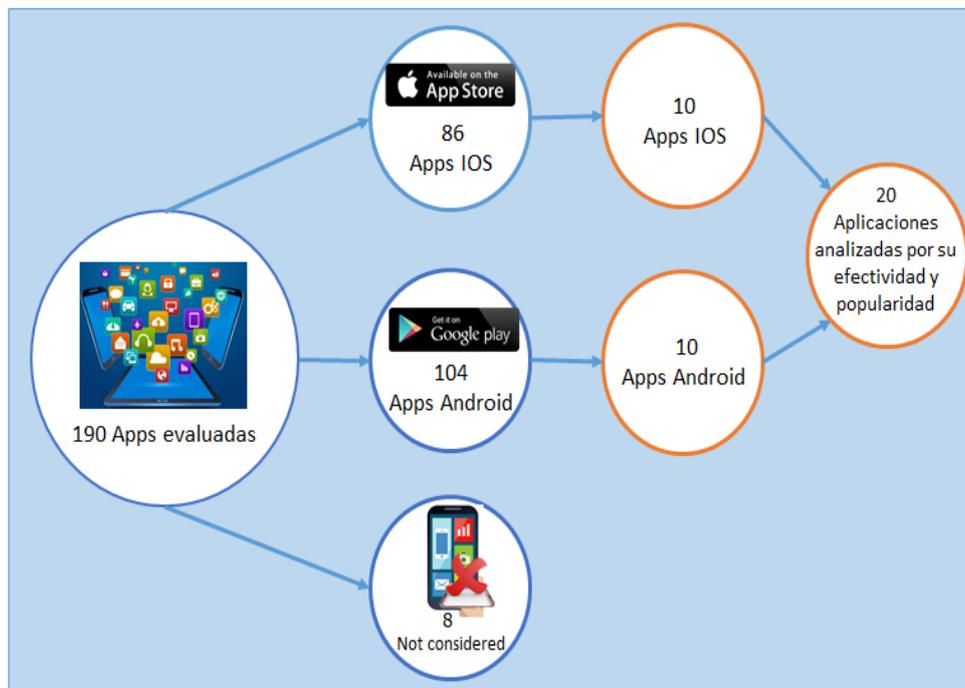


Figura 2-33 Aplicaciones móviles analizadas

Dentro el estudio realizado basado en el análisis de la funcionalidad de las aplicaciones, se han considerado características adicionales tales como: datos de entrada y los datos de salida obtenidos, número de descargas, popularidad, calificación entre los usuarios, funcionalidad y efectividad.

Una vez analizados los resultados obtenidos de las búsquedas, se han evaluado varios parámetros de las 20 aplicaciones (10 para Android y las 10 seleccionadas para IOS) entre ellos la popularidad (descargas y rating) y la accesibilidad (versiones y costos); de esta manera se puede observar en la Tabla 2-3 que las aplicaciones Android como, IZAGRO y ADAMA ALVO tienen un alto grado de aceptación y popularidad con un rating sobre 4,5 (se ha escogido aplicaciones que alcancen rating de 3.7 en adelante), debido a la cantidad de descargas que se han realizado, para los 2 casos ascienden a 10 mil descargas que es un valor considerable en comparación con las otras aplicaciones que están entre 1 mil y 50 mil descargas. En cuanto a la accesibilidad estas aplicaciones no tienen costo y pueden ser descargadas en cualquier dispositivo

móvil que posea el sistema operativo Android en las versiones 4.0 o superior, se ha considerado además las fechas de las últimas actualizaciones de las aplicaciones, considerando que se han realizado cambios e innovaciones recientes, así también se ha tomado en cuenta el tamaño en megabytes de la apps ya que dependiendo del espacio que utilicen en memoria los usuarios tendrán la facilidad de descargarla en sus dispositivos móviles y utilizarlas con más facilidad y evitar descartarla a corto tiempo. Por otro lado, las aplicaciones evaluadas para el sistema operativo IOS son gratuitas, los dispositivos móviles en las cuales se pueden instalar son aquellos que tengan el sistema operativo IOS en su versión 6 o superior. Como se muestra en la Tabla 2-4 las aplicaciones con mayor grado de aceptación según su nivel de popularidad están PlantCare Pro y Agroptima, las cuales han sido innovadas y actualizadas y tienen buenos comentarios dentro de la tienda AppStore. Al igual que las apps de Android se ha considerado el tamaño de memoria que utilizan al descargar estas aplicaciones.

Tabla 2-3 Aplicaciones móviles para Android

N°	Apps Android	Evaluación General				Tamaño	Fecha Actualización
		Popularidad		Accesibilidad			
		Descargas	Rating	Versión ¹⁸	Costo		
1	ADAMA Alvo	50 mil +	4,6	4.1	Free	65 M	03/2018
2	IZagro	10 mil +	4,5	4.0.3	Free	21 M	03/2018
3	Agroptima	50 mil +	4,4	4.0.3	Free	19 M	03/2018
4	Syngenta Soluciones	100 mil +	4,3	4.0	Free	8,4 M	09/2016
5	AgroMapp	10 mil +	4,4	4.0	Free	15 M	03/2018
6	Agrosolución	1 mil +	4,4	4.1	Free	42 M	12/2016
7	Appgro :: Monitoreo agrícola	10 mil +	3,7	2.1	Free	2,4 M	08/2015
8	Agrofarm	10 mil +	4,5	4.0	Free	6,2 M	02/2017
9	Mi cultivo con Bayer	10 mil +	4,4	4.4	Free	27 M	03/2018
10	AgriApp	100 mil +	4,2	4.0.3	Free	22 M	10/2017

¹⁸ Se requiere mínimo esta versión en el sistema operativo android

Tabla 2-4 Aplicaciones móviles para IOS

N°	Apps Android	Evaluación General				Tamaño	Fecha Actualización
		Popularidad		Accesibilidad			
		Descargas	Rating	Versión ¹⁹	Costo		
1	PlantCare Pro	N/A	4.5 +	8.1	Free	748,8 M	02/2018
2	Agroptima - cuaderno agrícola	N/A	4,5 +	8.0	Free	49,4 M	03/2018
3	AgroMapp	N/A	4 +	8.0	Free	32,5 M	02/2018
4	Agrosolución	N/A	4.5 +	8.0	Free	55,7 M	01/2017
5	AgroDash	N/A	4.3 +	8.0	Free	11 M	02/2013
6	Cuaderno de Campo	N/A	4 +	7.0	Free	10,8 M	04/2015
7	Agricolum Cuaderno de campo	N/A	4 +	8.0	Free	65,3 M	03/2018
8	Tierra Digital Adama Agricultura	N/A	4 +	9.3	Free	96,6 M	11/2017
9	PLM Agroquímicos	N/A	4 +	6.0	Free	182.1 M	01/2018
10	iAgricultor	N/A	4 +	9.0	Free	8 M	12/2015

En el momento de analizar y evaluar las aplicaciones seleccionadas se revisaron sus funcionalidades, es decir las tareas, procesos y acciones que realizan, del estudio se obtuvo que muchas de ellas solicitan parámetros de entrada a partir de los cuales se generaba información de salida. Como parámetros de entrada se tiene los datos que el agricultor ingresa manualmente como: usuario, clave, costos, geolocalización, fechas del cultivo entre otros y los datos que vienen ya incluidos en las apps, a partir de los cuales se realizan la búsqueda solicitada, ya sea de cultivos, plagas, malezas, fitosanitarios e información más reciente en el mundo agrícola, mercancías y financiamiento. En los parámetros de salida se consideró la capacidad de las apps que permite sacar información procesada en función de los datos registrados, o consultas de información ya existente relacionada con los cultivos, monitoreo de cultivos, datos meteorológicos e incluso alertas sobre el control de plagas, malezas ente otros, las cuales permiten llevar un mejor control de ellas.

Parámetros de Entrada

Los parámetros de entrada son los datos que solicitan las aplicaciones a los usuarios y a partir de los cuales se genera la información deseada. A continuación mencionaremos una lista de dichos parámetros:

¹⁹ Se requiere mínimo esta versión en el sistema operativo IOS

1. *Registrar usuario y contraseña.*- la aplicación solicita que se registre como usuario para poder acceder a la app utilizando un usuario y contraseña.
2. *Ingresar nombre del proyecto, gleba, sembrío y unidades de área del mismo.*- esta característica permite el ingreso del nombre del proyecto la gleba, es decir el área del terreno a cultivar, para en función a las dimensiones determinar información se salida concerniente a espacios de cultivos.
3. *Ingresar fecha de inicio, final de la actividad en el campo.*- esta característica solicita las fechas de inicio y final para determinar el tiempo de cosecha de los cultivos.
4. *Ingresar distancia, perímetros y superficies del cultivo.*- permite ingresar la distancia de cultivos, la medida del perímetro y la superficie del cultivo a tratar.
5. *Ingreso de productos fitosanitarios, fertilizantes, semillas.*- permite el ingreso de productos agroquímicos y fertilizantes para determinar si son los apropiados para los cultivos seleccionados.
6. *Ingreso insecto, enfermedad, maleza, plaga.*- esta característica solicita el ingreso del insecto que está afectando al cultivo para recomendar que tipo de pesticida o herbicida colocar al cultivo afectado.
7. *Ingresar número de personas para ayudar a controlar el cultivo en una parcela.*- esta característica permite ingresar el número de personas que controlan la parcela conocer su rendimiento.
8. *Ingresar datos meteorológicos; de geo localización.*- este parámetro permite el ingreso de datos meteorológicos como el clima, humedad entre otros, así también de ubicación por coordenadas de los cultivos.
9. *Ingresar valores de costo de cada cultivo por hectárea.*- permite ingresar el costo de cultivos por cada hectárea, a fin de calcular costos totales de toda el área.
10. *Acceso desde una computadora.*-permite tener acceso desde una computadora personal y desde el dispositivo móvil.

Parámetros de Salida

Los parámetros de salida comprenden la información obtenida o resultados de las aplicaciones una vez que el usuario haya ingresado los parámetros de entrada.

1. *Brinda información, uso, aplicación y dosis del producto a utilizar en la plaga.*- esta característica presenta información sobre el uso y dosis de pesticidas y

funguicidas y las dosis apropiadas según el cultivo y la enfermedad que se haya ingresado.

2. *Ofrece muestreo y rendimiento en gráficos de la producción agrícola.*- muestra mediante gráficos el rendimiento de la producción agrícola.
3. *Brinda información más reciente en el mundo agrícola, mercancías y financiamiento.*- muestra información actualizada de productos agrícolas, sus costos y formas de financiamiento.
4. *Ofrece alertas, control, planificación y seguimiento de todas las actividades agrícolas y de los insumos.*- en función de los datos de entrada, esta característica permite generar alertas para el seguimiento y control de los cultivos, incluyendo un recordatorio para la aplicación de insumos a los cultivos.
5. *Ofrece alerta de la detección de una plaga.*- permite generar alertas al detectar plagas en los cultivos.
6. *Mantiene registro de productos fitosanitarios, estudios de campo, hace las veces de cuaderno.*- permite mostrar los productos fitosanitarios utilizados en los cultivos, sirve también como cuaderno de campo ya que permite registrar las tareas de la labor agrícola.
7. *Ofrece y agrega datos de control, registro y monitoreo del cultivo.*- presenta datos de control del cultivo en cuanto al monitoreo del mismo.
8. *Generación de cuadrícula de muestreo y cálculo del área de gleba.*- a partir de datos de geolocalización permite generar una cuadrícula de muestreo y realiza los cálculos pertinentes para conseguir el área de gleba.
9. *Ofrece controladores para el clima en invernadero.* - en lugares donde existen invernaderos, esta opción ofrece controladores para el clima del día.
10. *Brinda información sobre posibles deficiencias en los cultivos.*- es una característica informativa que presenta un conjunto de deficiencias que podrían tener los cultivos.

En la Tabla 2-5 y en la Tabla 2-6 se muestra el análisis de las características con los parámetros de entrada y salida para las aplicaciones Android. Como se puede notar unas aplicaciones son más completas que otras dependiendo de las características que manejan. Para el caso del grupo de apps evaluadas de Android, se encontró que la aplicación Appgro: Monitoreo agrícola cumple con la mayor cantidad de características, Agri App tiene la mayor cantidad de descargas, las funcionalidades

que realiza son completas lleva el control de un cultivo desde los tipos de cultivos hasta los manejos de materia prima y lleva el control de alertas, planificación y seguimiento de todas las actividades agrícolas. Las apps ADAMA Alvo y IZagro tienen el mayor rating de los usuarios. Por otro lado, Mi cultivo con Bayer y Syngenta Soluciones, en cambio son aplicaciones que solo se limitan a la presentación de información sin ningún tipo de recomendación acerca de nutrientes ni de cultivos, lo que las hace poco eficientes en relación a las demás.

Tabla 2-5 Parámetros de Entrada Apps Android

N.-	Aplicaciones Móviles S.O. Android	Parámetros de entrada									
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
1	ADAMA Alvo					x	X		x		
2	IZagro	x				x	X				
3	Agroptima	x	x		x	x				x	X
4	Syngenta Soluciones		x			x			x	x	
5	AgroMapp		x			x	X				
6	Agrosolución					x				x	
7	Appgro :: Monitoreo agrícola	x		X	x			x	x	x	X
8	Agrofarm		x	X		x				x	
9	Mi cultivo con Bayer	x		X		x			x		
10	Agri App	x				x					

Tabla 2-6 Parámetros de Salida Apps Android

N.-	Aplicaciones Móviles S.O. Android	Parámetros de salida									
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
1	ADAMA Alvo	x									x
2	IZagro	x					X	x			
3	Agroptima					x					
4	Syngenta Soluciones			X			X	x		x	x
5	AgroMapp	x			x			x		x	x
6	Agrosolución	x		X			X	x			x
7	Appgro :: Monitoreo agrícola	x			x			x			x
8	Agrofarm				x		X	x			x
9	Mi cultivo con Bayer	x		X	x		X	x			x
10	Agri App	x		X			X	x			

Analizando las características de las aplicaciones IOS en cambio se muestran en la Tabla 2-7 y en la Tabla 2-8, aplicaciones como Agricolium Cuaderno de campo es la que posee la mayor cantidad de características que abastecen el control y manejo de cultivos, controla el crecimiento del cultivo y además brinda información de los productos a utilizar para el control de plagas, y brinda información relevante del mundo agrícola, mercancías y financiamientos, así también Tierra Digital y iAgricultor muestran mucha popularidad entre los usuarios por su eficacia en el manejo de plagas y medición de cultivos. Así también se consideró la aplicación AgroDash como aquella que cumple la menor cantidad de requerimientos ya que solamente se limita a dar información en base a geolocalización de cultivos.

Tabla 2-7 Parámetros de Entrada App IOS

N.-	Aplicaciones Móviles S.O. IOS	Parámetros de entrada									
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
1	PlantCare Pro			x		x	x	x			
2	Agroptima	x	x		x	x				x	x
3	AgroMapp		x			x	X				
4	Agrosolución					x				x	
5	AgroDash		x	x					x		
6	Cuaderno de Campo	x		x					x		
7	Agricolium Cuaderno de campo		x		x	x	x	x	x	x	
8	Tierra Digital Adama Agricultura	x				x	x		x		
9	PLM Agroquímicos					x			x		
10	iAgricultor	x	x			x	x		x		x

Tabla 2-8 Parámetros de Salida Apps IOS

N.-	Aplicaciones Móviles S.O. IOS	Parámetros de salida									
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
1	PlantCare Pro	x					x				
2	Agroptima					x					
3	AgroMapp	x			x			x		x	x
4	Agrosolución	x		x			x	x			x

5	AgroDash		x					x			
6	Cuaderno de Campo								x	x	
7	Agricolum Cuaderno de campo	x			x		x	x			x
8	Tierra Digital Adama Agricultura	x						x		x	
9	PLM Agroquímicos	x		x	x						x
10	iAgricultor	x				x	x			x	x

De las 20 aplicaciones analizadas, para plataforma Android e IOS, con los parámetros establecidos, para datos de entrada y salida, el 85% permite el ingreso de productos fitosanitarios, fertilizantes, semillas, sean estos para registrarlos en la app o generar la consulta si ya está existente en la base de datos de la app, el 70% de las aplicaciones brinda información sobre productos agroquímicos, aplicación y dosis del producto a utilizar en la plaga, el 65% ofrece y agrega datos de control, registro y monitoreo del cultivo, 60% de las apps ofrece información sobre posibles deficiencias en los cultivos. El 50% permite el ingreso de datos meteorológicos; y la geolocalización sea del cultivo, o proveedores más cercanos. Y en el mismo porcentaje de las apps analizadas conserva registro de productos fitosanitarios, estudios de campo, hace las veces de cuaderno. Mientras que el 45% permite crear perfiles de usuario, en donde se debe acceder a la aplicación a través del usuario y contraseña, e incluso permiten ingresar el nombre del proyecto, de la gleba, sembrío y unidades de área del mismo. Solo el 20% de apps se pueden acceder desde una computadora, teniendo el soporte y sincronización de los datos del cultivo mediante un aplicativo web.

La utilización de las tecnologías móviles entre los habitantes de una población, ayuda a disminuir la brecha digital que existe en ciertos lugares, ya que muchos usuarios utilizan este medio tecnológico para el desarrollo de sus actividades, hoy en día el sector agropecuario ha sido influenciado por el uso de la tecnología que ha facilitado las labores de campo, pudiendo registrar y almacenar datos de los campos agrícolas que permitan un control y manejo de los mismos.

2.6 Objetivos de la tesis Doctoral

2.6.1 Motivación

La agricultura es la principal actividad en la mayoría de las naciones y su importancia radica en el suministro de alimentos para la creciente población. La preocupación actual data en que la producción de alimentos sea directamente proporcional con el crecimiento de población, sin embargo, cada vez existe menos tierra para la agricultura y se requiere de mayor producción. Estudios indican que la próxima generación debe producir el doble de lo que actualmente se está produciendo.

Ecuador tiene una gran riqueza natural, está ubicado geográficamente en la línea ecuatorial que le da su nombre, lo cual le permite tener un clima estable casi todos los meses del año con las consecuencias positivas para el sector agrícola.

Tradicionalmente la economía ecuatoriana se ha sustentado en la agricultura, la minería y la pesca. Desde los años setenta la industria petrolera ocupó un papel vital en el desarrollo del país, pero a partir de este siglo, las exportaciones de productos agrícolas son el verdadero motor de crecimiento económico del país. Según los datos macroeconómicos de enero a octubre de 2014 (ProEcuador, 2014), la agricultura supone el principal producto no petroleros de exportación en Ecuador gracias a distintos sectores como el banano y plátano que representa el 21.02% de la exportación de los productos no petroleros, las flores y plantas (6.70%), el cacao (5.13%), la agroindustria (3.72%) y el café (1.45%) que representa. Sumando estos tres sectores relacionados directamente con la agricultura se tiene el 38.08% del total de las exportaciones de los productos no petroleros.

Por otro lado, el sector agrícola es el sector que mayor capital de mano de obra tiene con menor inversión. Sin embargo, en este sector no existe una equidad y su transformación y evolución es acción primordial que permitirá resolver el desempleo, la pobreza y la inequidad en Ecuador.

Hoy en día, la implantación de las tecnologías de la información y las comunicaciones (TICs) en la agricultura y cadenas agroalimentarias tiende a generar automatización y eficiencia en procesos que anteriormente se realizaban de manera manual. No sólo el uso de las maquinarias y equipamientos permiten este avance, ya que últimamente se están incorporando sistemas informáticos de análisis y ayuda a la decisión sobre los campos y cultivos que permiten mejorar y facilitar la productividad

de los productos a cultivar, la mejora de la gestión de la tierra (por ejemplo, suelos) y para el planeamiento del uso de la tierra. Ésta es una de las motivaciones planeadas en este trabajo doctoral.

Esta implantación y uso de las TICs ha dado lugar a un nuevo término denominado e-Agricultura es una nueva área que promueve la agricultura sostenible y la seguridad alimentaria a través de mejores procesos para acceder e intercambiar conocimientos, mediante el uso de las TICs.

Los Sistemas de Soporte a la Decisión (DSS) son sistemas de información gerencial que combinan modelos de análisis para resolver problemas del usuario a través de una interfaz y permiten realizar recomendaciones para la mejora de esos problemas. Las aplicaciones de los DSS se encuentran en materias como medicina, aero-espacio, transporte, comercio, entre otras. Los desarrollos de estos DSS se basan en el uso de las tecnologías de la Web Semántica, Integración de Información y Conocimiento, Linked Data, Inteligencia de Negocio, entre otras que permiten facilitar determinadas tareas de análisis, monitorización y recomendación. Estas tareas son imprescindibles dentro del campo agrícola, debido a que por su naturaleza requiere de un constante control y monitorización por los factores que la afectan ya sean enfermedades, plagas o cambios climáticos. Ésta es una motivación más de la presente tesis doctoral ya que se encuentra enfocada al campo de la agricultura.

En este trabajo de tesis doctoral se propone desarrollar un sistema de ayuda a la toma de decisiones basado en conocimiento del dominio de los expertos que se pueda implantar en el dominio de la agricultura. Específicamente, el sistema a partir de información proporcionada por el usuario en función de sus cultivos, permitirá ayudar en el proceso de procesos de control, monitorización, diagnóstico, prevención de plagas, selección de fertilizantes, entre otros. Estas recomendaciones se realizarán en base a la información modelada por expertos especialmente en cuanto a los fertilizantes, herbicidas y fungicidas que permitan tratar, prevenir o controlar las afecciones de los cultivos de arroz, cacao, café, caña de azúcar, banano y maíz causado por plagas, malezas o enfermedades, adicionalmente otros factores con el objetivo de disminuir los costos, aumentar la productividad y optimizar el tiempo de cosecha de los productos.

2.6.2 Objetivos

El objetivo principal de esta tesis es desarrollar una plataforma inteligente colaborativa para la toma de decisiones y recomendaciones en agricultura y para conseguirlo se han definido las siguientes tareas específicas:

- Diseño de un modelo ontológico para la representación del conocimiento del dominio de la agricultura.
- Creación de un sistema para la monitorización del estado de las plantaciones y cultivos a través de información que el usuario proporcionará mediante la interfaz web.
- Diseño de un sistema para la recomendación específica al usuario basado en tecnologías del conocimiento.
- Creación de una plataforma integral para la ayuda a la decisión y recomendación en agricultura.

2.6.3 Metodología

La metodología utilizada en este trabajo básicamente se compone de fases: la primera fase consta del estudio del estado del arte, la segunda fase comprende el diseño de la ontología, la tercera fase es la implementación del sistema propuesto y la cuarta fase consiste en la validación de la propuesta.

- **Estudio del estado del arte:** Análisis de los conceptos y elementos de una web semántica, definiciones generales de ontologías, lenguajes y herramientas para la creación de las ontologías. Estudio de ontologías existentes en el área agrícola, así también un análisis de los sistemas de ayuda a la toma de decisiones en el dominio de la agricultura. Adicionalmente se presenta un análisis de los esfuerzos que se han realizado en el campo de las aplicaciones móviles en la agricultura.
- **Diseño y desarrollo del sistema propuesto basado en ontologías:** Diseño de la ontología, basado en el conocimiento y dominio de los expertos quienes, con sus experiencias y conocimientos, apoyaron a determinar las especificaciones, reglas y recomendaciones que engloba los cultivos, las enfermedades, plagas y malezas que los afectan. Posteriormente se desarrolló el sistema de ayuda a la decisión basado en ontologías para el diagnóstico y prevención de enfermedades en cultivos.

- **Validación de la propuesta:** con la ayuda de agricultores y expertos en el dominio de la agricultura que cuentan con cultivos, se procedió a realizar pruebas constantes, en función de las enfermedades, plagas y malezas que afectan a los cultivos de ciclo corto y perenne del Ecuador. Realizando la validación con diferentes afecciones que presentan las plantas. Así también se aplicó una encuesta a los agricultores para conocer el nivel de satisfacción y usabilidad de la aplicación presentada.

Capítulo 3 . Sistema de ayuda a la decisión basado en ontologías para el diagnóstico y prevención de las enfermedades en plantas

3.1 Introducción

Al hablar de control de cultivos existen muchos parámetros que se deben considerar al momento de realizar un control o monitoreo, desde el tipo de suelo en cual están plantados, los factores climáticos que los afecta, las enfermedades que podrían atacarlos, entre otros factores que son predominantes para obtener beneficios o perjuicios al cosechar sus productos. Los agricultores para poder determinar que enfermedad afecta al cultivo, deben conocer múltiples síntomas que los cultivos presentan, para determinar el diagnóstico o prevención para el cuidado del cultivo. Dicho diagnóstico es una tarea compleja ya que los cultivos presentan muchos síntomas, por lo que conseguir un diagnóstico adecuado se convierte en un problema de manejo de una base del conocimiento (Lagos-Ortíz et al., 2017). El sistema que se ha desarrollado pretende ofrecer un Sistema de ayuda a la decisión basada en ontologías para el diagnóstico de enfermedades en cultivos de arroz, café, cacao, caña de azúcar, banano y maíz utilizando una base de conocimiento en el dominio de los expertos y que sea útil para los agricultores y usuarios del área. Adicionalmente este sistema aprovecha la creación de las ontologías de dos maneras, primero para que la ontología en base a su contenido sea una ayuda en el soporte a las decisiones en cuanto al diagnóstico de enfermedades y por otro lado proporcionar un vocabulario estándar de integración de datos en el área de la fitopatología y la entomología.

En el caso de las cultivos, una enfermedad es un deterioro de la función fisiológica normal que se presenta por síntomas que son fenómenos que acompañan algo y se lo considera como evidencia para la enfermedad (Patil et al., 2011), los síntomas presentados por las plantas normalmente se los distinguen en los tallos y en las hojas, con ello los agricultores diagnostican las enfermedades con el propósito de aplicar correctivos y evitar que éstas se propaguen. La fitopatología en cambio es el estudio de los organismos vivos y las condiciones del ambiente que producen enfermedades en las plantas, los mecanismos por los cuales son producidas y los métodos de prevención y control de ese tipo de enfermedades (Agrios, 1988). La entomología agrícola estudia los insectos que atacan las plantas que el hombre cultiva o aquellas silvestres que éste pueda explotar y elabora racionales y efectivas medidas

de control contra ellos, estudia además conjuntamente con las plagas, los insectos beneficiosos, entre los cuales se encuentran especies destructivas de las plagas parásitos y predadores (Urbina Chavarría, 2011). Algunas enfermedades de las plantas pueden diagnosticarse por adelantado mediante la identificación de síntomas específicos, lo que permite a los agricultores tomar medidas para evitar su propagación. Sin embargo, hay síntomas que están presentes en varias enfermedades, lo que dificulta a los agricultores diagnosticar la enfermedad correcta (Lagos-Ortiz et al., 2017). Por lo antes expuesto es necesario establecer herramientas que puedan integrar en ellas el conocimiento científico de la fitopatología para que sea de ayuda a la toma de decisiones de los agricultores en el momento de escoger el tratamiento óptimo y las cantidades recomendadas para el tratamiento o prevención de una enfermedad (Jakku & Thorburn, 2010).

