

**ECOGRANJA - HERRAMIENTA SOFTWARE PARA EL DISEÑO DE GRANJAS
INTEGRALES AGROPECUARIAS, UN ENFOQUE DINÁMICO SISTÉMICO.**

JOHN FREDDY GARAVITO SUÁREZ

**UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER.
FACULTAD DE INGENIERÍAS FÍSICO-MECÁNICAS
ESCUELA DE INGENIERÍA DE SISTEMAS E INFORMÁTICA.
BUCARAMANGA, COLOMBIA.
2012.**

**ECOGRANJA - HERRAMIENTA SOFTWARE PARA EL DISEÑO DE GRANJAS
INTEGRALES AGROPECUARIAS, UN ENFOQUE DINÁMICO SISTÉMICO.**

JOHN FREDDY GARAVITO SUÁREZ

**Trabajo De Investigación Presentado Como Requisito Para Optar El Título de
INGENIERO DE SISTEMAS.**

Director:

HUGO HERNANDO ANDRADE SOSA
Magister en informática.
Escuela de ingeniería de sistemas e informática
Facultad de ingenierías físico-mecánicas

Codirector:

URBANO ELIECER GÓMEZ PRADA
Magister en informática
Escuela de ingeniería de
Sistemas e Informática
Facultad de ingenierías físico-mecánicas

Codirector:

CARLOS ANÍBAL VÁSQUEZ CARDOZO
Médico Veterinario
Tecnología Agroindustrial
Instituto de Proyección Regional
y Educación a Distancia.

UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER.
FACULTAD DE INGENIERÍAS FÍSICO-MECÁNICAS
ESCUELA DE INGENIERÍA DE SISTEMAS E INFORMÁTICA.
BUCARAMANGA, COLOMBIA.
2012.

DEDICATORIA.

Le dedico este escrito a:

A **Dios**, por concederme el discernimiento, la creatividad y la perseverancia, principios que caracterizan mi vida.

A mi señor padre **Salustriano Garavito Ardila**, por el permanente ejemplo de vida, por el empeño al desarrollar las metas y por la responsabilidad que siempre lo caracteriza.

A mi señora madre **Dioselina Suárez Carvajal**, por la constante dedicación en mi crecimiento como persona, por la ayuda incondicional en cada momento dificultoso de mi vida y por el excelente ejemplo de vida y principios que marcaron un referente para mí.

Y a mi hermana **Claudia Liliana Garavito Suárez**, por la compañía en mí crecimiento como persona, por los consejos y las correcciones que siempre me ayudaron a mejorar y por recordarme lo maravillosa que es la vida.

Gracias por
iluminar y darle
sentido a mi existencia.

John Freddy Garavito Suárez.

AGRADECIMIENTOS.

Mis más sinceras gratitudes.

Al profesor **Hugo Hernando Andrade Sosa**, quien me acompañó y dirigió en el desarrollo del presente proyecto, quien por su excelente ejemplo de vida, se consolidó como un referente en mi existencia.

Al profesor **Urbano Eliecer Gómez Prada**, por su continuo apoyo, dirección y sabiduría, que no solo ayudaron al desarrollo del presente proyecto sino que me hicieron crecer como persona.

Al profesor **Carlos Aníbal Vázquez Cardozo**, por su apoyo, sentido social y por sus buenas intenciones en contribuir positivamente en el sector agropecuario Colombiano.

Al profesor **Rafael Fernando Isaacs Giraldo**, por su maravilloso ejemplo en lo científico y en lo humano, cualidades que marcaron un referente inolvidable en mi existencia y que han permitido guiar mi desarrollo profesional.

A cada uno de los **Integrantes del grupo SIMON**, quienes inspiraron perseverancia y amor por la ciencia en cada uno de los proyectos asumidos, haciendo de este grupo una familia que trasciende en la historia de cada uno de sus miembros.

A cada uno de mis amigos, familiares, compañeros y profesores, que de diversas formas aportaron en mi crecimiento personal y profesional, infinitas gracias por permitirme conocerlos y compartir momentos inolvidables.

CONTENIDO.

	Pág.
INTRODUCCIÓN.....	22
1. DESCRIPCIÓN DEL PROYECTO.....	23
1.1 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA.....	24
1.2 OBJETIVOS.....	26
1.2.1 Objetivo General.....	26
1.2.2 Objetivos Específicos.....	26
1.3 JUSTIFICACIÓN.....	28
2. ESTADO DEL ARTE.....	29
2.1 TRABAJOS DE INVESTIGACIÓN RELACIONADOS.....	30
2.1.1 Revisión a nivel local.....	30
2.1.2 Revisión a nivel nacional.....	31
2.1.3 Revisión a nivel internacional.....	32
2.2 APLICACIONES INFORMÁTICAS RELACIONADAS.....	36
2.2.1 Revisión a nivel local.....	36
2.2.2 Revisión a nivel nacional.....	36
2.2.3 Revisión a nivel internacional.....	36
3. FUNDAMENTACIÓN TEÓRICA.....	39
3.1 PENSAMIENTO SISTÉMICO.....	39
3.2 DINÁMICA DE SISTEMAS.....	40
3.2.1 Modelado con dinámica de sistemas.....	41
3.2.2 Metodologías de modelado con dinámica de sistemas.....	41
3.3 HERRAMIENTAS PARA EL MODELADO Y LA SIMULACIÓN.....	43
3.3.1 Evolución 4.1.....	43
3.3.2 Professional DYNAMO.....	43
3.3.3 Stella y I-Think.....	43
3.3.4 VenSim.....	44
3.3.5 PowerSim.....	44
3.3.6 Mosaikk-SimTek.....	44
3.4 GRAJAS INTEGRALES AGROPECUARIAS	45
3.4.1 Esquema del fenómeno granja integral agropecuaria.....	46
3.4.2 Cadenas de producción agropecuaria.....	47
3.4.3 Tecnologías e infraestructura agropecuaria.....	49

3.4.4	Dinámica de los nutrientes en los cultivos.....	50
3.4.5	Revolución verde.....	55
3.5	TECNOLOGÍAS DE LA INFORMACIÓN Y TECNOLOGÍAS WEB.....	57
3.5.1	Objetos dinámicos compartidos (DSO).....	57
3.5.2	Lenguaje de marcado de objetos (XML).....	58
3.5.3	Arquitectura modelo vista controlador (MVC).....	58
3.5.4	Mapeo de objeto relacional (ORM).....	59
3.5.5	Aplicaciones de internet enriquecidas (RIA).....	60
4.	METODOLOGÍA.....	61
4.1	METODOLOGÍA DE DINÁMICA DE SISTEMAS.....	62
4.2	METODOLOGÍA DE DESARROLLO DE SOFTWARE.....	64
5.	PROTOTIPO “EVOLUCIÓN WEB”.....	66
6.	AMBIENTE DE APRENDIZAJE Y TOMA DE DECISIONES EN LAS GRANJAS AGROPECUARIAS.....	71
6.1	MODELO DE DINÁMICA DE SISTEMAS.....	74
6.1.1	Hipótesis dinámica.....	75
6.1.2	Familiarización con el fenómeno.....	77
6.1.3	Modelo en lenguaje prosa.....	77
6.1.4	Sectores del modelo.....	84
6.1.5	Modelo en lenguaje de influencias.....	87
6.1.6	Modelo en lenguaje de flujos y niveles.....	104
6.1.7	Modelo en lenguaje ecuaciones.....	111
6.1.8	Modelo en lenguaje de comportamientos.....	112
6.2	HISTORIAL DEL DESARROLLO DEL MODELO.....	114
6.2.1	Primer prototipo.....	114
6.2.2	Segundo prototipo.....	114
6.2.3	Tercer prototipo.....	115
6.2.4	Cuarto prototipo.....	115
6.3	DESARROLLO DEL AMBIENTE SOFTWARE.....	117
6.3.1	Descripción general del ambiente software.....	117
6.3.2	Obtención de requerimientos.....	120
6.3.3	Análisis.....	130
6.3.4	Diseño del sistema.....	145
6.3.5	Diseño de los objetos.....	151

6.3.6 Implementación.....	156
7. EVALUACIÓN DEL AMBIENTE ECOGRANJA.....	166
8. RECURSOS UTILIZADOS.....	166
9. APORTES.....	173
9.1 PROPUESTA E IMPLEMENTACIÓN DE MODELOS DE DINÁMICA DE SISTEMAS EN FORMATO XML.....	173
9.2 DESARROLLO DE LIBRERÍA DSO TIPO INTERFAZ ENTRE EL NÚCLEO DE EVOLUCIÓN Y UN SERVIDOR WEB.....	177
9.3 PROTOTIPO DE AMBIENTE DE SIMULACIÓN EN ENTORNOS WEB.....	182
9.4 PROPUESTA DE NUEVOS ELEMENTOS DE MODELADO Y SIMULACIÓN CON DINÁMICA DE SISTEMAS.....	186
9.5 MÉTODO MATEMÁTICO DE TRIANGULACIÓN PARA EL TRATAMIENTO DE POLÍGONOS.....	191
10. DIFUSIÓN Y LOGROS.....	197
10.1 DIFUSIÓN A NIVEL NACIONAL.....	197
10.2 DIFUSIÓN A NIVEL INTERNACIONAL.....	197
CONCLUSIONES.....	199
RECOMENDACIONES Y PROPUESTAS.....	203
GLOSARIO.....	206
REFERENCIAS Y BIBLIOGRAFÍA.....	208
ANEXOS.....	212

LISTA DE FIGURAS.

	Pág.
Figura 1. Esquema general del fenómeno Granja Integral Agropecuaria.	47
Figura 2. Esquema conceptual del modelo de eslabones de producción planteados.	47
Figura 3. Esquema de la cadena de producción agropecuaria, constituida por los eslabones "Unidades productivas".	48
Figura 4. Tipos de suelos según su porosidad.	54
Figura 5. Diagrama de la arquitectura Modelo-Vista-Controlador.	59
Figura 6. Esquema de la metodología del Grupo SIMON, Hugo Andrade y co-escritores.	63
Figura 7. Esquema general ambiente EcoGranja.	73
Figura 8. Esquema de la estructura global de una Granja Agropecuaria.	78
Figura 9. Esquema de la estructura general de una Granja Agropecuaria	79
Figura 10. Mapa de sectores del modelo Granja Agropecuaria.	86
Figura 11. Estudio de suelos de la Granja el Hangar.	105
Figura 12. Comportamiento de macronutrientes en el cultivo del maíz.	112
Figura 13. Comportamiento de macronutrientes en el cultivo del maíz con cinco aplicaciones de fertilizante.	113
Figura 14. Actores y sistema EcoGranja.	121
Figura 15. Interfaz principal del ambiente EcoGranja.	156
Figura 16. Menú aprendizaje de EcoGranja.	157
Figura 17. Interfaz de Agropedia.	158
Figura 18. Menú Gestión de Granjas.	159
Figura 19. Interfaz de definición de Granjas.	160
Figura 20. Menú Toma de decisiones.	161
Figura 21. Interfaz de simulación de EcoGranja.	161

Figura 22. Menú Administración.	162
Figura 23. Interfaz de administración de usuarios.	163
Figura 24. Interfaz gráfica de Evolución Web, simulando el juego de la epidemia.	183
Figura 25. Interfaz gráfica de Evolución 4.1, simulando el juego de la epidemia.	184
Figura 26. Cadena de flujos y niveles que representan los retardos.	186
Figura 27. Elemento retardo en el lenguaje de Flujo-Nivel.	186
Figura 28. Propuesta de Retardo Estadístico.	187
Figura 29. Comparación de los flujos de los dos enfoques.	188
Figura 30. Comparación de las salidas de los dos enfoques.	189
Figura 31. Interfaz de sectorización de Granjas de EcoGranja.	192

LISTA DE DIAGRAMAS.

	Pág.
Diagrama 1. Diagrama de componentes de Evolución en UML.	67
Diagrama 2. Diagrama de clases del Motor de Evolución.	68
Diagrama 3. Diagrama de clases del motor de Evolución, rediseñado para soportar tecnologías Web.	69
Diagrama 4. Diagrama de influencias de la hipótesis dinámica.	76
Diagrama 5. Diagrama de influencias del modelo Granja Agropecuaria – Primer Prototipo.	88
Diagrama 6. Diagrama de influencias del modelo Granja Agropecuaria – Segundo Prototipo.	89
Diagrama 7. Diagrama de influencias del modelo Granja Agropecuaria – Tercer Prototipo.	91
Diagrama 8. Diagrama de influencias del modelo Granja Agropecuaria – Cuarto Prototipo.	103
Diagrama 9. Diagrama de flujo-nivel de los sectores Suelo y Dinámica de Nutrientes del modelo Granja Agropecuaria.	107
Diagrama 10. Diagrama de flujo-nivel del sector Ambiente.	108
Diagrama 11. Diagrama de flujo-nivel del sector Mejoramiento de Nutrientes.	109
Diagrama 12. Diagrama de flujo-nivel del sector Crecimiento de cosecha.	110
Diagrama 13. Diagrama de casos de uso de EcoGranja.	126
Diagrama 14. Diagrama de secuencia del caso de uso: Definir Granja.	137
Diagrama 15. Diagrama de secuencia del caso de uso: Registrar descripción del ambiente.	138
Diagrama 16. Diagrama de secuencia del caso de uso: Registrar información productiva.	139
Diagrama 17. Diagrama de secuencia del caso de uso: Proyectar producción agrícola.	140

Diagrama 18. Diagrama de clases con las relaciones entre sus entidades.	141
Diagrama 19. Diagrama de clases con los atributos de cada una de sus entidades.	142
Diagrama 20. Diagrama de grafica de estado para el objeto usuario.	143
Diagrama 21. Diagrama de clases para la clase “usuario” y sus subclases.	144
Diagrama 22. Diagrama de clases de la descomposición de EcoGranja en subsistemas.	147
Diagrama 23. Diagrama de despliegue de EcoGranja.	148
Diagrama 24. Diagrama de navegación de ventanas.	152
Diagrama 25. Diagrama de clases reestructurado.	154
Diagrama 26. Diagrama del esquema de la base de datos de EcoGranja.	164
Diagrama 27. Modelo de datos de EcoGranja.	165

LISTA DE TABLAS.

	Pág.
Tabla 1. Macronutrientes del suelo.	51
Tabla 2. Características físicas del suelo.	52
Tabla 3. Características químicas del suelo.	53
Tabla 4. Clasificación del pH.	55
Tabla 5. Principales características del sistema ambiental y de sus subsistemas.	79
Tabla 6. Tabla de relación entre temperatura y oxígeno del agua.	96
Tabla 7. Contenido de sal en varios tipos de agua.	96
Tabla 8. Objetos participantes.	128
Tabla 9. Objetos entidad participantes.	132
Tabla 10. Objetos frontera participantes.	134
Tabla 11. Objetos de control participantes.	136
Tabla 12. Herramientas de modelado y simulación con dinámica de sistemas.	168
Tabla 13. Recursos software utilizados del lado del servidor.	168
Tabla 14. Recursos software utilizados del lado del cliente.	170
Tabla 15. Recursos software de apoyo en el proceso de desarrollo.	171
Tabla 16. Descripción de las etiquetas del modelo dinámico-sistémico en XML.	174
Tabla 17. Representación en XML del modelo un modelo dinámico-sistémico.	175
Tabla 18. Cambios en la Unidad HTTPD2 para Apache 2.x.	180
Tabla 19. Cambios en httpd.conf para enlazar el DSO.	181
Tabla 20. Tabla comparativa de la precisión numérica entre las simulaciones realizadas en Evolución 4.1 y Evolución Web.	184
Tabla 21. Distribuciones de variable continua.	189
Tabla 22. Aplicación del método matemático de triangulación a un polígono	

	con siete coordenadas que representa el área de una granja.	193
Tabla 23.	Seudo-código del método matemático de triangulación	194
Tabla 24.	Elementos del subsistema ambiental de la primera versión del diagrama de influencias.	212
Tabla 25.	Elementos del sistema socioeconómico de la primera versión del diagrama de influencias.	212
Tabla 26.	Elementos del subsistema agrícola de la primera versión del diagrama de influencias.	213
Tabla 27.	Elementos del subsistema pecuario de la primera versión del diagrama de influencias.	213
Tabla 28.	Ciclos de realimentación de la primera versión del diagrama de influencias.	214
Tabla 29.	Elementos complementarios del sistema ambiental de la segunda versión del diagrama de influencias.	215
Tabla 30.	Elementos complementarios del sistema agrícola de la segunda versión del diagrama de influencias.	215
Tabla 31.	Elementos complementarios del sistema pecuario de la segunda versión del diagrama de influencias.	216
Tabla 32.	Elementos complementarios del subsistema suelos de la tercera versión del diagrama de influencias.	217
Tabla 33.	Elementos complementarios del subsistema hídrico de la tercera versión del diagrama de influencias.	217
Tabla 34.	Elementos complementarios del subsistema climático de la tercera versión del diagrama de influencias.	218
Tabla 35.	Elementos del sector dinámica de nutrientes de la cuarta versión del diagrama de influencias.	219
Tabla 36.	Elementos del sector suelo de la cuarta versión del diagrama de influencias.	220
Tabla 37.	Elementos del sector recursos hídricos de la cuarta versión del diagrama de influencias.	221
Tabla 38.	Elementos del sector clima de la cuarta versión del diagrama de influencias.	221

Tabla 39.	Elementos del sector dinámica del ambiente de la cuarta versión del diagrama de influencias.	222
Tabla 40.	Elementos del sector dinámica de producción de la cuarta versión del diagrama de influencias.	223
Tabla 41.	Elementos de tipo parámetro del sector suelo del diagrama de flujos y niveles.	225
Tabla 42.	Elementos de tipo variable auxiliar del sector suelo del diagrama de flujos y niveles.	226
Tabla 43.	Elementos de tipo parámetro del sector dinámica de nutrientes del diagrama de flujos y niveles.	227
Tabla 44.	Elementos de tipo variable auxiliar del sector dinámica de nutrientes del diagrama de flujos y niveles.	230
Tabla 45.	Elementos de tipo nivel del sector dinámica de nutrientes del diagrama de flujos y niveles.	233
Tabla 46.	Elementos de tipo flujo del sector dinámica de nutrientes del diagrama de flujos y niveles.	233
Tabla 47.	Elementos de tipo multiplicador del sector dinámica de nutrientes del diagrama de flujos y niveles.	235
Tabla 48.	Elementos de tipo parámetro del sector ambiente del diagrama de flujos y niveles.	236
Tabla 49.	Elementos de tipo variable auxiliar del sector ambiente del diagrama de flujos y niveles.	237
Tabla 50.	Elementos de tipo parámetro del sector mejoramiento de nutrientes del diagrama de flujos y niveles.	240
Tabla 51.	Elementos de tipo variable auxiliar del sector mejoramiento de nutrientes del diagrama de flujos y niveles.	240
Tabla 52.	Elementos de tipo nivel del sector mejoramiento de nutrientes del diagrama de flujos y niveles.	244
Tabla 53.	Elementos de tipo flujo del sector mejoramiento de nutrientes del diagrama de flujos y niveles.	244
Tabla 54.	Elementos de tipo parámetro del sector crecimiento de cosecha del diagrama de flujos y niveles.	246

Tabla 55.	Elementos de tipo variable auxiliar del sector crecimiento de cosecha del diagrama de flujos y niveles.	246
Tabla 56.	Elementos de tipo nivel del sector crecimiento de cosecha del diagrama de flujos y niveles.	248
Tabla 57.	Elementos de tipo flujo del sector crecimiento de cosecha del diagrama de flujos y niveles.	248

LISTA DE ECUACIONES.

Pág.

Ecuación 1. Función de densidad de la Función Normal.

188

LISTA DE ANEXOS.

	Pág.
Anexo A. DESCRIPCIÓN DEL PRIMER PROTOTIPO DEL DIAGRAMA DE INFLUENCIAS DEL FENÓMENO GRANJA AGROPECUARIA.	212
Anexo B. DESCRIPCIÓN DEL SEGUNDO PROTOTIPO DEL DIAGRAMA DE INFLUENCIAS DEL FENÓMENO GRANJA AGROPECUARIA.	215
Anexo C. DESCRIPCIÓN DEL TERCER PROTOTIPO DEL DIAGRAMA DE INFLUENCIAS DEL FENÓMENO GRANJA AGROPECUARIA.	217
Anexo D. DESCRIPCIÓN DEL CUARTO PROTOTIPO DEL DIAGRAMA DE INFLUENCIAS DEL FENÓMENO GRANJA AGROPECUARIA.	219
Anexo E. DESCRIPCIÓN DE LOS SECTORES SUELO Y DINÁMICA DE NUTRIENTES DEL MODELO GENERAL DEL FENÓMENO GRANJA AGROPECUARIA EN LENGUAJE DE FLUJOS Y NIVELES	225
Anexo F. DESCRIPCIÓN DE LA DINÁMICA DEL AMBIENTE DEL MODELO GENERAL DEL FENÓMENO GRANJA AGROPECUARIA EN LENGUAJE DE FLUJOS Y NIVELES.	236
Anexo G. DESCRIPCIÓN SECTOR MEJORAMIENTO DE NUTRIENTES DEL MODELO GENERAL DEL FENÓMENO GRANJA AGROPECUARIA EN LENGUAJE DE FLUJOS Y NIVELES.	240
Anexo H. DESCRIPCIÓN SECTOR CRECIMIENTO DE COSECHA DEL MODELO GENERAL DEL FENÓMENO GRANJA AGROPECUARIA EN LENGUAJE DE FLUJOS Y NIVELES.	246
Anexo I. ESCENARIOS DEL PROCESO OBTENCIÓN DE REQUERIMIENTOS DE LA METODOLOGÍA DE INGENIERÍA DEL SOFTWARE	250
Anexo J. CASOS DE USO DEL PROCESO OBTENCIÓN DE REQUERIMIENTOS DE LA METODOLOGÍA DE INGENIERÍA DEL SOFTWARE	255
Anexo K. MODELO GENERAL DE LA GRANJA AGROPECUARIA EN LENGUAJE DE ECUACIONES.	260

RESUMEN.

TÍTULO: ECOGRANJA - HERRAMIENTA SOFTWARE PARA EL DISEÑO DE GRANJAS INTEGRALES AGROPECUARIAS, UN ENFOQUE DINÁMICO SISTÉMICO.*

AUTOR: John Freddy Garavito Suarez. **

PALABRAS CLAVE: granja agropecuaria, producción agropecuaria sostenible, organización y planificación de granjas, aprendizaje y toma de decisiones en fenómenos agropecuarios, sistemas biológicos, dinámica de sistemas, modelo y fenómeno.

EcoGranja es un ambiente virtual que apoya el aprendizaje y la toma de decisiones en fenómenos agropecuarios, se compone por un modelo de dinámica de sistemas que representa la granja agropecuaria en estudio y por un ambiente software que permite la utilización del modelo a los usuarios productores agropecuarios, pretende contribuir en la disminución de la incertidumbre que existe en la toma de decisiones concernientes a la planeación y proyección productiva.

El modelo dinámico sistémico integra los diversos factores que influyen de manera general en las granjas agropecuarias, como son el cultivo agrícola, el suelo, el clima y los recursos hídricos, este modelo tiene el objetivo de soportar el aprendizaje de la dinámica productiva y permitir futuras intervenciones que contribuyan en la evaluación de las diversas alternativas de organización y proyección productiva.

Complementando el modelo de dinámica de sistemas, se integra un ambiente software que permite el manejo de datos para un usuario con conocimientos básicos en el sector agropecuario, esta capa de software permite acceder a información productiva que apoya el aprendizaje de los fenómenos agropecuarios, también permite definir la representación virtual de las granjas e interactuar con el modelo para inferir posibles alternativas organizativas y productivas.

La principal funcionalidad de EcoGranja se basa en determinar la producción agrícola de mayor conveniencia para la granja agropecuaria evaluada, a través del análisis de los diversos escenarios productivos.

La realización de este proyecto de investigación permitió la consecución de diversos logros, entre los cuales se destaca la realización de propuestas científicas al campo de la dinámica de sistemas, las cuales se referencian en la sección "Aportes", también se consideró importante difundir sus logros a través ponencias a nivel nacional e internacional, las cuales se describen en la sección "Difusión y logros" del presente libro.

* Trabajo de grado – Modalidad trabajo de investigación

** Facultad de ingenierías Físico-Mecánicas. Escuela de Ingeniería de Sistemas, Director: Hugo Hernando Andrade Sosa. Magister en informática, Codirectores: Carlos Aníbal Vásquez, Urbano Eliecer Gómez.

SUMMARY.

TITLE: ECOGRANJA – SOFTWARE TOOL FOR THE DESIGN OF INTEGRATED AGRICULTURAL FARMS, A SYSTEM DYNAMICS APPROACH.*

AUTHOR: John Freddy Garavito Suarez. **

KEYWORDS: agricultural farm, sustainable farming, farm organization and planning, learning and decision making in agricultural phenomena, biological systems, system dynamics, model and phenomenon.

EcoGranja is a virtual environment that supports the learning and decision making in agricultural phenomena, it is composed by a model of system dynamics that represents the agricultural farm in study and for a software environment that allows the use of the model to the farmers, It pretends to diminish the uncertainty in the decision making in topics as planning and productive projection.

The systemic dynamic model gathers the different factors that influence at all in the farms, as for instance the agricultural crops, the soil, the climate and water resources, this model has as goal support the learning of the productive dynamic and allow the future interventions over the model that contributes with the evaluation of the different alternatives of organization and productive projection.

Complementing the model of system dynamics, it integrates a software environment that allows the handling of data for a user with basic knowledge in the agricultural field, this software layer allows access the productive information that supports the learning of the agricultural phenomena, and allows too define the virtual representation of farms and interact with the model to infer possible alternatives in organization and production.

The EcoGranja's main functionality is for the agriculture production of best to the studied farm, with the help the analysis of different productive scenarios.

Making this research project allowed the achievement of diverse goals, between them you can highlight conducting scientific proposals to the systems dynamic. You can know more about this in the "Aportes" section.

It was also considered important to disseminate their achievements through presentations at national and international levels, which are described in the section "Difusión y logros" of this book.

* Degree Work – Research work modality

** Faculty of physical-mechanical engineering's. School of Systems and informatics Engineering, Director: Hugo Hernando Andrade Sosa (Master in informatics), Co-directors: Urbano Eliecer Gómez (Master in informatics), Carlos Aníbal Vásquez Cardozo (Veterinarian)

INTRODUCCIÓN.

En los países latinoamericanos se identifica una amplia participación del sector agropecuario en la economía¹, estableciéndose como sector esencial para el desarrollo de la sociedad en general, históricamente estos países han basado sus actividades económicas en el sector primario¹, donde realizan labores de continua interacción con la naturaleza, desarrollando conocimiento y técnicas que soportan sus labores productivas, la importancia social y económica del sector agropecuario, demanda múltiples esfuerzos para estudiarlo y evaluarlo integralmente, con la finalidad de generar aportes que contribuyan con el cumplimiento de su rol en la sociedad.

Aún la importancia histórica, la región latinoamericana no se ha consolidado como líder en la producción de alimentos de origen agrícola y pecuario, tampoco la producción ha logrado un enfoque de relación sostenible con el medio ambiente, esta situación se presenta en parte por la poca implementación de técnicas eficientes en el proceso de cultivo agrícola y de crianza pecuaria, así como por la influencia negativa de los productores agropecuarios al tomar sus decisiones basados en enfoque insostenibles y en supuestos personales de producción agropecuaria.

Contextualizándonos en el estado del arte de la producción agropecuaria en nuestra región, se planteó EcoGranja, un ambiente de aprendizaje y toma de decisiones en fenómenos agropecuarios, que contribuye en la adquisición de conocimiento de los fenómenos dinámico-sistémicos del sector agropecuario, en la toma de decisiones basadas en conocimiento, en la representación virtual de la granja agropecuaria y de sus posibles producciones, lo cual permite evaluar sistémicamente múltiples posibilidades productivas de la granja en estudio, para así proponer cultivos y crianzas benéficas para la economía del propietario y para la sostenibilidad ecológica de la región.

¹ LA AGRICULTURA COLOMBIANA EN EL SIGLO XX / Salomón Kalmanovitz, Enrique López E.

1. DESCRIPCIÓN DEL PROYECTO.

EcoGranja se define como un ambiente virtual para el aprendizaje y la toma de decisiones en granjas agropecuarias, que proporciona soporte en el diseño y la evaluación de alternativas productivas, se constituye como apoyo tecnológico en la comprensión y en la intervención del fenómeno de producción agrícola y pecuario, mediante un enfoque sistémico que da soporte a las prácticas de planeación y producción agropecuaria.

Principalmente EcoGranja se compone de dos desarrollos tecnológicos, que en conjunto permiten cumplir las pretensiones planteadas con anterioridad; en primer lugar EcoGranja se compone de un modelo de dinámica de sistemas que representa el comportamiento general de los cultivos y de las cranzas pecuarias, en segundo lugar se complementan los modelos con un ambiente virtual que realiza procesos de simulación sobre los modelos con la finalidad de cumplir las funcionalidades de EcoGranja, como en determinar las opciones productivas pertinentes para el contexto ambiental, además de permitir establecer lineamientos que soporten políticas productivas, logrando de esta manera el desarrollo de un ambiente de aprendizaje y toma de decisiones en fenómenos agropecuarios.

Como efectos derivados de la utilización del ambiente EcoGranja, se espera que en la medida de su buen uso, se influya positivamente en las prácticas productivas agropecuarias de sus usuarios, y así fortalecer la economía del agricultor por medio de una relación sostenible con el medio ambiente.

1.1 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA.

La planeación de las producciones agropecuarias a pequeña y mediana escala en Latinoamérica es dirigida de manera general por la experiencia de sus actores², el mínimo uso de herramientas tecnológicas y la desvinculación de un enfoque sostenible y ecológico, repercutiendo de manera negativa sobre las producciones agropecuarias y por consiguiente afectando la garantía del sostenimiento alimenticio a largo plazo.

También las prácticas agropecuarias convencionales agotan los recursos naturales, ocasionando problemas de desertificación, de erosión, de destrucción de los bosques y de la biodiversidad, de contaminación del suelo, del agua y del aire, todos estos factores afectan la sostenibilidad alimentaria a largo plazo de la humanidad y el equilibrio medioambiental.

Estos efectos en general, se deben en parte a que el agricultor a pequeña y mediana escala, no tiene a disposición un modelo productivo particularizado en su contexto productivo, que sea viable ecológica y económicamente, por el contrario los productores agropecuarios han asumido modelos que vinculan sus prácticas tradicionales con modelos de producción europeos y norteamericanos, que están orientados a la revolución verde del monocultivo², Dicho enfoque ofrece excelentes resultados a corto plazo (no así a largo plazo), requiriendo la aplicación de conocimiento y desarrollo científico, la disponibilidad de terrenos e infraestructura física y la tecnología adecuada para producciones a gran escala, requisitos que no permitieron su total implantación en los países Latinoamericanos², conllevando a la conformación de modelos de producción agropecuaria que integran el conocimiento tradicional con prácticas de la revolución verde, afectando negativamente el medio ambiente por el uso de prácticas químicas intensivas, que ocasionan efectos negativos sobre los suelos, las fuentes hídricas y el medio ambiente en general.

Otro factor que influye negativamente, es la priorización por parte de los productores agropecuarios de los beneficios económicos sobre calidad de los productos, efecto que puede ser observado en las prácticas de producción basadas en insumos químicos que ofrecen rendimientos altos a bajos costos, conllevando efectos devastadores para el medio ambiente, como las enunciadas en el presente texto.

² Historia y efectos basados en el documento: "CIENCIA, TECNOLOGIA Y AMBIENTE EN LA AGRICULTURA COLOMBIANA – DIAGNOSTICO".

Lo anterior, sustenta la necesidad de apoyar y enfocar científicamente la producción agropecuaria, por esto se considera que la situación problema abordada es: la carencia de un modelo formal de producción agropecuario contextualizado en las características ambientales, económicas y ecológicas particulares de cada productor, y que garantice la sostenibilidad alimenticia y ambiental a largo plazo.

1.2 OBJETIVOS.

1.2.1 Objetivo general.

Desarrollar una herramienta software que integre los principales factores influyentes en la dinámica productiva de las granjas agropecuarias, con la finalidad de realizar la planeación en su organización de manera integral y proyecciones productivas eficientes en los cultivos agrícolas y en la crianza pecuaria, soportada por la dinámica de sistemas.

1.2.2 Objetivos Específicos.

1. Desarrollar un modelo de dinámica de sistemas que generalice los principales factores que interactúan en las granjas integrales agropecuarias, integrando las siguientes características:
 - Representar en subsistemas los principales factores que influyen en una granja agropecuaria.
 - Proporcionar flexibilidad al modelo de dinámica de sistemas para lograr independencia entre los subsistemas.
 - Integrar características de escalamiento al modelo de dinámica de sistemas.

2. Implementar el almacenamiento de los datos e información que el sistema requiera, como:
 - Datos de las características de las granjas virtualizadas.
 - Datos que representan los escenarios de las granjas integrales agropecuarias.
 - Datos de los usuarios del sistema.
 - Información resultante de las simulaciones que sean de carácter permanente.

3. Desarrollar un Sistema de información que brinde el soporte al modelo de dinámica de sistemas, con las siguientes características:
 - Ofrecer una interfaz de usuario donde se ingresen los datos y permita visualizar la información de manera amigable para los usuarios.

- Proporcione accesibilidad a través de la Web.
4. Realizar y documentar prácticas de uso de la herramienta software para varios tipos de usuarios.

1.3 JUSTIFICACIÓN.

En Colombia y en la mayoría de los países latinoamericanos, el sector agropecuario es uno de los más influyentes en lo económico y social, por esto, desarrollar aportes tecnológicos que mejoren sus procesos productivos, influirá con múltiples beneficios para la economía, la sociedad y en particular para las comunidades de participación directa en este sector.

EcoGranja es pertinente científicamente porque demuestra la interdisciplinariedad de la ingeniería de sistemas, debido a que relaciona de manera integral la dinámica de sistemas y la producción agropecuaria; área del conocimiento que se caracteriza por comprender fenómenos de alta complejidad, y sirviendo como un excelente ejemplo de modelado de sistemas biológicos.

También, EcoGranja influye positivamente en la economía del sector agropecuario porque brinda herramientas sofisticadas que minimizan la incertidumbre en la toma de decisiones concernientes a la planeación y la organización de las granjas agropecuarias, derivándose en eficiencia productiva y mayor productividad.

Por lo anterior, EcoGranja es un proyecto apropiado para la ingeniería de sistemas, al ser la disciplina que está a la vanguardia en las tecnologías y del estudio sistémico, porque permite la aplicación de metodologías ingenieriles en los fenómenos de las granjas agropecuarias, visualizando estos fenómenos a través del lenguaje de la dinámica de sistemas, con la finalidad de ofrecer información precisa que sustente las decisiones en la planeación y en la proyección de las granjas agropecuarias en estudio.

2. ESTADO DEL ARTE.

La dependencia del hombre en la explotación de los recursos naturales, la necesidad de producción, el aprovechamiento eficiente de los recursos y la concientización de la conservación ambiental han sido los factores fundamentales en la generación de un sistema integral agropecuario, la granja integral agropecuaria.

La granja integral puede definirse como la unidad de producción agropecuaria altamente diversificada, cuyos rubros (agrícolas, pecuarios, entre otros) se integran y complementan entre sí, con el propósito de autoabastecerse y de reducir riesgos, vulnerabilidades y dependencias externas. Busca la máxima eficiencia en el cumplimiento de estos objetivos; para lo cual hace uso de los recursos existentes en el predio a través de la correcta introducción de tecnologías para mejorar la productividad y rendimiento de la mano de obra y de la producción agropecuaria, aumentando los ingresos económicos. Es por esto que se ha convertido en objeto de estudio para la creación de nuevas propuestas que cumplan con los objetivos planteados.

En la búsqueda de antecedentes de investigación en el área, que pudiesen preceder al objetivo que este proyecto plantea, se ha podido observar que son escasas las investigaciones que abordan el problema integralmente, es decir, estas investigaciones se enfocan en los factores propuestos solo de forma aislada, o relacionando solo algunos de ellos. Además, la mayoría de las investigaciones establecen lineamientos de tipo experimental y no basado en conocimiento, por lo que no plantean garantías reales de una integralidad ni forma de cuantificarlas. Sin embargo, esta búsqueda ha permitido conocer diferentes enfoques que se pueden dar en el desarrollo de modelos con o sin dinámica de sistemas.

A continuación se detallarán algunas investigaciones realizadas que se consideran importantes y pertinentes para este proyecto. La investigación se realizó mediante consultas en bases de datos de las bibliotecas locales, corporaciones nacionales y bases de conocimiento en internet, en donde el criterio para ser tomada en cuenta era la presencia de dinámicas en la producción del sector agropecuario.

2.1 TRABAJOS DE INVESTIGACIÓN RELACIONADOS.

2.1.1 Revisión a nivel local.

- GÓMEZ PRADA, Urbano Eliécer. "Lineamientos metodológicos para la construcción de modelos Agro-Industriales identificables en términos de dinámicas poblacionales basados en el pensamiento sistémico y la dinámica de sistemas". Universidad Industrial de Santander. Facultad de Ingenierías Físico Mecánicas, Escuela de Ingeniería de Sistemas. 2010.

Investigación desarrollada con Dinámica de Sistemas por Gómez Prada Urbano (2010) para la formulación de lineamientos que orienten, faciliten y motiven el desarrollo de modelos agro-industriales soportados por el software desarrollado en la misma investigación, para apoyar la inversión agro-industrial y el estudio en este campo.

Se presenta un análisis extenso sobre el estado de la dinámica de sistemas aplicada en la construcción de modelos en el sector pecuario, el propósito de la creación y aplicación de estos modelos y los factores que intervienen en el mismo, con el fin de realizar una herramienta software para facilitar la interacción de los usuarios con los modelos y para la implantación de esta herramienta en procesos de aprendizaje y toma de decisiones.

Esta investigación previa, contribuye al presente proyecto a abordar de manera generalizada los fenómenos agroindustriales desde la Dinámica de Sistemas. Presenta una metodología útil para el presente proyecto, así como ejemplos de modelos de dinámica de sistemas que pueden guiar la construcción de los modelos dinámico-sistémicos que el presente trabajo requiere.

- ORTIZ, Verónica y FLÓREZ, Nidia. "Modelo de Simulación de ganadería bovina intensiva SIPROBI 1.0". Universidad Industrial de Santander. Facultad de Ingenierías Físico Mecánicas, Escuela de Ingeniería de Sistemas. 2010.

Investigación desarrollada por Chajín Ortiz y Jiménez Florez (2010), en la cual se propone un modelo de simulación que se basa en la Dinámica de Sistemas y el Pensamiento Sistémico. Se desarrollan distintos prototipos a medida que avanzan hasta el prototipo final, donde resaltan los siguientes sectores: demográfico, biofísico, productivo y económico.

Es de gran utilidad para el proyecto EcoGranja porque proporciona un ejemplo aplicativo de la metodología de desarrollo por prototipos que se asumió en el presente proyecto. Así mismo, los modelos planteados en las investigaciones relacionadas hacen parte de uno de los sistemas que EcoGranja tiene determinado abordar.

Implementan una herramienta software llamada SIPROB 1.0 soportada en el ambiente software AGRODISI, que es un software previo producto de otra investigación. El software presentado permite mediante tablas, gráficas y controles de variables relevantes, visualizar resultados de la simulación a los usuarios finales del sector agroindustrial.

- RUIZ García, Fanny Yadira y OLIVARES Silva, Rubiela. "Herramienta software para el aprendizaje del manejo de un sistema de producción de ganadería bovina, mediante simulación con dinámica de sistemas y un enfoque sistémico - SIPROB 2.0". Universidad Industrial de Santander. Facultad de Ingenierías Físico Mecánicas, Escuela de Ingeniería de Sistemas. 2010.

Investigación realizada por Silva Olivares y Ruiz García (2008) para el desarrollo de una herramienta software para la Simulación de un Modelo de Producción de Ganadería Bovina para la Investigación Integral basada en una propuesta anterior (SIPROB 1.0). Se analiza el modelo de la propuesta y anterior y se diseña un nuevo modelo que supera las deficiencias y limitaciones del modelo anterior, permitiendo el manejo de datos a diferentes usuarios y la simulación y experimentación en diferentes sistemas de producción.

Es pertinente para el proyecto EcoGranja, porque además de estar relacionado con la temática del proyecto, sirve de ejemplo de cómo adoptar las prácticas e investigaciones hechas previamente por otro proyecto.

2.1.2 Revisión a nivel nacional.

- Fundación Hogares Juveniles Campesinos, "Manual agropecuario: tecnologías orgánicas de la granja integral autosuficiente". Bogotá, Colombia (2002).

Contiene: Conceptos básicos como: planeación y construcción de la granja, agricultura alternativa, Cultivos, cría de animales, procesamiento de alimentos y salud en el campo.

•Fundación Hogares Juveniles Campesinos, “Manual: Granja Integral Autosuficiente”. Bogotá, Colombia (2004).

Contiene información sobre que es la granja integral autosuficiente, los recursos naturales disponibles y necesarios, los cultivos, la producción pecuaria, la construcción de viviendas, las tecnologías apropiadas, los abonos orgánicos, la alelopatía, el procesamiento de alimentos y administración agropecuaria.

2.1.3 Revisión a nivel internacional.

• JAMU y PIEDRAHITA, “Modelo dinámico de materia orgánica y nitrógeno para el análisis ecológico de sistemas integrados de acuicultura/agricultura (An organic matter and nitrogen dynamics model for the ecological analysis of integrated aquaculture/agriculture systems: I. model development and calibration)”, 2000.

Jamu y Piedrahita (2000) presentan un modelo dinámico de balance de biomasa, prediciendo el resultado de materia orgánica y nitrógeno de sistemas agrícolas y acuicultura para el posterior reciclamiento en prácticas agrícolas. Proponen dos módulos generales, una para acuicultura y uno para agricultura, que agrupan diversos sub-módulos con los modelos pertinentes para cada uno con sus variables respectivas.

Sub-Modelos:

- Crecimiento del Pez.
- Población del Pez.
- Calidad de Alimentación.
- Fitoplancton.
- Calidad del Agua.
- Sedimentación de materia orgánica en el estanque.
- Sedimentación de nitrógeno en el estanque.
- Transpiración de los cultivos.
- Evaporación de los suelos.

- Riego.
- Materia Orgánica Fresca.
- Materia Orgánica Estable.
- Nitrógeno del suelo.
- Crecimiento de los cultivos (hojas, vástagos, almacenamiento/granos y raíces).

Mediante la herramienta Stella se simula el crecimiento individual de peces, materia orgánica, nitrógeno, oxígeno disuelto y fitoplancton, crecimiento de cultivos, concentración de nitrógeno en el suelo y balance de agua en el suelo.

- BONTKES y KEULEN, “Modelamiento de las dinámicas de desarrollo agrícola a nivel de granja y regional (Modelling the dynamics of agricultural development at farm an regional level)”, 2002.

Bontkes y Keulen (2002) proponen en el artículo un modelo dinámico de un conjunto de granjas para una región específica. El modelo muestra cómo las decisiones particulares de una granja pueden afectar a toda una región, y que al mismo tiempo estas decisiones pueden estar fundamentadas en las políticas gubernamentales.

El modelo propuesto intenta no ser muy extenso, para que sea fácil de entender; distingue tres tipos de suelos diferentes (arenoso, arcilloso y sedimentario) y cuatro tipos de granjas de acuerdo a su cultivo. Establece algunos factores como requerimientos de alimentos, preferencias de alimentos, y costos de los cultivos en los últimos años, que interfieren en la decisión de qué tipo de granja se usará. Para el modelo no se toman en cuenta factores externos no controlados que pueden cambiar las decisiones de las granjas, por lo que se argumenta en el mismo artículo que el modelo debe ser tomado como una herramienta de apoyo, pero no como una herramienta de predicción.

- SKRABA, ROZMAN, KLJAJIC, PAZEK, BAVEC y KOFJAC “Estrategia para el desarrollo de modelos de granjas orgánicas (Strategy for organic farming model development)”

Estrategia para el desarrollo de modelos de granjas orgánicas por Skraba, Rozman, Kljajic, Pazek, Bavec y Kofjac. El artículo presenta un modelo para lograr

que un porcentaje de granjas convencionales se transforme en granjas orgánicas. Se presenta un sistema capaz de representar por simulación de distintos escenarios que involucren factores como la importancia de la comunicación, subsidios, apoyo en los recursos, entre otros, que permitan establecer estrategias para lograr este objetivo.

El sistema está determinado por los agregados de producción de alimento, demanda y calidad de alimento, y consideraciones como la seguridad, salud y otras de calidad. Establece así mismo, los elementos claves que influyen en el desarrollo de las granjas integrales, tales como:

- * Número de granjas convencionales.
- * Número de granjas orgánicas.
- * Conversiones.
- * Subsidios.
- * Promoción de Granjeo Orgánico (Mercadeo, desarrollo de mercados, educación).
- * Organización de apoyo ambiental general orgánico.
- * Sistema auto-sostenible.
- * Retraso constante de los procesos de cambio.