Hay muchos síntomas en los cultivos que son similares en varias enfermedades lo que dificulta realizar diagnósticos correctos. En esta tesis doctoral se propone el desarrollo de un sistema de ayuda a la decisión basado en tecnologías semánticas que permita a los agricultores diagnosticar y/o prevenir la enfermedad que se presente en los cultivos de arroz, cacao, café, caña de azúcar, banano y maíz, de esta manera poder realizar medidas de control y prevención adecuadas.

El sistema propuesto intenta ayudar a los agricultores en las primeras etapas de desarrollo de sus cultivos y la posible detección de enfermedades mediante el uso de los conocimientos recopilados del dominio de los expertos. De esta forma el agricultor inicialmente recopila los síntomas que percibe de sus cultivos, luego proporciona éstos síntomas al sistema, el cual proporcionará un diagnóstico basado en los datos de entrada mediante un conjunto de reglas que se basan en las bases de conocimiento subyacentes, es decir, la ontología para control de enfermedades de los cultivos (CDCO). Así también el sistema muestra la forma de prevención de los cultivos, para que los agricultores puedan tomar precauciones de cuidados en los cultivos a fin de evitar que se contagien con algunas enfermedades. El sistema además funciona como un ente de ayuda a la toma de decisiones, emitiendo recomendaciones de cuidados, uso de productos químicos y cantidades que se deben aplicar a los cultivos enfermos.

3.2 Arquitectura del Sistema

Para conseguir los objetivos planteados en la presente tesis, se ha creado la siguiente arquitectura global del sistema, con la ayuda de un grupo de expertos y profesionales en el área de la agronomía con quienes se definió las especificaciones funcionales que fueron base para la creación de la plataforma. La arquitectura está basada en los siguientes componentes bien definidos los cuales se explican a continuación (ver Figura 3-1).

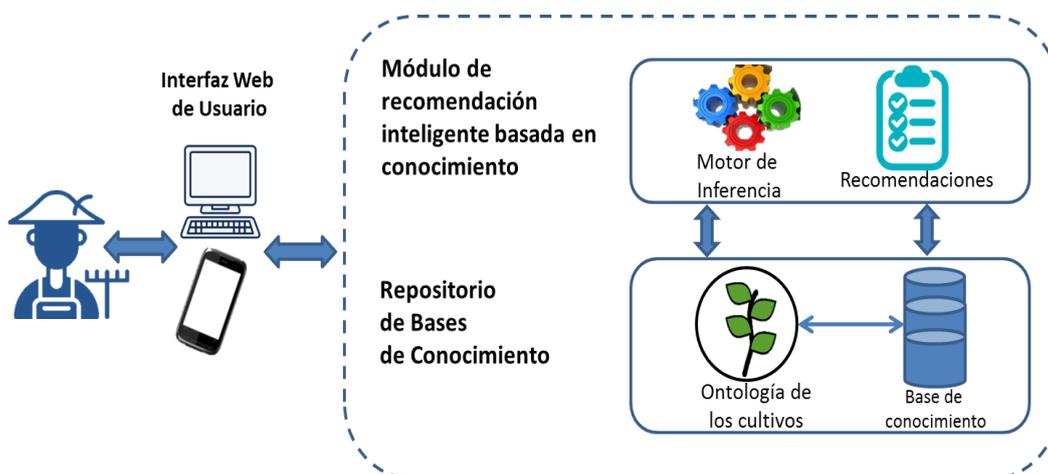


Figura 3-1 Arquitectura de la Plataforma

Repositorio de bases de conocimiento, ontologías y linked data

Este módulo se encarga de gestionar y proporcionar una interfaz común para el almacenamiento de información y conocimiento en formato OWL (Web Ontology Language) y RDF (Resource Description Framework) que permita el acceso y la publicación de bases de conocimiento mediante Linked Data. Cada base de conocimiento está formada por una capa T-Box y una A-Box. La capa T-Box describe la estructura de clases, relaciones y restricciones de la base de conocimiento, mientras que la capa A-Box está formada por las instancias de la base de conocimiento. Este repositorio permitirá utilizar razonamiento para poder inferir nuevo conocimiento a partir del ya existente en las distintas bases de conocimiento.

Las ontologías que modelan el conocimiento de los expertos en la agricultura se desarrollaron junto con expertos del área de agronomía.

Módulo de recomendación inteligente basada en conocimiento.

Teniendo en cuenta toda la información introducida por los usuarios y la obtenida por servicios de datos abiertos (opendata), históricos y otros servicios en línea, se generarán recomendaciones relevantes generadas en base a conocimiento experto de profesionales de la agricultura. Este conocimiento se obtendrá a partir de los expertos y se modelará con ontologías.

La ontología ha sido diseñada teniendo en cuenta ontologías ya existentes, como por ejemplo la desarrollada por el Consorcio de Ontologías de las plantas (Plant Ontology Consortium, 2002) el cual proporciona un vocabulario para las estructuras morfológicas y anatómicas de la planta y sus relaciones. Además esta ontología está alineada con la fundación de Biología y Ontología Biomédica (B Smith et al., 2007) que provee una estandarización adicional a este modelo.

La ontología ha sido implementada usando OWL2 Web Ontology (Grau et al., 2008) y Protégé (Musen, 2015) editor de código abierto para crear aplicaciones basadas en ontologías.

Cada usuario tendrá una pequeña base de conocimiento con su información, como área a cultivar, cultivos preferentes, plagas, fertilizantes y otros históricos. Entonces, el sistema intentará localizar también recomendaciones que puedan interesarle utilizando para ello tecnologías basadas en conocimiento.

Interfaz web de usuario

Esta interfaz se encarga de recibir las peticiones del usuario. Específicamente la capa de presentación ofrece soporte para una aplicación web y móvil, que proveerá de acceso al usuario a través de un browser (Chrome, Safari y Firefox) para el sistema operativo Windows.

En particular, esta interfaz permitirá al usuario controlar toda la funcionalidad del sistema y tendrá en cuenta distintos usuarios como los administradores de los módulos y los usuarios que serán consumidores, agricultores o usuarios de dichas funcionalidades.

Por último, cabe destacar que esta interfaz proveerá un cuadro de mando del sistema de ayuda a la decisión que mostrará de manera sencilla para el usuario toda la información reducida y sugerencias para la toma de decisiones en los cultivos.

3.3 Arquitectura de Software

Se ha definido la arquitectura de un Software para definir una solución para los requisitos técnicos y operacionales del sistema, el cual define los componentes del software, de qué manera se relacionan, y su interacción para la funcionalidad especificada, siguiendo los criterios de seguridad, disponibilidad, eficiencia o usabilidad.

La aplicación ha sido instalada en un servidor web Apache; para las consultas, administración y control del flujo de la información se utilizó el framework de desarrollo Angular o React en el lado del Front-End y para el procesamiento de información mediante peticiones restful se consideró el Lenguaje de programación Java en el lado del Back-End. La base de datos MySQL permite el almacenamiento de información inherente al sistema. (Ver Figura 3-2)

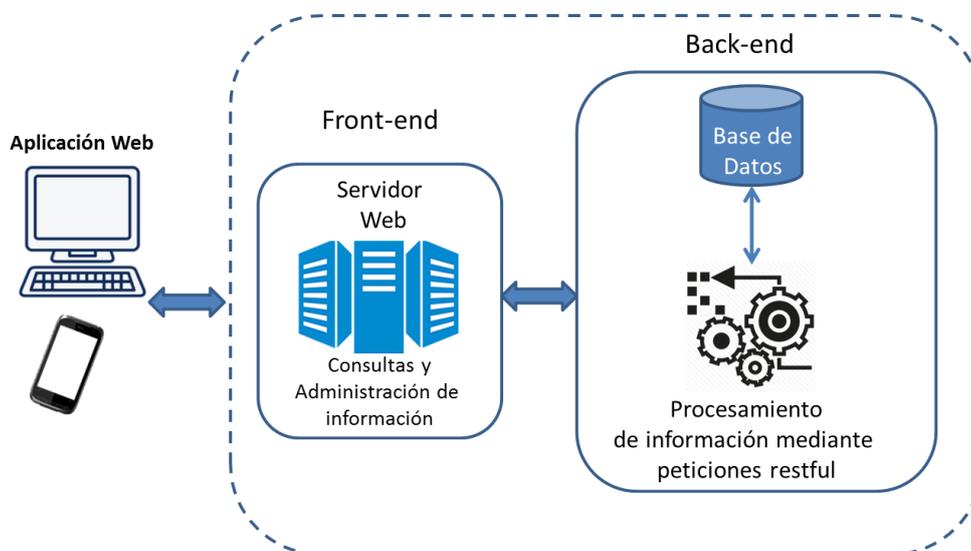


Figura 3-2 Arquitectura de Software

3.4 Modelo de Bases de Datos

La base de datos MySQL permitió estructurar el almacenamiento del flujo de información (ver Figura 3-3). El sistema recibe como datos de entrada los síntomas que presentan los cultivos de arroz, cacao, café, caña de azúcar, banano y maíz, posteriormente proporciona un diagnóstico con recomendaciones que aparece por medio de un conjunto de reglas basadas en las bases de conocimiento junto con la ontología de los cultivos. Posteriormente mediante el módulo de recomendación inteligente realiza una búsqueda de información útil para el agricultor, con esta información obtenida el agricultor podrá tomar una decisión en cuanto al tratamiento de la enfermedad.

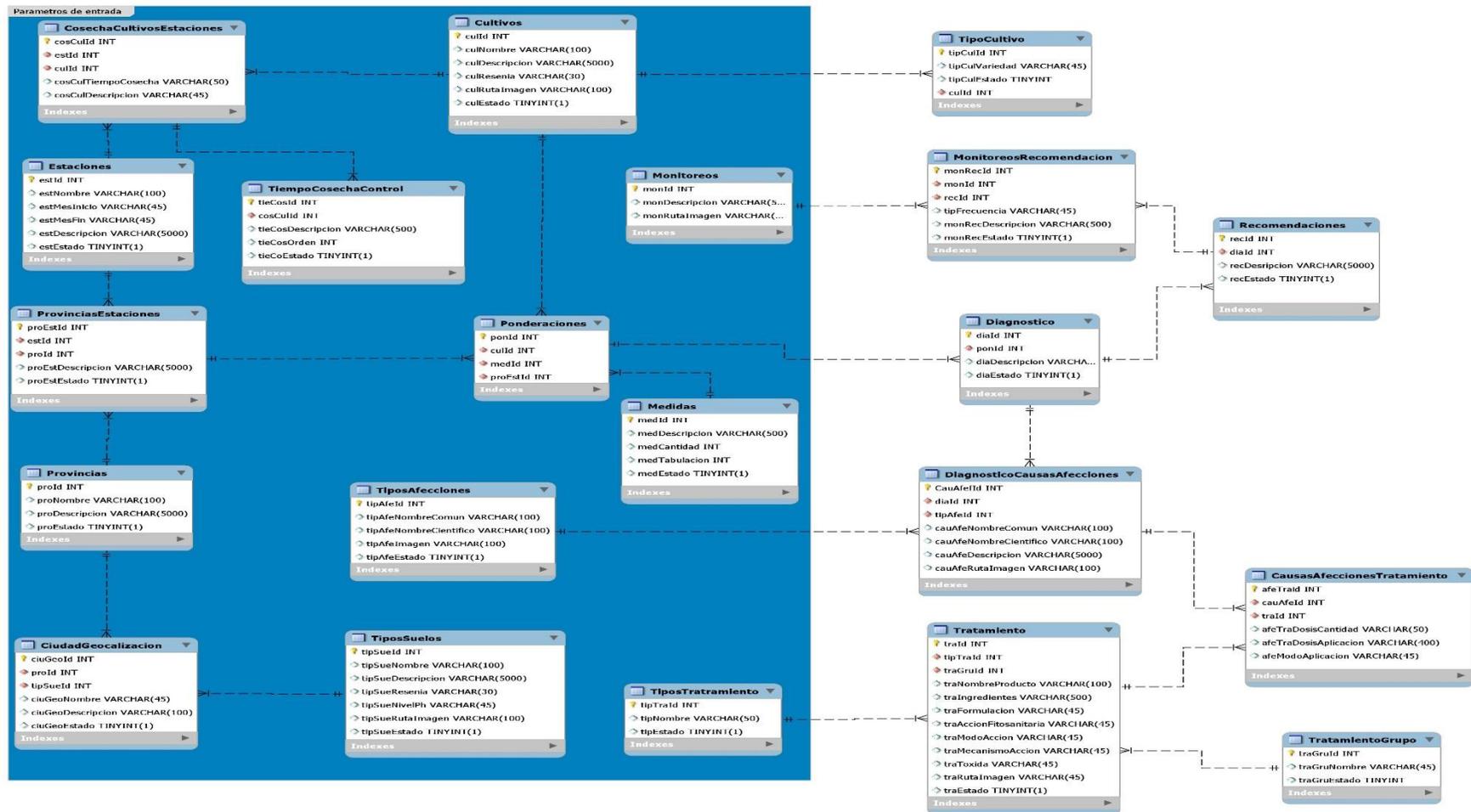


Figura 3-3 Esquema Modelo relacional

3.5 Metodología para el desarrollo del sistema

Para el desarrollo de la presente propuesta se ha seguido una metodología documental y aplicada que permitió estructurar los módulos del sistema web y móvil para el diagnóstico y prevención de las enfermedades de las plantas.

Se han establecido 4 fases bien definidas para la implementación de la propuesta, las cuales se muestran en la Figura 3-4.

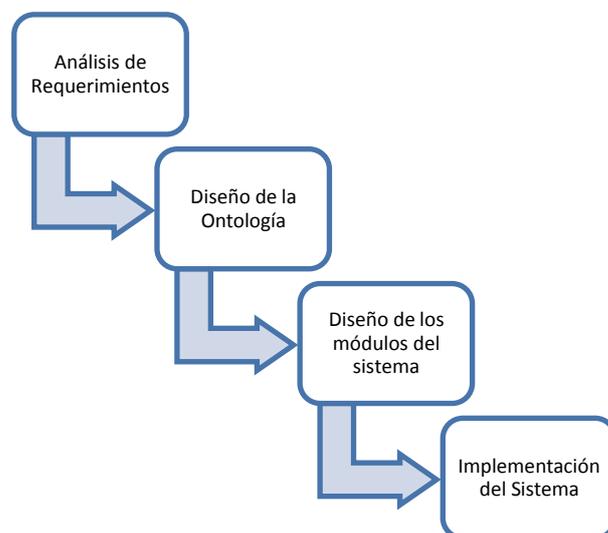


Figura 3-4 Fases para el desarrollo de la propuesta

A continuación, se explica en detalle cada una de las fases:

3.5.1 Análisis de requerimientos

Para determinar la necesidad de la creación de un sistema recomendador que permita diagnosticar y prevenir enfermedades en los cultivos fue necesario realizar una estadística descriptiva, la cual permite obtener los datos recolectados y luego analizar su comportamiento, para ello se realizó una recolección de datos a través de encuestas estructuradas, las cuales permitieron conocer los problemas comunes que tienen los agricultores en cuanto al tratamiento que utilizan y las dosis cuando presentan enfermedades que afectan a los cultivos. La población establecida para el análisis fue de un total de 9149 agricultores de la región Costa del Ecuador, con esta información se obtuvo una muestra de 369 encuestados, utilizando la siguiente fórmula:

Ecuación 1 Muestra de la población

$$n = \frac{N \cdot Z^2 \cdot p \cdot (1 - p)}{(N - 1) \cdot e^2 + Z^2 \cdot p \cdot (1 - p)}$$

Dónde:

n = Muestra a calcular

N = Tamaño de la población (9149)

Z = Nivel de confianza 95% (1,96)

e = Margen de error máximo 5% (0.05)

p = probabilidad de éxito 50% (0.5)

La encuesta básicamente estuvo orientada a indagar sobre el conocimiento que poseen los agricultores sobre el control de sus cultivos, entre las preguntas se les consultó sobre el área de cultivo que manejan, el nivel técnico alcanzado en su cultivo, la importancia de fertilizar los cultivos, la frecuencia de fertilización de los cultivos, los productos que utiliza, de qué forma realiza o controla las malezas en los cultivos, que tipo de herbicidas aplica, el tipo de riego que efectúa, si reconoce las enfermedades que atacan al cultivo, reconoce los síntomas y cuáles son las enfermedades que más atacan a los cultivos.

De las respuestas de los agricultores se pudo obtener que quienes se dedican a esta actividad en su mayoría son los jefes del hogar, el 58% de los agricultores alcanzan un nivel técnico bajo en sus cultivos, el 98% de ellos considera la importancia que tiene fertilizar los cultivos, el 19% concuerdan con los mismos fertilizantes para sus cultivos ya que desconocen la existencia de otros, el 45% realiza control de malezas de forma manual, por desconocimiento de productos químicos que ayuden a tratar y eliminar estas plagas. Se obtuvo además que el 50% de los encuestados utilizan la microaspersión como mecanismo de riego, el 32% de los agricultores carece de conocimientos técnicos que les facilite reconocer y prevenir las enfermedades agrícolas.

Con estos resultados se pudo evidenciar que el desconocimiento se debe a la falta de información o acceso a la tecnología lo que imposibilita obtener datos veraces y oportunos de primera mano. La falta de una herramienta tecnológica para los agricultores y usuarios en general que sirva de apoyo a la toma de decisiones en el momento de encontrar enfermedades que están atacando a sus cultivos afectando la cosecha de los mismos y disminuye el factor económico en la producción.

Adicionalmente se realizó entrevistas a un conjunto de expertos profesionales, afín de establecer los mecanismos de diagnóstico y prevención de las enfermedades en los cultivos, sustentados con conocimientos técnicos y experiencia en el área que sirvió de base para la creación de la ontología para el control de enfermedades de cultivos denominada CROP DISEASE CONTROL ONTOLOGY (CDCO).

3.5.2 Diseño de la Ontología

Para diseñar la ontología para el control de cultivos se han analizado varios aportes que describen como diseñar ontologías desde una perspectiva metodológica, Methontology (Fernández-López et al., 1997) y (Corcho & Fernández-López, 2003), Upon (De Nicola et al., 2005), Tove (Fensel, 2001), metodologías para la evaluación de ontologías (Barber et al., 2018), metodologías para la construcción de las ontologías (Luna, 2012), entre otras.

De las metodologías analizadas se optó por utilizar Methontology (desarrollada por el grupo de Ingeniería Ontológica de la Universidad Politécnica de Madrid) ya que permite construir ontologías proporcionando guías para su desarrollo a través de las actividades un grupo de actividades como: Adicionalmente Methontology también considera tareas de *gestión* y de *soporte* de las ontologías.

3.5.2.1 Especificación

Para la creación de la ontología se empezó con la descripción de los parámetros iniciales a considerar en el control de cultivos, para ello con la ayuda de los ingenieros agrónomos se estableció una categorización en la cual por cada cultivo se especificó un conjunto de enfermedades, plagas y malezas que afectan a los cultivos de arroz, café, cacao, caña de azúcar, banano y maíz, además los fungicidas, herbicidas y pesticidas utilizados para el tratamiento de la afección junto con la recomendación de las dosis a aplicar, clasificados por cultivos. De esta forma se definieron los siguientes parámetros de especificación. Ver Tabla 3-1

Tabla 3-1 Especificación de la Ontología propuesta CDCO

ESPECIFICACIÓN DE REQUERIMIENTOS	
Nombre de la Ontología (Acrónimo)	CROP DISEASE CONTROL ONTOLOGY (CDCO)
Dominio	Enfermedades de los cultivos de arroz, café, cacao caña de azúcar, banano y maíz

Objetivo	Diseñar un modelo ontológico para la representación del conocimiento del dominio de la agricultura para el diagnóstico y prevención de enfermedades de las plantas.
Empleo de la ontología	Esta ontología facilitará la búsqueda, organización y clasificación de la información de las enfermedades de los cultivos, mecanismos de control, diagnóstico y prevención.
Uso y mantenimiento	Los usuarios potenciales serán los agricultores y público en general. Se espera que la comunidad científica actualice la ontología.
Fuentes de conocimiento	Expertos en el dominio de la agricultura, Ingenieros Agrónomos y Agricultores

3.5.2.2 Conceptualización

A partir de estos datos se definieron los conceptos y las relaciones existentes para implementar la ontología para el control de cultivos. Posteriormente, para diseñar la ontología se tomó como referencia ontologías ya existentes, como Plant Ontology Consortium (Plant Ontology Consortium, 2002) que ofrece un vocabulario para las estructuras de las plantas, además se tomó como referencia las citadas en (P. Jaiswal et al., 2016). También se consideró la Ontología para la protección de las plantas (Halabi, 2015), la cual fue desarrollada por ICARDA (International Centre of Agricultural Research in the Dry Areas) que busca crear una ontología genérica para cubrir aspectos relacionados con la protección de las plantas. Por último es necesario recalcar que la ontología propuesta está alineada con la ontología Biológica y Biomédica (OBO) Foundry (B Smith et al., 2007) que provee una estandarización extra de este modelo. Por otro lado, se especificó claramente el conjunto de enfermedades, malezas y plagas que afectan a los cultivos mencionados de tal forma que se agrupó los productos químicos que podrían utilizarse para cada afección y se estableció las relaciones entre ellos. Definiéndose así las clases, entidades, jerarquía de clases, propiedades, individuos, instancias, axiomas y relaciones existentes.

La ontología define siete clases principales que son: Cultivos, Dosis, Problemas fitosanitarios, Productos, Recomendaciones, Síntomas y Tratamientos, a continuación, se detallan:

- **Cultivos.** Contiene la taxonomía de los cultivos arroz, café, cacao, caña de azúcar, banano y maíz.
- **Dosis.** Contiene las cantidades de dosificación de los productos fungicidas y fertilizantes que se aplican a los cultivos. Vienen dadas en litros(Lt), kilogramos (Kg), gramos (Gr), centímetros(Cc)
- **Problemas Fitosanitarios.** contiene la taxonomía de los problemas que afectan a los cultivos como son las enfermedades, plagas o malezas.
- **Productos.** Enlista la taxonomía de los productos químicos utilizados en los cultivos. Como: Herbicidas, fungicidas e Insecticidas.
- **Síntomas.** Contiene los síntomas que según los expertos presentan los cultivos dependiendo de la afección.
- **Recomendación.** Los expertos han establecido un conjunto de recomendaciones en función de los problemas de los cultivos y como resolverlos.
- **Tratamiento.** Define las dosis y la forma de aplicación de los productos para combatir las afecciones en los cultivos.

Además se presenta en la Tabla 3-2 un glosario de términos de las plagas, enfermedades y malezas que afectan a los cultivos con su respectiva descripción.

Tabla 3-2 Glosario de términos de afecciones de los cultivos

Cultivo	Nombre	Acrónimos	Descripción	Tipo
ARROZ	LANGOSTA	PAL	Destruye las plántulas de los semilleros	Concepto
	BARRENADORES	PAB	Las larvas perforan las cañas para alimentarse de los tejidos internos de la planta del arroz	Concepto
	CHINCHE DE LA ESPIGA	PACH	Chupa los granos lechosos o yesoso por medio de su estilete realizando frecuentes picaduras que permiten la entrada de microorganismos	Concepto
	QUEMAZÓN	EAQ	Manchas de color café en el margen de la hoja Afecta al cuello de la planta	Concepto
	PUDRICIÓN DE LA VAINA	EAP	Disminución del tamaño de la vaina de la hoja Lesiones negras en las vainas Reducción del peso en granos	Concepto

	COMPLEJO MANCHADO DEL GRANO	EAC	Reducción del grano Pigmentación del grano	Concepto
	HOJA ANGOSTA	MAAG	Planta de tallo erecto, que pueden alcanzar 1.6 m, sus hojas o "láminas" son planas y alcanzan 45 cm de largo.	Concepto
	GRAMINEAS	MAG	Este tipo de malezas se prolifera desde la etapa de cultivo y puede ocasionar daños considerables	Concepto
	HOJA ANCHA	MACH	Arbustos que crecen en muchos tipos de suelos. No tolera sombra y crecen en áreas abiertas	Concepto
CAFÉ	BROCA DEL CAFÉ	PCFB	Imposibilita la germinación de las semillas ocasionando pérdidas. Es capaz de atacar bajo condiciones de almacén cuando hay humedad	Concepto
	COCHINILLAS	PCFCH	Atacan diversas partes, incluyendo las ramas, los nódulos, las hojas, las raíces y los racimos de flores. Se alimentan de la savia del cafeto y segregan una sustancia pegajosa que atrae a las hormigas.	Concepto
	MINADOR DE LA HOJA	PCFM	Afecta al área fotosintética y causa defoliación de árboles. Son polillas o mariposas de 2 a 3 mm de longitud y 4 mm de envergadura alar, de color blanco plateado con una pequeña mancha negra cerca de la extremidad del ala anterior	Concepto
	OJO DE GALLO	ECFO	Proviene por exceso de sombra y ocasiona manchas cafés oscuro en las hojas. Ataca a hojas y frutos. Se observa manchas redondas hundidas. Dejan perforaciones en las hojas	Concepto
	ROYA	ECFR	Afecta a frutos, ramas y hojas a través del hongo. Afecta a la parte de atrás de las hojas. Produce manchas en las hojas.	Concepto
	MANCHA DE HIERRO	ECFM	Ataca a hojas y frutos con manchas color pardo rojizo.	Concepto