Finalmente, se concluye que los subsidios no son la única fuerza promotora, sino que hay otras actividades importantes para promover las granjas orgánicas. Así mismo, que un factor importante es la auto-organización del entorno lo cual incluye el desarrollo del mercado y la atención del público.

La dinámica de sistemas para el análisis y desarrollo de granjas orgánicas puede proveer información adicional para el apoyo de las políticas agrícolas, buscar claridad en las decisiones, y jugar un rol importante en el desarrollo futuro de las granjas orgánicas.

- DANUSO, ROSA, ROCCA y BULFONI, Granja-X: modelamiento de sistemas de granjas sostenibles y simulación (X-farm: modelling sustainable farming systems and simulation)

Por Danuso, Rosa, Rocca y Bulfoni. El artículo hace referencia a una estructura de una granja sostenible, enfocándose desde una perspectiva energética, económica y ecológica mediante una aproximación de simulación dinámica. La simulación dinámica está orientada a encontrar la mejor combinación de cosecha y ganado

en la planeación de una granja con una estrategia multipropósito. X-Farm busca mejorar la gestión del desempeño de una granja alcanzado el objetivo energético, optimizar las técnicas de ahorro de energía usando la misma biomasa como energía, mejorar el nivel ecológico mediante la disminución del CO2 y finalmente maximizar las utilidades sin afectar los dos objetivos anteriores.

La simulación la plantean con la herramienta software SEMola, desarrollado por el Departamento de Agricultura y Ciencias Ambientales de la Universidad de Udine (Italia).

El modelo propuesto está compuesto de 23 módulos interconectados lógicamente agrupados en cuatro secciones: gestión, producción, suelo y contabilidad.

1. Gestión: cultivos, granja, maquinaria, recursos humanos.
2. Producción: cultivos, aceite, ganado.
3. Suelo: fisiología, agua, nitrógeno, residuos.
4. Contabilidad: Economía, energía, ambiente.

2.2 APLICACIONES INFORMÁTICAS RELACIONADAS.

2.2.1 Revisión a nivel local.

AgroDiSi: es una herramienta de análisis de modelos agroindustriales desarrollada en la tesis de maestría de Gómez Prada (2010) en el grupo SIMON de investigaciones, que se basa en la dinámica de sistemas como lenguaje de modelado, esta herramienta da soporte a una metodología que orienta, facilita y motive la generación de modelos agroindustriales, que permitan mejorar la eficiencia en actividades de administración del sector agropecuario.

Esta herramienta se basa en modelos desarrollados en el software Evolución, a los cuales se les desarrollo interfaces de usuario, que facilitan la interacción con las personas que tengan interés en el fenómeno y que no necesariamente sean expertos en dinámica de sistemas, la innovación en esta herramienta radica en que no solo permite analizar los modelos propuestos en la investigación previa, sino también permite cargar nuevos modelos para su correspondiente análisis y simulación.

2.2.2 Revisión a nivel nacional.

En general se investigaron herramientas software que soportan la dinámica de sistemas y que aborden casos particulares de producción agropecuaria, donde se modelen y simulen cultivos y crianzas pecuarias específicas, dicha búsqueda se realizó en bases de datos académicas de tipo virtual y en internet.

Sin embargo no se encontró una herramienta computacional que aborde el fenómeno de las granjas agropecuarias desde una perspectiva global u holista, que simule varios escenarios de cultivos y crianzas pecuarias, como un fenómeno generalizado.

2.2.3 Revisión a nivel internacional.

- GNU MCSim

GNU MCSim es un paquete gratuito de simulación que permite diseñar su propio modelo estadístico de simulación, y realizar inferencias bayesianas a través de simulaciones por Monte-Carlo.

Ofrece la posibilidad de creación de los modelos a través de cuatro etapas:

a) Se crea un archivo con la descripción del modelo. Para lo que ofrece un manual con las especificaciones sintácticas para hacerlo. Esta sintaxis permite describir las variables de los modelos, parámetros, ecuaciones, entradas y salidas sin la necesidad de conocer ningún lenguaje de programación.

b) Se le indica al generador de modelo que procese el modelo

c) Se compila y vincula el modelo creado.

d) Finalmente, se escribe el número de simulaciones y se corre el programa. En este paso se especifica el tipo de simulación (sencilla, Monte Carlo, etc.).

Mayor información de la herramienta en: <http://www.gnu.org/software/mcsim/>

• BIOCHAM

BIOCHAM es un entorno de programación para el modelado de sistemas bioquímicos, realiza simulaciones y consultas del modelo en una lógica temporal.

Es un software gratuito y está principalmente compuesto por:

a) Un lenguaje basado en reglas para el modelamiento de sistemas bioquímicos.

b) Múltiples simuladores (booleano, diferenciales, estocásticos).

c) Un lenguaje basado en lógica temporal para formalizar las propiedades temporales de los sistemas biológicos y validar los modelos con respecto a estas especificaciones

d) Características únicas para el desarrollo, corrección, finalización y emparejamiento de modelos, incluyendo las inferencias de parámetros cambiantes en grandes dimensiones desde límites de lógica temporal

Mayor información de la herramienta en: <http://contraintes.inria.fr/BIOCHAM/>

- VisSim

Visual Solutions' VisSim es un lenguaje de diagramación gráfico por bloques para la simulación de sistemas dinámicos complejos. Con VisSim se pueden construir rápidamente prototipos de cualquier sistema dinámico.

Los modelos son construidos de forma sencilla, manipulándolos a través de bloques, donde cada elemento bloque realiza una acción.

Mayor información de la herramienta en: <http://www.vissim.com/>

- Dynetica

Dynetica es un diseñador de modelamiento de interfaces para la fácil construcción, visualización y análisis de modelos cinéticos. Está especialmente elaborado para el uso de sistemas biológicos y muchas de sus herramientas y comandos lo reflejan.

La interfaz de operación es relativamente intuitiva; siguiendo los ejemplos provistos será suficiente para un curso inicial para reproducir las reacciones cinéticas y modelos visuales deseados.

Mayor información de la herramienta en:
http://people.duke.edu/~you/Dynetica/Dynetica_page.htm

3. FUNDAMENTACIÓN TEÓRICA.

Esta sección del presente documento se establece una base teoría que sustenta los planteamientos, los desarrollos teóricos y tecnológicos desarrollados, es necesario tenerlos presentes para comprender el proceso de desarrollo del ambiente EcoGranja.

3.1 PENSAMIENTO SISTÉMICO.

Se entiende como Pensamiento Sistémico (PS) a la actitud del ser humano de percibir los fenómenos de una manera holista, es decir como un todo, interpretando la estructura y la funcionalidad de los fenómenos y su abstracción en modelos conceptuales denominados sistemas, permitiendo realizar construcciones conceptuales que abarcan varios elementos del fenómeno y que en conjunto presentan propiedades emergentes.

Una descripción profunda del concepto de pensamiento sistémico se recomienda leer el capítulo uno del libro: “Diversidad en búsqueda de unidad”³, titulado “geomorfología del pensamiento sistémico”, donde se realiza un recorrido por los principales paradigmas que soportaron la construcción del pensamiento sistémico.

Según Peter Senge, en su libro titulado “La Quinta Disciplina (1993)”, define el pensamiento sistémico como una actividad realizada por la mente con el fin de comprender el funcionamiento de un sistema y resolver el problema que presenten sus propiedades emergentes. El pensamiento sistémico es un marco conceptual que se ha desarrollado en los últimos setenta años, para que los patrones del todo resulten más claros y permitan modificarlos.

El inicio de esta enfoque de pensamiento surgió hace 45 años, cuando el biólogo Ludwig Von Bertalanffy, cuestionaba el método científico usado en los problemas de la Biología, por la visión mecanicista y causal usada en este, mostrando una debilidad en la explicación de los grandes problemas dados en los seres vivos, este cuestionamiento llevó a reformular de manera global el paradigma intelectual con el fin de entender mejor el mundo que nos rodea, de este punto comienza a surgir formalmente el paradigma de sistemas.

³ Andrade, et al. 2007

3.2 DINÁMICA DE SISTEMAS.

La Dinámica de Sistemas (DS) es un lenguaje que permite explicar y representar los fenómenos de interés en términos de modelos. Con estos modelos y con el soporte computacional se puede simular el comportamiento del fenómeno bajo diferentes condiciones (experimentación simulada).

Una descripción profunda de dinámica de sistemas se aborda en el tercer capítulo del libro: Diversidad en búsqueda de unidad⁴ titulado “Dinámica de sistemas: forma de pensamiento para la representación y el aprendizaje”, donde a través de una situación de estudio se ejemplifica el modelamiento de un fenómeno.

También, la Dinámica de Sistemas (D.S.) permite abordar el modelado de sistemas complejos⁵, como los sistemas biológicos, económicos o sociales, aplicando métodos de sistemas duros⁶, básicamente utiliza los conceptos de realimentación, no linealidades y retardos, sus principales aplicaciones se ubican en los problemas no estructurados (problemas blandos⁷).

En la mayoría de las metodologías de modelado de Dinámica de Sistemas se incluyen los modelos en prosa, en diagrama de influencias, en diagrama de flujo nivel y en diagrama de ecuaciones, logrando representar a través de varias vistas el fenómeno estudiado.

El modelo más representativo del fenómeno en el lenguaje de la Dinámica de Sistemas, por lo general es el modelo de flujo nivel, cuya finalidad es la representación en lenguaje gráfico del sistema de ecuaciones diferenciales que proporciona la descripción formal del fenómeno en estudio, logrando así, la representación de la estructura matemática que simula el comportamiento del sistema. El desarrollo de los modelos de flujo nivel contribuye en la comprensión de la estructura y de la funcionalidad del sistema.

⁴ Andrade, et al. 2007.

⁵ Un sistema complejo está compuesto por varias partes interconectadas o entrelazadas cuyos vínculos contienen información adicional y oculta al observador. Como resultado de las interacciones entre elementos, surgen propiedades nuevas que no pueden explicarse a partir de las propiedades de los elementos aislados.

⁶ Los sistemas duros son típicamente los encontrados en las ciencias básicas los cuales admitirán procesos de razonamiento formales, esto es, derivaciones lógico-matemáticas. Los datos comprobados, como se presentan en esos dominios, generalmente son replicables y las explicaciones pueden basarse en relaciones causadas probadas.

⁷ Un problema blando es un sistema con comportamientos no deterministas, que puede tener múltiples resultados con las mismas condiciones iniciales,

En el desarrollo de un modelo dinámico-sistémico es importante evaluar continuamente el comportamiento, a través de las simulaciones, donde se puede observar las trayectorias de cada una de las variables del modelo, esto con la finalidad de comprender cómo la estructura del sistema es responsable de su comportamiento y desarrollar modelos con alto grado de acabado.

3.2.1 Modelado con dinámica de sistemas.

El modelado mediante la dinámica de sistemas es una propuesta iniciada por Jay W. Forrester alrededor del año 1956, caracterizada por comprender y modelar el comportamiento de sistemas complejos mediante modelos inicialmente llamados diagramas de Forrester, la particularidad de los modelos de este enfoque consiste en soportar el modelamiento de la realimentación, de las no-linealidades y de los retardos que se representan a través de un lenguaje gráfico, el cual integra los sistemas de ecuaciones lineales que conforman la estructura del sistema, esta propuesta se integró con otras herramientas de modelado como son los multiplicadores o inclusive la lógica difusa, logrando llevar la herramienta a nuevas posibilidades las cuales se consolidaron como el diagrama de flujo-nivel.

3.2.2 Metodologías de modelado con dinámica de sistemas.

Históricamente numerosos ingenieros y científicos han diversificado la aplicación de la dinámica de sistemas, mediante diversas propuestas, que han establecido lineamientos metodológicos, que permiten abarcar particularmente el estudio de diferentes tipos de fenómenos, entre las semejanzas de las directrices metodológicas se aprecia que no consisten en una secuencia lineal de actividades, por el contrario tienen una mayor semejanza a un proceso iterativo, cíclico e incremental, a continuación se enunciarán las metodologías más representativas:

- Metodología de Jay W. Forrester y autoridades académicas del MIT: en este enfoque se parte de una descripción del fenómeno, la descripción en ecuaciones de flujo nivel, la simulación del modelo, los diseños de políticas y las estructuras alternativas, la educación y el debate de resultados y, la implementación de los cambios.
- Metodología de Andrew Ford: en este enfoque se propone la familiarización con el fenómeno, la especificación del problema dinámico, la construcción del

diagrama de flujo nivel, la construcción del diagrama de ciclos causales, la estimación del valor de los parámetros, la ejecución del modelo para obtención del modo de referencia, la realización de un análisis de sensibilidad y la examinación del impacto de las políticas.

- Metodología de Sterman: Se fundamenta en la interacción continua con el usuario, realizando la articulación del problema, la formulación de la hipótesis dinámica, la formulación de un modelo de simulación y las pruebas.
- Metodología de Donald Drew: se enfoca principalmente en el desarrollo del diagrama de influencias, comprendiendo las siguientes etapas: la identificación de relaciones causa-efecto entre las variables del sistema, el establecimiento de relaciones causa-efecto entre pares de variables, el establecimiento de la influencia directa e inversamente proporcional para las relaciones establecidas, el desarrollo del modelo como diagrama de Forrester o como ecuaciones diferenciales, la simulación y análisis de resultados.
- Metodología de Hugo Andrade y co-escritores: consiste en una metodología amplia donde el modelador equilibra los modelos para representar adecuadamente el fenómeno en estudio. Las fases son las siguientes: la observación del fenómeno, el modelo en prosa, el modelo como diagrama de influencias, el modelo como diagrama de flujo nivel, el modelo de ecuaciones matemáticas y el análisis del comportamiento.

3.3 HERRAMIENTAS PARA EL MODELADO Y LA SIMULACIÓN.

Actualmente existen varios tipos de herramientas que permiten desarrollar modelos dinámico-sistémicos, cada una integra funcionalidades y elementos matemáticos que complementan el lenguaje de la D.S., contribuyendo de esta manera al desarrollo de modelos particularizados del fenómeno estudiado.

3.3.1 Evolución 4.0⁸

Software desarrollado por el grupo de investigaciones SIMON de la Universidad Industrial de Santander, que se ha desarrollado desde el año 1995. En la actualidad Evolución ofrece un entorno de modelado y simulación para desarrollar modelos y simulaciones de dinámica de sistemas, conformado por un editor de diagrama de influencias, editor de diagrama de flujo nivel y análisis de sensibilidad.

Además de los anteriores controles, Evolución integra los siguientes elementos dinámico-sistémicos como lo son: Parámetros, Variables, Niveles, Flujos, Clones, Retardos, Flujos, y Lógica difusa (FIS), estos elementos se integran en el diagrama Flujo-Nivel permitiendo la descripción de la estructura del fenómeno a través de las herramientas matemáticas anteriormente enunciadas.

3.3.2 Professional DYNAMO.

Es una de las clásicas herramientas de simulación. No permite la posibilidad de modelar a través de un lenguaje gráfico, sin embargo permite describir modelos con gran cantidad de ecuaciones. La mayor parte de los ejemplos de modelamiento con dinámica de sistemas de los libros clásicos se encuentran escritos en esta herramienta.

3.3.3 Stella y I-Think

Son entornos de modelado y simulación con amplia capacidad interactiva que soportan la construcción de modelos mediante elementos gráficos, ambos poseen una estructura similar, sin embargo Stella se encuentra más orientado hacia usos académicos, mientras que I-Think se enfoca hacia el uso comercial. Ambos

⁸ Referenciado del trabajo de grado de: CUELLAR YENERIS y LINCE MERCADO

permiten la construcción de diagramas de Forrester⁹ y en base a esta estructura se generan las ecuaciones y comportamientos. También se pueden agrupar los elementos en modelos.

3.3.4 **VenSim**

Además de integrar el soporte a los modelos de Forrester⁸, presenta ventajas con relación a la organización de datos y a posibilidades de optimización. Se trata de una herramienta potente para el desarrollo de modelos con altos requerimientos computacionales, permite su ejecución en entornos Unix y Windows. Además permite documentar automáticamente el modelo según se va construyendo, y crea árboles que permiten seguir las relaciones de causa-efecto a lo largo del modelo. Está dotado de instrumentos que permiten realizar el correspondiente Análisis estadístico.

3.3.5 **PowerSim**

Entorno de origen europeo que soporta el desarrollo de diagramas de Forrester⁸, permite el desarrollo de modelos que luego se pueden conectar entre sí, también soporta realizar simulaciones en ambientes Web.

3.3.6 **Mosaikk-SimTek**

Es un ambiente que da soporte al SimTek, que es un lenguaje de modelado similar a DYNAMO que posee gran versatilidad.

⁹ Diagrama de Forrester, es el diagrama fundamental de la Dinámica de Sistemas. Es una traducción del Diagrama Causal (Relaciones entre entes) a un formato que facilita la integración de ecuaciones matemáticas al modelo Dinámico-Sistémico.

3.4 GRANJAS INTEGRALES AGROPECUARIAS.

El sistema de granja integral agropecuaria se define como una unidad de producción alimenticia, que busca aumentar la eficiencia en la producción de alimentos de origen agropecuario a través de la realimentación de sus componentes y la reutilización de sus subproductos¹⁰.

En síntesis es posible afirmar que el concepto de Granja Integral Agropecuaria es una unidad de producción agropecuaria altamente diversificada, cuyos rubros (agrícolas, pecuarios y forestales) se integran y complementan entre sí, con el propósito de autoabastecerse y de reducir riesgos, vulnerabilidades y dependencias externas.

También busca la máxima eficiencia en el uso de los recursos existentes en el predio, a través de la correcta introducción de tecnologías para mejorar la productividad de la mano de obra y de la tierra; así como incrementar los rendimientos de los animales y por ende aumentar los ingresos.

Al diversificar las especies en la granja, permite la realimentación y la creación de agro-ecosistemas, además ofrece un uso adecuado a los terrenos que no son aptos para la agricultura.

Tiene como características especiales ser altamente diversificada, integrada y autosuficiente. El alimento de los animales se obtiene de forma natural y no se necesita recurrir a la compra de concentrados en grandes cantidades.

La Granja Autosuficiente aplica tecnologías de tipo agropecuario, educativo, administrativo y organizativo en busca del aprovechamiento máximo de los recursos y la recirculación de los subproductos agropecuarios, bajo el marco del desarrollo sostenible y de seguridad alimentaria.

Los objetivos para una agricultura sostenible son:

- Producir alimentos de calidad en cantidad suficiente.
- Ciclar nutrientes dentro del agro-ecosistema.
- Regular el ciclo del agua.
- Controlar poblaciones, promover los ciclos biológicos.

¹⁰ Definición conformada a partir de los conceptos del manual granja integral auto-sostenible, (Fundación Hogares Juveniles Campesinos, 2004)

- Conservar la estructura del suelo.
- Usar los recursos naturales locales.
- Promover la autosuficiencia en los insumos.
- Proteger y promover la biodiversidad.
- Promover la identidad y satisfacción del campesino y su familia, en concordancia con sus valores culturales y sociales.

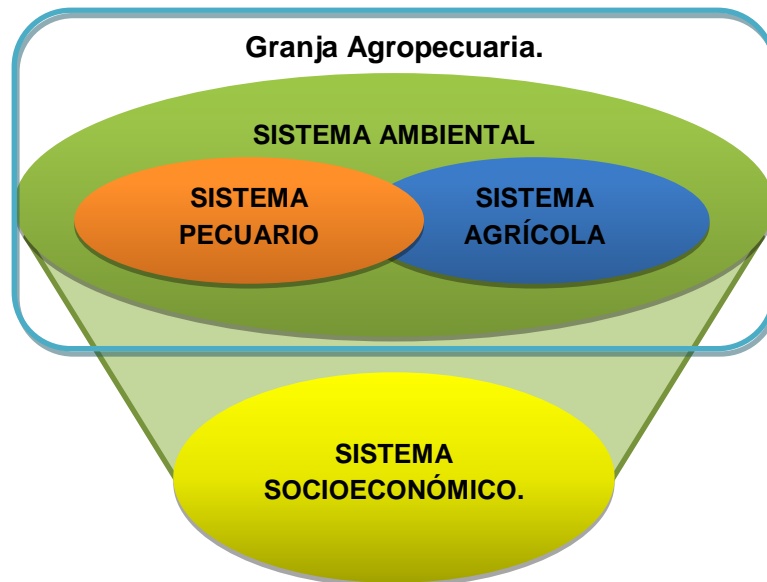
Para que la propuesta de granja integral agropecuaria sea viable, se debe trabajar en que los consumidores de alimentos agropecuarios diferencien las características de los alimentos de origen orgánico de los alimentos producidos con procesos químicos, debido a que la producción de alimentos orgánicos conlleva procesos muy elaborados, que aumenta el costo de producción y la incursión en el mercado no debe basarse en precios, sino debe basarse en calidad.

Por esto se debe realizar procesos de información y concientización a los consumidores, donde se transmitan las ventajas de este tipo de productos, la más importante es que los alimentos orgánicos son de excelente calidad biológica, utiliza al máximo los recursos de la finca, tiene una baja dependencia de recursos externos, se preocupa por la fertilidad del suelo y no utiliza agroquímicos, lo que contribuye en la sostenibilidad del medio ambiente y la salud humana.

3.4.1 Esquema del fenómeno granja integral agropecuaria.

El esquema general del fenómeno granja integral agropecuaria (*Figura 1*) permite visualizar de manera general como el conjunto de los sistemas ambiental, agrícola, pecuario y socioeconómico, se interrelacionan mutuamente para compartir los subproductos y disminuir los insumos de cada sistema, y por ende aumentar en cantidad y calidad la producción agropecuaria, que satisface las necesidades del sistema socioeconómico interno y externo de la granja, es resaltable que el sistema ambiental proporciona el sustento de todo el sistema granja integral agropecuaria y el sistema agrícola proporciona insumos alimenticios al sistema pecuario, así el sistema Granja Agropecuaria tiene como finalidad satisfacer la demanda alimenticia de los consumidores representados en el sistema socioeconómico.

Figura 1. Esquema general del fenómeno Granja Integral Agropecuaria.



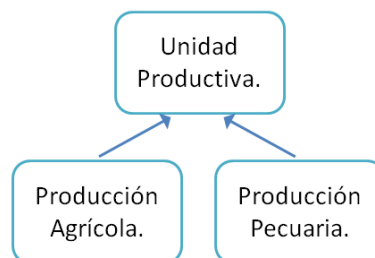
Fuente: Autor.

3.4.2 Cadenas de producción agropecuaria.

Una característica fundamental en la organización de las granjas integrales agropecuarias es la presencia de cadenas de producción (deseablemente cerradas) que se componen de eslabones productivos que pueden ser agrícolas o pecuarios, estos eslabones permiten cumplir la función de reutilizar los subproductos o desechos de las unidades productivas, que son las que permiten proporcionar el enfoque de integralidad en una granja agropecuaria.

Cada eslabón productivo se puede interpretar como un sistema que representa las características biológicas de las producciones agropecuarias, los cuales conforman un sistema mayor denominado cadena de producción agropecuaria que relaciona cada una de las unidades productivas.

Figura 2. Esquema conceptual del modelo de eslabones de producción planteados.

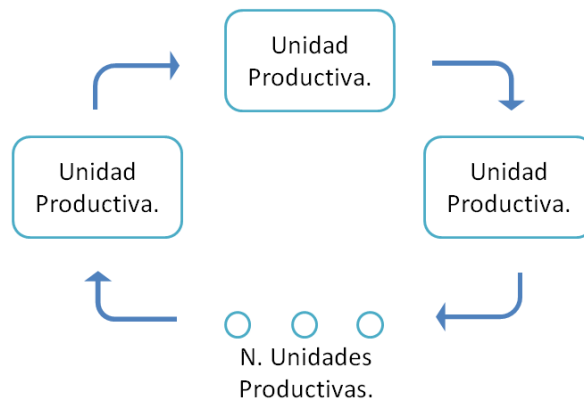


Fuente: Autor.

El concepto de unidad producción agrícola contempla los cultivos agrícolas, que se clasificaran en: Frutales, Cereales, Verduras, Legumbres, Tubérculos, Pastos, Forrajes, Aromáticas, Plantas Medicinales y Especies.

El concepto de unidad de producción pecuaria contempla las crianzas de animales, que se clasificaran en: Ganadería (Bovina, Ovina, Caprina y Porcina), Avicultura, Piscicultura, Cunicultura, Apicultura, entre otros.

Figura 3. Esquema de la cadena de producción agropecuaria, constituida por los eslabones “Unidades Productivas”.



Fuente: Autor.

Tomando como base el modelo de la cadena de producción agropecuaria, se podrían realizar inferencias sobre metodologías de diseño de granjas integrales agropecuarias y también se podría plantear una propuesta metodológica que defina los componentes y relaciones esenciales del concepto granja integral, desde la fundamentación científica, consolidándose así como un producto tecnológico, que permitirá diseñar cadenas de producción agropecuaria basadas en conocimiento, lo cual contribuirá en la toma de decisiones relacionadas con la organización y planeación productiva de las granjas agropecuarias bajo un enfoque de integralidad.

A largo plazo los modelos que soportaran la cadena general de producción agropecuaria complementaran las funcionalidades de la herramienta EcoGranja (principal producto tecnológico de la presente investigación), la cual realiza las proyecciones de producción agropecuaria convenientes para unas condiciones climáticas, de suelos e hídricas de una granja agropecuaria, permitiendo realizar simulaciones de proyecciones con un mayor grado de completitud, mejorando de

esta manera las prestaciones de la herramienta y constituyéndose en un ambiente que respalda el análisis de los expertos en procesos de diseño y de proyección de las granjas integrales agropecuarias, bajo un enfoque de sostenibilidad económica y ecológica.

Finalmente se plantea proponer estrategias de apropiación del ambiente de aprendizaje y toma de decisiones en las comunidades afines a la producción agropecuaria.

3.4.3 Tecnologías e infraestructura agropecuaria.

Históricamente se han desarrollado diversas tecnologías que complementan los procesos de cultivo agrícola y crianza pecuaria, beneficiando a los trabajadores agropecuarios ya que se aumenta la productividad y facilita los procesos agropecuarios, se clasificaron las tecnologías en construcciones o infraestructura, tecnologías agrícolas, tecnologías pecuarias y tecnologías complementarias.

Construcciones o infraestructura:

- Vivienda familiar
- Letrina seca
- Pozo de fermentación
- Panel solar

Tecnologías agrícolas:

- Los viveros
- Los nacederos
- Los invernaderos
- Los bancos de proteína vegetal
- El agro-silvopastoreo.

Tecnologías pecuarias:

- Banco de proteína animal
- Porqueriza
- Potrero.
- Establo
- Jaulas para cría de peces.

Tecnologías complementarias:

- Bio-digestor
- Bio-reactor
- Molino de viento
- Pilas de compostaje
- Ariete hidráulico
- Curvas de nivel
- Terrazas
- Barreras vivas
- Labranza mínima.

3.4.4 Dinámica de los nutrientes en los cultivos.

En el sistema suelo, se presenta la dinámica más pertinente del fenómeno estudiado y es la dinámica de los nutrientes¹¹, que se desarrolla a través de las relaciones entre el sistema suelo y el sistema agrícola, por lo cual en el modelo de dinámica de sistemas de la presente investigación se aborda este subsistema de una manera profunda enfatizando los ciclos de realimentación que comprende.

En la literatura agropecuaria¹¹ se define la dinámica de los nutrientes, y se basa en que la existencia de múltiples elementos químicos en el suelo y muchos de ellos son esenciales para el desarrollo de los cultivos, resaltando el hecho, que si escasea un determinado nutriente afecta el crecimiento total del cultivo, este fenómeno es conocido como la ley del factor limitante o ley de LieBig¹².

La agronomía hasta el momento ha clasificado los nutrientes más pertinentes para un cultivo en dos grupos, los denominados macronutrientes y los micronutrientes, en los macronutrientes se subdivide en dos grupos, los macronutrientes principales constituidos por el nitrógeno (N), el fósforo (P) y el potasio (K), y los macronutrientes secundarios son el Calcio (Ca), el Magnesio (Mg) y el Azufre (S), a su vez también se establecen los micronutrientes como el Hierro (Fe), el Zinc (Zn), el Manganeseo (Mn), el Boro (B), el Cobre (Cu), el Molibdeno (Mo) y el Cloro (Cl), todos los anteriores elementos son esenciales en el desarrollo de la mayoría de los cultivos y las cantidades de cada uno son determinadas por la genética de

¹¹ La metodología de análisis de suelos se basó en el libro: "Suelos, abonos y fertilizantes", descrito en las referencias.

¹² La ley de LieBig en agronomía, modela el desarrollo de los cultivos limitando el crecimiento al factor más escaso.

las plantas, donde se establece la cantidad de cada nutriente en cada etapa productiva para el óptimo desarrollo del cultivo y de la cosecha.

Con la finalidad de complementar y establecer los principales conceptos del suelo y sus medidas, se agrega a continuación información en forma de tablas que resumen los factores más pertinentes del suelo cuando la finalidad es agrícola.

En la siguiente tabla se aprecian las características más pertinentes de los principales macronutrientes que conforman el suelo.

Tabla 1. Macronutrientes del suelo.

Elemento	Efecto sobre la planta	Deficiencia	Exceso	Fuentes
Nitrógeno	Formación de órganos vegetativos y reproductivos. Fomenta el crecimiento rápido. Determina el contenido de proteínas.	Amarillamiento de hojas. Hojas nuevas pequeñas. Caída de hojas. Crecimiento lento. Disminución de flores.	Crecimiento muy rápido. Tallos blandos y frágiles. Propensión a enfermedades. Lento crecimiento de raíces.	Materia orgánica. Sembrar leguminosas.
Fósforo	Producción de energía. Formación de la raíz. Formación y maduración de frutos. Formación de semillas.	Crecimiento lento. Hojas de color verde azulado o púrpura. Hojas pequeñas. Caída de hojas. Disminución de la floración. Quemazón en los bordes de las hojas. Disminución en la formación de frutos.		Roca fosfórica Escorias Thomas. Superfosfato + calfos y cal.
Potasio	Resistencia a sequía. Formación de azúcares, almidones y aceites. Formación de tallos. Resistencia a ataque de hongos.	Bordes amarillos en hojas. Enroscamiento de hoja. Secamiento de puntas. Secamiento de planta.		Cloruro de potasio. Compost.
Calcio	Crecimiento de la raíz y del tallo. Favorece la absorción de nutrientes del suelo.	Hojas pequeñas y deformes, con puntas curvas hacia abajo o arriba. Áreas muertas en hojas. Raíces poco desarrolladas.		Cal agrícola. Cal viva. Roca fosfórica. Cal dolomita. Escorias Thomas.
Magnesio	Formación de aceites. Principal elemento de la clorofila.	Amarillamiento de hojas entre las venas o nervaduras. Secamiento de hojas entre las nervaduras. Caída de hojas sin marchitar.		Carbonato de magnesio. Óxido de magnesio. Sulfato de magnesio.

Fuente: Manual granja integral autosuficiente

En la siguiente tabla se aprecian las principales características físicas del suelo.

Tabla 2. Características físicas del suelo.

Calificación	Término	Características
Permeabilidad		
1	Muy lenta	1,3 mm/hora
2	Lenta	1,3 a 5,1 mm/hora
3	Mediana	20 a 635 mm/hora
4	Rápida	1.270 a 2.540 mm/hora
Contenido de materia orgánica		
1	Muy bajo	
2	Bajo	
3	Medio	
4	Alto	
Pendiente		Pendiente o grado de inclinación
1	Plana	0% a 1%
2	Suave	1% a 3%
3	Mediana	3% a 7%
4	Fuerte	7% al 2%
5	Escarpado	12% a 25%
6	Muy escarpado	Más de 50%
Erosión		Porcentaje que se ha perdido
1	Ligera	25% del horizonte <i>A</i>
2	Moderada	25% - 75% del horizonte <i>A</i>
3	Severa	75% del <i>A</i> y 25% del horizonte <i>B</i>
4	Muy severa	25% a 75% del horizonte <i>B</i>

Fuente: Manual granja integral autosuficiente

En la siguiente tabla se aprecian las principales características químicas del suelo.

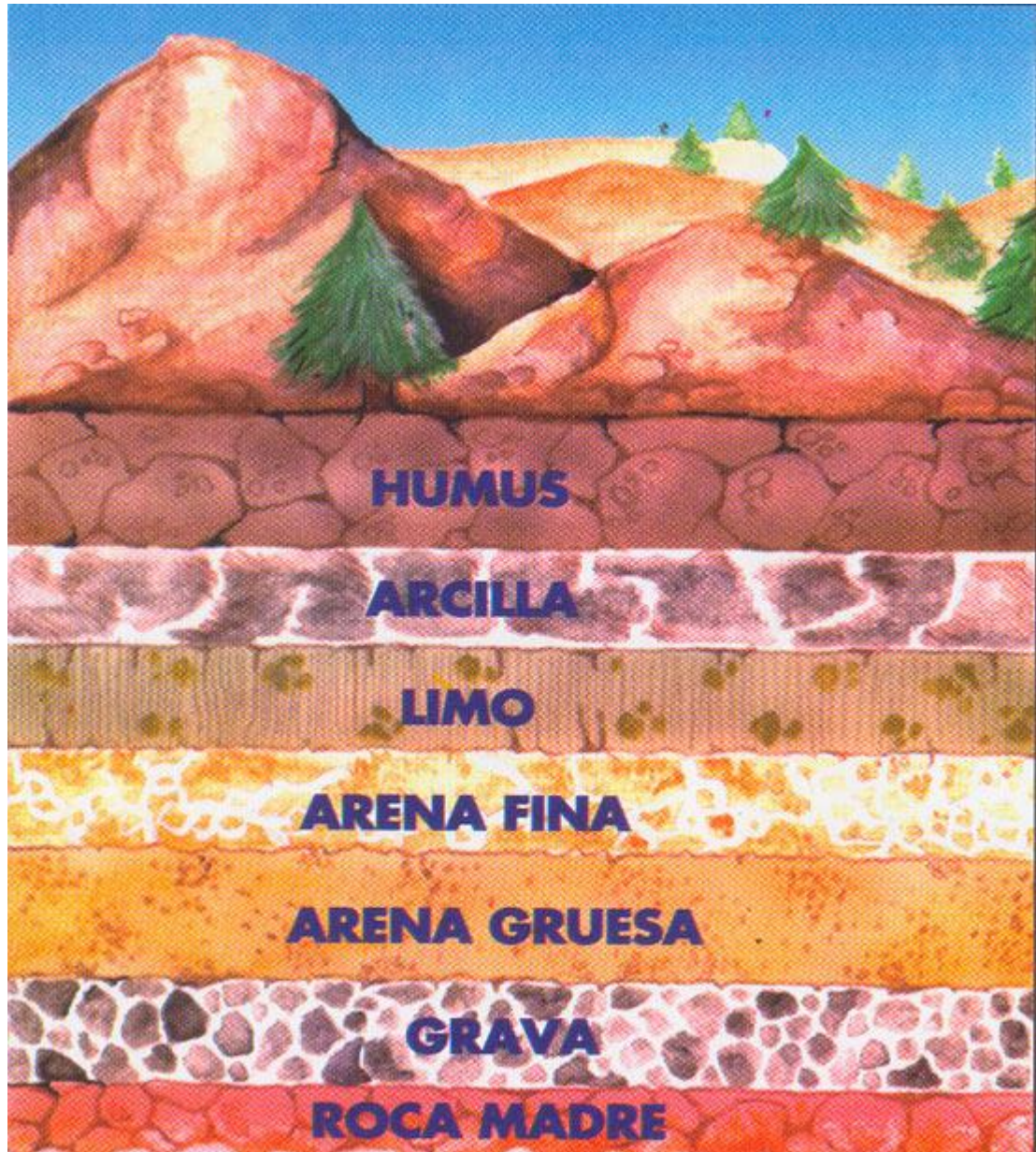
Tabla 3. Características químicas del suelo.

Característica	Descripción	Ion intercambiable
Potencial de Hidrógeno (pH)	El grado de pH determina la solubilidad de los minerales, estableciendo la eficiencia de absorción por parte de la planta.	
Nitrógeno	Nutriente principal que conforma la materia vegetal de las plantas, se presenta en la composición de la clorofila y es esencial en la elaboración de azúcares simples junto con el Carbono (C), el hidrógeno (H) y el oxígeno (O).	Nitrato NO_3^- Amonio NH_4^+
Fósforo	Nutriente principal de las plantas necesario en múltiples reacciones, afecta principalmente en el crecimiento y número de hojas, y es esencial para soportar el proceso de fotosíntesis.	H_2PO_4^- HPO_4^-
Potasio	Es un elemento nutritivo esencial para todos los organismos vivos. Ayuda a componer la mayoría de órganos de las plantas, contribuye principalmente en el crecimiento vegetativo, en la fructificación, en la maduración y en la calidad de los frutos.	K^+
Calcio	El calcio es un macro elemento secundario que constituye las paredes y las membranas celulares (Estructura y Estabilidad), esencial en la elongación y la división celular y regula las enzimas	Ca^{2+}
Magnesio	El magnesio es un macro elemento secundario que constituye la clorofila y los ribosomas (síntesis proteica), se asocia con las reacciones de transferencia de energía	Mg^{2+}

Fuente: IPNI

En la siguiente figura se aprecian los tipos de suelos según su porosidad y profundidad de la superficie.

Figura 4. Tipos de suelos según su porosidad.



Fuente: Manual granja integral autosuficiente

En la siguiente tabla se aprecian las clasificaciones de los suelos según su pH.

Tabla 4. Clasificación del pH.

Acidez o alcalinidad	Valor pH
Extremadamente ácido	Menor que 4,5
Demasiado ácido	4,6 - 5,0
Fuertemente ácido	5,1 - 5,5
Medianamente ácido	5,6 - 6,0
Ligeramente ácido	6,1 - 6,5
Neutro	6,6 - 7,3
Ligeramente alcalino	7,4 - 7,6
Moderadamente alcalino	7,3 - 8,4
Fuertemente alcalino	8,5 - 9,0
Demasiado alcalino	Mayor que 9,0

Fuente: Manual granja integral autosuficiente

3.4.5 Revolución verde.

Termino que agrupa múltiples esfuerzos por incrementar la productividad agrícola, entre estos se encuentra el proceso de desarrollo y expansión de semillas y técnicas agrarias de alta productividad concebidas en Estados Unidos y Europa, entre 1940 y 1970.

El movimiento se consolidó en 1963, año en que la FAO (Food and Agriculture Organization), a raíz de un Congreso Mundial de la Alimentación, decidió impulsar un plan de desarrollo agrario a nivel mundial el World Plan for Agricultural Development. La necesidad creciente de alimentos causada por el aumento de la población mundial, el hambre y la desnutrición¹³ fueron los argumentos que justificaron esta búsqueda de incrementos de productividad agraria.

¹³ Norman E. Borlaug, La Inacabada Revolución Verde – El Futuro Rol de la Ciencia y la Tecnología en la Alimentación del Mundo en Desarrollo

Los principales alimentos que fueron involucrados en procesos de aumento de la productividad fueron el maíz, el trigo y granos en general, mediante cruces que permitieron obtener variedades mejoradas. Las tendencias de este enfoque productivo comprenden la realización de cultivos de una sola especie, lo que se denomina monocultivo y la aplicación de grandes cantidades de agua, fertilizantes y plaguicidas, estas dos prácticas aumentaron la producción de alimentos de dos a cinco veces en comparación con las prácticas tradicionales.

Lo anterior contribuyó a suplir los alimentos para la creciente población humana, pero surgieron efectos secundarios negativos como la degradación de los ecosistemas naturales y de los recursos naturales sobre los que se desarrolla el cultivo, así como la presencia de compuestos químicos en las cosechas, con posibles efectos secundarios en la salud humana.

Este movimiento fue promovido e implantado en diversos países en vía de desarrollo durante los años 60 y comienzos de los 70, bajo el impulso de un plan de la FAO (Food and Agriculture Organization), con la finalidad de mitigar la escases de alimentos en dichos países.

3.5 TECNOLOGÍAS DE LA INFORMACIÓN Y TECNOLOGÍAS WEB.

Las siguientes secciones describen las tecnologías de la información y la comunicación que repercutieron de manera esencial en el desarrollo de la presente investigación, estas tecnologías conforman un marco tecnológico que al relacionarse permiten el desarrollo de productos innovadores basados en TIC, como lo son EcoGranja y Evolución Web.

3.5.1 Objetos dinámicos compartidos (DSO).

Dynamic Shared Object es una tecnología desarrollada por Apache Software Foundation para Apache HTTP Server (Servidor Web HTTP ampliamente asumido en las telecomunicaciones como estándar de facto), esta tecnología es viable por la arquitectura modular con la que fue desarrollada Apache HTTP Server, permitiendo cargar funcionalidades a través de módulos que cumplan con las especificaciones establecidas.

Los módulos de Apache HTTP Server deben cumplir las especificaciones del estándar de Objetos Dinámicos Compartidos (DSOs), por lo cual deben compilarse con un compilador que acepte este formato.

El proceso de carga de módulos DSO en Apache HTTP Server, es soportado por el modulo denominado “mod_so”, se recomienda nombrar cada módulo DSO con el formato “mod_foo.so”, la directiva de configuración de Apache HTTP Server que permite cargarlo es “LoadModule”, que se encuentra en el archivo de configuración “httpd.conf”

Un ejemplo de las directivas para cargar de un módulo de Apache es:

```
1. LoadModule evolucion_module modules/mod_evolucion.so
```

La anterior línea de configuración se debe ubicar en el archivo *httpd.conf*, esta hace referencia al módulo *mod_evolucion.so* que se debe ubicar en el directorio *modules* de Apache Http Server.

3.5.2 Lenguaje de marcado de objetos (XML).

XML es un lenguaje de marcado libre que define un conjunto de reglas para codificar documentos en un formato que es legible por humanos como por computadoras, está definido en “XML 1.0 Specification” producido por la W3C, esta especificación se ha adoptado en los procesos de desarrollo de software como estándar de facto para representar y compartir datos.

Los objetivos de diseño de XML enfatizan la simplicidad, la generalidad y la usabilidad sobre internet, este lenguaje ha sido utilizado en el desarrollo de cientos de lenguajes que dan soporte a usos específicos, entre los cuales se puede destacar Really Simple Syndication (RSS), Simple Object Access Protocol (SOAP) y Extensible HyperText Markup Language (XHTML).

De manera general un documento XML es una cadena de caracteres, los cuales se dividen en marcas y contenido, que pueden ser distinguidos por la aplicación de simples reglas sintácticas, generalmente las cadenas que conforman una marca se encuentran entre los caracteres “<” y “>”, también pudiendo empezar con el carácter “&” y terminar con el carácter “;”, las cadenas de caracteres que no son marcas se consideran contenidos.

3.5.3 Arquitectura modelo vista controlador (MVC).

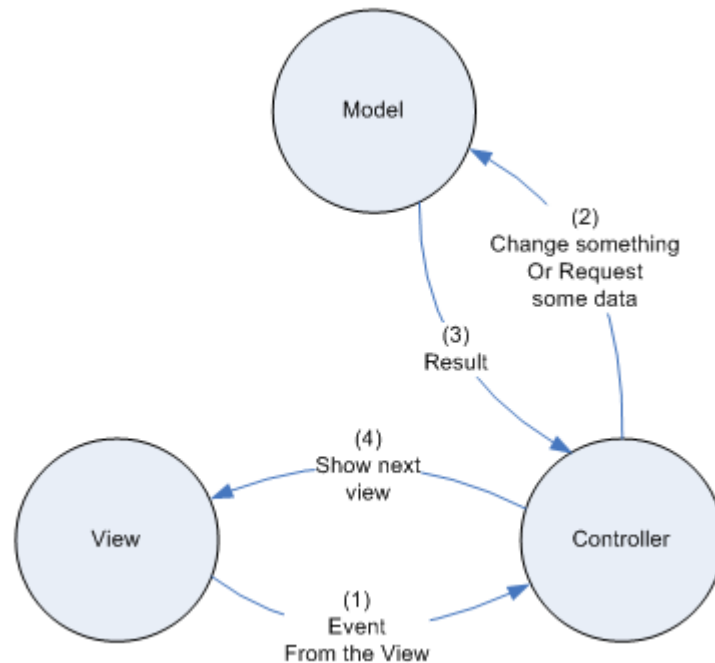
Puede ser considerada como un patrón de diseño y una arquitectura para software visual que divide cualquier sistema basado en software en: la representación de la información, el modelo de datos y el control del aplicativo.