			Cuando el ataque es fuerte ocasiona la caída de hojas y frutos	
	SIEMPREVIVA	MCFS	Se propaga por semillas y en forma vegetativa a partir del xilopodio, que es una porción leñosa semienterrada de la raíz con yemas capaces de rebrotar	Concepto
	CAMINADORA	MCFC	Maleza agresiva, en potreros, cultivos y plantaciones, así como áreas abiertas. Sitios asoleados a medianamente sombreados, sobre todo a orillas de carreteras	Concepto
	GRAMALOTE	MCFG	Capacidad invasiva por la alta germinación de la semilla que produce a través de su inflorescencia. Crecimiento erecto pero en su base es frondosa, alcanza una altura promedio entre 1 y 1,5 metros	Concepto
CACAO	CHINCHE DEL CACAO	PCCCH	Ataca a los árboles. Se alimenta de la mazorca, lo que facilita la transmisión de enfermedades	Concepto
	COCHINILLA	PCCC	Afectan tallos, frutos, brotes y cojinetes florales, en frutos causa marchitamiento, deformación o retraso en la maduración.	Concepto
	GUSANO DEFOLIADOR	PCCG	Son larvas de mariposas que atacan generalmente al follaje tierno y le causan mucha destrucción. El daño es más acentuado en la parte laminar de la hoja.	Concepto
	ESCOBA DE BRUJA DEL CACAO	ECCE	Afecta a tejidos en crecimiento, especialmente a frutos de 3 meses	Concepto
	MONILIASIS DEL CACAO	ECCMC	Es un virus causado por la monilla ataca a la mazorca del cacao evita que se madure completamente	Concepto
	MAZORCA NEGRA	ECCMN	Ataca a los frutos, se presenta como manchas circular de color pardo en todo el fruto	Concepto
	SIEMPREVIVA	MCCS	Se propaga por semillas y en forma vegetativa a partir del xilopodio, que es una	Concepto

			porción leñosa semienterrada de la raíz con yemas capaces de rebrotar	
	CAMINADORA	MCCC	Maleza agresiva, en potreros, cultivos y plantaciones, así como áreas abiertas. Sitios asoleados a medianamente sombreados, sobre todo a orillas de carreteras	Concepto
	GRAMALOTE	MCCG	Capacidad invasiva por la alta germinación de la semilla que produce a través de su inflorescencia. Crecimiento erecto pero en su base es frondosa, alcanza una altura promedio entre 1 y 1,5 metros	Concepto
CAÑA DE AZÚCAR	BARRENADORES	PCÑB	Presenta perforaciones del tallo barrenándolo internamente. Causando entrada de microorganismos lo que ocasiona pérdida de peso y disminución del jugo	Concepto
	SALTAHOJAS	PCÑSL	Succionan la savia y causan heridas al incrustar los huevos en los tejidos de las hojas. Infestaciones elevadas y persistentes provocan un debilitamiento de la planta que se manifiesta por un amarillamiento de las hojas, crecimiento lento, acortamiento de los entrenudos, secamiento prematuro de las hojas y muerte de brotes jóvenes.	Concepto
	SALIVAZO	PCÑSV	Produce una masa espumosa en forma de saliva. Succionan la savia de la planta. Puede afectar la clarificación de los jugos.	Concepto
	CARBÓN	ECÑC	Presenta una estructura como un látigo en la parte terminal de los tallos infectados. Compuesto por un cuerpo central de tejido parenquimatoso del hospedero, rodeado de millones de telioesporas de color café oscuro a negro y protegidas por una membrana plateada	Concepto

	ESCALDADURA DE LA HOJA	ECÑEH	Si la semilla está infectada es posible que la enfermedad no presente síntomas y ocurra una muerte súbita de las nuevas plantas; en otros casos, los nudos de los tallos maduros sufren una decoloración vascular o las hojas presentan estrías blancas paralelas a la nervadura central.	Concepto
	RAQUITISMO DE LA SOCA	ECÑR	Produce retraso en el crecimiento, disminución en el número de tallos por cepa y plantas de apariencia raquílica.	Concepto
	CAMINADORA	MCÑC	Maleza agresiva, en potreros, cultivos y plantaciones, así como áreas abiertas. Sitios asoleados a medianamente sombreados, sobre todo a orillas de carreteras	Concepto
	PAJA DE BURRO	MCÑP	Planta de terrenos inundables, orillas de cultivo, terrenos de cultivo, jardines y lugares abiertos. Es una planta que resiste el pisoteo.	Concepto
	HOJA ANCHA	MCÑH	Arbustos que crecen en muchos tipos de suelos. No tolera sombra y crecen en áreas abiertas	Concepto
BANANO	PICUDO NEGRO	PBP	La larva devora los tejidos, abre una galería hacia el interior del bulbo. Pronto alcanza una longitud de 12 a 16 mm, de color blanco amarillento, con la cabeza parda.	Concepto
	MONTURITA	PBM	Se alimentan de las hojas del banano y producen perforaciones paralelas a las venas foliares, disminuyendo en consecuencia, la superficie foliar. Estas larvas son muy susceptibles al control biológico por parte de algunos predadores y parásitos.	Concepto
	TRIPS DE LAS FLORES Y LAS HOJAS	PBT	Los resultados son pequeños puntos en relieve sobre la corteza de la fruta. La hembra deposita sus	Concepto

			huevecillos uno por uno en la cáscara de los frutos tiernos recién descubiertos, provocando, de esta manera, la formación de pequeños puntos con relieve o pústulas.	
	SIGATOKA NEGRA	EBS	Presenta puntos de color café rojizos de 0.25 mm. de diámetro que aparecen en el envés de la hoja; posteriormente se presentan unas estrías de color café rojizo de 20 mm. de largo por 2 mm. de ancho paralelas a la venación lateral de la hoja y visibles todavía en el envés.	Concepto
	MAL DE PANAMÁ	EBMP	Se inicia cuando las raicillas son infectadas por el hongo que luego invade una raíz principal y asciende al pseudotallo a través del sistema vascular.	Concepto
	MARCHITEZ BACTERIANA	EBMB	Cuando la bacteria penetra a la planta, a través de las raíces, se desarrolla rápidamente e invade toda la extensión de los vasos transportadores de savia y al producir las toxinas características causan los síntomas de la enfermedad.	Concepto
	HOJA ANCHAS	MBHCH	Arbustos que crecen en muchos tipos de suelos. No tolera sombra y crecen en áreas abiertas	Concepto
	HOJA ANGOSTAS	MBHG	planta de tallo erecto, que pueden alcanzar 1.6 m, sus hojas o "láminas" son planas y alcanzan 45 cm de largo.	Concepto
	GRAMÍNEAS	MBG	Este tipo de malezas se prolifera desde la etapa de cultivo y puede ocasionar daños considerables	Concepto
MAIZ	GUSANO COGOLLERO	PMGC	Este gusano corroe las hojas dejando orificios irregulares, luego se dirige al cogollo donde se protege y se alimenta de éste, pudiendo destruirlo por completo	Concepto

	GUSANO TROZADOR	PMGT	El gusano ataca a las plántulas en etapa de germinación, se come el follaje, troza y corta los tallos	Concepto
	PULGONES	PMP	Se alimentan de la savia de la planta, provocando disminución del rendimiento del cultivo. Se presenta en temporadas muy soleadas, secas y cuando hay altas densidades de siembra.	Concepto
	PUDRICIÓN DE LA PLANTA DEL MAÍZ	EMP	Se presenta con la pudrición de semillas, marchitamiento y muerte de plántulas. Presenta resequeidad en las raíces en los tallos y en las hojas.	Concepto
	CARBÓN DE LA ESPIGA	EMC	Provoca daños de forma sistémica, hongo entra en las plántulas y se desarrolla internamente sin mostrar síntomas visibles o reconocibles hasta que el maíz se encuentre en fase de floración y producción de estigmas.	Concepto
	ROYA	EMR	Se presenta con pústulas aisladas de color rojizo sobre las hojas.	Concepto
	HOJA ANCHA	MMHCH	Arbustos que crecen en muchos tipos de suelos. No tolera sombra y crecen en áreas abiertas	Concepto
	GRAMÍNEAS	MMHG	Este tipo de malezas se prolifera desde la etapa de cultivo y puede ocasionar daños considerables	Concepto
	CIPERÁCEAS	MMG	Este tipo de maleza posee raíces y rizomas subterráneos. Resistente e invasiva	Concepto

A continuación se muestra una taxonomía que define la jerarquía existente entre los conceptos previamente establecidos, construyendo un diagrama que permita relacionar las clases creadas con las subclases y los individuos. En la Figura 3-5 se muestra la taxonomía creada.

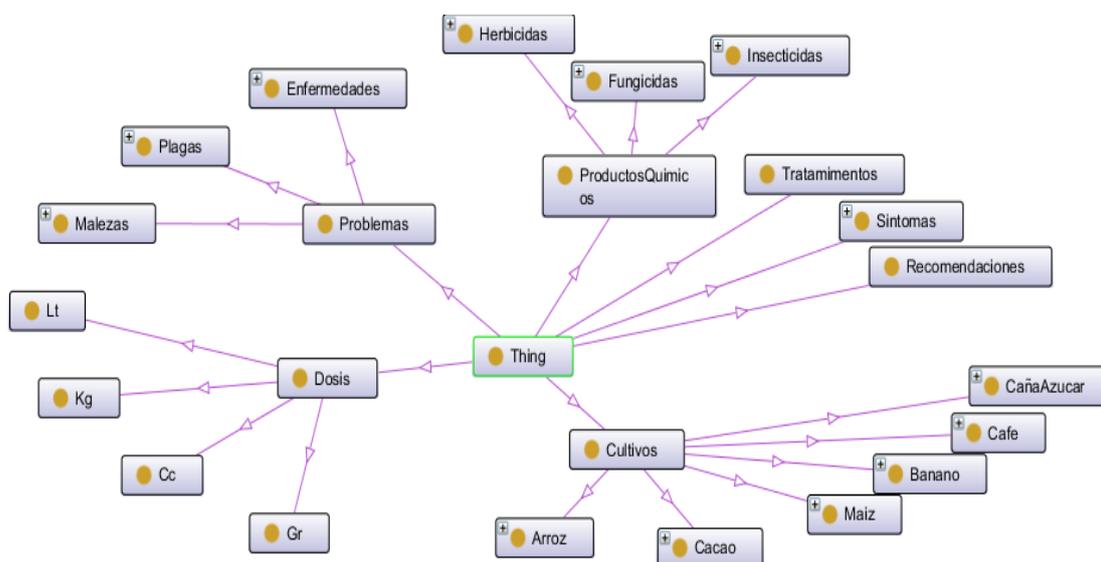


Figura 3-5 Taxonomía de Conceptos

La ontología propuesta no sólo ofrece una taxonomía de las plantas, enfermedades, síntomas y tratamientos, sino que además se establecen las relaciones entre los conceptos que permiten al sistema diagnosticar una enfermedad en función de los síntomas proporcionados por los usuarios. En el dominio de la ontología se pueden definir algunas propiedades para establecer las relaciones existentes entre las instancias de las clases. Se debe considerar que la clase que tiene un papel importante dentro de la ontología es la clase Enfermedad, por este motivo las propiedades están asociadas a esta clase, es decir en la mayoría de los dominios y los rangos, así los síntomas, recomendaciones y tratamientos están asociados a una enfermedad específica. La Tabla 3-3 muestra algunas de estas propiedades.

Tabla 3-3 Descripción de las propiedades de la Ontología para el control de cultivos

Propiedad	Dominio	Rango
tieneSintoma	Síntoma	Diagnóstico
tieneDosis	Afección del cultivo	Dosis
tieneTratamiento	Tratamiento	Diagnóstico
tieneRecomendacion	Recomendación	Recomendación
esDosisDe	Afección del cultivo	Recomendación
esSintomaDe	Síntoma	Diagnóstico
esTratamientoDe	Tratamiento	Recomendación
esRecomendacionDe	Recomendación	Recomendación

El cuadro presenta las propiedades establecidas por ejemplo *tieneSintoma* presenta su inversa *esSintomaDe* lo que significa por ejemplo que “presenta como

manchas circular de color pardo en todo el fruto” es el síntoma de la “Mazorca Negra” y que la “Mazorca Negra” tiene el síntoma “presenta como manchas circular de color pardo en todo el fruto”.

Una base de conocimiento básicamente se compone de 2 elementos llamados TBox y ABox. El TBox es el componente compuesto de términos que describen un dominio, es decir las clases y las propiedades. El ABox en cambio son las aserciones, que describe los atributos de los individuos, los roles entre las instancias relacionadas con las clases o conceptos del TBox, es decir, el ABox se refiere a las instancias de los conceptos establecidos en el TBox. Por otro lado, se ha considerado un conjunto de individuos almacenados en formato de tripletas RDF (Group, 2014), la cual contiene 3 componentes que son: sujeto, predicado y objeto, en donde el sujeto y el objeto corresponde a las instancias definidas en la ontología y el predicado a las propiedades.

Este trabajo de tesis se centra en el diagnóstico y prevención de las enfermedades en cultivos. Con respecto a los cultivos, los individuos que se han definido son arroz, café, cacao, caña de azúcar, maíz y banano. En cuanto a las enfermedades algunas de ellas son quemazón, complejo manchado del grano, ojo de gallo, roya, escoba de bruja, mazorca negra, carbón, raquitismo de la soca, sigatoka negra, mal de panamá, carbón de la espiga, pudrición de la planta, entre muchas otras Ver Figura 3-6. Para el caso de los síntomas, los individuos creados son disminución de la vaina y del peso del grano, presenta manchas pequeñas amarillentas producidas por la alimentación de la larva, presenta hojas picadas transmite el mal de hoja blanca, destruye las plántulas de los semilleros, afecta a tejidos en crecimiento, especialmente a frutos de 3 meses, ataca a la mazorca del cacao evita que se madure completamente, presenta manchas circulares de color pardo en todo el fruto. El listado se presenta en la Tabla 3-2. Así mismo entre los productos químicos definidos se tiene defender, nomad, solvendazim, banzai, bolido, borey, courage, diabolito, fiprosol, kusso, sensei, shurigan, tabu, taison, entre muchos otros. Estos individuos, es decir, los cultivos, enfermedades, síntomas y productos se encuentran relacionados entre sí mediante la lista de propiedades definida en la Tabla 3-3.

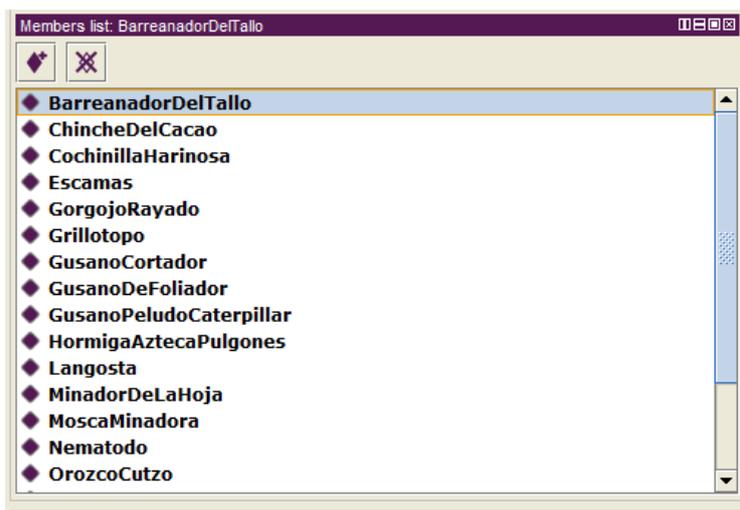


Figura 3-6 Instancias de una Clase

De la etapa de conceptualización se obtuvo que la ontología propuesta cuenta con (488) clases, (25) propiedades (72) Individuos.

3.5.2.3 Formalización e implementación

En esta etapa se traduce el modelo a un lenguaje formal, es decir a un modelo generado en un lenguaje ontológico, para tal efecto se ha seleccionado el lenguaje OWL. Para la implementación de la ontología se ha seleccionado la herramienta Protégé.

3.5.2.3.1 Motor Basado en Reglas

Se han realizado un conjunto de entrevistas a un grupo de expertos en el ámbito de la agricultura, sobre diferentes aspectos de enfermedades de las plantas, se les ha preguntado sobre temas relacionados con el tipo de cultivos en el Ecuador, la frecuencia de cultivos, el tipo de productos químicos utilizados y las dosis apropiadas dependiendo del tipo de afección del cultivo y la frecuencia y sistema de riego utilizado. Por otro lado, algunas preguntas estaban relacionadas con las causas principales de las afecciones de las plantas como enfermedades, plagas, malezas, condiciones ambientales entre otras. Los expertos además definieron un conjunto de tratamientos y recomendaciones que se usan habitualmente para combatir dichas afecciones.

Luego de las entrevistas con los expertos, se les solicitó que definieran un conjunto de condiciones basadas en el conocimiento de la ontología creada, es decir condiciones basadas en las relaciones entre las enfermedades y los síntomas que

presentan cada enfermedad. Se solicitó a los expertos además que clasificaran los síntomas, asignándole niveles de prioridad o importancia, a fin de tratar el problema de que dos o más enfermedades pueden compartir algunos síntomas, la idea es proporcionar al agricultor resultados eficientes al momento de ingresar los síntomas de las afecciones de sus cultivos.

Por ejemplo, en el momento que el agricultor ingresa al sistema un síntoma presentado por el cultivo del arroz, el sistema detecta que dos enfermedades comparten el mismo síntoma, de ser así entonces el sistema selecciona la enfermedad cuyos síntomas tengan un rango más alto de prioridad. Se ha seleccionado la enfermedad "Complejo manchado del grano" ya que el síntoma "Reducción del grano" tiene mayor prioridad que en la "Pudrición de la vaina". La Tabla 3-4 muestra un ejemplo de la prioridad de los síntomas de ambas enfermedades.

Tabla 3-4 Prioridad de los síntomas de las enfermedades

Enfermedades		
Prioridad	Complejo manchado del grano	Pudrición de la vaina
1	Reducción del grano	Disminución del tamaño de la vaina de la hoja
2	Pigmentación del grano	Lesiones negras en las vainas
3		Reducción del grano

En base a la información obtenida de los expertos se desarrolló un conjunto de reglas basadas en SWRL (Horrocks et al., 2004) para representar el conocimiento adquirido de los expertos en el dominio de la agricultura. Con la creación de las reglas se genera el proceso de razonamiento, es decir el sistema utiliza este conjunto de reglas para mostrar la enfermedad detectada y de esta forma mostrar el tratamiento apropiado y dar recomendaciones de cuidados y dosis de productos químicos que se deben aplicar. Para la creación de las reglas consideradas en el sistema se ha utilizado el siguiente formato:

$$R_1, R_2, \dots, R_n \rightarrow D$$

En donde las condiciones están representadas por las fórmulas atómicas R_1, R_2, \dots, R_n y la acción resultante una vez cumplidas las condiciones es D. El motor basado en reglas actúa sobre los síntomas, representado por imágenes, que el agricultor ingresa al sistema y mediante el conjunto de reglas infiere para presentar la afección del cultivo, el cual es considerado posteriormente en su diagnóstico. Para finalizar el sistema presenta los resultados del razonamiento, para lo cual el motor basado en

reglas, utiliza las propiedades **esTratamientoDe** y **esRecomendacionDe** para mostrar los tratamientos, recomendaciones y dosis de aplicación de los productos químicos para combatir la afección del cultivo diagnosticada. Algunas reglas se definen en la Tabla 3-5 que se derivan del cultivo seleccionado luego de la imagen relacionada con la afección del cultivo, para posteriormente mostrar el tratamiento a aplicar y la recomendación de cuidados. Así también en la Tabla 3-6 se define un conjunto de reglas de prevención y control que se deben considerar en el estado inicial de los cultivos. Luego en la Tabla 3-7 se muestran un extracto de los tratamientos para controlar las afecciones de los cultivos producidas por las enfermedades, plagas o malezas. Y en la Tabla 3-8 se presenta un extracto del conjunto de recomendaciones de cuidados de los cultivos afectados. Finalmente la tabla Tabla 3-9 resume un conjunto de mecanismos de prevención que se establecen normalmente el ciclo inicial de los cultivos y que permiten prevenir futuras afecciones.

Tabla 3-5 Conjunto de Reglas de tratamientos y recomendaciones

Descripción de reglas
TRATAMIENTO Y RECOMENDACIONES
If (cultivo=arroz) \wedge (plaga=langosta) \rightarrow Aplicar TratamientoPAL; Seguir RecomendaciónPAL
If (cultivo=arroz) \wedge (plaga=barrenadores) \rightarrow Aplicar TratamientoPAB; Seguir RecomendaciónPAB
If (cultivo=arroz) \wedge (plaga=chinche_de_la_espiga) \rightarrow Aplicar TratamientoPACH; Seguir RecomendaciónPACH
If (cultivo=arroz) \wedge (enfermedad=quemazón) \rightarrow Aplicar TratamientoEAQ; Seguir RecomendaciónEAQ
If (cultivo=arroz) \wedge (enfermedad=pudrición_de_la_vaina) \rightarrow Aplicar TratamientoEAP; Seguir RecomendaciónEAP
If (cultivo=arroz) \wedge (enfermedad=complejo_manchado_del_grano) \rightarrow Aplicar TratamientoEAC; Seguir RecomendaciónEAC
If (cultivo=arroz) \wedge (maleza=hoja_angosta) \rightarrow Aplicar TratamientoMAAG; Seguir RecomendaciónMAAG
If (cultivo=arroz) \wedge (maleza=gramineas) \rightarrow Aplicar TratamientoMAG; Seguir RecomendaciónMAG
If (cultivo=arroz) \wedge (maleza=hoja_ancha) \rightarrow Aplicar TratamientoMACH; Seguir RecomendaciónMACH

If (cultivo=café) \wedge (plaga=broca_del_café) \rightarrow Aplicar TratamientoPCFB; Seguir RecomendaciónPCFB
If (cultivo=café) \wedge (plaga=cochinillas) \rightarrow Aplicar TratamientoPCFCH; Seguir RecomendaciónPCFCH
If (cultivo=café) \wedge (plaga=minador_de_la_hoja) \rightarrow Aplicar TratamientoPCFM; Seguir RecomendaciónPCFM
If (cultivo=café) \wedge (enfermedad=ojo_de_gallo) \rightarrow Aplicar TratamientoECFO; Seguir RecomendaciónECFO
If (cultivo=café) \wedge (enfermedad=roya) \rightarrow Aplicar TratamientoECFR; Seguir RecomendaciónECFR
If (cultivo=café) \wedge (enfermedad=mancha_de_hierro) \rightarrow Aplicar TratamientoECFM; Seguir RecomendaciónECFM
If (cultivo=café) \wedge (maleza=siempreviva) \rightarrow Aplicar TratamientoMCFS; Seguir RecomendaciónMCFS
If (cultivo=café) \wedge (maleza=caminadora) \rightarrow Aplicar TratamientoMCFC; Seguir RecomendaciónMCFC
If (cultivo=café) \wedge (maleza=gramalote) \rightarrow Aplicar TratamientoMCFG; Seguir RecomendaciónMCFG
If (cultivo=cacao) \wedge (plaga=chinche_del_cacao) \rightarrow Aplicar TratamientoPCCCH; RecomendaciónPCCCH
If (cultivo=cacao) \wedge (plaga=cochinilla) \rightarrow Aplicar TratamientoPCCC; RecomendaciónPCCC
If (cultivo=cacao) \wedge (plaga=gusano_defoliador) \rightarrow Aplicar TratamientoPCCG; RecomendaciónPCCG
If (cultivo=cacao) \wedge (enfermedad=escoba_de_la_bruja) \rightarrow Aplicar TratamientoECCE; RecomendaciónECCR
If (cultivo=cacao) \wedge (enfermedad=moniliasis_del_cacao) \rightarrow Aplicar TratamientoECCM; RecomendaciónECCM
If (cultivo=cacao) \wedge (enfermedad=mazorca_negra) \rightarrow Aplicar TratamientoECCMN; RecomendaciónECCMN
If (cultivo=cacao) \wedge (maleza=siempreviva) \rightarrow Aplicar TratamientoMCCS; RecomendaciónMCCMN
If (cultivo=cacao) \wedge (maleza=caminadora) \rightarrow Aplicar TratamientoMCCC; RecomendaciónMCCC

If (cultivo=cacao) \wedge (maleza=gramalote) \rightarrow Aplicar TratamientoMCCG; RecomendaciónMCCG
If (cultivo=caña_azúcar) \wedge (plaga=barrenadores) \rightarrow Aplicar TratamientoPCÑB; RecomendaciónPCÑB
If (cultivo= caña_azúcar) \wedge (plaga=saltahojas) \rightarrow Aplicar TratamientoPCÑSL; RecomendaciónPCÑSL
If (cultivo= caña_azúcar) \wedge (plaga=salivazo) \rightarrow Aplicar TratamientoPCÑSV; RecomendaciónPCÑSV
If (cultivo= caña_azúcar) \wedge (enfermedad=carbón) \rightarrow Aplicar TratamientoECÑC; RecomendaciónECÑC
If (cultivo= caña_azúcar) \wedge (enfermedad=escaldadura_de_la_hoja) \rightarrow Aplicar TratamientoECÑEH; RecomendaciónECÑEH
If (cultivo= caña_azúcar) \wedge (enfermedad=raquitismos_de_la_soca) \rightarrow Aplicar TratamientoECÑR; RecomendaciónECÑR
If (cultivo= caña_azúcar) \wedge (maleza=caminadora) \rightarrow Aplicar TratamientoMCÑC; RecomendaciónMCÑC
If (cultivo= caña_azúcar) \wedge (maleza=paja_de_burro) \rightarrow Aplicar TratamientoMCÑP; RecomendaciónMCÑP
If (cultivo= caña_azúcar) \wedge (maleza=hoja_ancha) \rightarrow Aplicar TratamientoMCÑH; RecomendaciónMCÑH
If (cultivo= banano) \wedge (plaga=picudo_negro) \rightarrow Aplicar TratamientoPBP; RecomendaciónPBP
If (cultivo= banano) \wedge (plaga=monturita) \rightarrow Aplicar TratamientoPBM; RecomendaciónPBM
If (cultivo= banano) \wedge (plaga=trips_de_flores_y_hojas) \rightarrow Aplicar TratamientoPBT; RecomendaciónPBT
If (cultivo= banano) \wedge (enfermedad=sigatoka_negra) \rightarrow Aplicar TratamientoEBS; RecomendaciónEBS
If (cultivo= banano) \wedge (enfermedad=mal_de_panamá) \rightarrow Aplicar TratamientoEBMP; RecomendaciónEBMP
If (cultivo= banano) \wedge (enfermedad=marchitez_bacteriana) \rightarrow Aplicar TratamientoEBMB; RecomendaciónEBMB
If (cultivo= banano) \wedge (maleza=hoja_ancha) \rightarrow Aplicar TratamientoMBHCH; RecomendaciónMBHCH

If (cultivo= banano) \wedge (maleza=hoja_angosta) \rightarrow Aplicar TratamientoMBHG; RecomendaciónMBHG
If (cultivo= banano) \wedge (maleza=hoja_gramínea) \rightarrow Aplicar TratamientoMBG; RecomendaciónMBG
If (cultivo= maiz) \wedge (plaga=gusano_cogollero) \rightarrow Aplicar TratamientoPMGC; RecomendaciónPMGC
If (cultivo= maiz) \wedge (plaga=gusano_trozador) \rightarrow Aplicar TratamientoPMGT; RecomendaciónPMGT
If (cultivo= maiz) \wedge (plaga=pulgones) \rightarrow Aplicar TratamientoPMP; RecomendaciónPMP
If (cultivo= maiz) \wedge (maleza=hoja_ancha) \rightarrow Aplicar TratamientoMMHCH; RecomendaciónMMHCH
If (cultivo= maiz) \wedge (maleza=gramíneas) \rightarrow Aplicar TratamientoMMHG; RecomendaciónMMHG
If (cultivo= maiz) \wedge (maleza=cipráceas) \rightarrow Aplicar TratamientoMMHG; RecomendaciónMMHG

Tabla 3-6 Conjunto de Reglas de prevención y control

PREVENCIÓN Y CONTROL
If (cultivo=arroz) \wedge (estado=cultivo inicial) \rightarrow PrevenciónA
If (cultivo=café) \wedge (estado=cultivo inicial) \rightarrow PrevenciónCF
If (cultivo=cacao) \wedge (estado=cultivo inicial) \rightarrow PrevenciónCC
If (cultivo=caña_azúcar) \wedge (estado=cultivo inicial) \rightarrow PrevenciónCÑ
If (cultivo=banano) \wedge (estado=cultivo inicial) \rightarrow PrevenciónB
If (cultivo=maíz) \wedge (estado=cultivo inicial) \rightarrow PrevenciónM

Tabla 3-7 Tratamientos de las afecciones

Nombre	Producto Químico	Dosis
TratamientoPAL	Destruye las plántulas de los semilleros	500 cc/ha
TratamientoPAB	Courage	750 cc/ha
TratamientoPACH	Diabolo	600 cc/ha
TratamientoEAQ	Solvendazim	0,5 l/ha
TratamientoEAP	Prulude	100 g/ha
TratamientoEAC	Fungis khan Nomad	1,5 kg/ha 0,3 l/ha

TratamientoMAAG	Paroli Butasol	3 a 4 l/ha
TratamientoMAG	Bacanok	1 a 1,5 l/ha
TratamientoMACH	Chekan/anroll	100 a 200 cc/ha
TratamientoPCFB	A base de Oxicloruro de cobre	3-5 aplicaciones a partir de la entrada de lluvias con intervalos de 30 días
TratamientoPCFCH	Diazinón Volatón	Diazinón 60 EC Volatón 50 EC (Foxim) + Cal Hidratada
TratamientoPCFM	Lebaycid (2), Dimecroa (1), Basudin (1)	2g/L
TratamientoECFO	Caldo bordelés / Perenox (óxido cuproso50%)	4 g/L
TratamientoECFR	Caldo Bordés / Hidroxido de cobre	3 kg/ha, con volumen de 300 a 400 litros de agua,
TratamientoECFM	Oxicloruro de cobre Benlate Difolatán Daconilc Tilt al	5g/L, 0,6g/L, 5g/L, 0,1%
TratamientoMCFS	Borrator	2 litros/ha
TratamientoMCFC	Borrator	2 litros/ha
TratamientoMCFG	Ausato	3 litros/ha
TratamientoPCCCH	Diabolo	500 cc / l
TratamientoPCCC	Bolido Sensei	750 cc /ha
TratamientoPCCG	Courage	400 cc/ha
TratamientoECCE	Prelude	100 g/l
TratamientoECCMC	Dacapo + Prelude	500 cc + 50 g /200 l
TratamientoECCMN	Corbat	750 g /200 l
TratamientoMCCS	Borrator	2 litros/ha
TratamientoMCCC	Ausato	3 litros/ha
TratamientoMCCG	Ausato	3 litros/ha
TratamientoPCÑB	Marbete Zero 5	330 cm ³ / ha
TratamientoPCÑSL	Fipronil	350cc/200 lt agua/ha
TratamientoPCÑSV	Carbaryl Acefato	1 a 1.5 Kg/ ha 500 g/ha
TratamientoECÑC	Glifosato	6 lt/ha, 40 cc/lt
TratamientoECÑEH	Vanodine Agrodyne	Vanodine al 2% o Agrodyne al 1%
TratamientoECÑR	Vanodine	Vanodine al 2%
TratamientoMCÑC	Ametrina	4,0 l/Ha aplicar cuando las malezas alcancen de 3 – 5 hojas funcionales. Realizar una aplicación por ciclo de cultivo.
TratamientoMCÑP	Ametrina	4,0 l/Ha aplicar cuando las malezas alcancen de 3 – 5 hojas funcionales. Realizar una aplicación por ciclo de cultivo.