El modelo consta de los datos de la aplicación y las reglas del negocio, el controlador gestiona la entrada y la traduce en instrucciones que afectan el modelo y la vista permite presentar la información al usuario, una vista puede ser cualquier salida que represente los datos, tales como un diagrama o gráfico, también es posible obtener múltiples vistas del mismo modelo.

Además de dividir la aplicación en tres componentes, la arquitectura MVC define la interacción entre ellas, en este sentido, la vista interactúa con el usuario de manera bidimensional, permitiendo que los datos ingresen al sistema, como los que egresan del mismo, el controlador se encarga de gestionar el flujo de datos y de traducir las peticiones en instrucciones para su ejecución en todo el sistema,

por último el modelo contiene la estructura de los datos que representa la lógica del negocio, estos tres componentes pueden abstraer los elementos que componen cualquier sistema software.

Figura 5. Diagrama de la arquitectura Modelo-Vista-Controlador



Fuente: Autor.

3.5.4 Mapeo de objeto relacional (ORM).

La tecnología Mapeo Objeto-Relacional es una técnica de programación que permite la conversión bidireccional entre modelos entidad-relación de sistemas de base de datos y modelos de objetos de los lenguajes orientados a objetos, esta tecnología simula un tipo de “base de datos orientada a objetos virtual” que es utilizada en los lenguajes orientados a objetos para gestionar el modelo de datos desde una capa abstracta de mayor nivel al de los modelos entidad-relación.

Existen múltiples implementaciones de esta tecnología variando según el lenguaje de programación en el que se implementó dicha tecnología, un ejemplo destacado es la implementación de ORM en lenguaje Ruby nombrada “Active Record”, que realiza un mapeo entre los objetos definidos en el lenguaje Ruby y cualquier tupla de las tablas en una base de datos, siempre y cuando esta sea compatible con Ruby.

3.5.5 Aplicaciones de internet enriquecidas (RIA).

Son aplicaciones basadas en la web que tienen la funcionalidad de las aplicaciones de escritorio más las características de los aplicativos web, utilizan un navegador Web para ejecutarse, y por medio de una capa software adicional al explorador, como un complemento, máquinas virtual o framework, permiten la creación de aplicativos software con funcionalidades adicionales a la presentación de contenido.

El desarrollo de este tipo de aplicaciones es factible, por las tecnologías web como XML, AJAX, HTML5, DOM, etc, una característica especial es que en los aplicativos basados en RIA, no presentan recarga de páginas posterior a la ejecución de eventos, que se presenta en las páginas informativas convencionales, esta cualidad es soportada por las tecnologías que permiten la conexión asincrónica como AJAX.

Los entornos basados en RIA que han sido ampliamente usados son:

Plataformas basadas en Plug-In:

- Adobe Flash
- Java-FX
- Microsoft Silverlight

Plataformas basadas en HTML5/Javascript

- GWT
- ExtJs
- Vaadin

Este último tipo de plataforma está ganando más aceptación que el enfoque basado en Plug-In.

4. METODOLOGÍA.

En las granjas agropecuarias existe una profunda interacción entre sus factores, así como leyes biológicas y comportamientos no lineales en su dinámica productiva, por lo que es necesario tratar el fenómeno a través de una metodología de modelamiento madura, que aborde desde la globalidad del fenómeno hasta la determinación de sus características específicas.

Con base en la observación anterior se considera que el fenómeno debe ser modelado con el paradigma/lenguaje de la dinámica de sistemas, para lo cual se han analizado las propuestas metodológicas existentes en la dinámica de sistemas de los siguientes autores:

- Jay Forrester.
- Andrew Ford.
- Sterman.
- Donald Drew.
- Hugo Andrade – Grupo SIMON.

El fenómeno de las granjas agropecuarias debe analizarse minuciosamente antes de definir cualquier acercamiento de modelamiento, se deben establecer las entidades participantes, los flujos de materia e información que puedan surgir en sus entidades; por lo cual se considera que la primera etapa de la metodología de Andrew Ford permite tener un apropiado acercamiento preliminar, pues establece que el modelador se debe familiarizar con el sistema en estudio, es fundamental involucrar al modelador en el fenómeno para lograr realizar un modelo que simule los comportamientos deseados del sistema modelado.

Así mismo, se considera que el enfoque más adecuado en cuanto a organización de las etapas de desarrollo del modelo dinámico-sistémico, se proporciona por la propuesta metodológica del Grupo de investigaciones SIMON, Hugo Andrade y co-escritores, debido a que abarca el estudio del fenómeno desde una perspectiva estructurada y organizada, cumpliendo los requerimientos metodológicos de este fenómeno.

4.1 METODOLOGÍA DE DINÁMICA DE SISTEMAS.

En base al análisis de cada metodología de modelado con dinámica de sistemas se determinó asumir para el desarrollo del modelo dinámico-sistémico del fenómeno de las granjas agropecuarias, en primer lugar la fase de familiarización con el fenómeno de la Metodología de Andrew Ford y en segundo lugar la totalidad de la metodología de Hugo Andrade y del Grupo SIMON, las cuales se explican a continuación:

Etapas de familiarización de la propuesta de Andrew Ford

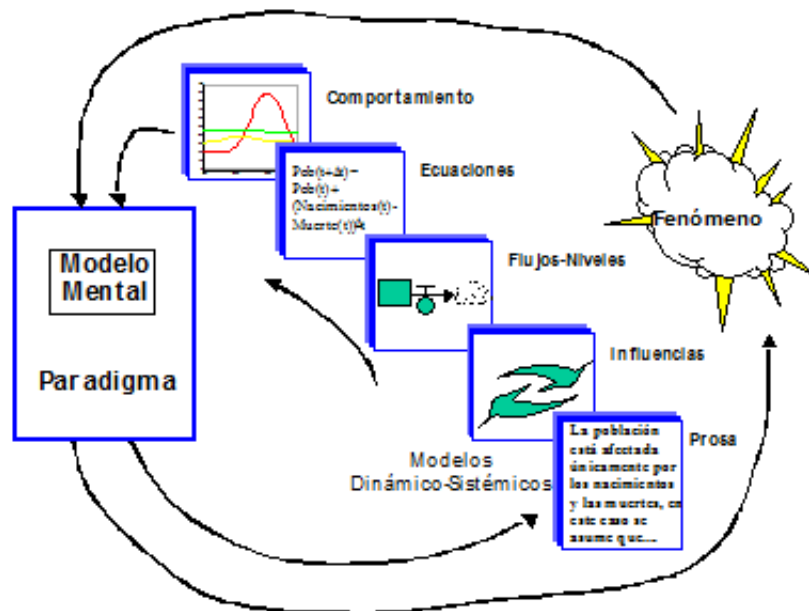
- **Familiarización con el fenómeno:** implica que los modelos se deben desarrollar desde el fenómeno y no aisladamente. En este acercamiento se debe aprender acerca del orden institucional y de las personas que interactúan con el fenómeno y observar las políticas actuales que tratan de solucionar las principales problemáticas detectadas.

Propuesta metodológica del Grupo SIMON, Profesor Hugo Andrade y co-escritores.

- **Observar el fenómeno:** Al observar el fenómeno que se desea modelar y simular, se logra concebir ciertas ideas que conformaran la definición de los patrones del modelo (modelo mental) que representa la realidad percibida por el observador; es decir, se puede identificar la percepción del modelador al interactuar con el fenómeno a modelar.
- **Prosa:** Esta etapa concluye con la redacción textual del fenómeno que se desea modelar.
- **Influencias:** Con base en la descripción en prosa se reconoce las realimentaciones de la hipótesis dinámica que determina el diagrama causal.
- **Flujo-Nivel:** Una vez identificadas las influencias causales, se representan las características más pertinentes del fenómeno, vinculando a través de niveles y flujos y del comportamiento percibido.
- **Ecuaciones:** En esta representación del fenómeno, se visualiza el modelo matemático que sustenta las variables involucradas en el diseño creado.
- **Comportamiento:** Es la fase de análisis, en la que se muestran las gráficas obtenidas después de realizar la simulación; es en esta etapa donde se puede concluir acerca del planteamiento del modelo.

La metodología de dinámica de sistemas desarrollada al interior del grupo SIMON de investigaciones en modelamiento y simulación por Hugo Andrade y Co-Escritores se puede observar en la siguiente figura donde se define la dinámica de sistemas como un lenguaje que se compone de cinco lenguajes, los cuales fueron descritos con anterioridad.

Figura 6. Esquema de la metodología del Grupo SIMON, Hugo Andrade y co-escritores ¹⁴.



Fuente: Grupo SIMON de investigaciones en modelamiento y simulación.

¹⁴ Basado en la página 235 del libro: "Pensamiento sistémico: diversidad en búsqueda de unidad.", vinculado en la referencia bibliográfica.

4.2 METODOLOGÍA DE DESARROLLO DE SOFTWARE.

Para definir la metodología de desarrollo para el ambiente informático se tuvo en cuenta que existe una capa interior en la herramienta software EcoGranja, que comprende el modelo de dinámica de sistemas que representa el fenómeno en estudio y que este modelo cambia continuamente durante el proceso de modelamiento, por lo cual se debe asumir una metodología de desarrollo de software que admita cambios en el desarrollo del proyecto, y también que se enfoque en el tratamiento de los datos y de la información resultante, con lo cual se pretende determinar el modelo de persistencia de los datos y una arquitectura adecuada en la satisfacción de las necesidades de los usuarios del aplicativo.

La metodología general asumida para el desarrollo de este proyecto a nivel del ambiente informático, estará incluida dentro de las denominadas metodologías ágiles, la elicitación¹⁵ de requerimientos será dirigida por las técnicas planteadas en los postulados de BRUEGGE y DUTOIT.¹⁶

Esta metodología se compone de las siguientes etapas:

1. Obtención de requerimientos.
 2. Análisis.
 3. Diseño del sistema.
 4. Diseño de los objetos.
 5. Implementación.
-
1. Obtención de requerimientos: tiene como objetivo describir el sistema en términos de actores y casos de uso, los actores son independientes del sistema en estudio pero influyen sobre este, los casos de uso son secuencias de eventos que describen las acciones posibles entre actor y sistema para un fragmento de funcionalidad.
 2. Análisis: En esta fase los desarrolladores se acercarán a un modelo del sistema que sea correcto, completo, consistente, claro, realista y verificable.
 3. Diseño del sistema: los desarrolladores dividen el sistema estudiado en subsistemas más tratables, seleccionan estrategias para la construcción del sistema, estrategias de almacenamiento de datos persistentes, el flujo de

¹⁵ Ilicitación es un término que hace referencia a la extracción de requerimientos por parte de los analistas en el desarrollo de un software.

¹⁶ Autores del libro "Object-Oriented Software Engineering", referenciado en la bibliografía

control global, la política de control de acceso y el manejo de las condiciones de frontera.

4. Diseño de objetos: se perfecciona el modelo de análisis para adaptarlo a las necesidades actuales del software en desarrollo, se definen con precisión los objetos e interfaces de los subsistemas para lograr un modelo de objetos detallado, comentado con restricciones y descripciones precisas para cada elemento.

La etapa de implementación descrita en la metodología de Bruegge y Dutoit, se integrarán metodologías y técnicas de la propuesta de desarrollo ágil, en la cual se tiene como objetivos, disminuir el tiempo de desarrollo y permitir la adaptación del proyecto al cambio de sus especificaciones.

Por estas características las metodologías ágiles son apropiadas en el desarrollo de este tipo de proyectos, en donde se deben adaptar al continuo cambio en las especificaciones para poder satisfacer mejoras sustanciales que permitirán que la herramienta software cumpla sus objetivos. El ambiente informático tendrá la arquitectura Modelo Vista Controlador (MVC),¹⁷ por sus múltiples beneficios de organización, escalabilidad, mantenimiento, actualización y desarrollo ágil de software.

Además, los datos e información de carácter persistente, que requiera y genere la aplicación en las capas del modelo de dinámica de sistemas y del ambiente informático serán almacenadas en una base de datos con la estructura adecuada para relacionar correctamente todas las entidades.

¹⁷ Arquitectura de software enunciada por primera vez en el artículo: Applications Programming in Smalltalk-80(TM): How to use Model-View-Controller (MVC), By Steve Burbeck, Ph.D, enlazado en la referencia y bibliografía

5. PROTOTIPO “EVOLUCIÓN WEB”.

Con la finalidad de proporcionar el acceso al ambiente EcoGranja, se desarrolló un prototipo de FrameWork que soporta la simulación de los modelos dinámico-sistémicos en la Internet a través de tecnologías web, este desarrollo se denominó “Evolución Web”, el cual es un subproducto tecnológico fruto de la presente investigación y por ende será presentado brevemente en este documento.

El proceso de desarrollo de esta herramienta software inicia con la definición de un formato de representación de modelos dinámico sistémicos en el estándar XML¹⁸, adicional a este formato se implementó una librería¹⁹ que soporta la interpretación de archivos del software Evolución²⁰, esta librería contiene las entidades esenciales del software Evolución, dicho conjunto de entidades se han denominado “núcleo de evolución”.

El desarrollo del prototipo “Evolución Web”, se efectuó mediante las siguientes etapas:

1. Análisis del proyecto Evolución.

En esta etapa se revisó la documentación del software evolución, descrita en sus documentos: manual del desarrollador, manual del usuario y la tesis de pregrado de (CUELLAR y LINCE, 2003), donde se documentaba el proceso de desarrollo de este software, contribuyendo con una base teórica y tecnológica que proporciono los antecedentes de dicho prototipo.

2. Identificación del núcleo de evolución.

A través de los diagramas de clase y la documentación de cada uno de los modelos, fue posible determinar las “Unidades de Delphi” (Unidad de modelado e implementación que representa a la unidad *Clase* de los lenguajes de

¹⁸ Definición más detallada en el numeral 9.1 PROPUESTA E IMPLEMENTACIÓN DE MODELOS DE DINÁMICA DE SISTEMAS EN FORTMATO XML

¹⁹ Definición más detallada en el numeral 9.2 DESARROLLO DE LIBRERÍA DSO TIPO INTERFAZ ENTRE EL NUCLEO DE EVOLUCIÓN Y UN SERVIDOR WEB

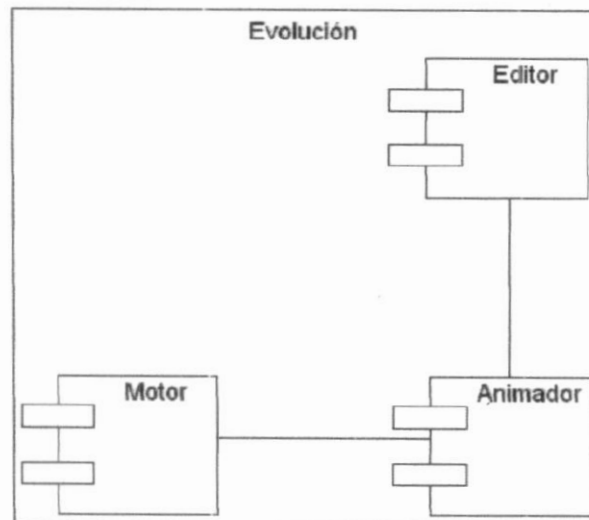
²⁰ Evolución es un ambiente de modelado y simulación desarrollado en el grupo SIMON de investigaciones desde 1995, mayor información la sección HERRAMIENTAS PARA EL MODELADO Y LA SIMULACIÓN del presente libro.

programación orientada a objetos), los cuales fundamentan la estructura y funcionalidad del software Evolución Web.

En la documentación de Evolución 4.1 se presenta su modelo de componentes, el cual se puede observar en el *Diagrama 1*, este modelo clasifica las entidades de evolución en tres grupos: Motor, Editor y Animador, siendo el modulo Motor el componente principal para el desarrollo de “Evolución Web”.

El componente Motor es el encargado de realizar la interpretación de los diagramas de flujo-nivel y de realizar las simulaciones matemáticas, constituyéndose como la base para las funcionalidades esenciales de Evolución.

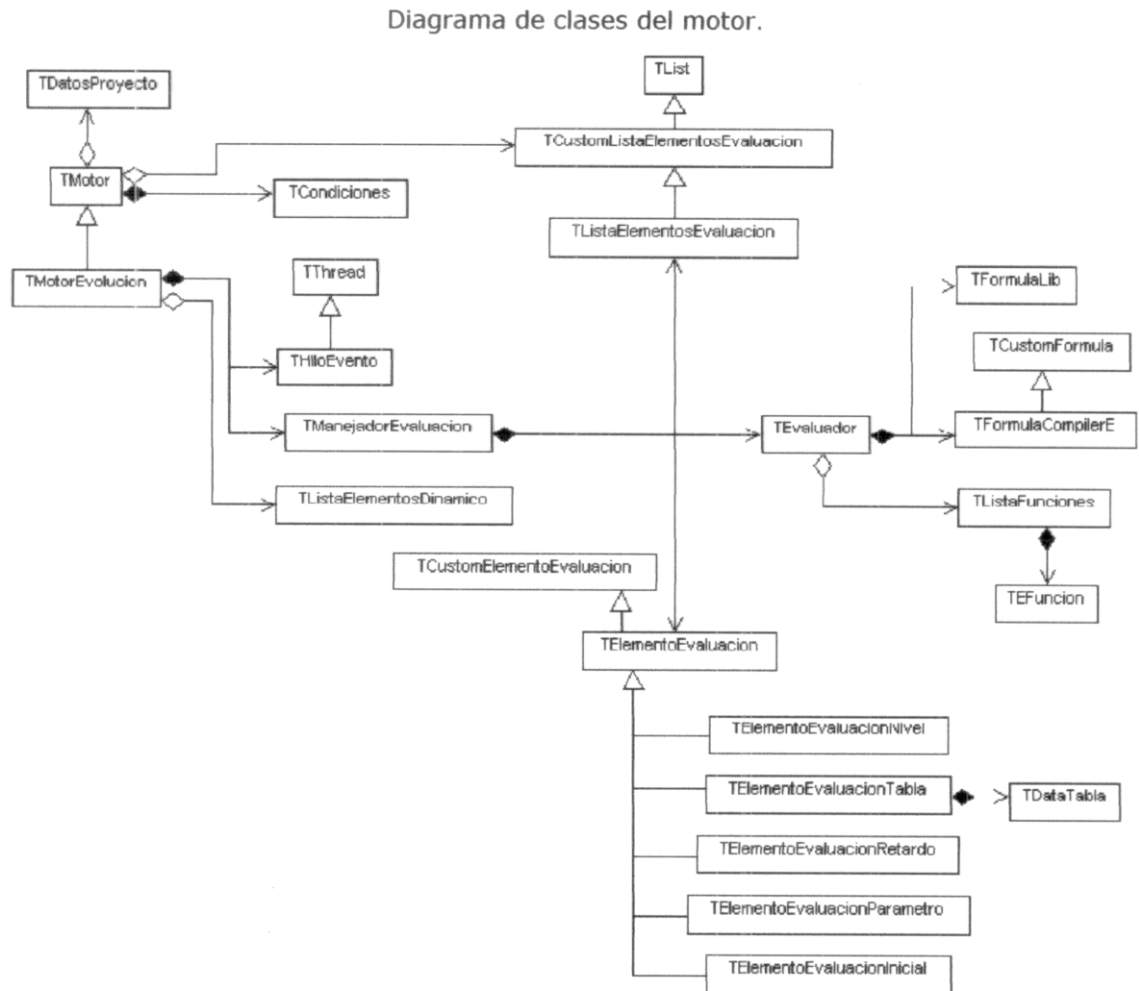
Diagrama 1. Diagrama de componentes de Evolución en UML.



Fuente: (CUELLAR y LINCE, 2003)

El componente Motor agrupa las clases que permiten la funcionalidad esencial de la herramienta, las cuales se representan en el *Diagrama 2*.

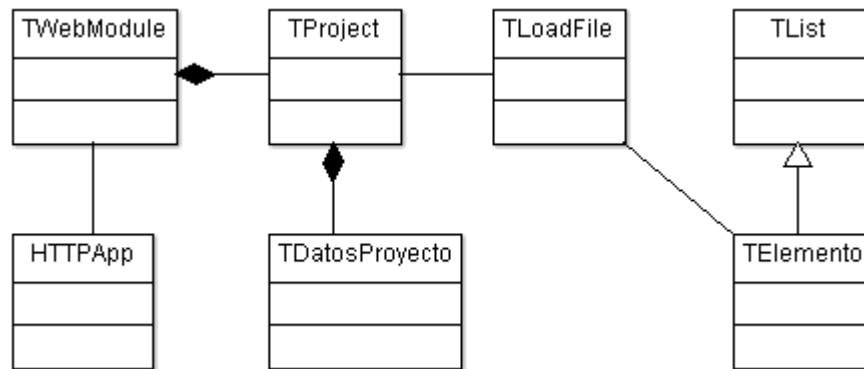
Diagrama 2. Diagrama de clases del Motor de Evolución.



Fuente: (CUELLAR y LINCE, 2003)

A partir de las unidades de Delphi anteriormente descritas y de otras unidades de las librerías nativas de Delphi 7 que proporcionan soporte web, se desarrolló una nueva versión del diseño del motor, que se representa en el *Diagrama 3*, la cual permite visualizar la esencia de los modelos de evolución y proporciona el soporte en la web.

Diagrama 3. Diagrama de clases del motor de Evolución, rediseñado para soportar tecnologías Web.



Fuente: Autor.

El *Diagrama 3* presenta la esencia del diseño del núcleo de evolución optimizada en sus elementos más fundamentales y complementada por las clases que dan soporte a internet, los elementos que comprende este diagrama permitieron desarrollar el servicio web que proporciona el soporte para las simulaciones en ambientes Web, este modelo comprende la Clase TWebModule que encapsula las especificaciones establecidas por Apache para el desarrollo de sus módulos denominados DSO²¹, lo cual permite integrarlo al servidor web Apache Http y de esta manera permitir la transformación de los modelos dinámico-sistémicos nativos de ambientes de escritorio a ambientes en la Web.

3. Extracción del núcleo de evolución.

Una vez identificadas las “Unidades Base” de Evolución planteadas en el modelo de clase del núcleo de evolución, se procedió a analizar la manera de eliminar su dependencia con “Unidades” que dieran soporte a las Interfaces Graficas de Usuario (GUI), este proceso se debió hacer adicionalmente debido a que la arquitectura software con la que fue desarrollado evolución, no separaba las Unidades de las Entidades Conceptuales (Modelos) de las Unidades de representación gráfica GUI, por esta falencia de diseño software se debió identificar manualmente cada una las dependencias a Unidades referentes a la GUI, una vez identificadas las dependencias se debieron eliminar y modificar el código fuente para permitir la compatibilidad con la nueva tecnología.