TratamientoMCÑH	Ametrina	4,0 l/Ha aplicar cuando las malezas alcancen de 3 – 5 hojas funcionales. Realizar una aplicación por ciclo de cultivo.
TratamientoPBP	Metarhizium Anisopliae	10ml/1 litros de agua/ha
TratamientoPBM	Sevin	1.5 kg/ha.
TratamientoPBT	Imidacloprid	1l/ha
TratamientoEBS	Triazoles (sistémico) Morfolinas Benzimidazoles	Triazoles 0.4 lts/ha. (sistémico) Morfolinas 0.6 lts/ha (penetrante) Benzimidazoles 0.25 a 0.28 kg/ha. (sistémico)
TratamientoEBMP	Sulfato de zinc	5gr/planta
TratamientoEBMB	herbicida2,4-D	1.6 ml (sin diluir)/planta
TratamientoMBHCH	Paraquat	150 ml / 20 lt de agua
TratamientoMBHG	herbicidas 2,4-D amina, paraquat, MSMA o Glifosato	150 ml / 20 lt de agua
TratamientoMBG	Glifosato	100ml /20 lt de agua
TratamientoPMGC	Dipel KSI	150 - 200 g en 200 lt agua 800cc en 200 lts agua
TratamientoPMGT	KSI NEEM-X	800cc en 200 lts agua 1500 cc en 200 lts agua
TratamientoPMP	Methomyl	200 – 300 g/Ha
TratamientoEMP	Dipel KSI	150 - 200 g en 200 lt agua 800cc en 200 lts agua
TratamientoEMC	KSI NEEM-X	800cc en 200 lts agua 1500 cc en 200 lts agua
TratamientoEMR	Methomyl	200 – 300 g/Ha
TratamientoMMHCH	Metsufozell	5 a 15 g/ha
TratamientoMMHG	Bacanok	1 a 1,5 l/ha
TratamientoMMG	Rock	350 g/ha

Tabla 3-8 Recomendaciones de cuidados

Nombre	Descripción
RecomendaciónPAL	Aplicar en cuanto aparezcan los primeros síntomas de daño.
RecomendaciónPAB	Aplicar en cuanto se observe un 10% tallos barrenados esto se da entre los 45 días y 50 días.
RecomendaciónPACH	Aplicar cuando exista una población de 2 chinches/m ²
RecomendaciónEAQ	Aplicar en cuanto aparezcan los primeros síntomas, generalmente a los 35 días.
RecomendaciónEAP	Aplicar entre los 55 y 65 días.
RecomendaciónEAC	Aplicar la dosis a los 35 y 65 días.
RecomendaciónMAAG	Aplicar la dosis del producto químico en pre emergencia temprana.
RecomendaciónMAG	Aplicar en post emergencia temprana y tardía hasta los 45 días del cultivo
RecomendaciónMACH	Aplicar en post emergencia temprana.
RecomendaciónPCFB	Manejo Integrado. Recolectar manualmente los frutos

	caídos. Eliminar las malezas. Fertilizar adecuadamente. Eliminar cafetales decadentes o abandonados. Mantenerlos con entradas de luz
RecomendaciónPCFCH	La sanidad de plantas, manejo adecuado de malezas; la utilización de plantas injertadas sobre porta injertos resistentes. Eliminar las hormigas. Rociar insecticidas.
RecomendaciónPCFM	Estos insectos viven asociados ya que los pulgones excretan sustancias azucaradas de las que se alimentan los hongos. El control debe ser dirigido a destruir el hormiguero donde se encuentra la reina.
RecomendaciónECFO	El uso de Calcio y Magnesio favorece el control de la enfermedad. Debe realizarse podas constantes y control de fungicidas
RecomendaciónECFR	Podas del cultivo y del árbol de sombra, en la época de descanso del cultivo. Caldo bórdales en un recipiente plástico con los siguientes materiales: 5 onzas de sulfato de cobre, 5 onzas de cal dolomita, ¼ de barra de jabón, 4 galones de agua. Realizar 2 aplicaciones de la mezcla, la primera en la entrada de las lluvias y la segunda 30 días después.
RecomendaciónECFM	Siembre árboles vigorosos. Establezca adecuadamente el sombrío. Haga deshierbes adecuadamente. Utilice un plan de abono nitrogenado.
RecomendaciónMCFS	La aplicación de herbicidas se debe iniciar en la entrada del invierno, en época seca es conveniente regar la plantación uno o dos días antes. Se aplican en malezas en activo crecimiento de preferencia cuando están entre 10 a 20 cm de altura.
RecomendaciónMCFC	La aplicación de herbicidas se debe iniciar en la entrada del invierno, en época seca es conveniente regar la plantación uno o dos días antes. Se aplican en malezas en activo crecimiento de preferencia cuando están entre 10 a 20 cm de altura.
RecomendaciónMCFG	La aplicación de herbicidas se debe iniciar en la entrada del invierno, en época seca es conveniente regar la plantación uno o dos días antes. Se aplican en malezas en activo crecimiento de preferencia cuando están entre 10 a 20 cm de altura.
RecomendaciónPCCCH	Debe realizarse en periodos de mayor brotación de hojas y frutos tiernos. Efectuar podas que permita una mayor entrada de luz.
RecomendaciónPCCC	La aplicación será dirigida al lugar donde se encuentra el insecto, al mismo tiempo se fumigará el suelo cubriendo el ancho de la corona alrededor de la planta que es el lugar que donde se encuentran las hormigas.
RecomendaciónPCCG	Este insecto produce daños en su estado larvario a los cogollos y hojas del cacao. El momento de control es en estadio L1 y L2 pasado esta etapa se dificulta su control debido a que forma una especie de cuerno que lo protege.
RecomendaciónECCE	El control consiste en un manejo agronómico continuo que incluye control de malezas, fertilización, poda, drenaje, riego

	y observación permanente para anticipar problemas mayores.
RecomendaciónECCMC	Regular la humedad y el sombrío dentro de la plantación. Corte y quemado de plantas y ramas enfermas efectuar cirugía en áreas afectadas oportunamente.
RecomendaciónECCMN	Aplicación de fungicidas de forma dirigida cada 15 a 21 días en los meses de mayor precipitación (Enero-Abril).
RecomendaciónMCCS	La aplicación de herbicidas se debe iniciar en la entrada del invierno, en época seca es conveniente regar la plantación uno o dos días antes. Se aplican en malezas en activo crecimiento de preferencia cuando están entre 10 a 20 cm de altura.
RecomendaciónMCCC	La aplicación de herbicidas se debe iniciar en la entrada del invierno, en época seca es conveniente regar la plantación uno o dos días antes. Se aplican en malezas en activo crecimiento de preferencia cuando están entre 10 a 20 cm de altura.
RecomendaciónMCCG	La aplicación de herbicidas se debe iniciar en la entrada del invierno, en época seca es conveniente regar la plantación uno o dos días antes. Se aplican en malezas en activo crecimiento de preferencia cuando están entre 10 a 20 cm de altura.
RecomendaciónPCÑB	Aplicar químicos desde nacimiento de las primeras larvas. Control biológico natural. Eliminar corazones muertos.
RecomendaciónPCÑSL	En situaciones de emergencia recurrir al control químico. Si las concentraciones son numerosas de ninfas en el envés de las hojas aplicar el control químico de forma inmediata.
RecomendaciónPCÑSV	Quemar los canteros y residuos de cosecha. Renovar los canteros despoblados e infestados. Controlar las malezas hospederas del salivazo. Mantener un buen drenaje. Efectuar el deshoje de hojas bajas para eliminar ninfas medianas y grandes
RecomendaciónECÑC	Se debe realizar monitoreo en los semilleros entre los 2 y 7 meses de edad del cultivo. Cubrir los látigos con funda de papel, cortar y quemar
RecomendaciónECÑEH	Un tratamiento que comprende remojo en agua fría durante 24 horas seguido de un tratamiento en agua caliente a 50°C durante 1 a 3 horas ha sido utilizado con éxito.
RecomendaciónECÑR	No flamear el machete para eliminar la bacteria. uso de variedades resistentes. Además del tratamiento térmico de la semilla, se debe prevenir con la desinfestación de los machetes
RecomendaciónMCÑC	Amplio espectro de control. Realizar una aplicación por ciclo de cultivo.
RecomendaciónMCÑP	Permite tratamientos en pre y post emergencia. Realizar una aplicación por ciclo de cultivo.
RecomendaciónMCÑH	Excelente actividad durante el tiempo crítico de competencia de las malezas.
RecomendaciónPBP	Las colocaciones de trampas con pedazos de rizoma pueden ser eficaces para reducir poblaciones de picudos negros adultos. Sin embargo, es un trabajo laborioso y limitado por la disponibilidad de los materiales. También se cree que el

	saneamiento de los cultivos elimina los refugios y sitios de desarrollo y así reduce las cantidades de los picudos negros
RecomendaciónPBM	Estas larvas son muy susceptibles al control biológico por parte de algunos predadores y parásitos.
RecomendaciónPBT	Aplicar cuando se observen los primeros ataques de los insectos. Aplicar cada 10 a 14 días, dependiendo de la re infestación.
RecomendaciónEBS	Eliminación periódica de hojas enfermas o secas. El control químico se debe efectuar en forma mensual, desde octubre hasta abril, mediante pulverizaciones con fungicidas mezclados con aceites agrícolas
RecomendaciónEBMP	Realizar cuarentenas de poblaciones infectadas, restringiendo la exportación de rizomas, retoños y tierra. El uso de plantines micropropagados sin poner en riesgo de contagio a las zonas aún no afectadas
RecomendaciónEBMB	Se evita el contagio eliminando las plantas enfermas, desinfectado las herramientas y utilizando cepas sanas.
RecomendaciónMBHCH	Un buen control de malezas se consigue con aplicaciones de mezclas de herbicidas, logándose selectividad al cultivo cuando las aplicaciones son hechas evitando tocar plantas,
RecomendaciónMBHG	Un buen control de malezas se consigue con aplicaciones de mezclas de herbicidas, logándose selectividad al cultivo cuando las aplicaciones son hechas evitando tocar plantas,
RecomendaciónMBG	Un buen control de malezas se consigue con aplicaciones de mezclas de herbicidas, logándose selectividad al cultivo cuando las aplicaciones son hechas evitando tocar plantas,
RecomendaciónPMGC	El combate del gusano es de tipo integrado. Buena preparación del suelo. Eliminar malezas y hospederos.
RecomendaciónPMGT	Se recomienda aplicar el producto a la base del tallo y es preferible hacerlo en cuanto la 1/4 parte de la plantación ya esté invadida del gusano
RecomendaciónPMP	Se recomienda aplicar insecticidas en cuanto se detecte la aparición de la plaga, rociando el producto en el cultivo
RecomendaciónEMP	Utilizar semillas seleccionadas. Eliminar mazorcas afectadas. Rotación de cultivos. Control de insectos del suelo.
RecomendaciónEMC	Cubrir las mazorcas infectadas con una bolsa de plástico para no diseminar el hongo. Se cortan y se entierran a una profundidad de un metro dentro de un terreno no agrícola, evitando la diseminación de las esporas.
RecomendaciónEMR	Rotación de cultivo ayuda a disminuir la resiliencia de la enfermedad. Sembrar híbridos resistentes al patógeno.
RecomendaciónMMHCH	Es fundamental controlar las malezas a tiempo, ya que a medida que crecen, las alternativas de control se reducen y los costos se incrementan.
RecomendaciónMMHG	Es fundamental controlar las malezas a tiempo, ya que a medida que crecen, las alternativas de control se reducen y los costos se incrementan.
RecomendaciónMMG	Es fundamental controlar las malezas a tiempo, ya que a medida que crecen, las alternativas de control se reducen y los costos se incrementan.

Tabla 3-9 Prevención y Control

Nombre	Descripción
PrevenciónA	Aplicar un tratamiento para la semilla, se recomienda Fludioxonil y se aplica 0,2cm ³ /kg a semilla de buena calidad para asegurar una adecuada germinación y protección.
PrevenciónCF	Se recomienda el control químico solo para casos extremos a través de la desinfección de la semilla con Vitabac Captan - ambos fungicidas de baja toxicidad - en una dosis de 4 gramos por kilo de semilla.
PrevenciónCC	Potasio, aminoácidos: es un fertilizante líquido para aplicación foliar o radicular, que contiene 10 % de óxido de Potasio (100.000 ppm), enriquecido con 17 % de aminoácidos libres, ideal para aspersiones aéreas en cultivos extensivos como banano, mango, piña, arroz, maíz, soya entre otros. El potasio es fundamental para obtener buena producción con frutos más vigorosos, sanos y de excelente calidad sean anuales o perennes. Contiene aminoácidos, que actúan como agente quelatante lo que en combinación con su alta solubilidad en agua facilita el ingreso al interior de las plantas, ayudando en los diferentes procesos metabólicos. Se aplica 1.5 – 2.5l/ha De 6 a 8 aplicaciones al año.
PrevenciónCÑ	Nitrógeno, extractos de origen vegetal: Es un fertilizante estimula el desarrollo vegetativo, favoreciendo la formación y el crecimiento de las raíces, por lo tanto, es fundamental para ayudar a la planta a superar el estrés causado por el trasplante y para sostener su desarrollo en las primeras etapas de crecimiento. Aplicado durante la fase vegetativa favorece o predispone a la planta a la floración y mejor amarre de frutos. Se realizarán aplicaciones foliares 1-1.5 litros/ha en caña planta a partir de los 45 días de la brotación y en caña soca a partir de los 30 días después. Posteriormente las aplicaciones se harán cada 30 días.
PrevenciónB	Nitrógeno, fósforo, potasio: Fertilizantes foliar-radicular en sales altamente soluble en agua, con altas concentraciones de Macro -Micro nutrientes, aminoácidos y fitohormonas de origen natural, formulación balanceada y óptima para obtener un buen inicio de sus cultivos, o para ser aplicado en situaciones donde se piense mejorar el vigor y crecimiento de las plantas. Tiene incorporado un adherente especial lo que facilita su penetración vía foliar, hacia el torrente circulatorio y de ahí hacia los órganos donde la planta necesita los elementos nutritivos esenciales para esta importante etapa fisiológica. Se recomienda aplicar 1-2kg/ha
PrevenciónM	Ácido alfa-ceto, calcio, magnesio, boro: En general se recomienda al inicio de floración, llenado de vainas y cuajado de frutos. Realizar por lo menos dos a tres aplicaciones 15 – 20 días 2l/ha

3.5.2.4 Mantenimiento

Para las tareas de mantenimiento y actualización la ontología estará almacenada y disponible en el repositorio BioPortal con el nombre de CROP DISEASE CONTROL ONTOLOGY (CDCO). En la Tabla 3-10 se muestran las métricas de la ontología para el control de las enfermedades en cultivos.

Tabla 3-10 Métricas de CDCO

MÉTRICAS CROP DISEASE CONTROL ONTOLOGY (CDCO)	
Clases	520
Individuals	72
Property	25
Maximun Depth	8

La ontología creada ofrece a los usuarios un vocabulario para el dominio de las enfermedades en cultivos, ayudando a integrar las fuentes de datos existentes. Así también la ontología representa la fuente principal del conocimiento del dominio del cual el sistema adquiere información para el soporte de decisiones orientado al diagnóstico y prevención de las enfermedades de las plantas.

3.5.3 Diseño de los módulos de Sistema

Para cumplir con los objetivos propuestos se han diseñado las pantallas necesarias en el Sistema AgriEnt, sistema de ayuda a la decisión para el diagnóstico y prevención de las enfermedades de los cultivos, a fin de que los agricultores y usuarios en general mediante el ingreso de síntomas presentados en sus cultivos puedan obtener información de cómo prevenir una enfermedad o a su vez si el cultivo ya se encuentra enfermo el sistema presentará recomendaciones de productos y cantidades a aplicar para poder solucionar el problema.

3.5.3.1 Sistema Web

El sistema web está compuesto de 3 módulos Cultivos, Diagnostico y Recomendaciones ver Figura 3-7.

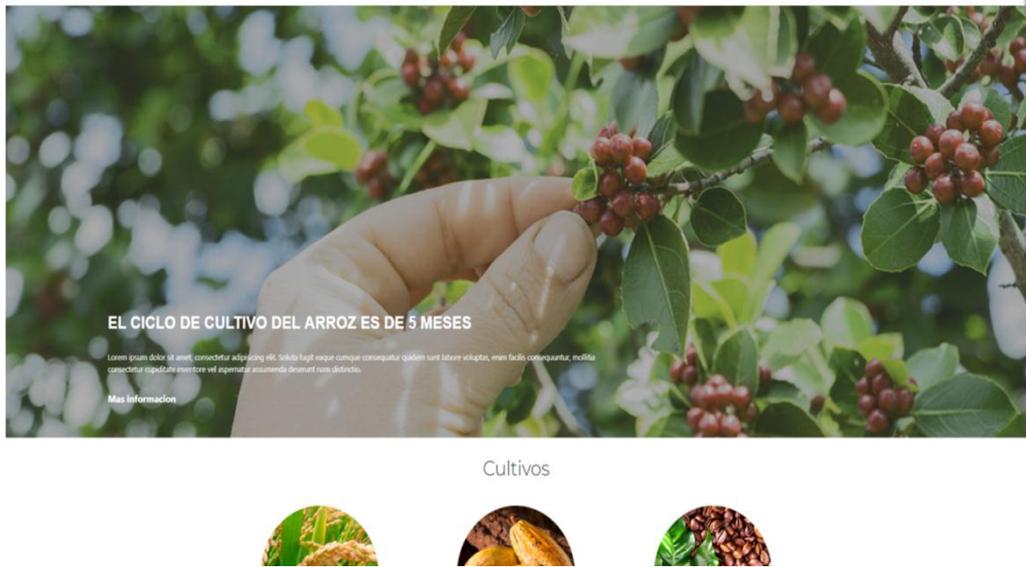


Figura 3-7 Módulos del Sistema

El módulo cultivos presenta al usuario cada uno de los cultivos a tratar como son arroz, cacao, café, caña de azúcar, maíz y banano. El usuario deberá escoger el cultivo del cual solicita información. Ver Figura 3-8.



Figura 3-8 Módulo Cultivos

El sistema permite para cada cultivo realizar diferentes acciones, por ejemplo, visualizar las afecciones que puede presentar, diagnosticar las enfermedades susceptibles al cultivo que se muestra mediante una galería de fotos, y las recomendaciones brindadas para el control o cuidado del cultivo. Tal como se muestra en la Figura 3-9.

	<p>Arroz Oriza Sativa</p> <p>El arroz es uno de los cultivos mas importantes en nuestro país ya sea por su incidencia económica así como por su importancia y representatividad en la dieta ecuatoriana. El origen de este virtuoso cultivo data de hace 10000 años en las zonas tropicales de Asia donde existía arroz tropical pero en China tuvo su verdadero desarrollo y expansión al resto del mundo. En el Ecuador los cultivos de mayor extensión y representación económica se encuentran en la provincia del Guayas (52%) y los Ríos (42%). El arroz se desarrolla bajo condiciones de trópico húmedo pudiéndose sembrar desde el nivel del mar hasta 1500 msnm pero sus rendimientos disminuyen notablemente a mayor altura, y con temperaturas mínimas de 22° y máximas de 30° ya que a mas temperatura se pierde su capacidad germinativa, siendo lo óptimo 22° a 30°. Sus exigencias en suelos varían desde arenosa, arcillosas, miestas y sobre todo con alta capacidad de retención de humedad.</p>	<p>Afecciones</p> <p>Diagnosticar</p> <p>Recomendaciones</p>
	<p>Cacao Theobroma Cacao</p> <p>El cultivo de cacao tiene gran importancia dentro de la economía del Ecuador por tratarse de un producto de exportación y materia prima para la fabricación de chocolates. El cacao producido en el país es poseedor de un buen aroma, característica indispensable para el mercado internacional. Según datos del III Censo Nacional Agropecuario, en el Ecuador se cultivan 242.146 hectáreas de cacao como monocultivo, y además se considera como cacao asociado a otros cultivos una superficie de 191.272 hectáreas. La provincia que más cultiva cacao solo es la provincia de Los Ríos con 58.572 hectáreas seguida por la provincia de Manabí y Guayas con una superficie sembrada de 52.577 y 51.227 hectáreas respectivamente. En el caso de cultivo asociado, la provincia de Manabí es la primera provincia con una superficie cultivada de 48.423 hectáreas.</p>	<p>Afecciones</p> <p>Diagnosticar</p> <p>Recomendaciones</p>
	<p>Café</p>	<p>Afecciones</p>

Figura 3-9 Acciones con cultivos

La opción afecciones presenta las plagas, enfermedades o malezas que causan daños en los cultivos. Esta opción muestra mediante una galería de fotos el estado del cultivo afectado para que el usuario o agricultor pueda escoger la imagen que tiene similitud con los síntomas que presenta su plantación. Como se observa en la Figura 3-10.



Arroz

Oryza sativa



Figura 3-10 Síntomas de los cultivos

Una vez que el agricultor ha escogido la imagen relacionada con los síntomas presentados por su cultivo, el sistema presenta un conjunto de recomendaciones, entre las cuales están los productos químicos que podrá utilizar para el tratamiento de la enfermedad, maleza o plaga, así también cual es la acción fitosanitaria del producto, una recomendación de la aplicación de la dosis y el modo de aplicación.



Arroz

Oryza sativa



Quemazon
Pyricularia Oryzae

Accion Fitosanitaria

Es un fungicida sistémico de amplio espectro de control sobre algunas enfermedades fungosas en varios cultivos de sierra y costa.

Aplicacion de dosis

0.3 - 0.35 l/ha Aplicar al inicio de la infeccion y al embuchamiento.

Modo de aplicacion

Agregar la cantidad necesaria en la mitad del volumen de agua requerido, agitar lo suficiente hasta lograr una mezcla homogénea y luego complete el resto del volumen con agua.

Tratamientos

Solvendazim
Soas
Solution B asd

[Regresar](#)

Figura 3-11 Recomendaciones y tratamiento

En ciertos casos existen varios productos químicos que son útiles para tratar una misma enfermedad, en este caso el sistema presenta los tratamientos adecuados dependiendo el caso.

3.5.3.2 Sistema Móvil

El Sistema móvil se crea con la finalidad de facilitar al usuario y al agricultor un acceso rápido y eficaz, y que permita la toma de decisiones mediante recomendaciones de tratamientos y productos químicos para el control de sus cultivos afectados. La pantalla de inicio presenta un acceso directo a los cultivos. Como se muestra en la Figura 3-12.

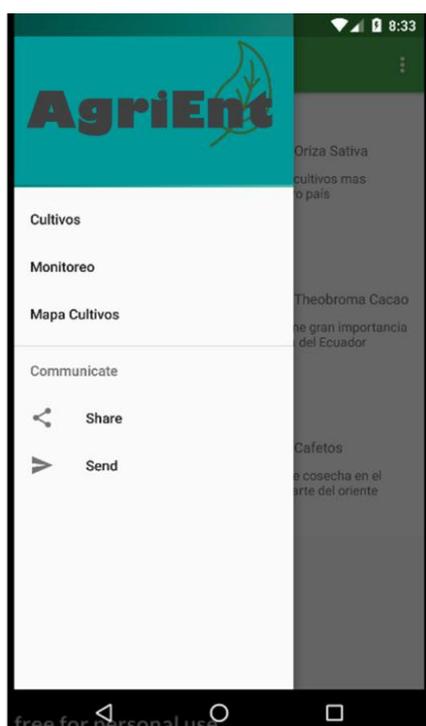


Figura 3-12 Pantalla principal de la aplicación móvil

La opción cultivos muestra el listado de los cultivos a analizar como son: arroz, café, cacao, caña de azúcar, maíz y banano, con su nombre científico y una breve descripción de cada uno, como se observa en la Figura 3-13.