²¹ Para mayor profundidad sobre este tema consultar en anexos: Objetos Dinámicos Compartidos (DSO)

4. Reingeniería del núcleo de evolución.

Debido a las dependencias de las “Unidades” del núcleo de Evolución referenciadas anteriormente, se presentaron en el código fuente del primer prototipo múltiples errores, por lo cual se debió rediseñar la arquitectura de la herramienta, el nuevo diseño se puede observar en el diagrama de clases, donde se establecieron nuevas unidades que satisficieron las referencias a las “Unidades” eliminadas en la anterior etapa del presente proceso, de este proceso se obtuvo el diagrama de clases del núcleo de evolución expuesto en el *Diagrama 3*.

5. Implementación de la librería de Evolución.

Este desarrollo se puede consultar a mayor profundidad en la sección 8.2 titulada: “DESARROLLO DE LIBRERÍA DSO TIPO INTERFAZ ENTRE EL NUCLEO DE EVOLUCIÓN Y UN SERVIDOR WEB”. Donde se explica con detalle la implementación de dicho modulo, que hace uso de los estándares XML para definir un formato de representación de los modelos dinámico sistémicos, e implementa dicho formato en la arquitectura DSO, para soportar los modelos dinámico sistémicos en la Web.

6. Implementación de Evolución Web.

Evolución Web se compone principalmente de tres desarrollos, la definición del formato de representación de modelos dinámicos sistémicos en XML, el desarrollo de la librería DSO a manera de interfaz y finalmente un ambiente de simulación en la Web, que se describe detalladamente en la sección 8.3 titulada “PROTOTIPO DE AMBIENTE DE SIMULACIÓN EN ENTORNOS WEB”

6. AMBIENTE PARA EL APRENDIZAJE Y LA TOMA DE DECISIONES EN LAS GRANJAS AGROPECUARIAS.

Con el objetivo de presentar alternativas que mitiguen los efectos negativos del enfoque tradicional de producción agropecuaria (como las mencionadas en el planteamiento del problema del presente libro) y desarrollar modelos productivos que estén acordes al contexto social, económico y medio-ambiental de los países latinoamericanos, se plantea el desarrollo de un ambiente virtual que permita sustentar el aprendizaje y la toma de decisiones referentes a la producción agropecuaria, contribuyendo desde la academia con la presentación y argumentación de procesos alternativos de planeación y producción agropecuaria, el ambiente virtual se soporta en el uso de la dinámica de sistemas (D.S.) y de las tecnologías de información y comunicación, para modelar y simular múltiples características del fenómeno en estudio y ofrecer alternativas basadas en conocimiento que apoyen las prácticas de los actores agropecuarios.

El ambiente virtual se soporta fundamentalmente por el modelo dinámico-sistémico de las Granjas Agropecuarias, integrando la representación de factores principales que influyen sobre el complejo fenómeno de las granjas agropecuarias, su entorno ambiental y su dinámica productiva. Permitiendo apoyar el aprendizaje y toma de decisiones concernientes al diseño y a la producción de las granjas agropecuarias; promoviendo en los usuarios el uso de modelos productivos que aportan en los aspectos ecológico, sostenible y productivo de la producción agropecuaria.

El ambiente se ha nombrado EcoGranja y vincula el modelamiento de los principales factores de la dinámica productiva de las granjas agropecuarias con un ambiente virtual que apoye el aprendizaje y la toma de decisiones en granjas agropecuarias. Entre los principales factores de las granjas agropecuarias se identificaron el factor ambiental, agrícola y pecuario, cada uno se investigó y modeló, contemplando los elementos que fundamentan el comportamiento dinámico del fenómeno estudiado.

Para proporcionar los datos que requieren los modelos de EcoGranja se propuso vincular la información que reposa en los registros de los sistemas de información ambiental (S.I.A.)²² y de sistemas de información geográficos (S.I.G.), que permiten el suministro de múltiples datos que contribuyen con información geo-

²² Las definiciones más detalladas de SIA y de SIG se encuentran en el glosario del presente libro.

referenciada, con la cual se puede automatizar la adquisición de la información ambiental y geográfica, permitiendo de esta manera integrar al ambiente EcoGranja autonomía en la adquisición de datos desde dichas fuentes de información, adicional a lo anterior se integró una base de datos con información de escenarios de producción agropecuaria que permite evaluar la viabilidad productiva para una granja en estudio.

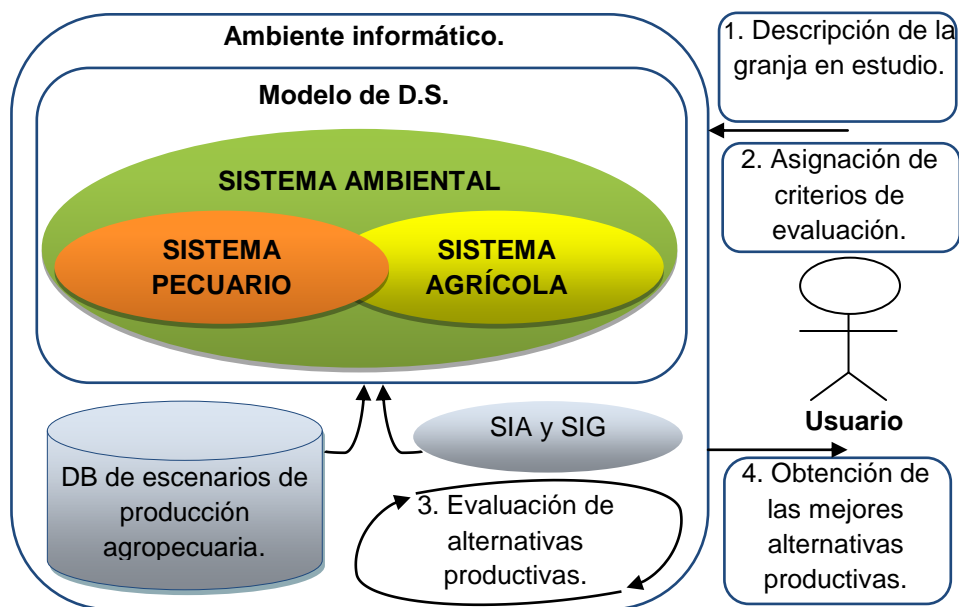
Al operar el ambiente el usuario debe proporcionar una definición de las características ambientales de la granja en estudio y los criterios de selección de escenarios deseados, con lo cual el ambiente EcoGranja realizará la evaluación y clasificación de los escenarios integrados en su base de datos, a través de una simulación que evalúa el comportamiento de los escenarios en un tiempo de producción deseado, seleccionando alternativas viables de producción agrícola y pecuaria para la granja y el entorno medioambiental.

El desarrollo iterativo e incremental de los prototipos debe generar un modelo dinámico-sistémico de las granjas agropecuarias que permita representar las múltiples instancias de los fenómenos agropecuarios, es decir que se adapte a cada tipo de escenario productivo, de manera similar y en base al modelo dinámico-sistémico se desarrolló la interfaz de usuario del ambiente EcoGranja, mediante prototipos crecientes que abordan la cobertura y complejidad del sistema, esta interfaz tiene la finalidad de facilitar el uso de los modelos al usuario productor agropecuario, permitiendo la realización de funcionalidades esenciales, como describir las características específicas de cada granja que se estudie y realizar proyecciones productivas, lo cual repercutirá positivamente en la realización de inferencias que contribuirán con la toma de decisiones basadas en conocimiento.

Un esquema del ambiente EcoGranja se puede apreciar en la *Figura 7*, donde un usuario con conocimiento técnico en el sector agropecuario, asigna una descripción de las condiciones ambientales de la granja que se desea simular y unos criterios de evaluación de alternativas de producción agropecuaria, información que utiliza el ambiente EcoGranja para instanciar el modelo de dinámica de sistemas de la granja agropecuaria y así realizar simulaciones en un periodo de producción, correspondientes a los escenarios almacenados, originando resultados que puede utilizar el usuario para determinar la planificación productiva de su granja agropecuaria.

El ambiente EcoGranja facilitará controlar las variables de entorno, los datos de entrada y la presentación de la información resultante, ya que el desarrollo de este proyecto se enfocó en facilitar el acceso y uso a los usuarios, porque son quienes determinarán la pertenencia del sistema y evaluarán la calidad de las proyecciones.

Figura 7. Esquema general del ambiente EcoGranja.



Fuente: Autor.

La metodología de desarrollo iterativo e incremental, permite desarrollar prototipos que contemplen aspectos desde la generalidad hasta la particularidad del fenómeno modelado, por lo cual se considera pertinente para la presente investigación.

Entre los efectos positivos que este ambiente de aprendizaje puede proporcionar, se resalta que en la medida de su utilización, se contribuirá en la mitigación de los efectos negativos de las actuales prácticas intensivas de producción agropecuaria, además el desarrollo de este ambiente contribuye al área de investigación de la ingeniería agronómica que se denomina agricultura de precisión, debido a que este ambiente informático permite particularizar la representación de una granja y de su entorno.

6.1 MODELO DE DINÁMICA DE SISTEMAS.

El modelo de D.S. integra el conocimiento base que requiere el ambiente informático para desarrollar EcoGranja, porque integra la representación de la dinámica de los principales factores que influyen de manera general sobre el complejo fenómeno de las granjas agropecuarias, su entorno ambiental y su dinámica productiva.

Una noción de los enfoques de producción ecológica y sostenible, es materializada en las denominadas granjas integrales y en términos de D.S. esta integralidad se representa con el establecimiento de relaciones de influencia y ciclos de realimentación entre los elementos del sistema granja agropecuaria.

El proceso de modelamiento dinámico sistémico del fenómeno Granja Agropecuaria está dirigido por una metodología de desarrollo por prototipos de cobertura y complejidad creciente, que asume la dinámica de sistemas como un lenguaje estructurado en términos de cinco lenguajes, esta propuesta fue planteada por Hugo Andrade y Co-Escritores²³ y para la presente investigación se complementó la fase de observación del fenómeno, con la fase de familiarización del fenómeno de la metodología de Andrew Ford.

Luego de realizar la fase de familiarización con el fenómeno, se siguió la Metodología de Modelado y Simulación con Dinámica de Sistemas propuesta por Hugo Andrade y co-escritores, que consiste en una metodología amplia donde el modelador equilibra los modelos para representar adecuadamente el fenómeno en estudio. Las fases que la componen son las siguientes: la observación del fenómeno, el modelo en prosa, el modelo como diagrama de influencias, el modelo como diagrama de flujo nivel, el modelo de ecuaciones matemáticas y el análisis del comportamiento.

El proceso de modelado se debe mantener, prototipo a prototipo, hasta construir un modelo que satisfaga los propósitos de uso del mismo, en este caso que permita realizar inferencias y que permitan soportar la toma de decisiones en el diseño de granjas agropecuarias bajo un enfoque integral.

Para comenzar con una visión general del proceso de modelado se asume el sistema de granja agropecuaria como una unidad de producción alimenticia, que

²³ Metodología descrita en el libro: "Pensamiento sistémico: diversidad en búsqueda de unidad."

busca aumentar la eficiencia en la producción de alimentos de origen agropecuario a través de la realimentación de sus componentes.

6.1.1 Hipótesis dinámica.

La hipótesis del presente proceso de modelado con dinámica de sistemas se definió en términos de los ciclos de realimentación presentes en el fenómeno granja agropecuaria.

Según el IPNI²⁴ en su archivo agronómico número doce (12), es posible estructurar el proceso de cultivo agrícola en términos de dos subprocesos, absorción de nutrientes y extracción de nutrientes.

El proceso de absorción de nutrientes se presenta en el inicio del cultivo y permite que las plantas absorban durante un determinado tiempo los nutrientes del suelo que sustentan el desarrollo de la planta hasta su edad madura o productiva, en el proceso se absorben los macronutrientes principales como son el Nitrógeno, el Fosforo y el Potasio y, otros nutrientes en menor proporción, en este proceso de absorción se identificó un ciclo de realimentación negativa que determina que cantidad de nutrientes a absorber en cada instante dependiendo del estado de desarrollo de la planta.

El proceso de extracción de nutrientes se desarrolla, después de que la planta se encuentre en estado maduro o productivo, es decir una vez finalizado el proceso de absorción de nutrientes, en este proceso la planta realiza la extracción de nutrientes que sustenta el desarrollo de la cosecha del cultivo, presentándose un proceso similar a la absorción de los macronutrientes del proceso anterior y otros nutrientes en menor proporción, en este proceso se identificó un ciclo de realimentación negativa que controla la cantidad de nutrientes que extrae la planta dependiendo del estado de desarrollo de la cosecha.

Adicionalmente, se estableció que una de las características del suelo más analizadas y tratadas en la agricultura es el pH del suelo, y con respecto a este se identificó un ciclo de realimentación positiva que vincula la adición de fertilizante en los procesos de cultivo, el cual es necesario para aumentar los nutrientes de

²⁴ International Plant Nutrition Institute, entidad que publica estudios agropecuarios.

los suelos, pero que a su vez tiene el efecto negativo de acidifica el pH de los mismos.

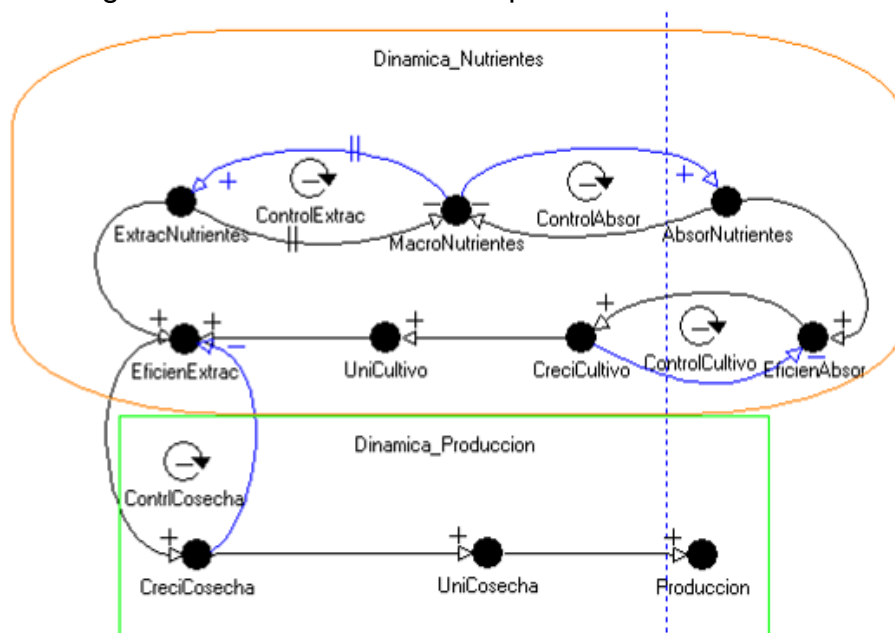
También en relación al pH del suelo se estableció que para controlar la acidificación de los suelos se realiza el proceso de adicionar Cal, la cual permite aumentar la alcalinidad de los mismos, en este proceso se identificó un ciclo de realimentación negativa que permite equilibrar el pH de los suelos.

Además se observó que en la mayoría de cultivos transitorios se reintegra al suelo los residuos de las planta una vez se realiza la cosecha, este proceso permite reciclar los nutrientes que fueron utilizados para la conformación de las estructuras orgánicas de las plantas, identificándose un ciclo de realimentación negativa que permite aportar nutrientes al suelo.

De manera general los anteriores procesos son los que dirigen la hipótesis dinámica del modelado con dinámica de sistemas del fenómeno Granja Agropecuaria.

La anterior hipótesis se puede esquematizar en el siguiente diagrama, donde se representan los procesos de absorción y extracción de nutrientes que permiten el desarrollo, de la producción agrícola.

Diagrama 4. Diagrama de influencias de la hipótesis dinámica.



Fuente: Autor

6.1.2 Familiarización con el fenómeno.

La metodología de Andrew Ford plantea como primera fase para el modelado con dinámica de sistemas la familiarización con el fenómeno en estudio, fase que permite desarrollar el modelo desde el fenómeno y no aisladamente; por esto, para el presente desarrollo se ha requerido un continuo trabajo interdisciplinario con expertos agropecuarios, socializando conceptos, problemáticas y soluciones de los aspectos más relevantes del fenómeno granja agropecuaria, además de realizar visitas a granjas agropecuarias entre las cuales se destaca el proyecto Huerta Biológica²⁵, proyecto que proporcionó un ejemplo de producción orgánica y de vinculación de los diferentes factores de la granja, como ejemplo de integralidad.

El proyecto agro-turístico Huerta Biológica, consiste en una propuesta de producción agropecuaria orgánica, que implementa prácticas de interrelación en cada una de las producciones siguiendo un enfoque de integralidad, se encuentra ubicada en la Mesa de los Santos del departamento de Santander, y produce diferentes tipos de cultivos entre los cuales se destacan la producción de legumbres, de verduras, de frutas y de forrajes, los cuales relacionan sus subproductos comestibles con las crianzas de varios tipos de animales, entre los cuales se destacan: aves de corral, cerdos, ganado vacuno, ganado caprino, producción cunícula, producción de curíes y apicultura.

En este modelo productivo se destaca la realimentación de los subproductos principalmente en el ciclo donde se utilizan los residuos de los cultivo agrícolas, para alimentar varios tipos de crianzas pecuarias, los cuales producen excrementos, estos y parte de los residuos orgánicos de los cultivos son aprovechados mediante la lombricultura para la producción de abono, el cual es utilizado para fertilizar de manera natural el suelo sobre el cual se cultivan las producciones agrícolas.

6.1.3 Modelo en lenguaje prosa.

El sistema de granja agropecuaria se define como una unidad de producción alimenticia, que busca aumentar la eficiencia en la producción de alimentos de origen agropecuario a través de la interrelación de sus componentes, idea que se expande en el presente proyecto con la vinculación de un enfoque conservativo

²⁵ Mayor información sobre el proyecto Huerta Biológica en: <http://www.huertabiologica.com/>

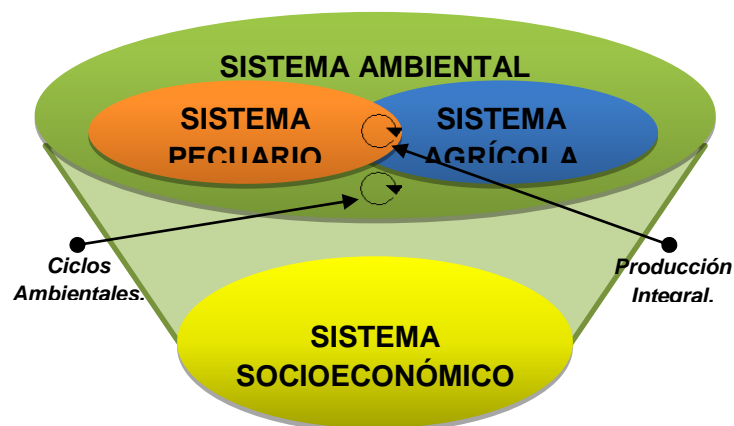
del medio ambiente a través la producción orgánica y prácticas agropecuarias ecológicas.

Mediante el análisis de las principales entidades que comprende el fenómeno granja agropecuaria se determinó que existen dos sistemas principales, el sistema ambiental y el sistema socioeconómico, el sistema ambiental es la base que permite el desarrollo del concepto granja agropecuaria e integra los fenómenos naturales que permiten el desarrollo de los productos agropecuarios, el sistema socioeconómico se puede definir como la representación de la sociedad y de su economía, que generan la demanda de cada uno de los productos agropecuarios y a su vez proporciona los recursos económicos para que las granjas agropecuarias desarrollen sus labores.

Entre el sistema socioeconómico y el sistema de la granja integral se puede desarrollar procesos e inclusive sistemas adicionales que tengan como fin procesar los alimentos agropecuarios, con el objetivo de generar valor agregado a los productores agropecuarios.

Sin embargo para el presente trabajo no se tendrá en cuenta el sistema socioeconómico, debido a que se requiere acotar los alcances del proyecto, pero queda como una sugerencia para abordar en futuras versiones.

Figura 8. Esquema de la estructura global de una Granja Agropecuaria.

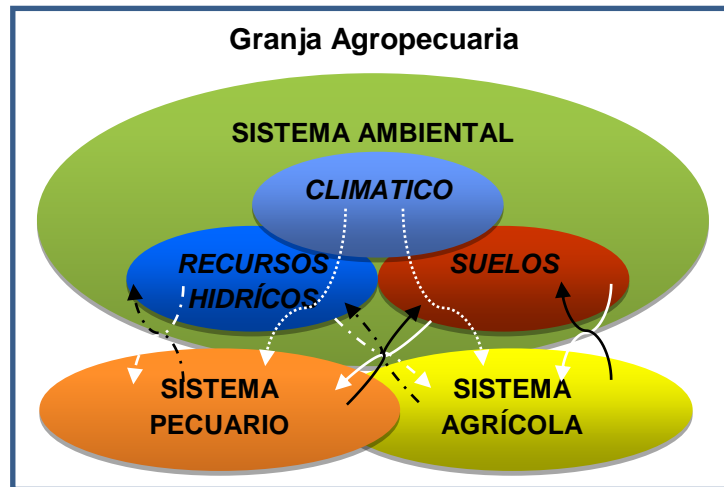


Fuente: Autor

El sistema Granja Agropecuaria que se estructuró en términos de tres sistemas: el ambiental, el agrícola y el pecuario, a su vez el sistema ambiental contiene los recursos hídricos, los suelos, el clima, los bosques, la fauna y flora, sin embargo

se estructuró en los subsistemas: recursos hídricos, suelos y climático, lo cual se representa a través del siguiente esquema

Figura 9. Esquema de la estructura general de una Granja Agropecuaria.



Fuente: Autor

El sistema ambiental ha sido estudiado a través de la historia, y se han establecido varios indicadores de sus características más importantes, por ejemplo se ha establecido el indicador de la temperatura que establece una medida del calor de un objeto o del entorno, la presión que permite medir la fuerza de atracción de los objetos a la superficie terrestre. En la siguiente tabla son representadas las principales características de cada subsistema del sistema ambiental.

Tabla 5. Principales características del sistema ambiental y de sus subsistemas.