Figura 3-13 Cultivos presentados en la aplicación móvil

Una vez escogido el cultivo que se desea analizar aparece una pantalla en cual se muestra una información general que describe al cultivo seleccionado y en la parte superior del menú las afecciones del cultivo, es decir, enfermedades, plagas y malezas, como se observa en la Figura 3-14.



Figura 3-14 Descripción del cultivo seleccionado en la aplicación móvil

En el menú presentado el usuario podrá escoger entre las 3 opciones (enfermedad, plaga o maleza) para poder identificar la afección que presenta su cultivo mediante un conjunto de imágenes presentadas, tal como se muestra en la Figura 3-15.



Figura 3-15 Enfermedades presentadas por el cultivo

Para cada uno de los cultivos se presentan las 3 opciones. En la Figura 3-16 se muestran las imágenes correspondientes a las plagas del cultivo del arroz. Que posteriormente el usuario o agricultor seleccionará de acuerdo a la que asemeje a su cultivo afectado. Así también en la Figura 3-17 se muestra un conjunto de imágenes de las malezas que afectan al cultivo.

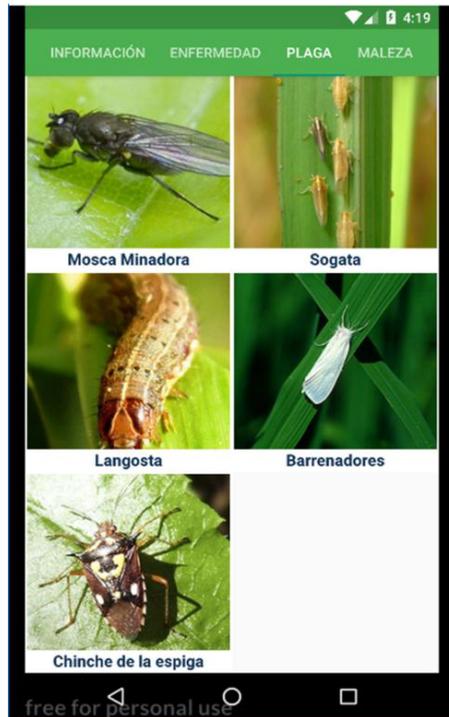


Figura 3-16 Plagas presentadas por el cultivo



Figura 3-17 Malezas que afectan al cultivo

Capítulo 4 Validación

4.1 Método

En el presente capítulo se detalla la validación realizada al sistema soporte a la toma de decisiones basado en ontologías para el diagnóstico y prevención de enfermedades de las plantas. Por medio de estos resultados se pretende analizar y evaluar el sistema, y así determinar la importancia y funcionalidad de la aplicación.

En la evaluación se validan los resultados del sistema, así como también la coherencia de los datos presentados.

Un grupo de 30 agricultores de la región costa del Ecuador fueron seleccionados para colaborar con una prueba de funcionalidad. Los agricultores fueron seleccionados por su experiencia en los cultivos de arroz, cacao, café, caña de azúcar, banano y maíz. Cada agricultor que participó en la evaluación ingresó diferentes síntomas relacionados con las enfermedades de las plantas.

Para fines de la evaluación se han considerado 20 conjuntos diferentes de síntomas para cada enfermedad.

Una vez recopilados todos los conjuntos de síntomas, estos se utilizaron como entrada al sistema. Luego, el DSS hizo un diagnóstico para cada conjunto de síntomas proporcionados. La enfermedad diagnosticada por el sistema se comparó con la enfermedad previamente reconocida por los agricultores. Finalmente, los resultados se evaluaron mediante el uso de las métricas conocidas como precisión (Ecuación 2), recuperación (Ecuación 3) y Valor-F (Ecuación 4) cuyas fórmulas se muestran a continuación.

Ecuación 2 Fórmula para la precisión

$$precision = \frac{true\ positives}{true\ positives + false\ positives}$$

Ecuación 3 Fórmula para la Recuperación

$$recall = \frac{true\ positives}{true\ positives + false\ negatives}$$

Ecuación 4 Fórmula para el Valor-F

$$F - measure = 2 * \frac{precision * recall}{precision + recall}$$

Las métricas se calcularon para cada enfermedad que fue considerada. Así para los conjuntos de síntomas de la enfermedad D, los verdaderos positivos (TP) son los conjuntos de síntomas que se relacionan de forma correcta con la enfermedad D, es decir los casos de éxitos y de los cuales se diagnosticaron correctamente. Los Falsos Positivos (FP) son los conjuntos de síntomas que estaban relacionados de forma incorrecta con la enfermedad D, es decir, la enfermedad D no es la correcta. Finalmente los falsos negativos (FN) son los conjuntos de síntomas relacionados con la enfermedad distinta de D, es decir aquellos conjuntos de síntomas que no estaban relacionados con la enfermedad correcta. La métrica F corresponde al promedio ponderado de la precisión. La recuperación representa el doble del producto de la precisión y la recuperación. En la siguiente sección se discute los resultados de la evaluación.

Así también se realizó una encuesta de satisfacción dirigida a los 30 agricultores que poseen cultivos en la región Costa del Ecuador, especialmente de arroz, cacao, café, caña de azúcar, banano y maíz con el fin de evaluar el diseño, usabilidad, navegabilidad, y pertinencia del sistema. En la encuesta mostrada en la Tabla 4-1 se presenta el conjunto de preguntas aplicadas a los agricultores, se ha utilizado la escala de Likert para las opciones de respuestas, por ser la escala más utilizada en el campo de la investigación.

Tabla 4-1 Encuesta de validación aplicada a los agricultores

Encuesta de Satisfacción dirigida a agricultores					
Objetivo: Evaluar el diseño, usabilidad, navegabilidad y pertinencia del Sistema de ayuda de decisión basado en Ontologías para el diagnóstico y prevención de las enfermedades en cultivos.					
	Totalmente en desacuerdo	En desacuerdo	Ni de acuerdo ni en desacuerdo	De acuerdo	Totalmente de acuerdo
Sección 1. Diseño					
1. ¿Considera que el diseño de la interfaz en cuanto a estructura y organización del sitio son adecuados?					
2. ¿El lenguaje utilizado en este sistema web es claro y conciso?					
3. ¿El tipo y tamaño de letra utilizado considera que es el adecuado?					
4. ¿Las imágenes utilizadas en los síntomas identifican apropiadamente la enfermedad relacionada?					
Sección 2. Usabilidad					
5. ¿Cree que el uso del Sistema Web ayudaría a los agricultores a tener un					

mejor control sobre las enfermedades que afectan a sus cultivos?					
6. ¿En función de los síntomas ingresados considera que el diagnóstico obtenido está acorde a la enfermedad presentada por la planta?					
7. ¿Le han sido útiles las recomendaciones de cuidado para la prevención de las enfermedades de las plantas?					
8. ¿Recomendaría el sistema web a otros agricultores que aún no lo conocen?					
Sección 3. Navegabilidad					
9. ¿Le resultó fácil navegar por las diferentes pantallas del sistema?					
10. El ingreso de síntomas de las enfermedades se lo realiza mediante la selección de imágenes. ¿Las imágenes cargan completamente?					
11. ¿Las recomendaciones presentadas por el sistema son fáciles de encontrar?					
Sección 4. Pertinencia					
12. ¿El sistema web ofrece beneficios para sus cultivos?					
13. ¿Las recomendaciones emitidas por el sitio web se relacionan con sus formas de cuidados de las afecciones de las plantas?					
14. ¿El diagnóstico y los mecanismos de prevención de las enfermedades de las plantas son los apropiados?					
Comentarios					
¿Qué recomendaciones ud. haría para mejorar o ampliar el sistema propuesto?					

4.2 Proceso

Tanto para la prueba de funcionalidad como para la encuesta de satisfacción de la aplicación, se ha tomado un conjunto de 30 agricultores que poseen por lo menos uno de los cultivos inmersos en esta propuesta. Se visitó a los agricultores para poder seleccionar principalmente a aquellos que han tenido dificultades en controlar enfermedades en los cultivos por falta de conocimientos técnicos, y se les explicó que han sido seleccionados para realizar una prueba en la cual validarán una herramienta tecnológica útil para el cuidado y control de sus cultivos, así también se les indicó que luego del uso de la plataforma contestarían una serie de preguntas en función del manejo y utilidad del sistema.

Primeramente, se hizo la presentación del sistema a cada uno de los agricultores haciéndoles una explicación del funcionamiento y los objetivos principales del sistema. Se solicitó a cada uno que ingresaran los datos solicitados. Debido a que se trata de afecciones que presentan los cultivos, los ingresos se hacen mediante

imágenes que representan el estado del cultivo enfermo. Se les informó que luego de escoger los síntomas presentados el sistema presentará el diagnóstico respectivo si el cultivo ya estuviera afectado, mostrará recomendaciones de productos químicos que podrían remediar los problemas ocasionados por las enfermedades, plagas o las malezas. Así como también formas de cuidar los cultivos con mecanismos de prevención y control.

Luego se realizó el proceso acompañando a cada usuario mientras utilizaba el sistema, de forma que se los fue orientando en los procesos que debían realizar, obteniendo los resultados en función de las imágenes ingresadas que representaban síntomas de las afecciones presentadas por los cultivos.

Finalmente, a cada uno de los usuarios se les facilitó un número de contacto para salvar cualquier duda con respecto al uso de la aplicación, así como también un manual de usuario claro y preciso que podría ayudarlos en el momento de tener alguna duda.

Durante el proceso de pruebas de funcionalidad se fue recogiendo los resultados del sistema y se evaluaron los resultados que serán presentados en la siguiente sección.

De los agricultores encuestados se constató en las visitas de campo que poseían diferentes cultivos. La Tabla 4-2 muestra las estadísticas de los usuarios que participaron en estas pruebas. Es posible que un mismo agricultor posea varios cultivos en sus parcelas.

Tabla 4-2 Estadísticas de agricultores encuestados

Cultivo	Cantidad de Encuestados
Arroz	8
Cacao	10
Café	6
Banano	3
Caña de azúcar	6
Maíz	8

4.3 Discusión

4.3.1 Análisis de los resultados de la prueba de funcionalidad

Los resultados de la prueba de funcionalidad del sistema para el diagnóstico y prevención de enfermedades en cultivos se presentan en la Tabla 4-3 en la cual se observa que el sistema tuvo un valor promedio de precisión de 0,812. Un valor promedio de recuperación de 0,824 y un promedio de Valor-F de 0,817.

Tabla 4-3 Evaluación de los resultados

	TP	FN	FP	Precisión	Recuperación	Valor-F
Quemazón	18	7	6	0,72000	0,75000	0,73469
Pudrición de la Vaina	19	4	5	0,82609	0,79167	0,80851
Broca del Café	17	5	5	0,77273	0,77273	0,77273
La Roya	22	4	2	0,84615	0,91667	0,88000
Saltahojas	17	3	2	0,85000	0,89474	0,87179
Sigatoka Negra	18	3	4	0,85714	0,81818	0,83721
Promedio				0,81202	0,82400	0,81749

Como se puede observar en la Tabla 4-3 el diagnóstico de los síntomas que obtuvieron los mejores resultados fueron "La Roya" y "Pudrición de la vaina", que corresponden a la enfermedad del café y a la enfermedad del Arroz respectivamente. La media aritmética de los valores de precisión, recuperación y valor-F fueron de 0,846, 0,916 y 0,88 respectivamente en el caso de "La Roya", y de 0,826, 0,791 y 0,808 respectivamente para el caso de "Pudrición de la Vaina". Estos resultados coincidieron con los síntomas definidos por los agricultores al momento de escoger la imagen relacionada a la afección del cultivo.

Analizando a detalle los valores, se puede apreciar que las enfermedades "Quemazón" y "Broca del Café" enfermedad del arroz y del café respectivamente, obtuvieron los valores de precisión de 0,72 y 0,77 respectivamente, de recuperación del 0,72 y 0,77 respectivamente, y de valor-F de 0,73 y 0,77 respectivamente. Los resultados ligeramente bajos obtenidos en estas dos enfermedades denotan que para los agricultores se presentan de varias maneras y los síntomas relacionados son diferentes a los presentados en ciertas ocasiones. Así también los agricultores manifestaron que en sus cultivos estas enfermedades no son tan usuales como otras que se manifiestan de forma severa y constante en la zona en las cuales mantienen sus cultivos. De ahí parte que para estas enfermedades los índices de precisión sean más bajos.

Los resultados obtenidos en las pruebas realizadas demuestran una adecuada ejecución del DSS con respecto al diagnóstico de las enfermedades en los cultivos. Como se muestran los resultados de la tabla, no existe una gran diferencia entre los puntajes obtenidos. Sin embargo, la variación de los puntajes, según el análisis realizado se puede diferir que sus causas son: que algún sistema no estaba relacionada a ninguna enfermedad y por otro lado hay varias enfermedades que comparten síntomas, lo que podría ser una dificultad al hacer un diagnóstico adecuado, si existen varios síntomas comunes.

Analizando las causas anteriores, con respecto al primer tema, algunos síntomas proporcionados no están considerados en la ontología, sin embargo, varios de ellos son sinónimos de los ya descritos en la ontología. Por ello es necesario extender la ontología mediante la adición de nuevas enfermedades, síntomas y como elemento importante la adición de sinónimos y jerga, es decir palabras que utilizan los agricultores en su trabajo. Con respecto al segundo problema, es necesario aumentar un conjunto más amplio de propiedades que permitan al sistema seleccionar una enfermedad entre un conjunto de enfermedades que compartan síntomas. Por otro lado sería importante ampliar el conocimiento contenido en la ontología para poder representar un conjunto más amplio de síntomas y así generar un conjunto de reglas más amplias, y posteriormente obtener un conjunto síntomas que conlleven a mejorar la efectividad del módulo de razonamiento.

4.3.2 Análisis de los resultados de la encuesta de satisfacción

A continuación, se presentan los resultados obtenidas en las encuestas de satisfacción aplicadas a los 30 agricultores de la región Costa del Ecuador.

En la *sección de Diseño*, en la primera pregunta **1. ¿Considera que el diseño de la interfaz en cuanto a estructura y organización del sitio son adecuados?**, el 90% de los encuestados considera que la estructura y organización del sitio es la adecuada puesto que les resulto fácil identificar las ubicaciones de los módulos del sistema. El 3% de ellos no estuvieron de acuerdo ni en desacuerdo porque son novatos en el uso de sistemas informáticos. Los resultados se presentan en la Figura 4-1.

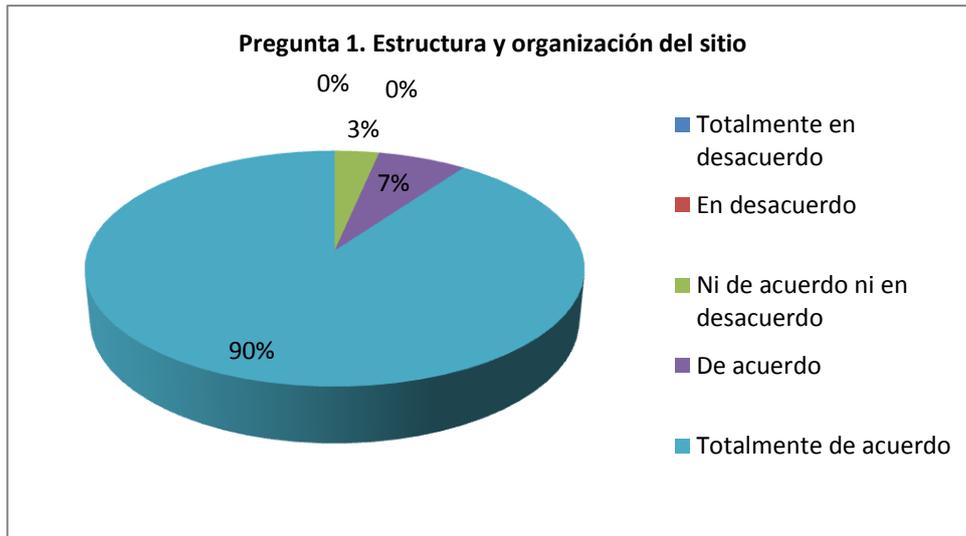


Figura 4-1 Análisis pregunta 1

La Figura 4-2 presenta los porcentajes obtenidos para la pregunta 2. **¿El lenguaje utilizado en este sistema web es claro y conciso?** El 88% de los encuestados consideran que el lenguaje utilizado es claro y legible lo que permite un fácil entendimiento del sistema. Está pregunta es clave para conocer la facilidad que presentan los agricultores para para entender los pasos que deben seguir al momento de utilizar el sistema web.

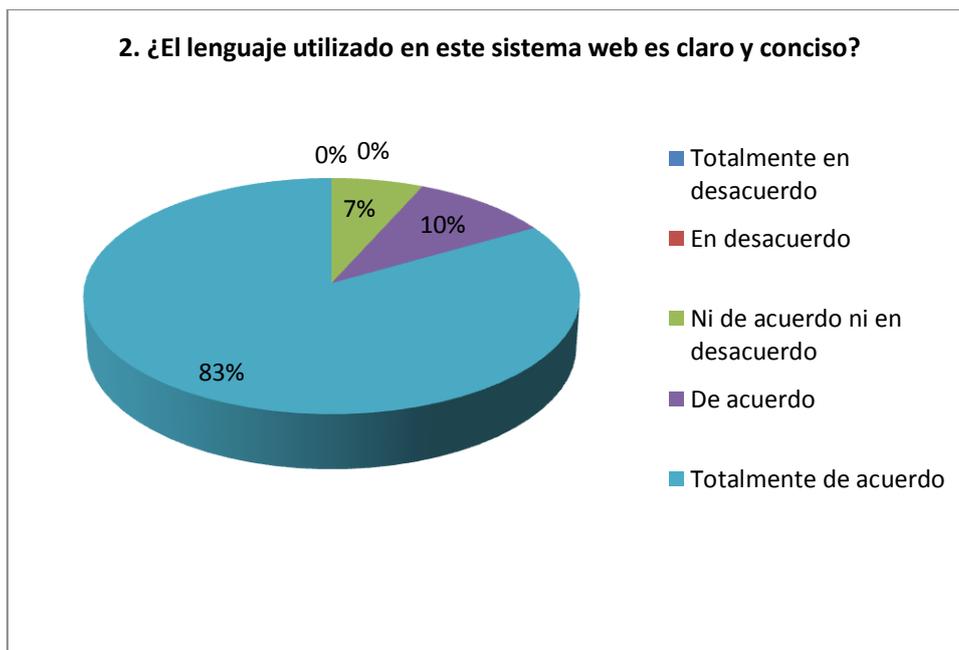


Figura 4-2 Análisis Pregunta 2

En la Figura 4-3 se muestran los resultados obtenidos de la pregunta 3. **¿El tipo y tamaño de letra utilizado considera que es el adecuado?**, que tuvo como objetivo

conocer la satisfacción de los usuarios en cuanto la tipografía utilizada en el sitio web. Esta consideración es de mucha importancia dentro del diseño de pantallas ya que la mayoría de agricultores encuestados son personas adultas que se han dedicado a los cultivos la mayor parte de su vida, y es necesario conocer la facilidad de lectura y comprensión que puedan tener los agricultores al momento de interactuar con el sitio web.

Como se puede apreciar en la figura el 97% de los encuestados están totalmente de acuerdo con el tipo y tamaño de la letra utilizado, dato que es muy significativo para considerar que el diseño está bien estructurado.

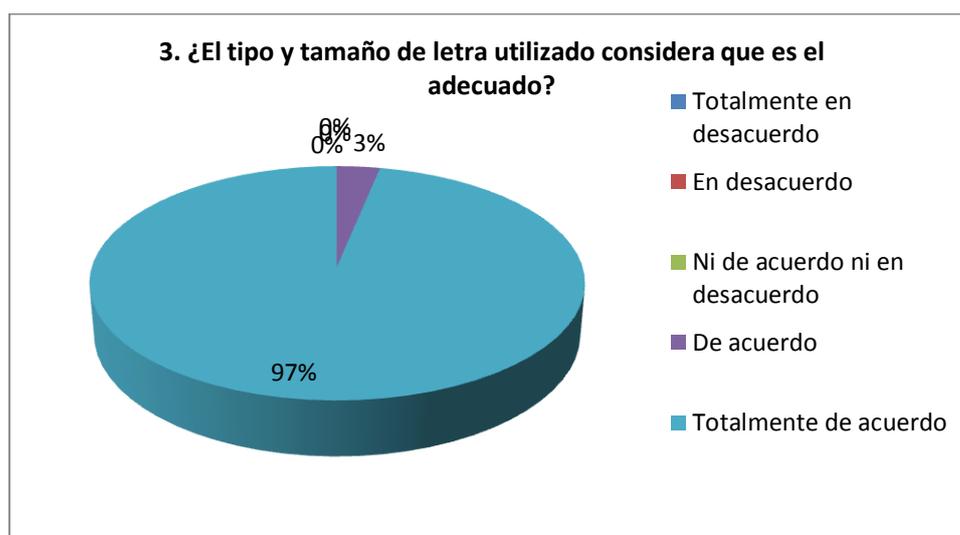


Figura 4-3 Análisis Pregunta 3

La Figura 4-4 muestra los resultados obtenidos de la pregunta 4. **¿Las imágenes utilizadas en los síntomas identifican apropiadamente la enfermedad relacionada?**, esta pregunta se realizó con el fin de saber si los agricultores reconocen de manera fácil las imágenes y las relacionan con los síntomas que están presentando sus cultivos.

De los encuestados 2 personas estuvieron en desacuerdo con las imágenes porque el síntoma que ellos escogieron les pareció diferente al que ellos conocían, dificultad que se arreglaría al mejorar la imagen. En cambio, el 90% de los encuestados estuvieron de acuerdo con las imágenes y consideraban que eran fáciles de reconocer.

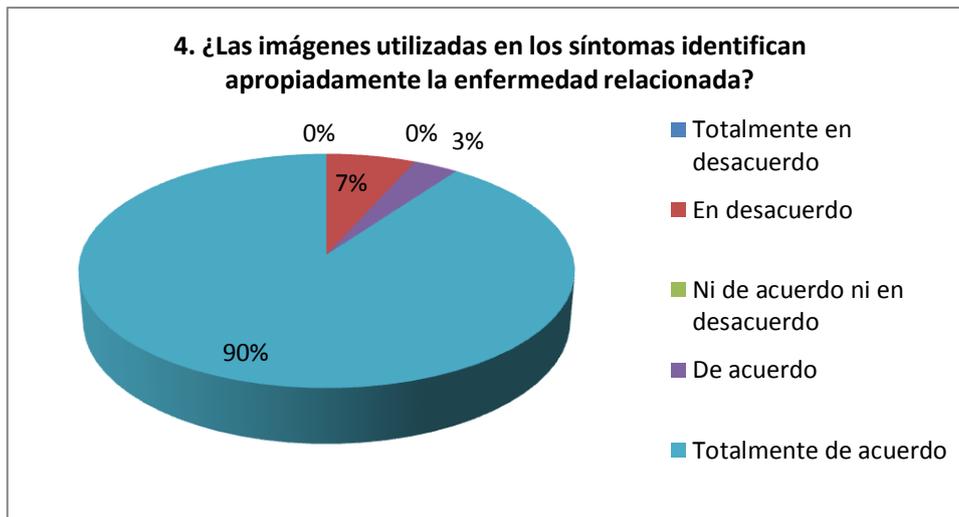


Figura 4-4 Análisis Pregunta 4

En la *sección de Usabilidad*. La pregunta número 5 es de mucha importancia dentro de la encuesta ya que es el resultado de la propuesta del Sistema Web.

La Figura 4-5 muestra los resultados obtenidos de la pregunta 5. **¿Cree que el uso del Sistema Web ayudaría a los agricultores a tener un mejor control sobre las enfermedades que afectan a sus cosechas?**, ésta pregunta se enfoca a conocer si los agricultores consideran que la plataforma sería de utilidad en el momento de controlar las afecciones que están teniendo sus cultivos en el momento de presentar una enfermedad o plaga.

El gráfico muestra que el 87% de los encuestados cree que el sitio web contribuye a tener control sobre las enfermedades que afectan a sus cultivos, ya que permite diagnosticar el tipo de plaga, enfermedad o maleza que presenta y brinda recomendaciones de control y cuidados.

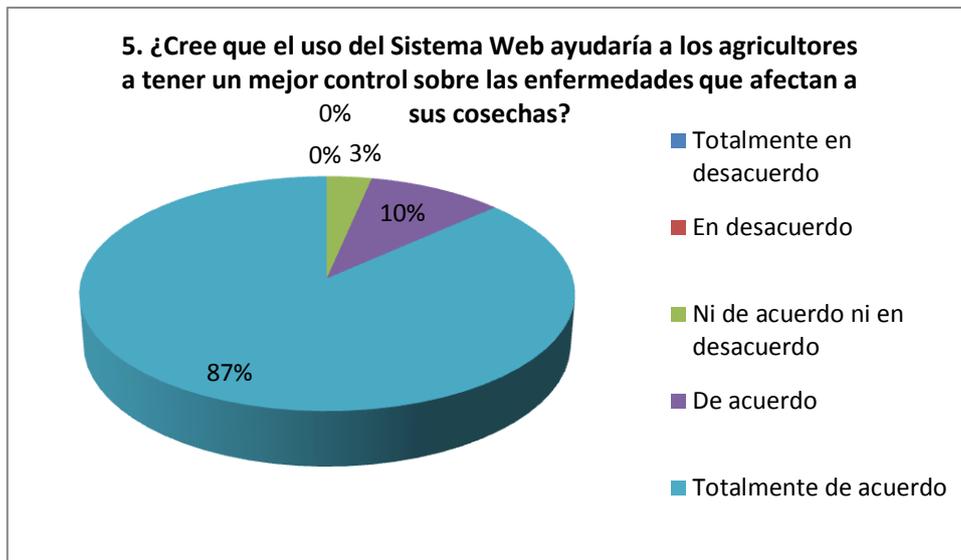


Figura 4-5 Análisis Pregunta 5

La pregunta **6. ¿En función de los síntomas ingresados considera que el diagnóstico obtenido está acorde a la enfermedad presentada por la planta?** Se orienta a conocer el criterio de los agricultores en cuanto a la veracidad de los procesos del sistema en función de los diagnósticos obtenidos, ya que a partir de este resultado el agricultor podría conseguir una confiabilidad en el sistema desde su parte inicial al considerar que el diagnóstico obtenido es real.

Los resultados se muestran en la Figura 4-6 donde el 93% de los encuestados están totalmente de acuerdo con los diagnósticos proporcionados por el sistema en función de los síntomas ingresados, algunos de ellos no están de acuerdo ni en desacuerdo, es importante considerar ampliar la lista de diagnósticos para cubrir esas expectativas.

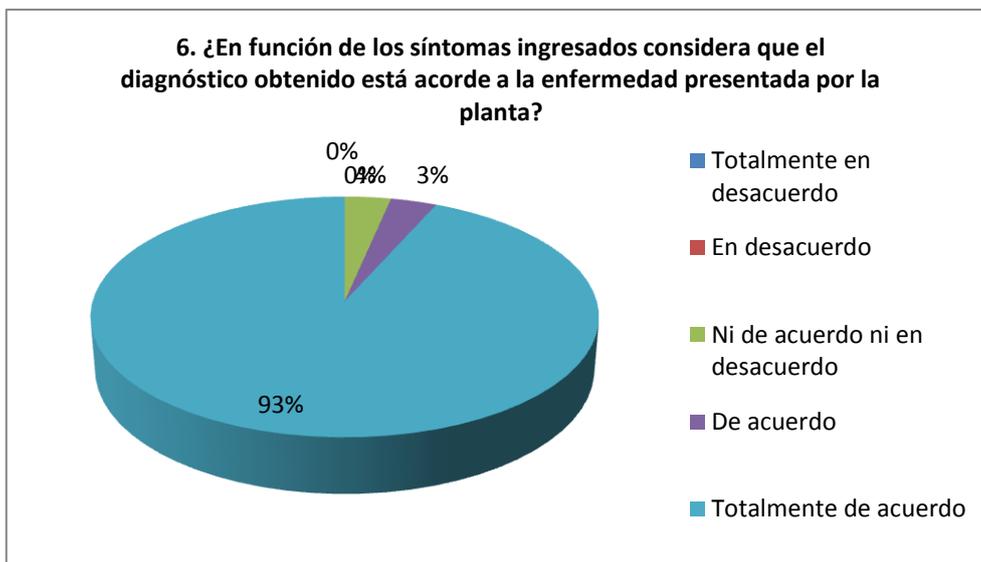


Figura 4-6 Análisis Pregunta 6

La Figura 4-7 muestra los resultados obtenidos en la pregunta 7. **¿Le han sido útiles las recomendaciones de cuidado para la prevención de las enfermedades de las plantas?** durante la prueba del sistema se trató de ejecutar varias veces el módulo que permite presentar las recomendaciones de cuidado, y de los encuestados, todos estuvieron de acuerdo con las recomendaciones que producía el sistema y las formas de aplicación de los productos químicos para controlar las afecciones de sus cultivos.

Estos resultados de las encuestas son útiles para poder confirmar que las reglas utilizadas dentro del sistema son las apropiadas para la consecución de los resultados.

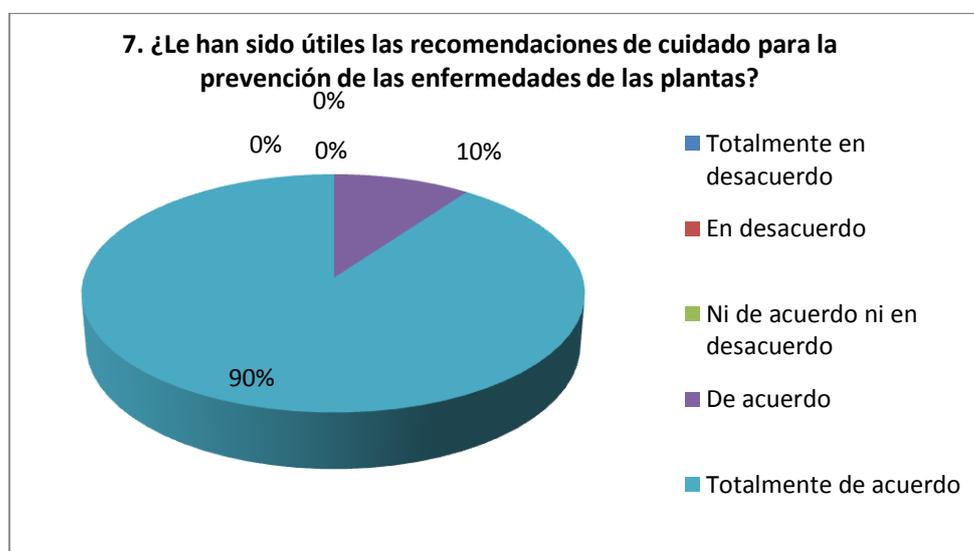


Figura 4-7 Análisis Pregunta 7

La Figura 4-8 muestra los resultados obtenidos para la pregunta **8. ¿Recomendaría el sistema web a otros agricultores que aún no lo conocen?** Y los resultados son bastante favorables, ya que lo que se busca es que el sistema sea de utilidad para la mayor cantidad de usuarios, y de esta manera solucionar un problema latente dentro de nuestro entorno.

Dentro de los resultados se puede observar que el 97% de los encuestados recomendarían el sistema a sus familiares y amigos agricultores, solo el 3% de ellos no están ni de acuerdo en desacuerdo, lo que ayuda a concluir que el sistema cumple los requisitos planteados.

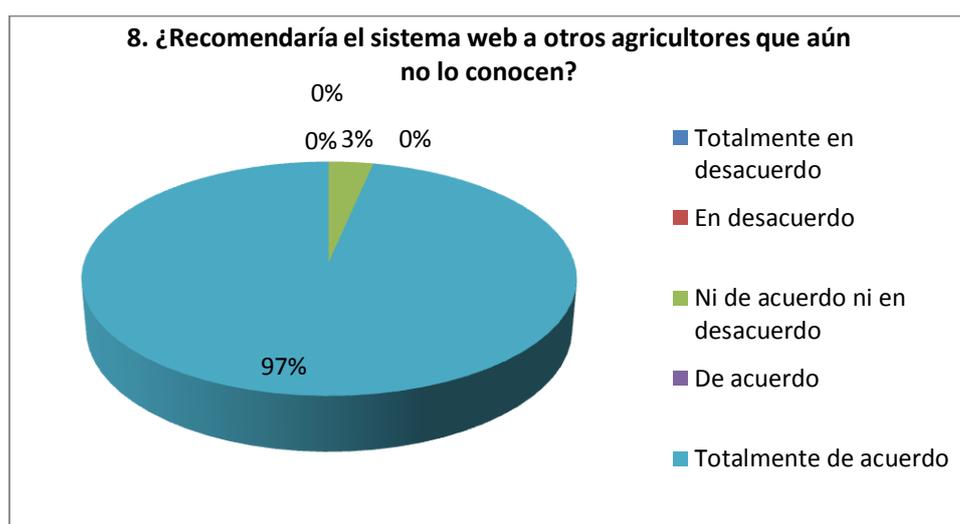


Figura 4-8 Análisis Pregunta 8

En la *sección de Navegabilidad*. Los resultados obtenidos en la pregunta **9. ¿Le resultó fácil navegar por las diferentes pantallas del sistema?**, se muestran en la Figura 4-9, la finalidad de esta pregunta fue saber si los usuarios consideraban que era fácil ubicarse en cada módulo del sistema web y si mientras navega tiene la facilidad de moverse de una ventana a otra.

Los resultados obtenidos son bastante satisfactorios ya que el 90% de los usuarios consideran que la plataforma es de fácil navegación y que les permite una adecuada movilidad dentro de ella.

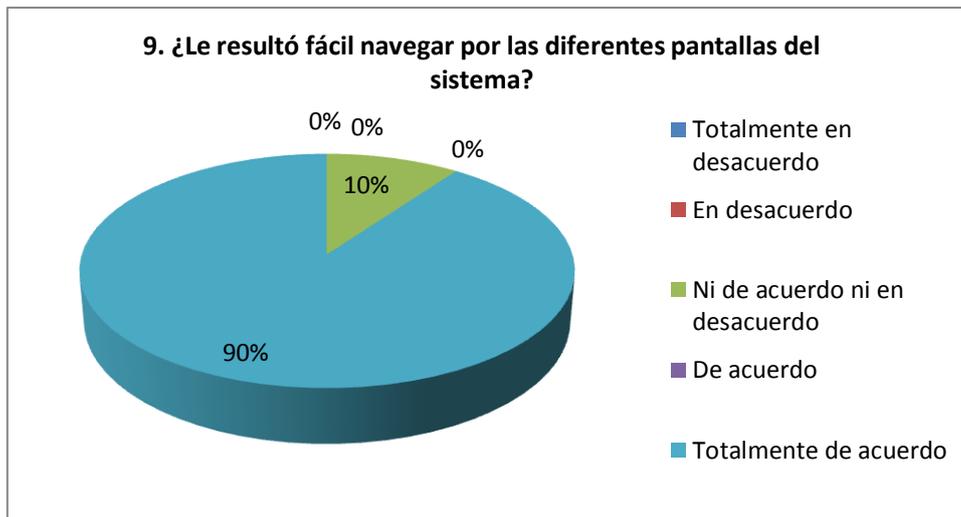


Figura 4-9 Análisis Pregunta 9

La pregunta **10. El ingreso de síntomas de las enfermedades se lo realiza mediante la selección de imágenes. ¿Las imágenes cargan completamente?**

La pregunta se orienta a conocer si los usuarios consideran que las imágenes se cargan de forma correcta, es importante conocer su criterio ya que la pantalla que contiene los síntomas es el marco de partida de ingreso de datos.

De los resultados obtenidos se constata que todos los encuestados están totalmente de acuerdo con la carga de las imágenes.

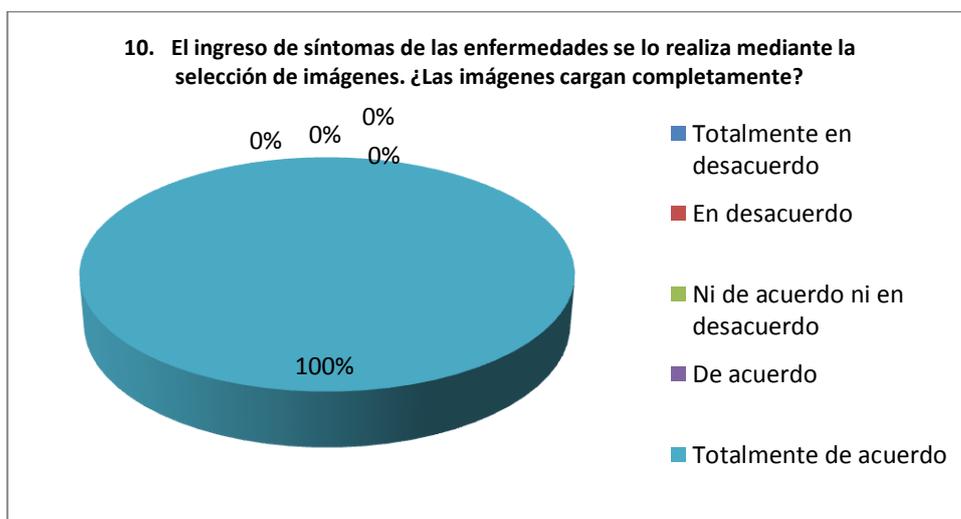


Figura 4-10 Análisis Pregunta 10

Se ha tratado en lo posible que el sistema sea intuitivo, es decir que los usuarios del sistema puedan manejarlo de forma fácil y navegar dentro de sus opciones.

La pregunta **11. ¿Las recomendaciones presentadas por el sistema son fáciles de encontrar?** Presenta los resultados en la Figura 4-11 en el cual es fácil apreciar que casi todos los encuestados están totalmente de acuerdo con que las recomendaciones es posible ubicarlas de manera sencilla e intuitiva.

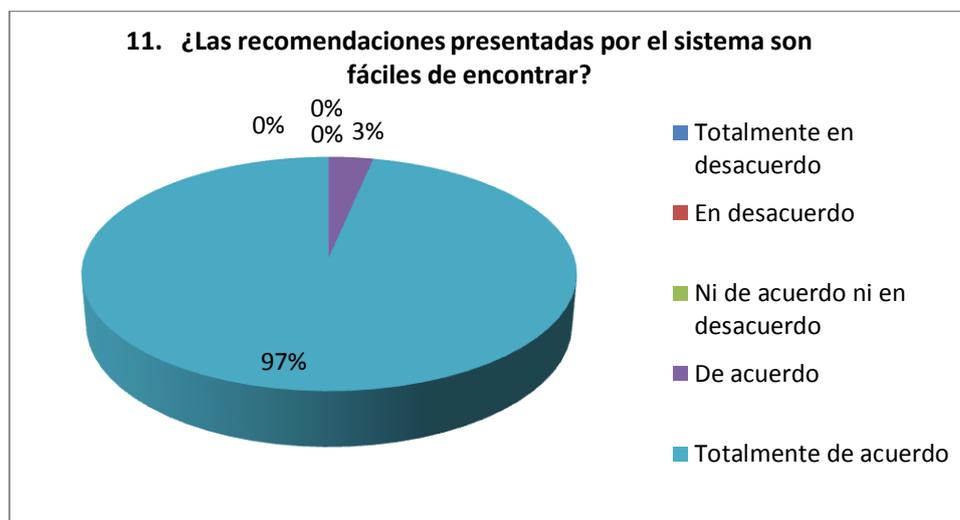


Figura 4-11 Análisis Pregunta 11

En la *sección de Pertinencia*. La pregunta **12. ¿El sistema web ofrece beneficios para sus cultivos?** Está orientada a conocer la opinión de los agricultores con respecto a los beneficios que aporta el sistema para sus cultivos, ya que al ser un sistema recomendador, permite al usuario tomar decisiones en cuanto a la forma de cuidados que debe tener con sus cultivos, exponiendo recomendaciones de cuidados y opciones de productos químicos que le sirven para que el usuario pueda tratar sus cultivos enfermos.

La Figura 4-12 presenta los resultados obtenidos en la encuesta, la cual se observa que el 100% de los encuestados consideran que el sistema ofrece beneficios importantes para el control y cuidado de los cultivos.

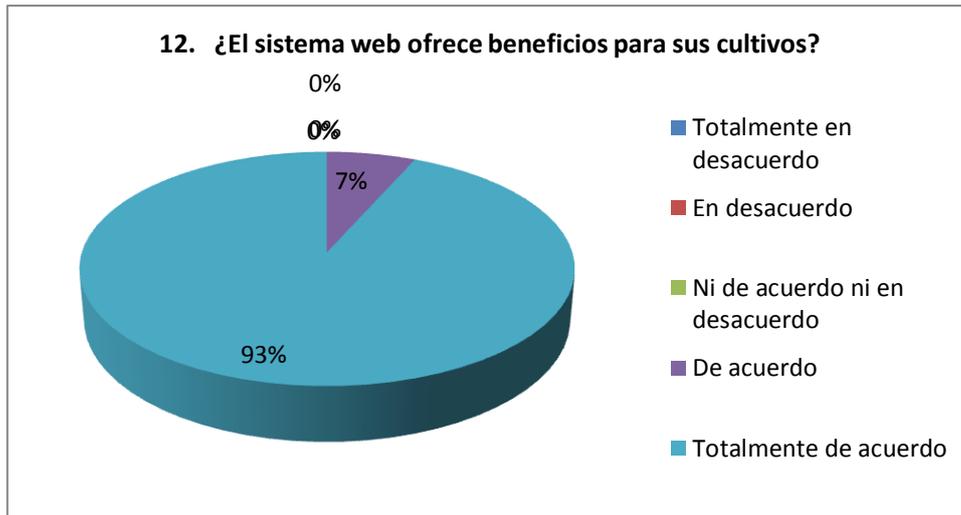


Figura 4-12 Análisis Pregunta 12

En la Figura 4-13 se muestran los resultados de la pregunta **13. ¿Las recomendaciones emitidas por el sitio web se relacionan con sus formas de cuidados de las afecciones de las plantas?** el objetivo de ésta pregunta fue encontrar el grado de confiabilidad que los usuarios podrán tener al momento de que el sistema emita recomendaciones de cuidados, y ésta sea familiar o se parezca en cierto grado a los mecanismos utilizados por parte de ellos, ya que de esta forma el usuario podría seguir ingresando al sistema las veces que sean necesarias.

Según los resultados obtenidos la mayoría de encuestados están de acuerdo y totalmente de acuerdo con las recomendaciones emitidas por el sistema, solo un 4% de ellos no eta de acuerdo ni en desacuerdo, quizás sea porque ellos controlan sus cultivos de forma tradicional.

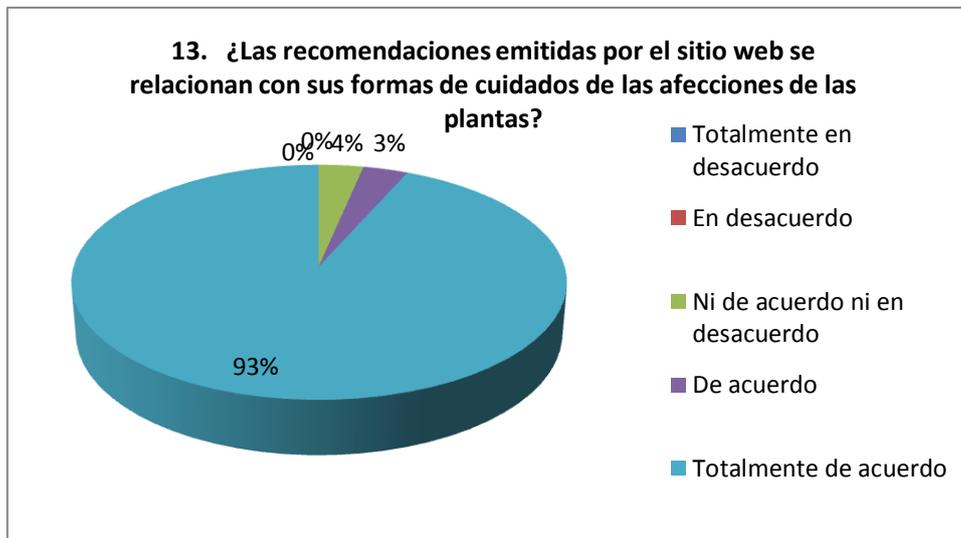


Figura 4-13 Análisis Pregunta 13

La pregunta **14. ¿El diagnóstico y los mecanismos de prevención de las enfermedades son los apropiados?** Está relacionada con la aceptación de los usuarios en cuanto a las recomendaciones y los diagnósticos presentados, es importante los resultados de esta pregunta ya que estos procesos se han creado en función de un conjunto de reglas establecidas por expertos en el dominio de la agricultura y era necesario validarlas con los usuarios encuestados.

En la Figura 4-14 se puede observar que algunos usuarios no están de acuerdo ni en desacuerdo aunque son solo el 3% se debe tener atención para una nueva versión del sistema. El 97% de ellos están de acuerdo y totalmente de acuerdo lo que indica que se ha trabajado de forma apropiada con el sistema de recomendaciones para los usuarios.

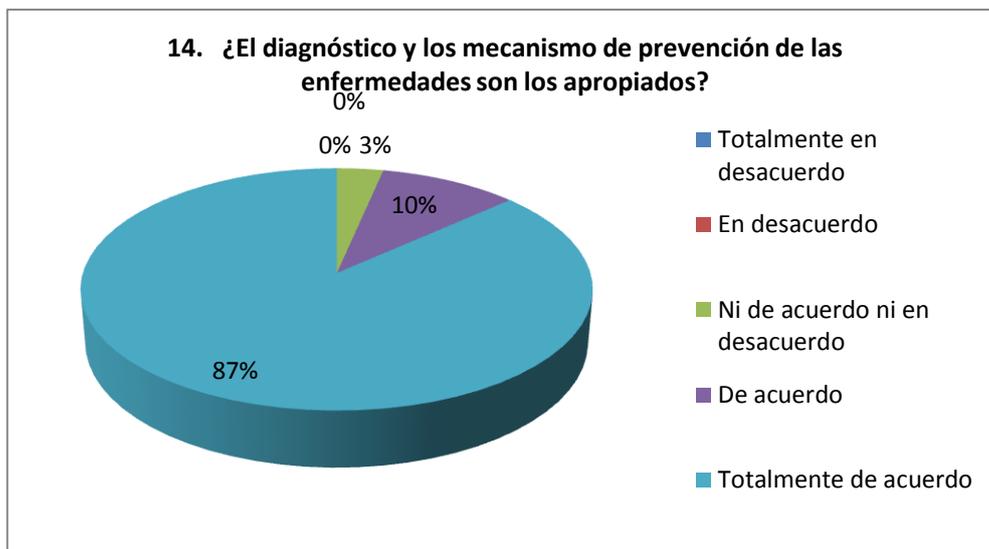


Figura 4-14 Análisis Pregunta 14

De las pruebas realizadas es posible concluir que el sistema propuesto es de fácil uso para los agricultores, y que ha sido de gran utilidad al momento de necesitar de un apoyo a las decisiones de cuidados y control de sus cultivos. Lo que llamó la atención de los agricultores también es la posibilidad de contar con un sistema que dependiendo de la enfermedad encontrada permita recomendar las cantidades o dosis de los productos químicos que se deben aplicar al cultivo así también como recomendaciones de cuidados que se deben considerar si lo que necesitan es prevenir el contagio de alguna plaga.

Capítulo 5 Conclusiones y trabajos futuros

5.1 Conclusiones

Sin duda en el área agrícola, el manejo y control de las plagas, enfermedades y malezas, hoy en día es un gran desafío para los agricultores. Por este motivo se busca generar nuevas herramientas que permitan integrar conocimientos y colaboren al desarrollo de soluciones fáciles, amigables, completas y sostenibles que apoyen a los agricultores a la toma de decisiones.

El presente trabajo de tesis doctoral describe una propuesta de un sistema de ayuda a la decisión basado en ontologías en el dominio de la agricultura, específicamente en el control y prevención de las enfermedades en cultivos, y resulta novedoso y aplicable ya que se enfoca en los cultivos de la región Costa del Ecuador además utiliza ontologías y tecnologías semánticas que hace de este proyecto un sistema inteligente. El sistema presenta como características básicas que es un sistema de fácil uso para los agricultores, concreto, fiable y recomendable, ya que para la creación de la ontología que es la base del conocimiento se ha basado en el dominio de los expertos en el área de la agricultura.

Hoy en día existen muchas aplicaciones que permiten controlar y monitorear los cultivos, pero cada una de ellas ha sido creada en el contexto de sus países (Quintero-Domínguez et al., 2019), (Barrantes Angulo & Vigo Portilla, 2015), (Merino Cisneros, 2013), (Bula et al., 2013), (Mondino & González-Andújar, 2006), por citar algunos, cada una maneja nombres de afecciones diferentes y síntomas diferentes. Una de las desventajas que podríamos encontrar en este tipo de sistemas es que los productos químicos que en el mercado constantemente están evolucionando y aparecen nuevos productos para solucionar las diferentes afecciones de los cultivos. Por estos motivos la información almacenada en la ontología debe estar actualizada constantemente para asegurar una consistencia de los datos guardados.

La metodología utilizada en esta propuesta permite que la aplicación ofrezca un entorno estable, amigable y eficaz. Pretende crear una plataforma que facilite al usuario la toma de decisiones en función de las afecciones de sus cultivos, así como establecer recomendaciones de control y cuidados. Para ello el sistema consta de un conjunto de módulos bien organizados que permiten conseguir los objetivos propuestos.

En el estudio del estado del arte, se analizó varias aplicaciones existentes a nivel internacional y se ha llegado a la conclusión que, los programas creados tienen características propias de los países o regiones en los cuales se han realizado los estudios, por esa razón se ha creado AgriEnt un sistema basado en ontologías para el control de cultivos que engloba los requisitos y características de los cultivos que se siembran en el Ecuador. La idea es ofrecer una ontología basada en el conocimiento de los expertos que incluya el control de plagas, enfermedades y malezas que afectan a los cultivos del Ecuador, y que se encuentre disponible para que los usuarios expertos y no expertos puedan tener una herramienta que le facilite el diagnóstico, prevención y manejo de las afecciones en los cultivos.

Por lo expuesto la plataforma propuesta presenta soluciones efectivas para el control, diagnóstico y prevención en el dominio de las afecciones de los cultivos. Es necesario mencionar las principales aportaciones de esta tesis:

- **Desarrollo de un modelo ontológico para la representación del conocimiento del dominio de la agricultura.** Este modelo ontológico representa la descripción de conceptos que definen los atributos que se utilizan en la etapa de definición de estándares semánticos de la ontología. Esta ontología se ha diseñado con los parámetros iniciales necesarios para el control de cultivos, para ello con la ayuda de los ingenieros agrónomos se estableció una categorización en la cual por cada cultivo se especificó un conjunto de enfermedades, plagas y malezas que afectan a los cultivos de arroz, café, cacao caña de azúcar, banano y maíz, además los fungicidas, herbicidas y pesticidas utilizados para el tratamiento de la afección junto con la recomendación de las dosis a aplicar, clasificados por cultivos. Así mismo la creación del modelo ontológico permite obtener un buen rendimiento en la plataforma creada más que nada en los tiempos de respuesta en cuanto a la emisión de recomendaciones de cuidados y control.
- **Creación de un sistema para la monitorización del estado de las plantaciones y cultivos a través de información que el usuario proporcionará mediante la interfaz web.** La plataforma propuesta se creó con el fin de que el usuario agricultor ingrese a través de la interfaz web, por medio de imágenes propuestas aquellas que coincidan con el estado de sus cultivos, y de esta forma el sistema pueda diagnosticar la afección correcta y adicionalmente recomendar mecanismos de cuidados y control, así mismo

dependiendo del cultivo recomendar mecanismos de prevención de enfermedades.

- **Diseño de un sistema para la recomendación específica al usuario basado en tecnologías del conocimiento.** Con la creación de la ontología y la extracción del conocimiento del dominio de los expertos se ha creado un sistema de recomendación específica en función de los cultivos de arroz, cacao, café, caña de azúcar, banano y maíz, de tal forma que, si el agricultor está en proceso de siembra, el sistema permite recomendar mecanismos de prevención de enfermedades con consejos de aplicación de productos químicos preventivos y controles previos. Así también se han creado reglas de validación para que dependiendo del cultivo y de la afección presentada por el mismo se muestre las recomendaciones y tratamientos para los cultivos afectados esto es la aplicación de productos químicos, las dosis y recomendaciones adicionales de cuidados.
- **Creación de una plataforma integral para la ayuda a la decisión y recomendación en agricultura.** La creación de la plataforma en base a la generación del sistema recomendador permite al agricultor establecer parámetros básicos para el control de sus cultivos además que sirve de ayuda a la toma de decisiones en cuanto al cuidado de los cultivos afectados.

5.2 Trabajos Futuros

A continuación, se citan algunas ideas que no formaron parte de esta tesis pero que podrían ser punto de partida para nuevas líneas de investigaciones que se las puede considerar como trabajos futuros:

- **Incluir nuevos cultivos de ciclo corto y perenne de la región Costa para enriquecer la ontología creada.**

En este trabajo propuesto se han incluido los cultivos de arroz, cacao, café, caña de azúcar, banano y maíz, por ser los cultivos de mayor impacto económico en el Ecuador, sin embargo, el país tiene una gran variedad de cultivos gracias a la diversidad de suelos que existen en las diferentes zonas geográficas del país. Esta opción sería una de las líneas futuras, es decir incorporar a la ontología propuesta nuevos cultivos que permitan complementar la ontología y a la vez incluir otras afecciones de estos cultivos, de esta forma la ontología estaría en constante actualización basada en el dominio de los expertos ya que la inclusión

de nuevos cultivos trae consigo el conjunto de mecanismos de prevención y control, así como también un conjunto de recomendaciones en cuanto a los productos químicos a utilizar.