	Recursos hídricos.	Suelos.	Clima.
Características Físicas.	<ul style="list-style-type: none"> • Temperatura. • Velocidad. • Profundidad promedio. • Ancho promedio. • Largo promedio. • Superficie promedio. • Área transversal. • Volumen. • Caudal. 	<ul style="list-style-type: none"> • Textura. • Permeabilidad. • Porosidad. • Profundidad. • Área. • Pendiente promedio y desviación estándar. • Latitud, longitud y altitud. 	<ul style="list-style-type: none"> • Temperatura. • Precipitaciones. • Presión atmosférica. • Humedad relativa. • Velocidad del viento.
Características Químicas.	<ul style="list-style-type: none"> • Potencial de hidrogeno (pH). • Oxigenación. • Salinidad. 	<ul style="list-style-type: none"> • Nitrógeno. • Fosforo. • Potasio. • Calcio. • Magnesio. • Potencial de 	

		Hidrogeno (pH).	
Características Biológicas.	<ul style="list-style-type: none"> • Ciclo Hidrológico. • Actividad orgánica. 	<ul style="list-style-type: none"> • Degradación y renovación del suelo. • Ciclo Energético. • Ciclo del nitrógeno. • Actividad orgánica. 	<ul style="list-style-type: none"> • Ciclo climático.

Fuente: Manual granja integral autosuficiente.

De acuerdo a lo anterior se procedió a definir cada uno de los sistemas y subsistemas que comprende el concepto de granja agropecuaria.

- **Sistema Ambiental:** el sistema ambiental es el sistema base, sobre el cual se desarrollan los sistemas agrícola y pecuario, este sistema hace alusión a todos los fenómenos biológicos, químicos y físicos que se desarrollan en el medio ambiente.

El sistema ambiental comprende como principales recursos: los recursos hídricos, los suelos, el clima, los bosques, la fauna y flora, estos recursos medioambientales sustentan el correcto desempeño del desarrollo de los cultivos agrícolas y de las producciones pecuarias, entre estos recursos se determinó que los subsistemas de mayor pertinencia para las producciones agropecuarias son tres: el subsistema de recursos hídricos, subsistema de suelos y subsistema climático, estos subsistemas comprenden procesos físicos, químicos y biológicos, que se explicaran con detalle a continuación:

- **Subsistema de Recursos Hídricos:** representa las entidades que suministran el agua, que es esencial para el desarrollo de la vida, sus principales fuentes son: agua lluvia, agua de nevados, arroyos, cañadas, lagos, pantanos, bahías y acuíferos subterráneos, cada uno de estos tipos de recursos hídricos tienen características físicas y químicas particulares que permiten implementar distintas producciones.

Las características más relevantes de los recursos hídricos son la temperatura, el caudal, el volumen, la superficie, el pH, la oxigenación y la salinidad. La superficie influye directamente sobre la oxigenación del agua, que determina la capacidad de vida en el medio, además del volumen total de agua que es un factor determinante en la viabilidad de las producciones.

- **Subsistema Suelos:** los suelos constituyen la base nutritiva humana y animal, la principal clasificación de los tipos de suelos se determina por la cantidad de materia orgánica, entre los principales se encuentran:
 - Suelos orgánicos, húmicos o matillosos: tienen hasta el 95 por ciento de materia orgánica, presentan alta fertilidad en la mayoría de cultivos.
 - Suelos inorgánicos o minerales: poseen en promedio el cinco por ciento de materia orgánica y constituyen la mayoría de los suelos.

Las principales características físicas del suelo son: la edad, el perfil, la textura, la estructura, la porosidad, el drenaje y la profundidad.

- La edad del suelo determina su calidad en la producción, el perfil del suelo es definido como el grosor del mantillo, la profundidad productiva o capa arable hace referencia al grosor del horizonte A y el recorrido que realizan las raíces de las plantas se denomina profundidad relativa del suelo.
- En cuanto a la textura se debe analizar el porcentaje de arena, limo y arcilla que contiene el suelo, en la medida que se acerque a un ideal de cincuenta por ciento de arena, veinticinco por ciento limo y veinticinco por ciento arcilla se tendrá una mejor calidad del suelo.
- La estructura es determinada por la cohesión entre las diferentes partículas del suelo, variando en espacio, forma, disposición y estabilidad, su clasificación comprende: estructura laminar, estructura prismática, estructura cubica o blocosa y la estructura granular.
- Los espacios que se presentan entre las partículas del suelo se denominan poros, estos son ocupados por agua o aire dependiendo del tamaño. La porosidad determina el drenaje que consiste en la capacidad de retener agua, eliminando los excesos.
- En general el suelo es de color oscuro pero puede variar entre todas las gamas de marrón.

La principal causa de degradación del suelo es la erosión, otros factores que la ocasionan son: el clima (lluvias principal factor erosivo), relieve, propiedades del suelo, escasas de vegetación y las acciones humanas.

- **Subsistema Climático:** comprende el estado y el comportamiento del tiempo atmosférico, es decir los fenómenos que ocurren en la atmósfera. Sus fenómenos más pertinentes para las granjas agropecuarias son: las precipitaciones, la temperatura, la presión atmosférica, la velocidad del viento y la humedad relativa, estas características mantienen variaciones que pueden influir positiva o negativamente sobre las producciones agropecuarias.

La composición química del aire presenta comportamiento constante y no influye esencialmente en los procesos de producción agropecuaria, por lo cual no se consideraron necesarias para el presente proceso de modelado.

En general el comportamiento del subsistema climático corresponde a un factor exógeno que afecta los sistemas agropecuarios, y los efectos que tiene una determinada granja en particular sobre el subsistema climático son prácticamente nulos, por esto en el diagrama de influencias del modelo Granja Agropecuaria (*Diagrama 8*) y en los modelos del presente trabajo se considera como un sistema que proporciona condiciones exógenas.

Los sistemas productivos de las granjas agropecuarias son el sistema agrícola y el sistema pecuario.

- **Sistema Agrícola:** corresponde al proceso de cultivo de cualquier especie vegetal, con el objetivo de obtener alimentos, la principal clasificación de las producciones son de tipo transitorias, permanentes o cultivos especiales.

Los cultivos transitorios presentan una producción a corto plazo, lo cual permite realizar continuas producciones agrícolas, disminuyendo el riesgo y permitiendo la variación de cultivos, en esta clasificación se destacan los cultivos de vegetales, leguminosas, cereales y plantas medicinales.

Los cultivos permanentes presentan una producción a largo plazo, con altos costos en la implementación, los cuales son amortiguados por producciones constantes y permanentes con mínima intervención humana, en esta clasificación se destacan los cultivos de fruta, de árboles productivos como árbol del caucho y la palma aceitera.

Los cultivos especiales a su vez están representados por los pastos y forrajes que darán soporte alimenticio a las producciones pecuarias. En cuanto a los pastos es de destacar su relación con las crías pecuarias, renovando nutrientes del suelo, ya que la materia orgánica contribuye con la diversificación

y restauración de la composición física y química del suelo, sin embargo existe la falencia de ocasionar erosión por pastoreo.

La agricultura sostenible tiene como objetivos la producción de alimentos de calidad y en gran cantidad, realimentar los nutrientes dentro del agroecosistema, además de conservar la estructura del suelo.

- **Sistema Pecuario:** representa la crianza de animales que contribuyen con la producción alimenticia, a través de productos como la carne y subproductos como la leche, los huevos, el pelaje, las pieles, etc., además la producción de estiércol para la realización de compostaje y materia orgánica, por lo cual se debe determinar en primera instancia cual es la finalidad de la producción. Ejemplos de producciones en sistemas pecuarios son: bovino, avícola, piscícola, caprino, apícola y cunícola.

La producción pecuaria contribuye en la granja de las siguientes maneras:

- Producción de estiércol para compostaje y materia orgánica.
- Abastecimiento de productos diferentes a la carne.
- Aumento de la diversidad en la granja
- Aumento de las opciones de rotación, recupera la actividad biológica.
- Ornamento y belleza.
- Reciclaje de elementos nutritivos, complementando ciclos.
- Uso de áreas que no se pueden destinar a la agricultura.

Se debe tener en cuenta que el sistema pecuario recibe del sistema agrícola sus insumos alimenticios, y del sistema ambiental un entorno adecuado para desarrollarse. En cuanto a las especies hay que tener en cuenta cuales son las características más benéficas según el entorno de la granja, para seleccionar una especie que satisfaga las necesidades de especialización y rusticidad del medio ambiente, con lo cual se puede conservar un buen pie de cría y también la fácil adaptación de las especies a su entorno, las características más pertinentes para garantizar una adecuada producción pecuaria son:

Alimentación: Además del alimento regular se debe proveer a los animales suplementos alimenticios, la ración debe ser equilibrada y variada de forrajes, los concentrados no deben superar el 10%.

Alojamiento: los espacios disponibles deben planificarse de acuerdo a las necesidades de espacio de cada especie, el diseño debe ajustarse para facilitar el manejo de los animales, la ventilación debe ser adecuada y la edificación debe ser coherente al clima local, se recomienda que los alojamientos tengan un área de pastoreo o al aire libre.

Manejo terapéutico: la buena alimentación y el alojamiento en condiciones óptimas son la garantía de buenas condiciones de salud, pero si se presentan enfermedades se recomienda acudir a la alelopatía, la fisioterapia y aromaterapia, además del conocimiento local y tradicional.

Un factor determinante en la producción pecuaria es el peso del animal, más específicamente la conversión de alimento en carne o la ganancia de peso diario, otro factor que puede determinar la viabilidad de una producción pecuaria son las características del suelo, ya que se pueden aprovechar los suelos no aptos para agricultura.

La literatura agrícola recomienda clasificar los animales por edad y tipo de producción, con lo cual se facilita un mejor manejo y eficiencia en la administración, también se le debe seleccionar las especies que mejor se integren al sistema granja agropecuaria y realizar un minucioso seguimiento en la reproducción que mantenga la raza.

Además se debe tener en cuenta los costos de las instalaciones, porque todas las especies necesitan un lugar adecuado para su desarrollo, por ejemplo la producción de peces, característicos por presentar altos porcentajes en la conversión de alimento a carne, requiere de un pozo para su correcto desarrollo.

6.1.4 Sectores del modelo.

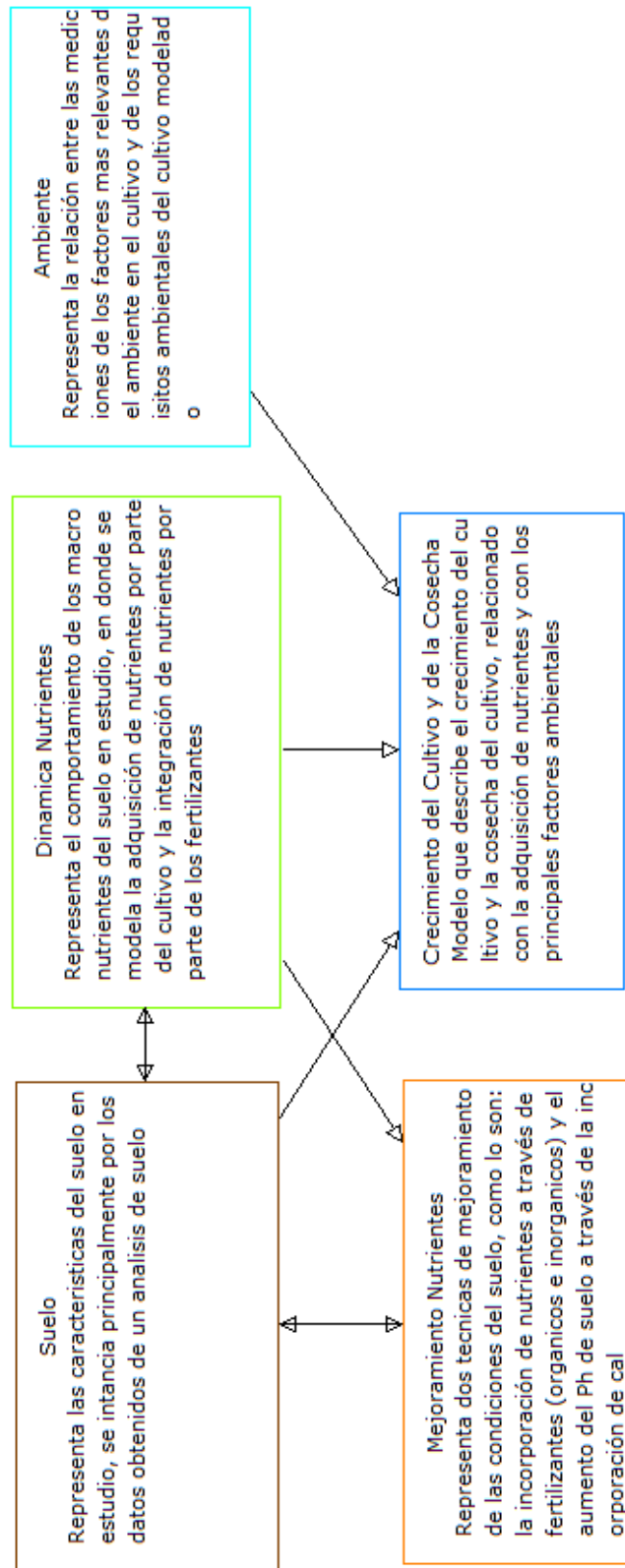
Para representar los sistemas y subsistemas propuestos en el modelo en prosa, en términos de los demás lenguajes del modelado con DS, se analizó la dependencia que existe entre dichos sistemas, para identificar clasificaciones que presente poco acoplamiento, analizando la naturaleza del fenómeno se puede afirmar que el sistema que sustenta los demás sistemas y por lo tanto el menos dependiente, es el sistema ambiental, porque de él depende la existencia de los sistemas agrícola y pecuario, por lo cual en el mapa de sectores de la *Figura 10*.

es ubicado en el sector Suelo y en el sector Ambiente, la separación en dos sectores se realizó porque el subsistema suelo es el que más se relaciona con los sistemas productivos y es necesario profundizar en su modelo.

Dentro de las características más relevantes del subsistema suelo se encuentran los nutrientes, y para el presente prototipo se modelaron los macronutrientes del suelo ubicándolos en el sector Dinámica de Nutrientes, relacionado estrechamente con el sector de Mejoramiento de Nutrientes por que los planes de mejoramiento fertilización y calcificación de este sector influyen directamente sobre los nutrientes del suelo, los subsistemas modelados en los sectores permiten modelar el crecimiento del cultivo con alto grado de particularidad, dicho crecimiento es ubicado en el sector Crecimiento del Cultivo y de la Cosecha, sector que representa el crecimiento del cultivo y de la cosecha relacionándolos con aspectos globales como lo son el ambiente y con aspectos particulares como los nutrientes.

Las relaciones del mapa de sectores en la *Figura 10.*, demuestra el soporte que constituye el sistema ambiental para el sistema agrícola, lo cual modela la esencia del fenómeno en estudio.

Figura 10. Mapa de sectores del modelo Granja Agropecuaria.



Fuente: Autor

6.1.5 Modelo en lenguaje de influencias.

Para describir el desarrollo del modelo en lenguaje de influencias de la granja agropecuaria, se presentaran los modelos correspondientes a los tres prototipos antecesores del prototipo final.

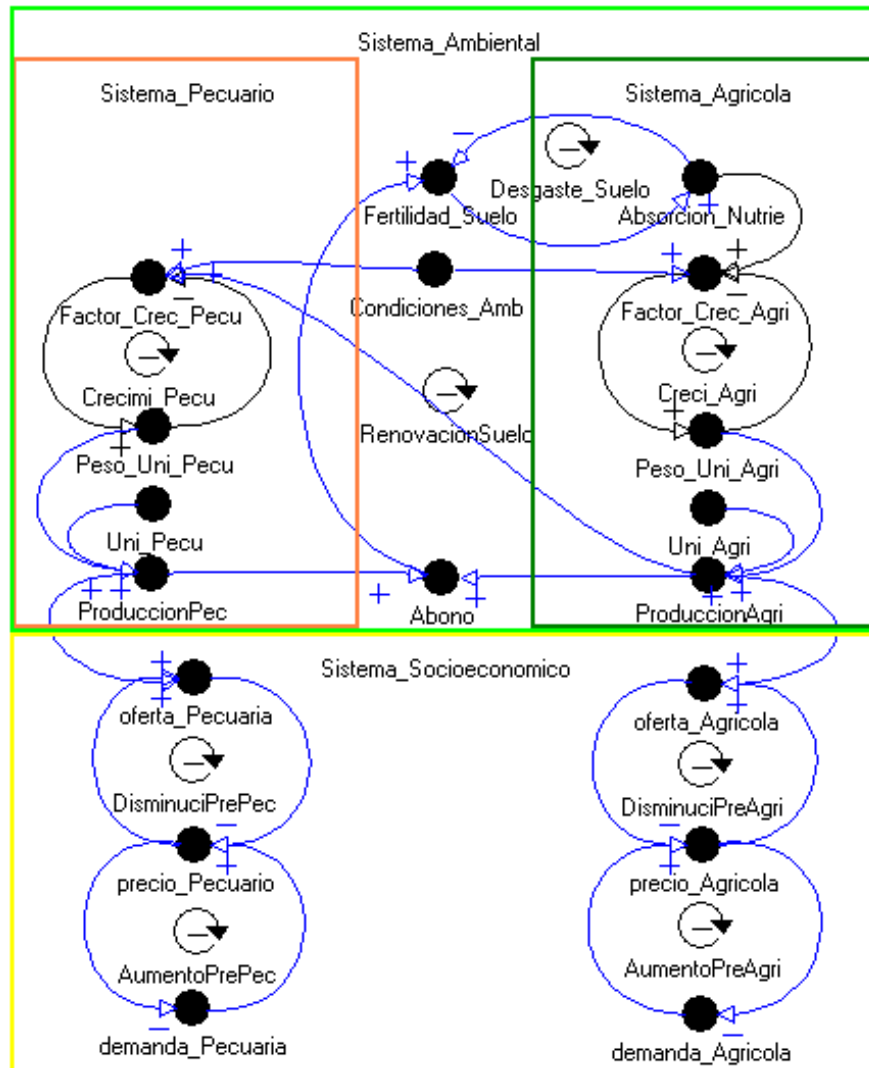
Cada descripción de los prototipos abordara los principales componentes del modelo y sus ciclos generales, luego se procederá a definir cada una de las características particulares nuevas de los modelos.

Finalmente se presentará el cuarto prototipo que donde se describirá detalladamente sus entidades y relaciones entre cada elemento del sistema con los demás elementos, el proceso se apoyó en el conocimiento de la literatura agropecuaria y en las afirmaciones del experto en producción agropecuaria.

Diagrama de influencias del modelo Granja Agropecuaria – Primer prototipo.

El primer prototipo del diagrama de influencias (*Diagrama 5*), contempla el modelamiento de los dos sistemas principales del fenómeno granja agropecuaria, el Sistema Ambiental y el Sistema Socioeconómico.

Diagrama 5. Diagrama de influencias del modelo Granja Agropecuaria – Primer prototipo.



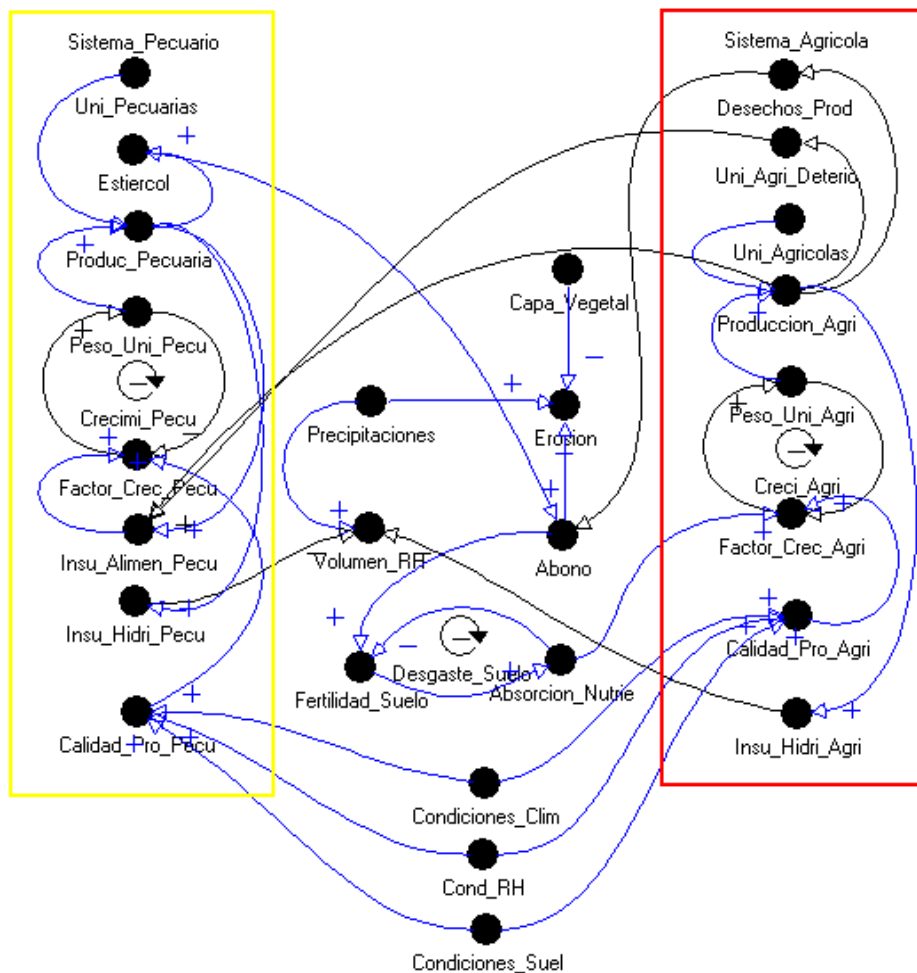
Fuente: Autor.

Cada uno de los elementos que componen el anterior diagrama de influencias se describen en el Anexo A: “DESCRIPCIÓN DE LA PRIMER PROTOTIPO DEL DIAGRAMA DE INFLUENCIAS DEL FENÓMENO AGROPECUARIO.”

Diagrama de influencias del modelo Granja Agropecuaria - Segundo Prototipo.

En el segundo prototipo del diagrama de influencia del modelo Granja Agropecuaria (*Diagrama 6*), se identifica la continuidad en el desarrollo del modelo planteado, el diagrama de influencia muestra los sistemas ambiental, pecuario y agrícola interrelacionándose mutuamente de manera general, lo cual permite representar la integralidad buscada en el modelo de la granja y describe particularmente cada uno de los sistemas, los cambios de este modelo respecto al anterior esencialmente fueron: eliminar el sector correspondiente al sistema socioeconómico y agregar nuevos elementos que profundizan la particularidad del modelo.

Diagrama 6. Diagrama de influencias del modelo Granja Agropecuaria – Segundo Prototipo.