- **Incluir mecanismos de evaluación de la ontología que permita validar su calidad.**

Cuando se crea una ontología es necesario contar con mecanismos de validación que permitan evaluar las ontologías creadas. Las métricas de evaluación permiten conseguir ontologías fiables que aporten la seguridad de poderlas reutilizar y compartir por cualquier usuario (Brank et al., 2005). Existen varios tipos de métricas que pueden servir para evaluar las propiedades de las ontologías. En esta línea de investigación futura se propone realizar un análisis de las métricas de evaluación que existen y que se enlacen con la creación de la ontología propuesta para que se pueda retroalimentar que obtener una mejor versión de la ontología propuesta y a la vez que esta pueda ser utilizada por expertos en el dominio de la agricultura para futuras investigaciones.

- **Integrar al sistema nuevos módulos que permitan completar la información necesaria para el control general de cultivos**

El sistema propuesto presenta mecanismos de prevención y un conjunto de recomendaciones en función de las afecciones de los cultivos (plagas, enfermedades y malezas), de ello se derivan los consejos en función de las dosis a aplicar en cuanto a los productos químicos recomendados. Un aspecto importante al momento de tratar los cultivos es que las afecciones no solamente se dan a causa de las enfermedades o plagas sino también a consecuencia del clima y factores externos que afectan al estrés vegetal (Planthealth, 2012), estos factores son causados por bajas o elevadas temperaturas, entre otros. En esta línea de investigación futura se basa en la integración de nuevos módulos al sistema que permita el manejo del clima y de factores externos que afectan a las plantaciones, ya que por debajo o por encima de una determinada temperatura, dependiendo del cultivo, éstos sufren daños severos que impiden su óptimo desarrollo (Quiroga, 2015). La inclusión de este nuevo módulo permite ofrecer al usuario recomendaciones de control y/o prevención en el cuidado de sus cultivos en ésta área.

- **Integrar un Módulo de Monitorización**

El sistema presentado en esta tesis doctoral no presenta un módulo de alertas o recordatorios que permitan constantemente al usuario tener información a la mano de estado de sus plantaciones. Como trabajo futuro se propone la creación de un módulo que será el encargado monitorizar el estado de las plantaciones y cultivos a través de información que el usuario proporcionará para permitir el registro de toda la información necesaria y su seguimiento para mantener el sistema de ayuda a la decisión (Baquero Sandoval, 2013). Esta monitorización incluirá alertas y recordatorios de cuándo se deben proporcionar esta información y con qué frecuencia, basado en el conocimiento definido por las ontologías desarrolladas junto con los expertos del dominio.

- **Incluir en la plataforma métodos de aprendizaje automático o algoritmos de machine learning**

El sistema propuesto en la presente tesis, emite recomendaciones en función de reglas establecidas conseguidas con la ayuda del conocimiento de los expertos en el área que gracias al dominio en lo que respecta a la agricultura se han podido crear. Existen hoy en día metodologías innovadoras como el machine learning, el cual consiste en un conjunto de algoritmos que aprenden y resuelven problemas gracias a la experiencia de los usuarios y a los múltiples accesos y respuestas de los sistemas en ejecución. El uso de estas nuevas técnicas permitiría el desarrollo de sistemas de recomendación que se enfoquen en las preferencias o intereses de los usuarios y/o agricultores, de esta manera los resultados obtenidos podrían ser más personalizados. Así mismo sería posible hacer predicciones para poder emitir respuestas a preguntas realizadas por los usuarios en función del dominio de la agricultura.

- **Integrar tecnologías de visión por computadora**

La plataforma creada como propuesta en esta tesis, al momento de diagnosticar la plaga, enfermedad o maleza que afecta a un cultivo, lo hace en función de la selección de imágenes, según como lo percibe el usuario, es decir que si la imagen fue mal seleccionada podría ser causa de que no se consiga una exactitud en el diagnóstico de la misma. Una línea de investigación futura

en este ámbito podría ser la integración de tecnologías de visión por computadora para que los conjuntos de síntomas sean independientes de la selección del agricultor, para este fin se debería utilizar fotografías de los cultivos que permitan obtener información precisa de los síntomas presentados y de esta manera obtener un diagnóstico más fiable y de esta manera el conjunto de recomendaciones sería también el apropiado.

Capítulo 6 Contribuciones científicas derivadas de esta tesis doctoral

6.1 Publicaciones en revistas

1. Lagos-Ortiz K, Salas-Zárate MP, Paredes-Valverde MA, García-Díaz JA, Valencia-García R. (2020). AgriEnt: A Knowledge-Based Web Platform for Managing Insect Pests of Field Crops. *Applied Sciences*; 10(3):1040 (Factor impacto: 2,217 Categoría: Physics, Applied –Q2).
2. Lagos-Ortiz, K., Medina-Moreira, J., Paredes-Valverde, M. A., Espinoza-Morán, W., & Valencia-García, R. (2017). An ontology-based decision support system for the diagnosis of plant diseases. *Journal of Information Technology Research (JITR)*, 10(4), 42-55.

6.2 Publicaciones en Congresos

1. Merchán-Benavides, S., Lagos-Ortiz, K., Rodríguez-Jarama, F., & Vera-Chica, R. (2019, December). Prediction of the Yield Per Hectare of the Crop of Chili Pepper (*Capsicum chinense*), by Means of a Simulation Model with GIS. A Case Study in Santo Domingo-San Jacinto Del Bua. In *5th International Conference on Technologies and Innovation* (pp. 53-65). Springer, Cham.
2. Lagos-Ortiz, K., Medina-Moreira, J., Alarcón-Salvatierra, A., Morán, M. F., del Cioppo-Morstadt, J., & Valencia-García, R. (2019, January). Decision Support System for the Control and Monitoring of Crops. In *2nd International Conference on ICTs in Agronomy and Environment* (pp. 20-28). Springer, Cham.
3. Lagos-Ortiz, K., Medina-Moreira, J., Morán-Castro, C., Campuzano, C., & Valencia-García, R. (2018, November). An ontology-based decision support system for insect pest control in crops. In *4th International Conference on Technologies and Innovation* (pp. 3-14). Springer, Cham.
4. Lagos-Ortiz, K., Medina-Moreira, J., Sinche-Guzmán, A., Garzón-Goya, M., Vergara-Lozano, V., & Valencia-García, R. (2018, November). Mobile applications for crops management. In *4th International Conference on Technologies and Innovation* (pp. 57-69). Springer, Cham.
5. Aguirre-Munizaga, M., Vergara-Lozano, V., Sinche-Guzmán, A., Lagos-Ortiz, K., Real-Avilés, K., Vásquez-Bermudez, M., & Hernández-Rosas, J. (2018, November). Architecture of a Meteorological Data Management System Based on

- the Analysis of Webmapping Tools. In *4th International Conference on Technologies and Innovation* (pp. 82-96). Springer, Cham.
6. Lagos-Ortiz, K., Medina-Moreira, J., Salavarría-Melo, J. O., Paredes-Valverde, M. A. D., & Valencia-García, R. (2017, June). Disease diagnosis on short-cycle and perennial crops: An approach guided by ontologies. In *International Symposium on Distributed Computing and Artificial Intelligence, 14th International Conference* (pp. 197-205). Springer, Cham.
 7. Vergara, V., Lagos-Ortiz, K., Aguirre-Munizaga, M., Aviles, M., Medina-Moreira, J., Hidalgo, J., & Muñoz-García, A. (2016, November). Knowledge-based model for curricular design in Ecuadorian universities. In *2nd International Conference on Technologies and Innovation* (pp. 14-25). Springer, Cham.
 8. Muñoz-García, A., Lagos-Ortiz, K., Vergara-Lozano, V., Salavarría-Melo, J., Real-Aviles, K., & Vera-Lucio, N. (2016, November). Ontological model of knowledge management for research and innovation. In *2nd International Conference on Technologies and Innovation* (pp. 51-62). Springer, Cham.
 9. Rodríguez-García, M. Á., Medina-Moreira, J., Lagos-Ortiz, K., Luna-Aveiga, H., García-Sánchez, F., & Valencia-García, R. (2016). Ontology-Based Platform for Conceptual Guided Dataset Analysis. In *Distributed Computing and Artificial Intelligence, 13th International Conference* (pp. 155-163). Springer, Cham.
 10. Muñoz, A., Lopez, V., Lagos, K., Vásquez, M., Hidalgo, J., & Vera, N. (2015, October). Knowledge management for virtual education through ontologies. In *OTM Confederated International Conferences" On the Move to Meaningful Internet Systems"* (pp. 339-348). Springer, Cham.

Referencias

- Aarti, S., & Poonam, A. (2013). State of Art in Ontology Development Tools. *International Journal of Advances in Computer Science and Technology*, 2(7), 96–101.
- Agrios, G. N. (1988). *Plant pathology*. Academic Press. <http://www.sidalc.net/cgi-bin/wxis.exe/?IsisScript=zamocat.xis&method=post&formato=2&cantidad=1&expresion=mfn=015940>
- Agroptima. (2012). *Funcionalidades*. Agroptima. <https://www.agroptima.com/funcionalidades/>
- Ali, J., & Kumar, S. (2011). Information and communication technologies (ICTs) and farmers' decision-making across the agricultural supply chain. *International Journal of Information Management*, 31(2), 149–159. <https://doi.org/10.1016/j.ijinfomgt.2010.07.008>
- Alston, J. M., Chan-Kang, C., Marra, M. C., Pardey, P. G., & Wyatt, T. J. (2000). A meta-analysis of rates of return to agricultural R & D: ex pede Herculem? *Research Report of the International Food Policy Research Institute*, 113, 148.
- Antonopoulou, E., Karetsos, S. T., Maliappis, M., & Sideridis, A. B. (2010). Web and mobile technologies in a prototype DSS for major field crops. *Computers and Electronics in Agriculture*, 70(2), 292–301. <https://doi.org/10.1016/j.compag.2009.07.024>
- Aranda, G. N., & Ruiz, F. (2005). *Clasificación y ejemplos del uso de ontologías en Ingeniería del Software*. http://sedici.unlp.edu.ar/bitstream/handle/10915/23076/Documento_completo.pdf%3Fsequence%3D1
- Arnaud, E., Cooper, L., Shrestha, R., Menda, N., Nelson, R. T., Matteis, L., Skofic, M., Bastow, R., Jaiswal, P., Mueller, L., & McLaren, G. (2012). Towards a Reference Plant Trait Ontology For Modeling Knowledge of Plant Traits and Phenotypes. *KEOD*, 220–225.
- Arpírez, J. C., Corcho, O., Fernández-López, M., & Gómez-Pérez, A. (2001). WebODE: a Scalable Workbench for Ontological Engineering. *Proceedings of the 1st International Conference on Knowledge. ACM.*, 6–13.

<http://oa.upm.es/5483/1/KCAP01-pdf-ACM.pdf>

Ashburner, M., Ball, C. A., Blake, J. A., Botstein, D., Butler, H., Cherry, J. M., Davis, A. P., Dolinski, K., Dwight, S. S., Eppig, J. T., Harris, M. A., Hill, D. P., Issel-Tarver, L., Kasarskis, A., Lewis, S., Matese, J. C., Richardson, J. E., Ringwald, M., Rubin, G. M., & Sherlock, G. (2000). Gene Ontology: tool for the unification of biology. *Nature Genetics*, *25*(1), 25–29. <https://doi.org/10.1038/75556>

Auernhammer, H. (2001). Precision farming — the environmental challenge. *Computers and Electronics in Agriculture*, *30*(1–3), 31–43. [https://doi.org/10.1016/S0168-1699\(00\)00153-8](https://doi.org/10.1016/S0168-1699(00)00153-8)

Avraham, S., Tung, C.-W., Ilic, K., Jaiswal, P., Kellogg, E. A., McCouch, S., Pujar, A., Reiser, L., Rhee, S. Y., Sachs, M. M., Schaeffer, M., Stein, L., Stevens, P., Vincent, L., Zapata, F., & Ware, D. (2008). The Plant Ontology Database: a community resource for plant structure and developmental stages controlled vocabulary and annotations. *Nucleic Acids Research*, *36*(suppl_1), D449–D454. <https://doi.org/10.1093/nar/gkm908>

Bansal, N., & Malik, S. K. (2011). A Framework for Agriculture Ontology Development in Semantic Web. *2011 International Conference on Communication Systems and Network Technologies*, 283–286. <https://doi.org/10.1109/CSNT.2011.68>

Baquero Sandoval, J. R. (2013). *Sistema para el control de plagas y enfermedades en cultivos de frutilla, utilizando dispositivos móviles para la recolección de datos, y generando un plano de control de cultivo dinámico* [Universidad Israel]. <http://157.100.241.244/handle/47000/471>

Barber, E., Pisano, S., Romagnoli, S., DePedro, G., Gregui, C., Blanco, N., & Mostaccio, M. (2018). Metodologías para el diseño de ontologías Web. *Revista de Instituto de Investigaciones Bibliotecológicas*, *39*, 13–36. https://www.redalyc.org/pdf/2630/Resumenes/Resumen_263057241002_1.pdf

Barrantes Angulo, C. J., & Vigo Portilla, L. A. (2015). Sistema experto móvil para el diagnóstico y manejo integral de plagas en el arroz. In *Universidad Nacional de Trujillo*. Universidad Nacional de Trujillo. <http://dspace.unitru.edu.pe/handle/UNITRU/8488>

Bechhofer, S., Horrocks, I., Goble, C., & Stevens, R. (2001). *OilEd: A Reason-able*

- Ontology Editor for the Semantic Web* (pp. 396–408). https://doi.org/10.1007/3-540-45422-5_28
- Berners-Lee, T., & Hendler, J. (2001). Publishing on the semantic web. *Nature* 2001 410:6832, 410(6832), 1023–1024. <https://doi.org/10.1038/35074206>
- Berners-Lee, T., Hendler, J., & Lassila, O. (2001). The Semantic Web. *Scientific American*, 284, 34–43. <https://doi.org/10.2307/26059207>
- Bianchi, F. J. J. A., Booij, C. J. H., & Tschardtke, T. (2006). Sustainable pest regulation in agricultural landscapes: a review on landscape composition, biodiversity and natural pest control. *Proceedings. Biological Sciences*, 273(1595), 1715–1727. <https://doi.org/10.1098/rspb.2006.3530>
- Binfield, J., Donnellan, T., Hanrahan, K. F. (Kevin F. 1971-, Hart, C. E. (Chad E., & Westhoff, P. C. (Patrick C. 1958-. (2004). *CAP Reform and the WTO: Potential Impacts on EU Agriculture*. <https://mospace.umsystem.edu/xmlui/handle/10355/3066>
- Biron, P., & Malhotra, A. (2001). XML Schema Part 2: Datatypes. In *W3C*. <https://www.w3.org/TR/xmlschema-2/>
- Brank, J., Grobelnik, M., & Mladenic, D. (2005). A survey of ontology evaluation techniques. In *Proceedings of the Conference on Data Mining and Data Warehouses (SiKDD 2005)*, 166–170. <https://www.researchgate.net/publication/228857266>
- Bray, T., Hollander, D., Tobin, R., & Thompson, H. (2009). *Namespaces in XML 1.0 (Third Edition)*. <https://www.w3.org/TR/REC-xml-names/>
- Bray, T., Paoli, J., & Sperberg-McQuenn, C. (2008). *Extensible Markup Language (XML) 1.0*. <ftp://ftp.makash.ac.il/LearningStandards/XML/W3C-Specifications/XML-Rec-1stEd-19980210.pdf>
- Bula, H. D., Aramendiz, H., Salas, D., Vergara, W. E., & Villadiego, A. L. (2013). Sistema experto para el diagnóstico de plagas y enfermedades en los cultivos de Berenjena (*Solanum Melongena* L.) en la Región Caribe de Colombia. *Ingeniería e Innovación*, 1(1). <https://doi.org/10.21897/23460466.765>
- Cassells, A., Goumopoulos, C., Morrissey, A., & Tooke, F. (2006). New crop of

technology reveals plant health. *ICT*.

Castellanos-Nieves, D., Fernández-Breis, J. T., Valencia-García, R., Martínez-Béjar, R., & Iniesta-Moreno, M. (2011). Semantic Web Technologies for supporting learning assessment. *Information Sciences*, *181*(9), 1517–1537.

<https://doi.org/10.1016/J.INS.2011.01.010>

Cho, S., Na, J. C., Park, K., & Sim, J. S. (2015). A fast algorithm for order-preserving pattern matching. *Information Processing Letters*, *115*(2), 397–402.

<https://doi.org/10.1016/j.ipl.2014.10.018>

Clark, J. I., Brooksbank, C., & Lomax, J. (2005). It's all GO for plant scientists. *Plant Physiology*, *138*(3), 1268–1279. <https://doi.org/10.1104/pp.104.058529>

Cobo, C. A., Timaná Peña, J. A., & Valencia Vallejo, R. (2008). Sistema de soporte a la toma de decisiones para procesos de germinación y cultivo en invernaderos.

Bioteología En El Sector Agropecuario y Agroindustrial: BSAA, *6*(1), 22–31.

<https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=6117780>

Cobos, C. A., Timana, J. A., & Valencia Vallejo, R. (2008). DECISION SUPPORT SYSTEMS IN GERMINATION AND CULTIVATION PROCESSES IN GREENHOUSE CROPS. *Bioteología En El Sector Agropecuario y Agroindustrial.*, *6*(1), 22–31.

<https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=6117780>

Consortium, G. O. (2010). The Gene Ontology in 2010: extensions and refinements. *Nucleic Acids Research*, *38*(suppl_1), D331–D335.

<https://doi.org/10.1093/nar/gkp1018>

Consortium, W. W. W. (2013). *SPARQL 1.1 overview*.

<http://travesia.mcu.es/portalnb/jspui/handle/10421/7464>

Cooper, L., Meier, A., Laporte, M.-A., Elser, J. L., Mungall, C., Sinn, B. T., Cavaliere, D., Carbon, S., Dunn, N. A., Smith, B., Qu, B., Preece, J., Zhang, E., Todorovic, S., Gkoutos, G., Doonan, J. H., Stevenson, D. W., Arnaud, E., & Jaiswal, P. (2018).

The Planteome database: an integrated resource for reference ontologies, plant genomics and phenomics. *Nucleic Acids Research*, *46*(D1), D1168–D1180.

<https://doi.org/10.1093/nar/gkx1152>

Corcho, O., & Fernández-López, M. (2003). Methodologies, tools and languages for

- building ontologies. Where is their meeting point? *Elsevier - Data & Knowledge*.
<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0169023X02001957>
- Coulson, R. N., & Saunders, M. C. (1987). Computer-Assisted Decision-Making as Applied to Entomology. *Annual Review of Entomology*, 32(1), 415–437.
<https://doi.org/10.1146/annurev.en.32.010187.002215>
- Das, M. (2010). *Building and querying soil ontology for agriculture* [IARI, INDIAN AGRICULTURAL STATISTICS RESEARCH INSTITUTE].
<http://krishikosh.egranth.ac.in/handle/1/81551>
- David, M. B. D. A., Dirven, M., & Vogelgesang, F. (2000). The Impact of the New Economic Model on Latin America's Agriculture. *World Development*, 28(9), 1673–1688. [https://doi.org/10.1016/S0305-750X\(00\)00047-4](https://doi.org/10.1016/S0305-750X(00)00047-4)
- De Nicola, A., Missikoff, M., & Navigli, R. (2005). A proposal for a unified process for ontology building: UPON. *Lecture Notes in Computer Science*, 3588, 655–664.
https://doi.org/10.1007/11546924_64
- Decker, S., Melnik, S., van Harmelen, F., Fensel, D., Klein, M., Broekstra, J., Erdmann, M., & Horrocks, I. (2000). The Semantic Web: the roles of XML and RDF. *IEEE Internet Computing*, 4(5), 63–73. <https://doi.org/10.1109/4236.877487>
- Dehnen-Schmutz, K., Foster, G. L., Owen, L., & Persello, S. (2016). Exploring the role of smartphone technology for citizen science in agriculture. *Agronomy for Sustainable Development*, 36(2). <https://doi.org/10.1007/s13593-016-0359-9>
- Dentler, K., Cornet, R., ten Teije, A., & de Keizer, N. (2011). Comparison of reasoners for large ontologies in the OWL 2 EL profile. *Semantic Web*, 2(2), 71–87.
<https://doi.org/10.3233/SW-2011-0034>
- Domingue, J. (1998). *Tadzebao and WebOnto: discussing, browsing, and editing ontologies on the Web*. <http://oro.open.ac.uk/23013/>
- Engstrom, P., & West, P. (2014). La próxima despensa global. In *Instituto del Medio Ambiente, Universidad de Minnesota*.
<https://www.google.com/search?q=Peder+Engstrom+y+Paul+West+del+Instituto+del+Medio+Ambiente%2C+Universidad+de+Minnesota.+Fuente%3A+BID&oq=Peder+Engstrom+y+Paul+West+del+Instituto+del+Medio+Ambiente%2C+Univ>

- Euzenat, J., & Valtchev, P. (2004). Similarity-based ontology alignment in OWL-lite. In R. López de Mantaras & L. Saita (Eds.), *ECAI 2004: proceedings of the 16th European Conference on Artificial Intelligence* (p. 1184). IOS Press.
- FAO.org. (2018). *AGROVOC Multilingual agricultural thesaurus*. Agricultural Information Management Standards (AIMS). <http://aims.fao.org/registry/vocabularies/agrovoc-multilingual-agricultural-thesaurus>
- Farquhar, A., Fikes, R., & Rice, J. (1997). The Ontolingua Server: a tool for collaborative ontology construction. *International Journal of Human-Computer Studies*, 46(6), 707–727.
<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1071581996901214>
- Fensel, D. (2001). Ontologies. In *Ontologies* (pp. 11–18). Springer Berlin Heidelberg.
https://doi.org/10.1007/978-3-662-04396-7_2
- Fernández-López, M., Gómez-Pérez, A., & Juristo, N. (1997). METHONTOLOGY: From Ontological Art Towards Ontological Engineering. *Proceedings of the Ontological Engineering AAAI-97 Spring Symposium Series*, 24–26. <http://oa.upm.es/5484/>
- Fillottrani, P. R. (2017). *Ontologías y Web Semántica*.
<http://www.cs.uns.edu.ar/~prf/teaching/OWS/downloads/introduccion.pdf>
- Fisher, M. C., Henk, D. A., Briggs, C. J., Brownstein, J. S., Madoff, L. C., McCraw, S. L., & Gurr, S. J. (2012). Emerging fungal threats to animal, plant and ecosystem health. *Nature*, 484(7393), 186–194. <https://doi.org/10.1038/nature10947>
- Floridi, L. (2008). Information. In *The Blackwell Guide to the Philosophy of Computing and Information* (pp. 40–61). Blackwell Publishing Ltd.
<https://doi.org/10.1002/9780470757017.ch4>
- Ganesan, V. (2007). Decision Support System “Crop-9-DSS” for Identified Crops. *International Journal of Biological, Biomolecular, Agricultural, Food and Biotechnological Engineering*, 1(12).
<https://www.semanticscholar.org/paper/Decision-Support-System-“Crop-9-DSS”-for-Identified-Ganesan/e33e768986088c97a872cb6323e3678b479d38ef>
- García-Sánchez, F., Valencia-García, R., Martínez-Béjar, R., & Fernández-Breos, J. T.

- (2009). An ontology, intelligent agent-based framework for the provision of semantic web services. *Expert Systems with Applications*, 36(2), 3167–3187. <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0957417408001000>
- Gomez-Perez, A., & Corcho, O. (2002). Ontology languages for the Semantic Web. *IEEE Intelligent Systems*, 17(1), 54–60. <https://doi.org/10.1109/5254.988453>
- Goumopoulos, C., Christopoulou, E., Drossos, N., & Kameas, A. (2004). *The PLANTS System: Enabling Mixed Societies of Communicating Plants and Artefacts* (pp. 184–195). Springer, Berlin, Heidelberg. https://doi.org/10.1007/978-3-540-30473-9_18
- Goumopoulos, C., Kameas, A. D., & Cassells, A. (2009). An ontology-driven system architecture for precision agriculture applications. *International Journal of Metadata, Semantics and Ontologies*, 4(1/2), 72. <https://doi.org/10.1504/IJMSO.2009.026256>
- Grau, B. C., Horrocks, I., Motik, B., Parsia, B., Patel-Schneider, P., & Sattler, U. (2008). OWL 2: The next step for OWL. *Web Semantics: Science, Services and Agents on the World Wide Web*, 6(4), 309–322. <https://doi.org/10.1016/j.websem.2008.05.001>
- Greer, J. E., Falk, S., Greer, K. J., & Bentham, M. J. (1994). Explaining and justifying recommendations in an agriculture decision support system. *Computers and Electronics in Agriculture*, 11(2–3), 195–214. [https://doi.org/10.1016/0168-1699\(94\)90008-6](https://doi.org/10.1016/0168-1699(94)90008-6)
- Group, R. W. (2014). *RDF - Semantic Web Standards*. Semantic Web. <https://www.w3.org/RDF/>
- Gruber, T. (1993a). A Translation Approach to Portable Ontology Specifications. *Appeared in Knowledge Acquisition*, 5(2), 199–220. <https://pdfs.semanticscholar.org/e790/2a46a83aa52ff8e2a36578a25f720fa648a2.pdf>
- Gruber, T. (1993b). *What is an Ontology?* <http://www-ksl.stanford.edu/kst/what-is-an-ontology.html>
- Grzymala-Busse, J. (2012). *Managing uncertainty in expert systems*. Springer Science

& Business Media.

https://books.google.es/books?hl=es&lr=&id=Q8fkBwAAQBAJ&oi=fnd&pg=PA43&dq=Managing+Uncertainty+in+Expert+Systems.&ots=a00TA6fEHa&sig=Zrqly7uZrb5_d1kQZ7Krnnotvyd0

Guarino, N. (1998). *Formal ontology in information systems : proceedings of the first international conference (FOIS'98), June 6-8, Trento, Italy*. IOS Press.

Gubbi, J., Buyya, R., Marusic, S., & Palaniswami, M. (2013). Internet of Things (IoT): A vision, architectural elements, and future directions. *Future Generation Computer Systems, 29*(7), 1645–1660. <https://doi.org/10.1016/j.future.2013.01.010>

Gullan, P. J., & Cranston, P. S. (n.d.). *The insects : an outline of entomology*. Retrieved May 20, 2018, from <https://books.google.es/books?hl=es&lr=&id=u1w7BAAAQBAJ&oi=fnd&pg=PR9&dq=entomology&ots=ImYpbtw68j&sig=TgsZpYglz6SXIHWqNGhaXkXNJNY#v=onepage&q=entomology&f=false>

Haase, P., Lewen, H., Studer, R., Tran, D., Erdmann, M., d'Aquin, M., & Motta, E. (2008). The neon ontology engineering toolkit. *Academia.Edu*. <http://www.academia.edu/download/30706200/10.1.1.141.4163.pdf>

Halabi, A. (2015). *Ontology for Plant Protection*. Ontology for Plant Protection.

Hendler, J. (1999). *Is There an Intelligent Agent in Your Future?* [http://jayurbain.com/msoe/cs4881/Is There an Intelligent Agent in Your Future.pdf](http://jayurbain.com/msoe/cs4881/Is%20There%20an%20Intelligent%20Agent%20in%20Your%20Future.pdf)

Hoehndorf, R., Schofield, P. N., & Gkoutos, G. V. (2015). The role of ontologies in biological and biomedical research: a functional perspective. *Briefings in Bioinformatics, 16*(6), 1069–1080. <https://doi.org/10.1093/bib/bbv011>

Horrocks, I., Patel-Schneider, P., & Boley, H. (2004). SWRL: A semantic web rule language combining OWL and RuleML. *W3C Member*.

Hu, S., Wang, H., She, C., & Wang, J. (2011). *AgOnt: Ontology for Agriculture Internet of Things* (pp. 131–137). Springer, Berlin, Heidelberg. https://doi.org/10.1007/978-3-642-18333-1_18

Ilic, K., Kellogg, E., Jaiswal, P., ... F. Z.-P., & 2007, undefined. (n.d.). The plant

structure ontology, a unified vocabulary of anatomy and morphology of a flowering plant. *Am Soc Plant Biol*. Retrieved September 12, 2019, from <http://www.plantphysiol.org/content/143/2/587.short>

Jaiswal, P., Cooper, L., Elser, J. L., Meier, A., Laporte, M.-A., Mungall, C., Smith, B., Johnson, E. K. S., Seymour, M., Preece, J., Xu, X., Kitchen, R. S., Qu, B., Zhang, E., Arnaud, E., Carbon, S., Todorovic, S., & Stevenson, D. W. (2016). *Planteome: A resource for common reference ontologies and applications for plant biology*. <https://cgispace.cgiar.org/handle/10568/78564>

Jaiswal, Pankaj, Avraham, S., Ilic, K., Kellogg, E. A., McCouch, S., Pujar, A., Reiser, L., Rhee, S. Y., Sachs, M. M., Schaeffer, M., Stein, L., Stevens, P., Vincent, L., Ware, D., & Zapata, F. (2005). Plant Ontology (PO): A Controlled Vocabulary of Plant Structures and Growth Stages. *Comparative and Functional Genomics*, 6(7–8), 388–397. <https://doi.org/10.1002/cfg.496>

Jakku, E., & Thorburn, P. J. (2010). A conceptual framework for guiding the participatory development of agricultural decision support systems. *Agricultural Systems - El Sevier*, 103(9), 675–682. <https://doi.org/10.1016/j.agsy.2010.08.007>

Jonquet, C., Dzalé-Yeumo, E., Arnaud, E., & Larmande, P. (2015). AgroPortal : a proposition for ontology-based services in the agronomic domain. *IN-OVIVE: INtégration de Sources/Masses de Données Hétérogènes et Ontologies, Dans Le Domaine Des Sciences Du VIVant et de l'Environnement*. https://hal-lirmm.ccsd.cnrs.fr/lirmm-01172232/file/Article_InOvive2015_AgroPortal.pdf

Kapoor, B., & Sharma, S. (2010). A Comparative Study Ontology Building Tools for Semantic Web Applications. *International Journal of Web & Semantic Technology (IJWesT)*, 1(3). <https://doi.org/10.5121/ijwest.2010.1301>

Karaenke, P., Schuele, M., Micsik, A., & Kipp, A. (2012). *Inter-organizational Interoperability through Integration of Multiagent, Web Service, and Semantic Web Technologies* (pp. 55–75). Springer, Berlin, Heidelberg. https://doi.org/10.1007/978-3-642-28563-9_4

Klyne, G., & Carroll, J. (2006). *Resource Description Framework (RDF): Concepts and Abstract Syntax*.

Kobsa, A., & Wahlster, W. (1989). *User Models in Dialog Systems*. Springer Berlin

Heidelberg.

[https://books.google.es/books?hl=es&lr=&id=2WqrCAAQBAJ&oi=fnd&pg=PA2&dq=User+models+in+dialog+systems&ots=fJv3uOFO26&sig=HcwmFWN2tNuZR6KRaBEXT7ndnLY#v=onepage&q=User models in dialog systems&f=false](https://books.google.es/books?hl=es&lr=&id=2WqrCAAQBAJ&oi=fnd&pg=PA2&dq=User+models+in+dialog+systems&ots=fJv3uOFO26&sig=HcwmFWN2tNuZR6KRaBEXT7ndnLY#v=onepage&q=User+models+in+dialog+systems&f=false)

Kontchakov, R., Rezk, M., Rodríguez-Muro, M., Xiao, G., & Zakharyashev, M. (2014). Answering SPARQL Queries over Databases under OWL 2 QL Entailment Regime. *International Semantic Web Conference*, 552–567. <http://eprints.bbk.ac.uk/10356/1/iswc14-full.pdf>

Lagos-Ortiz, K., Medina-Moreira, J., Paredes-Valverde, M. A., Espinoza-Morán, W., & Valencia-García, R. (2017). An ontology-based decision support system for the diagnosis of plant diseases. *Journal of Information Technology Research*, 10(4). <https://doi.org/10.4018/JITR.2017100103>

Lagos-Ortiz, K., Medina-Moreira, J., Paredes-Valverde, M. A., & Valencia-García, R. (2017). An ontology-based decision support system for the diagnosis of plant diseases. *Journal of Information Technology Research*, 40(4), 14. <https://doi.org/10.4018/JITR.2017100103>

Lange, M. C., Lemay, D. G., & German, J. B. (2007). A multi-ontology framework to guide agriculture and food towards diet and health. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 87(8), 1427–1434. <https://doi.org/10.1002/jsfa.2832>

Larman, C. (2003). *UML y Patronos* (Pearson-Prentice Hall (Ed.); 2nd ed.). [https://s3.amazonaws.com/academia.edu.documents/32421917/PREVIEW-LIBRO-9788483229279.pdf?AWSAccessKeyId=AKIAIWOWYYGZ2Y53UL3A&Expires=1523566089&Signature=vDcT%2BY%2B7CS2zpCATJBNS6%2BmRgNc%3D&response-content-disposition=inline%3B filename%3DUML_y_patron](https://s3.amazonaws.com/academia.edu.documents/32421917/PREVIEW-LIBRO-9788483229279.pdf?AWSAccessKeyId=AKIAIWOWYYGZ2Y53UL3A&Expires=1523566089&Signature=vDcT%2BY%2B7CS2zpCATJBNS6%2BmRgNc%3D&response-content-disposition=inline%3B+filename%3DUML_y_patron)

Lassila, O., & Swick, R. (1998). Resource Description Framework (RDF) Model and Syntax Specification. *CiteSeer*. <https://doi.org/10.1.1.44.6030>

Lenat, D. B., Guha, R., Pittman, K., Pratt, D., & Shepherd, M. (1990). Cyc: toward programs with common sense. *Communications of Te ACM*, 33, 30. <https://pdfs.semanticscholar.org/6a04/38ad2f830b39e62bacfb414d7863f1b44565.pdf>

López, C. A., Salazar, L., & De Salvo, C. P. (2017). *Public Expenditures, Impact*

Evaluations and Agricultural Productivity: Summary of the Evidence from Latin America and the Caribbean. <https://doi.org/10.18235/0000627>

Luna, G. (2012). Metodologías y métodos para la construcción de ontologías. *Scientia et Technica*, 2(50).

<http://revistas.utp.edu.co/index.php/revistaciencia/article/view/6693/3997>

Macé, K., Morlon, P., Munier-Jolain, N., & Quéré, L. (2007). Time scales as a factor in decision-making by French farmers on weed management in annual crops.

Agricultural Systems, 93(1–3), 115–142.

<https://doi.org/10.1016/J.AGSY.2006.04.007>

Mankovskii, S., Gogolla, M., Urban, S. D., Dietrich, S. W., Urban, S. D., Dietrich, S. W., Yang, M.-H., Dobbie, G., Ling, T. W., Halpin, T., Kemme, B., Schweikardt, N., Abelló, A., Romero, O., Jimenez-Peris, R., Stevens, R., Lord, P., Gruber, T., Leenheer, P. De, ... Bechhofer, S. (2009). OWL: Web Ontology Language. In *Encyclopedia of Database Systems* (pp. 2008–2009). Springer US.

https://doi.org/10.1007/978-0-387-39940-9_1073

Masinter, L., Berners-Lee, T., & Fielding, R. T. (2005). Uniform Resource Identifier (URI): Generic Syntax. *Network Working Group: Fremont*.

<https://tools.ietf.org/html/rfc3986?ref=binfind.com/web>

Matteis, L., Chibon, P.-Y., Espinosa, H., Skofic, M., Finkers, R., Bruskiwich, R., Hyman, G., & Arnaud, E. (2013). Crop Ontology: Vocabulary For Crop-related Concepts.

Proceedings of the 1st International Workshop on Semantics for Biodiversity

Coclico View Project Sweetpotato Ontology, 9. [http://ceur-ws.org/Vol-](http://ceur-ws.org/Vol-979/WS_s4biodiv2013_paper_4.pdf)

[979/WS_s4biodiv2013_paper_4.pdf](http://ceur-ws.org/Vol-979/WS_s4biodiv2013_paper_4.pdf)

McBride, B. (2002). Jena: a semantic Web toolkit. *IEEE Internet Computing*, 6(6), 55–

59. <https://doi.org/10.1109/MIC.2002.1067737>

McBride, Brian. (2004). The Resource Description Framework (RDF) and its Vocabulary Description Language RDFS. In *Handbook on Ontologies* (pp. 51–65). Springer

Berlin Heidelberg. https://doi.org/10.1007/978-3-540-24750-0_3

Medina-Moreira, J., Lagos-Ortiz, K., Luna-Aveiga, H., Paredes, R., & Valencia-García, R. (2016). *Usage of Diabetes Self-management Mobile Technology: Options for*

Ecuador (pp. 79–89). Springer, Cham. <https://doi.org/10.1007/978-3-319-48024->

- Medina-Moreira, José, Apolinario, O., Paredes-Valverde, M. A., Lagos-Ortiz, K., Luna-Aveiga, H., & Valencia-García, R. (2018). *Health Monitor: An Intelligent Platform for the Monitorization of Patients of Chronic Diseases* (Vol. 764, pp. 155–175). Springer Verlag. https://doi.org/10.1007/978-3-319-74002-7_8
- Meier, A., Laporte, M.-A., Elser, J., Cooper, L., Preece, J., Jaiswal, P., & Poolen, J. (2018). OOPS: The Ontology of Plant Stress: A semi-automated standardization methodology. *International Conference on Biological Ontology (ICBO 2018) Proceedings of the 9th International Conference on Biological Ontology, Corvallis, Oregon, USA*, 4.
- Melgar-Quiñonez, H., Zubieta, A. C., Valdez, E., Whitelaw, B., & Kaiser, L. (2005). Validation of an instrument to monitor food insecurity in Sierra de Manantlan, Jalisco. *Salud Pública de México*, 47(6), 413–422. <https://doi.org/10.1590/S0036-36342005000600005>
- Merino Cisneros, F. (2013). Sistema experto para diagnóstico de plagas insectiles de maíz (*Zea mays* L.) en Centro América. *Agronomía Mesoamericana*, 1(1), 80–88. <https://revistas.ucr.ac.cr/index.php/agromeso/article/view/25232>
- Meyer, G., & Shaheen, S. A. (2017). *Disrupting mobility: impacts of sharing economy and innovative transportation on cities*. <https://doi.org/https://doi.org/10.1007/978-3-319-51602-8>
- Mika, P., Bernstein, A., Welty, C., Knoblock, C., Vrandečić, D., Groth, P., Noy, N., Janowicz, K., & Goble, C. (Eds.). (2014). *The semantic web-- ISWC 2014: 13th International Semantic Web Conference*. Springer, Cham. <https://doi.org/10.1007/978-3-319-11915-1>
- Mondino, P., & González-Andújar, J. L. (2006). SSD Manzano: un sistema de soporte a la decisión para la Protección Integrada del manzano en Uruguay. *Phytoma España*, 1(181), 54–59. <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=2056514>
- Motik, B., Patel-Schneider, P. F., Bock, C., Fokoue, A., & Sattler, U. (2009). OWL 2 Web Ontology Language Structural Specification and Functional-Style Syntax Contributors: (in alphabetical order). *W3C Recommendation*, 27(65), 159.

<http://www.w3.org/2007/OWL/draft/owl2-syntax/>

- Mueller, U. G., Gerardo, N. M., Aanen, D. K., Six, D. L., & Schultz, T. R. (2005). The Evolution of Agriculture in Insects. *Annual Review of Ecology, Evolution, and Systematics*, 36(1), 563–595.
<https://doi.org/10.1146/annurev.ecolsys.36.102003.152626>
- Musen, M. A. (2015). The Protégé Project: A Look Back and a Look Forward. *AI Matters*, 1(4), 4–12. <https://doi.org/10.1145/2757001.2757003>
- Needleman, M. (2000). The Unicode Standard. *The Unicode Standard. Serials Review*, 26(2), 51–54. dl.acm.org
- Nejdl, W., Wolpers, M., & Capelle, C. (2000). *The RDF Schema Specification Revisited*. <https://pdfs.semanticscholar.org/651c/33f0cab76427a22416563465132961695ebf.pdf>
- Ngo, Q. H., Le-Khac, N.-A., & Kechadi, T. (2018). *Ontology Based Approach for Precision Agriculture* (pp. 175–186). Springer, Cham. https://doi.org/10.1007/978-3-030-03014-8_15
- Niles, I., & Pease, A. (2001). Towards a standard upper ontology. *Proceedings of the International Conference on Formal Ontology in Information Systems - FOIS '01, 2001*, 2–9. <https://doi.org/10.1145/505168.505170>
- Noy, N. F., Crubézy, M., Ferguson, R. W., Knublauch, H., Tu, S. W., Vendetti, J., & Musen, M. A. (2003). Protégé-2000: An Open-Source Ontology-Development and Knowledge-Acquisition Environment. *AMIA 2003 Open Source Expo*.
<http://protege.stanford.edu>
- Noy, N., & McGuinness, D. (2001). *Ontology development 101: A guide to creating your first ontology*.
[http://liris.cnrs.fr/alain.mille/enseignements/Ecole_Centrale/What is an ontology and why we need it.htm](http://liris.cnrs.fr/alain.mille/enseignements/Ecole_Centrale/What_is_an_ontology_and_why_we_need_it.htm)
- O'Connor, M., Knublauch, H., Tu, S., Grosz, B., Dean, M., Grosso, W., & Musen, M. (2005). *Supporting Rule System Interoperability on the Semantic Web with SWRL* (pp. 974–986). https://doi.org/10.1007/11574620_69
- O'Connor, M., Knublauch, H., Tu, S., & Musen, M. (2005). Writing rules for the

- semantic web using SWRL and Jess. *Protégé With Rules WS, Madrid*.
https://www.researchgate.net/profile/Martin_Oconnor3/publication/239616230_Writing_Rules_for_the_Semantic_Web_using_SWRL_and_Jess/links/53d08ce10cf25dc05cfe4861.pdf
- Osumi-Sutherland, D., Courtot, M., Balhoff, J. P., & Mungall, C. (2017). Dead simple OWL design patterns. *Journal of Biomedical Semantics*, *8*(1), 18.
<https://doi.org/10.1186/s13326-017-0126-0>
- OWL Working Group. (2004). *OWL Web Ontology Language Overview*.
<https://www.w3.org/TR/owl-features/>
- Parsons, D. J., Benjamin, L. R., Clarke, J., Ginsburg, D., Mayes, A., Milne, A. E., & Wilkinson, D. J. (2009). Weed Manager—A model-based decision support system for weed management in arable crops. *Computers and Electronics in Agriculture*, *65*(2), 155–167. <https://doi.org/10.1016/J.COMPAG.2008.08.007>
- Patil, J. K., Kumar, R., Vidyapeeth, B., Kolhapur, C. O. E., & Vidyapeeth, B. (2011). Advances in image processing for detection of plant diseases. *Journal of Advanced Bioinformatics Applications and Research ISSN*, *2*(2), 135–141.
- Pierce, F. J., & Nowak, P. (1999). *Aspects of Precision Agriculture* (pp. 1–85).
[https://doi.org/10.1016/S0065-2113\(08\)60513-1](https://doi.org/10.1016/S0065-2113(08)60513-1)
- Plant Ontology Consortium. (2002). The Plant Ontology Consortium and plant ontologies. *Comparative and Functional Genomics*, *3*(2), 137–142.
<https://doi.org/10.1002/cfg.154>
- Planthealth. (2012). *Factores climáticos*. Bioibérica. <https://www.planthealth.es/estres-vegetal/factores-climaticos>
- Poelen, J., & Laporte, M.-A. (2018). *Jhpoelen/samara v0.2.0 (Version v0.2.0)*. Zenodo.
<http://doi.org/10.5281/zenodo.1243234>).
- Pongnumkul, S., Chaovalit, P., & Surasvadi, N. (2015). Applications of Smartphone-Based Sensors in Agriculture: A Systematic Review of Research. *Journal of Sensors*, *2015*, 1–18. <https://doi.org/10.1155/2015/195308>
- Power, D. J., Sharda, R., & Burstein, F. (2015). Decision Support Systems. In *Wiley Encyclopedia of Management* (pp. 1–4). John Wiley & Sons, Ltd.

<https://doi.org/10.1002/9781118785317.weom070211>

- ProEcuador. (2014). *Ministerio de Comercio Exterior. Dirección de Inteligencia Comercial e Inversiones*. Boletín Mensual de Comercio Exterior ISSN 1390-812X. <http://www.proecuador.gob.ec/wp-content/uploads/2015/01/BoletinDiciembre14-final.pdf>
- Qiang, C., Kuek, S., Dymond, A., & Esselaar, S. (2012). *Mobile applications for agriculture and rural development*. <https://openknowledge.worldbank.org/bitstream/handle/10986/21892/Mobile0applica0nd0rural0development.pdf?sequence=1>
- Quintero-Domínguez, L. A., Ríos Rodríguez, L. R., Quintana Sánchez, D., & León Ávila, B. Y. (2019). Expert System for the presumptive diagnosis of fungal diseases in crops. *Revista Cubana de Ciencias Informáticas*, 13(1), 61–75. http://scielo.sld.cu/scielo.php?pid=S2227-18992019000100061&script=sci_arttext&tlng=pt
- Quiroga, I. A. (2015). *Impactos del cambio climático en la incidencia de plagas y enfermedades de los cultivos*. CropLife Latin America. <https://www.croplifela.org/es/actualidad/articulos/impactos-del-cambio-climatico-en-la-incidencia-de-plagas-y-enfermedades-de-los-cultivos>
- Ramos-Gourcy, F. (2017). *Una lista de la gama de las aplicaciones móviles ("apps") para la agricultura | Hortalizas*. Www.Hortalizas.Com. <http://www.hortalizas.com/proteccion-de-cultivos/61807/>
- Ravindran, P. N., & Kallapurackal, J. A. (2012). Black pepper. In *Handbook of Herbs and Spices* (pp. 86–115). Elsevier. <https://doi.org/10.1533/9780857095671.86>
- Ruiz-Martínez, J. M., Valencia-García, R., Martínez-Béjar, R., & Hoffmann, A. (2012). BioOntoVerb: A top level ontology based framework to populate biomedical ontologies from texts. *Knowledge-Based Systems*, 36, 68–80. <https://doi.org/10.1016/J.KNOSYS.2012.06.002>
- Ruiz, G., Hernandez, R., Leonardo, A., ... O. G.-I. e, & 2009, U. (2009). Implementing a decision support system (DSS) in e-business. *Ingeniería e Investigación*, 29(2), 94. http://www.scielo.org.co/scielo.php?pid=S0120-56092009000200015&script=sci_arttext&tlng=pt

- Salazar, L., Aramburu, J., González, M., & Winters, P. (2016). *Food Security and Productivity: Impacts of Technology Adoption in Small Subsistence Farmers in Bolivia*. <https://publications.iadb.org/handle/11319/6783>
- Sánchez-Alonso, S., & Sicilia, M.-A. (2009). Using an AGROVOC-based ontology for the description of learning resources on organic agriculture. *Metadada and Semantics - Springer, Boston, MA.*, 481–492.
- Seaborne, A., & Manjunath, G. (2007). *SPARQL/Update: A language for updating RDF graphs*. <http://www.hpl.hp.com/techreports/2007/HPL-2007-102.pdf>
- Shadbolt, N., Berners-Lee, T., & Hall, W. (2006). The Semantic Web Revisited. *IEEE Intelligent Systems*, 21(3), 96–101. <https://doi.org/10.1109/MIS.2006.62>
- Shrestha, R., Arnaud, E., Mauleon, R., Senger, M., Davenport, G. F., Hancock, D., Morrison, N., Bruskiwich, R., & McLaren, G. (2010). Multifunctional crop trait ontology for breeders' data: field book, annotation, data discovery and semantic enrichment of the literature. *AoB PLANTS*, 2010. <https://doi.org/10.1093/aobpla/plq008>
- Silva Layes, M. E., Falappa, M. A., & Simari, G. R. (2011). Sistema de Soporte a las decisiones clínicas. *XIII Workshop de Investigadores En Ciencias de La Computación*, 113–115. <http://sedici.unlp.edu.ar/handle/10915/19976>
- Sini, M., Awasthi, V., Yadav, V., Tv, P., & Singh, J. (n.d.). *Knowledge Models in Agropedia Indica*. Retrieved August 6, 2019, from <http://jena.sourceforge.net/>
- Sirin, E., Parsia, B., Grau, B. C., Kalyanpur, A., & Katz, Y. (2007). Pellet: A practical OWL-DL reasoner. *Web Semantics: Science, Services and Agents on the World Wide Web*, 5(2), 51–53. <https://doi.org/10.1016/j.websem.2007.03.004>
- Smith, B, Ashburner, M., Rosse, C., Bard, J., ... W. B.-N., & 2007, undefined. (2007). The OBO Foundry: coordinated evolution of ontologies to support biomedical data integration. *Nature.Com*, 25(11), 1251. <https://www.nature.com/articles/nbt1346>
- Smith, Barry, Ashburner, M., Rosse, C., Bard, J., Bug, W., Ceusters, W., Goldberg, L. J., Eilbeck, K., Ireland, A., Mungall, C. J., Leontis, N., Rocca-Serra, P., Ruttenberg, A., Sansone, S.-A., Scheuermann, R. H., Shah, N., Whetzel, P. L., Lewis, S., & Lewis, S. (2007). The OBO Foundry: coordinated evolution of ontologies to

- support biomedical data integration. *Nature Biotechnology*, 25(11), 1251–1255.
<https://doi.org/10.1038/nbt1346>
- Smith, Barry, Ceusters, W., Klagges, B., Köhler, J., Kumar, A., Lomax, J., Mungall, C., Neuhaus, F., Rector, A. L., & Rosse, C. (2005). Relations in biomedical ontologies. *Genome Biology*, 6(5), R46. <https://doi.org/10.1186/gb-2005-6-5-r46>
- Soil Survey Staff. (2006). Claves para la Taxonomía de Suelos. *USDA Departamento de Agricultura de Los Estados Unidos Servicio de Conservación de Recursos Naturales*, 10. http://www.icgc.cat/igcweb/files/igc_llibre08_9.pdf
- Sprague, R. H. (1980). A Framework for the Development of Decision Support Systems. *Source: MIS Quarterly*, 4(4), 1–26. <http://www.jstor.org/stable/248957>
- Sumathy Easwaran, M., & Thottupuram, F. R. (2011). Farm - Agro Ontology formation : A black pepper model. *International Journal of Research and Reviews in Information Technology (IJRRIT)*, 1(1).
https://www.researchgate.net/profile/Sumathy_Eswaran/publication/228979485_Farm-Agro-Ontology-formation-A-black-pepper-model/links/549904750cf2519f5a1ded3d/Farm-Agro-Ontology-formation-A-black-pepper-model.pdf
- Sure, Y., Erdmann, M., Angele, J., Staab, S., Studer, R., & Wenke, D. (2002). OntoEdit: Collaborative ontology development for the semantic web. *International Semantic Web Conference*, 221–235.
- Thomas, M., Turner, J., Wardman, O., & Maidment, E. (2000). LIAISON—a broadly based agronomic information system serving UK agriculture, horticulture and the food industry. *In Proceedings of an International Conference, Brighton, UK*, 13–16.
https://www.researchgate.net/profile/Miles_Thomas/publication/232238406_LIAISON_-_a_broadly_based_agronomic_information_system_serving_UK_agriculture_horticulture_and_the_food_industry/links/09e41507bc2960444f000000.pdf
- Tripathy, A. K., Adinarayana, J., Sudharsan, D., Merchant, S. N., Desai, U. B., Vijayalakshmi, K., Raji Reddy, D., Sreenivas, G., Ninomiya, S., Hirafuji, M., Kiura, T., & Tanaka, K. (2011). Data mining and wireless sensor network for agriculture

- pest/disease predictions. *2011 World Congress on Information and Communication Technologies*, 1229–1234.
<https://doi.org/10.1109/WICT.2011.6141424>
- Túnez, S., Orellana Zubieta, F. J., Sagrado Martínez, J. del, & Del Águila Cano, I. M. (2016). *SAIFA. Una aplicación Web para la gestión de la producción integrada del cultivo del olivo*. <http://hdl.handle.net/10835/4459>
- Urbina Chavarría, M. (2011). Introducción al estudio de la Entomología. *Universidad Católica Agropecuaria Del Tropico Seco*, 17.
<https://martinurbina.files.wordpress.com/2011/08/unidad-i-entom-especial-2011.pdf>
- Van Heijst, G., Schreiber, A. T., & Wielinga, B. J. (1997). Using explicit ontologies in KBS development. *International Journal of Human-Computer Studies*, 46(2–3), 183–292. <https://doi.org/10.1006/IJHC.1996.0090>
- Weiser, M. (1999). The computer for the 21st century. *Mobile Computing and Communications Review. Prada-Research.Net*, 3(3), 3–11. <http://prada-research.net/~dinh/index.php?n=Main.ReadingGroup>
- Xie, N., Wang, W., & Yang, Y. (2007). Ontology-based Agricultural Knowledge Acquisition and Application. In *Computer And Computing Technologies In Agriculture, Volume I* (pp. 349–357). Springer US. https://doi.org/10.1007/978-0-387-77251-6_38
- Yao, L., Sheng, Q. Z., Segev, A., & Yu, J. (2013). Recommending Web Services via Combining Collaborative Filtering with Content-Based Features. *2013 IEEE 20th International Conference on Web Services*, 42–49.
<https://doi.org/10.1109/ICWS.2013.16>
- Zeigler, M., Zeigler, M., Zeigler, M., Zeigler, M., Truitt Nakata, G., Truitt Nakata, G., Truitt Nakata, G., & Truitt Nakata, G. (2016). *O próximo celeiro global: Como a América Latina pode alimentar o mundo: Um chamado à ação para o enfrentamento dos desafios e a busca de soluções*.
<https://publications.iadb.org/handle/11319/6436>