Fuente: Autor

Cada uno de los elementos que componen el anterior diagrama de influencias se describen en el Anexo B: “DESCRIPCIÓN DEL SEGUNDO PROTOTIPO DEL DIAGRAMA DE INFLUENCIAS DEL FENÓMENO AGROPECUARIO.”

Diagrama de influencias del modelo Granja Agropecuaria – Tercer prototipo.

En el tercer prototipo del diagrama de influencias del modelo Granja Agropecuaria (*Diagrama 7*), se mejoró esencialmente en la organización en términos conceptuales del sistema ambiental, el cual hace alusión a todos los fenómenos biológicos, químicos y físicos que son innatos del medio ambiente, y se modela como el conjunto de los sistemas de recursos hídricos, de suelos y climático, lo cual permite tener una buena aproximación del estado del fenómeno real, ya que las variables representadas son las más pertinentes para el modelo de la granja integral agropecuaria, para cada subsistema se han establecido varios indicadores que contribuyen en la estructuración del fenómeno.

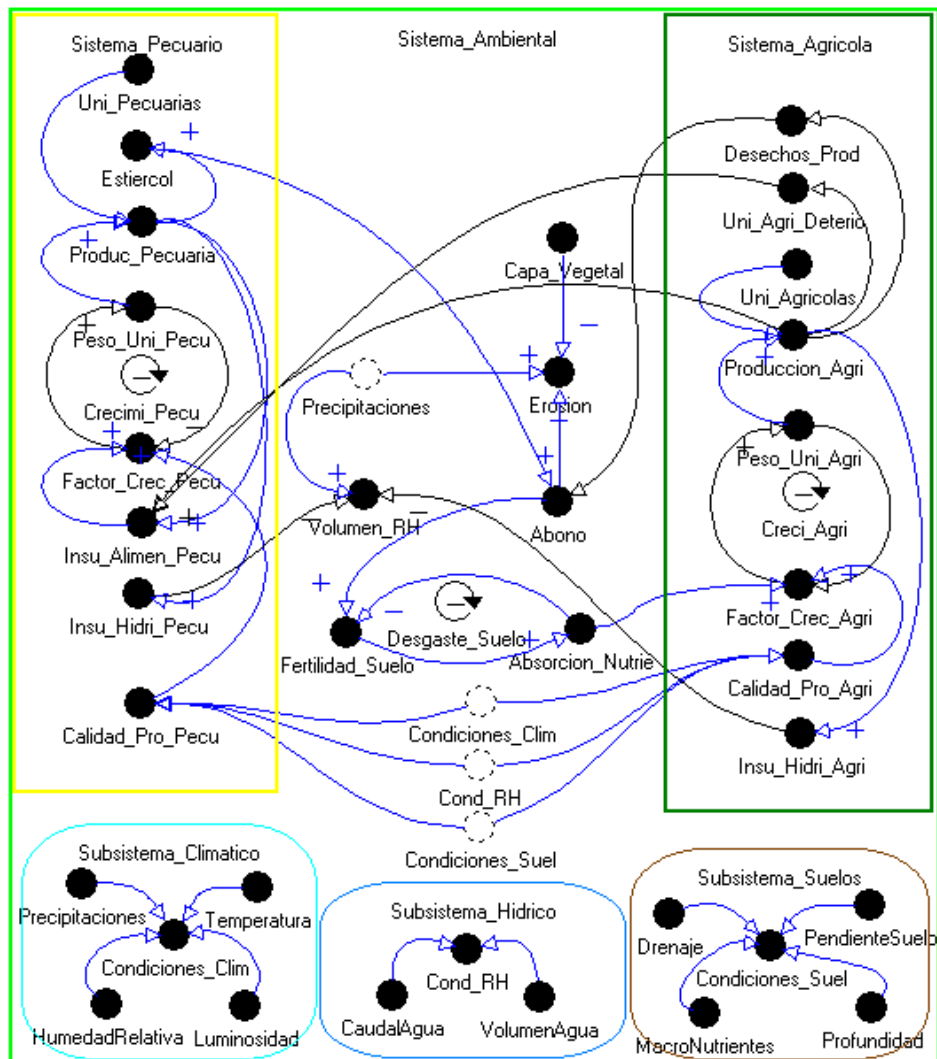
El sistema ambiental se modela coherentemente con la fundamentación teórica asumida en la fase de investigación donde se estableció que el sistema ambiental se compone principalmente de tres subsistemas: el subsistema suelos, el subsistema climático y el subsistema hídrico, en cada uno de estos se establecieron los principales factores que influyen en el desarrollo de los cultivos, entre estos se destacan:

Subsistema suelos: macronutrientes, profundidad, pendiente suelo y drenaje

Subsistema climático: precipitaciones, temperatura, humedad relativa y luminosidad.

Subsistema de recursos hídricos: Caudal de agua y volumen de agua.

Diagrama 7. Diagrama de influencias del modelo Granja Agropecuaria – Tercer prototipo.



Fuente: Autor.

Cada uno de los elementos que componen el anterior diagrama de influencias se describen en el Anexo C: “DESCRIPCIÓN DEL TERCER PROTOTIPO DEL DIAGRAMA DE INFLUENCIAS DEL FENÓMENO AGROPECUARIO.”

Diagrama de influencias del modelo Granja Agropecuaria – Cuarto prototipo.

Los tres anteriores prototipos de diagrama de influencia permitieron construir el modelo mental del fenómeno granja agropecuaria, que satisface las pretensiones del ambiente EcoGranja, el modelo final corresponde al cuarto prototipo del modelo Granja Agropecuaria (*Diagrama 8*).

Para realizar un modelo que permita representar de manera general los cultivos, es necesario proponer una hipótesis que represente la dinámica del desarrollo de los cultivos y dicha dinámica es determinada tomando como base la metodología de Cepeda Rey (2002), como las relaciones entre el sistema suelo y el sistema agrícola a través de la dinámica de los nutrientes²⁶, esta dinámica se representó por medio de la siguiente descripción textual y por el diagrama de influencias del modelo Granja Agropecuaria (*Diagrama 8*).

Descripción textual del cuarto prototipo de dinámica de sistemas.

En la dinámica de los nutrientes, se destaca que en el suelo existen múltiples elementos químicos y muchos de ellos son esenciales para el desarrollo de los cultivos, resaltando el hecho, que si se agota un determinado nutriente afecta el crecimiento total del cultivo, este fenómeno es conocido como la ley del factor limitante o ley de LieBig²⁷.

La agronomía hasta el momento ha clasificado los nutrientes más pertinentes para un cultivo en dos grupos, los denominados macronutrientes y los micronutrientes, a su vez en los primeros se subdividen en dos subgrupos, los macronutrientes principales constituidos por el nitrógeno (N), el fósforo (P) y el potasio (K), y los macronutrientes secundarios contemplan el Calcio (Ca), el Magnesio (Mg) y el Azufre (S), a su vez también se encuentran los micronutrientes que son el Hierro (Fe), el Zinc (Zn), el Manganeso (Mn), el Boro (B), el Cobre (Cu), el Molibdeno (Mo) y el Cloro (Cl), todos los anteriores elementos son esenciales en el desarrollo de la mayoría de los cultivos y las cantidades de cada uno son determinadas por la genética de las plantas, donde se establece la cantidad de cada nutriente para el óptimo desarrollo del cultivo y de la cosecha.

²⁶La metodología de análisis de suelos se basó en el libro: “Suelos, abonos y fertilizantes”, descrito en las referencias.

²⁷La ley de LieBig en agronomía, modela el desarrollo de los cultivos limitando el crecimiento al factor más escaso.

Teniendo en cuenta la pertinencia de los nutrientes en el desarrollo de un cultivo, se revisó las fuentes de información relacionadas con la caracterización de cultivos y se determinó que los estudios contemplan en primera medida los macronutrientes principales, razón por la cual en el presente modelo se establece la estructura que los representa, y establece las cantidades de cada uno de los macronutrientes principales en un elemento (Macronutrientes), estos nutrientes son adquiridos por cualquier planta en dos procesos²⁸, el primero consiste en adquirir nutrientes que formaran la estructura de la planta, a este proceso se le denominó absorción de nutrientes (AbsorNutrientes) y representa como la planta adquiere sus nutrientes para su formación, el segundo proceso fue denominado extracción de nutrientes (ExtracNutrientes) y representa la adquisición de nutrientes para formar la cosecha de dicho cultivo.

El proceso de absorción de nutrientes (AbsorNutrientes) repercute principalmente en el crecimiento del cultivo (CreciCultivo) por que establece el grado de formación de las plantas, dicho crecimiento también es afectado por el clima (efClima) y el riego del cultivo (efRiego), sin embargo la genética de las plantas establecen un límite al tamaño de la misma, el grado de eficiencia en el crecimiento del cultivo repercute en el crecimiento de la cosecha (CreciCosecha) debido a que la estructura de la planta permite transportar y generar las condiciones esenciales para el crecimiento de la cosecha, es importante aclarar que la cosecha toma nutrientes del proceso de extracción de nutrientes (ExtracNutrientes).

Existen dos ciclos principales que ofrecen restitución de los nutrientes adquiridos por la planta, para compensar los nutrientes absorbidos (AbsorNutrientes), en el primer ciclo se vincula un elemento denominado (Fertilizante), que aporta nutrientes dependiendo de la deficiencia de nutrientes del suelo (DeficienNutri), simulando el proceso de fertilización del suelo, el cual puede ser en base a productos de origen orgánico o químico, esta restitución se acumula y se presenta como un indicador de la cantidad de insumos de fertilizante que requiere el suelo, constituyendo de esta manera al modelo en una herramienta para determinar el tratamiento de fertilización correspondiente a determinado cultivo en un determinado terreno. El otro ciclo que influye en la restauración de nutrientes se presenta cuando el cultivo termina sus ciclos productivos y su materia orgánica puede restituirse al suelo, este proceso permite la obtención de parte de los nutrientes que se utilizaron en la formación de la materia orgánica no cosechable.

²⁸ Método de análisis nutricional de los cultivos propuesto por el IPNI

Una dinámica más general se presenta con el pH del suelo (PhSuelo) el cual determina la concentración de iones hidronio, los cuales permiten establecer enlaces con múltiples sustancias, este indicador es afectado por la aplicación de fertilizantes porque aumenta su acidez, y también es afectado por la aplicación de cal porque aumenta su alcalinidad, el modelo de dinámica de sistemas establece un equilibrio entre el pH del suelo y el requerido por el cultivo, contribuyendo en la determinación de los insumos requeridos por el cultivo, y en qué momento aplicarlos, información que es de gran utilidad para el productor porque permite realizar estimativos más precisos y metodologías más eficientes en la asignación de insumos agrícolas.

Los procesos de crecimiento del cultivo y crecimiento de la cosecha, repercuten en la producción (Producción) el cual es el indicador más pertinente para determinar si el cultivo es viable en el ambiente simulado.

De esta forma se plantea la evaluación de un cultivo contextualizado en un determinado ambiente, obteniendo indicadores de desarrollo con los cuales se pueden comparar diferentes escenarios y determinar cuál es el mejor cultivo que se adapta a las necesidades del agricultor y del entorno ambiental.

Para contextualizar la descripción del modelo final del diagrama de influencias general de la Granja Agropecuaria se definirá a continuación las principales entidades que comprenden cada uno de sus sistemas y subsistemas:

Sistema Ambiental:

El sistema ambiental integra los subsistemas de recursos hídricos, de suelos y climáticos, y a cada uno de estos se les definió las principales propiedades físicas y químicas.

Subsistema de recursos hídricos:

Las propiedades físicas y químicas del subsistema de recursos hídricos más pertinentes para el modelo general de Granja Agropecuaria son:

Propiedades físicas.

- Largo promedio: medida del largo promedio del recurso hídrico para su determinación, además de su pertinencia para la producción piscícola.
- Ancho promedio: medida del ancho promedio del recurso hídrico para su determinación, además de su pertinencia para la producción piscícola.
- Profundidad promedio: medida que establece el volumen y el caudal de agua disponible, además de los ecosistemas acuáticos relacionados.
- Superficie promedio: medida que se obtiene como la multiplicación del ancho por la profundidad promedio, sus unidades son en m^2 .
- Volumen promedio: permite tener un estimado de la cantidad de agua disponible en la granja, lo cual determina las producciones agropecuarias pertinentes.
- Área transversal promedio: determina un área transversal promedio a la corriente, necesaria para calcular
- Temperatura: influye directamente en la producción piscícola, además determina la actividad orgánica en un recurso hídrico.
- Caudal: es una medida que determina el flujo de agua en el recurso hídrico, pertinente para establecer la renovación del agua y su disponibilidad, se determina como la multiplicación de la velocidad del recurso hídrico por el área transversal promedio del recurso hídrico, sus medidas son en m^3/sg .
- Velocidad: característica esencial para representar el tipo de recurso hídrico modelado y la determinación del caudal disponible en la granja, sus unidades son m/sg .

Propiedades químicas.

- PH del recurso hídrico: el potencial de hidrogeno es la medida más pertinente para identificar la calidad de agua, sus medidas determinan la acidez o alcalinidad del recurso hídrico, estableciendo una escala de 0 a 14, donde 7 es la medida ideal.

- Oxigenación: nivel de oxígeno en el agua, pertinente para el correcto desarrollo de la actividad orgánica se mide en mg/l y depende principalmente de la temperatura del agua.

Tabla 6. Tabla de relación entre temperatura y oxígeno del agua.

Temperatura (° Centígrados)	Oxigeno (mg/l)
0	14,5
5	12,8
10	11,2
15	10
20	9,1
25	8,3
30	7,6

Fuente: Autor.

- Salinidad: se refiere al contenido salino del agua, es pertinente en toda producción por que determina la potabilidad del agua.

Tabla 7. Contenido de sal en varios tipos de agua.

Salinidad del agua				
Tipo de agua	Agua Dulce	Agua Salobre	Agua de mar	Salmuera
Porcentaje sal	<0,05 %	0,05–3 %	3–5 %	> 5 %
Partes por mil	< 0,5 ppt	0,5–30 ppt	30–50 ppt	> 50 ppt

Fuente: Autor.

Subsistema Suelos:

Las propiedades físicas y químicas del subsistema de suelos más pertinentes para el modelo general de Granja Agropecuaria son:

Propiedades físicas:

- Textura: se clasifica por el tamaño de las partículas, su clasificación comprende tres grandes grupos: la arena, el limo y la arcilla, en la arena el tamaño es entre 2 mm y 0.02 mm, para el limo el tamaño es entre 0.02 mm y 0.002 mm y para la arcilla el tamaño de las partículas es de inferior a 0.002 mm.
- Porosidad: se refiere a los al tamaño de los espacios entre las partículas del suelo que permiten pasar agua y aire, fundamentales para el desarrollo de los cultivos, se toma un porcentaje resultante de la división entre el volumen de sin espacios vacíos y el volumen real de la muestra.
- Profundidad: determina la distancia promedio desde la superficie hasta el límite entre el horizonte A y el horizonte B, pues esta es la capa arable más pertinente para el cultivo.
- Permeabilidad: es una medida derivada de la porosidad y hace referencia a que cantidad de agua que traspasa un área de terreno, se mide en mm por hora.
- Pendiente promedio: Una de las características más importante del suelo para producción agropecuaria corresponde al relieve, por que determina las producciones agropecuarias pertinentes, a su vez la característica pendiente promedio hace referencia al promedio de todas las pendientes del relieve de la granja como medida aproximada del grado de inclinación y así contribuir en la determinar qué tipo de cultivos y crianza pecuaria son adecuados en la granja.
- Pendiente desviación estándar: permite tener una medida del grado de dispersión de las pendientes con respecto a la media, permite medir la precisión con la cual se proyectan las producciones agropecuarias.
- Área de producción: permite tener un registro del tamaño superficial destinado a producción agropecuaria, con el cual se desea realizar la simulación de la granja

Propiedades químicas:

- PH del suelo: dependiendo de la prevalencia de iones de hidrogeno se puede determinar en qué nivel de potencial de hidrogeno se encuentra el suelo, el PH

del suelo determina la absorción de nutrientes que las plantas pueden realizar sobre el suelo.

- Nitrógeno, Fosforo, Potasio, Calcio y Magnesio: porcentajes de cada elemento que determinan la disponibilidad promedio en el suelo destinado para producción agropecuaria.

Subsistema Climático:

Las propiedades físicas del subsistema climático más pertinentes para el modelo general de Granja Agropecuaria son:

- Temperatura del clima: la temperatura ambiente es un factor que influye directamente en el desarrollo de las producciones agropecuarias, porque cada especie de planta o animal tiene una temperatura ideal en la cual se desarrolla con el mínimo gasto de energía.
- Presión atmosférica: depende de la altitud e influye sobre el esfuerzo que deben realizar los organismos para cumplir sus funciones motoras y de desarrollo.
- Precipitaciones: es un indicador que se mide en mm/m², y se determina en un intervalo de tiempo, ya sea día, meses o años, permite tener una noción de la cantidad de agua lluvia que se integra a los suelos.
- Velocidad del viento: permite medir la velocidad del viento en un periodo específico, principalmente en días, pertinente para la agricultura por que determina el impacto que los vientos tienen sobre las plantas, además influye en la erosión de los suelos.
- Humedad relativa: es una medida porcentual que relaciona la humedad que contiene una masa de aire con relación a la máxima humedad absoluta de esa masa de aire.
- Propiedades químicas (Se excluyen por la poca pertinencia):
- Nitrógeno del aire: es un elemento inerte del aire, realiza el ciclo del nitrógeno que permite la renovación de este elemento en la superficie terrestre.

- Oxígeno del aire: Permite tener un indicador de la calidad del aire, ya que el oxígeno es el elemento que permite la supervivencia de los seres vivos.
- Dióxido de carbono del aire: indicador que determina la contaminación del aire

Sistema Agrícola:

En el sistema agrícola pueden y deben interactuar varias especies vegetales para otorgar un enfoque integral al modelo de granja planteado, pero las relaciones deben estar bien establecidas supliendo las necesidades de otros sistemas como el sistema socioeconómico, pecuario y al ambiental.

Las características más importantes del sistema agrícola son:

- Área de producción agrícola: es el área que se destina a la producción agrícola, debe dedicarse a un cultivo adecuado a sus características para que se desarrolle de manera óptima, sus unidades son hectáreas cuadradas.
- Superficie de unidad agrícola: es la cantidad de área superficial que requiere una planta para su desarrollo, sus unidades son los metros.
- Desechos de producción: son el material orgánico deriva de la siega de un cultivo, por ejemplo tallos, hojas, etc.
- Tamaño siega: tamaño máximo del cultivo al cual se debe realizarse la siega, dependiendo de las características biológicas del cultivo.
- Unidades agrícolas: determinan la cantidad de unidades agrícolas que hay en producción.
- Unidades agrícolas deterioradas: son las unidades que se deterioran en el proceso productivo, por cuestiones de aleatoriedad de las características del terreno, por la mala calidad de la semilla o por la sobreexposición a las condiciones climáticas.
- Crecimiento agrícola: representa la tasa de crecimiento promedio diario de una planta con lo cual se permite que hacer el simular el crecimiento a la planta y simular el proceso de cultivo.

- Duración del cultivo: es el tiempo estimado que dura una producción agrícola, este tiempo depende del tamaño y de las propiedades biológicas del cultivo.
- Cultivo: representa el proceso de cultivo a manera de retardo.
- Absorción de nutrientes: medida promedio de los nutrientes absorbidos por una planta.
- Tamaño unidad agrícola: es la variable de tamaño de una planta en cualquier momento de la producción agrícola.
- Unidades agrícolas producidas: hace referencia a las unidades de la producción agrícola que están en el estado final de la producción.
- Insumos Hídricos Agrícolas: son los requerimientos hídricos diarios que requiere una unidad de producción agrícola.
- Producción agrícola: es el tamaño total de todas las plantas cultivadas en un terreno.

Sistema Pecuario:

Las características más importantes del sistema pecuario son:

- Área de producción pecuaria: es un indicador que permite conocer el área de la granja que está dedicada a la producción pecuaria.
- Insumos Hídricos Pecuarios: son las necesidades hídricas de una producción pecuaria particular en un tiempo de un día.
- Estiércol: Es una medida en kilogramos de la cantidad de materia fecal que producen la producción pecuaria.
- Superficie Unidad Pecuaria: es un indicador del área requerida por la especie pecuaria que actualmente está en producción.
- Unidades pecuarias: determina la cantidad de unidades de producción pecuaria que se tengan en cada momento.

- Crianza: hace referencia al proceso de cría donde tiene un tiempo para desarrollarse.
- Crecimiento pecuario: es una tasa de crecimiento por día de la producción actual.
- Duración de crianza: determina el tiempo necesario para que una producción se desarrolle.
- Unidad pecuaria producida: Hace referencia a las unidades de producción pecuaria obtenidas después de la crianza.
- Tamaño de unidad pecuaria: determina el tamaño de la unidad pecuaria en todo momento
- Producción pecuaria: es un indicador que multiplica la cantidad unidades producidas por el peso de cada una.

El diagrama de influencias de la Granja Agropecuaria (*Diagrama 8*), intenta representar un modelo general de producción agropecuaria abordando casos particulares de los sistemas descritos anteriormente, utiliza la dinámica de sistemas de manera extendida, ya que utiliza la generalidad del lenguaje dinámico-sistémico para representar casos particulares de producciones agrícolas.

Este modelo final en lenguaje de diagrama de influencias tiene los siguientes sectores:

- Dinámica de Nutrientes: es el sector esencial del modelo, se ubica dentro del sector suelo, debido a que los procesos que involucran los nutrientes se desarrollan en el suelo donde se encuentra el cultivo.
- Suelo: representa el subsistema suelo en el cual se está desarrollando el cultivo.
- Clima: representa el subsistema climático en el cual se está desarrollando el cultivo.
- Hídricos: representa el subsistema de recursos hídricos que tiene disponible los cultivos para su desarrollo.

- Dinámica del Ambiente: representa los efectos que produce las condiciones del ambiente sobre los cultivos en desarrollo.
- Dinámica de Producción: representa la producción de los productos alimenticios de la granja agropecuaria.

Cada uno de los elementos que componen la cuarta versión del diagrama de influencias se describen en el Anexo D: “DESCRIPCIÓN DEL CUARTO PROTOTIPO DEL DIAGRAMA DE INFLUENCIAS DEL FENÓMENO AGROPECUARIO.”

6.1.6 Modelo en lenguaje de flujos y niveles.

El modelo de diagrama de flujo-nivel de la Granja Agropecuaria expresa de manera funcional la hipótesis dinámica del planteada, el elemento central de este modelo es el nivel que representa los macronutrientes principales, los nutrientes son disminuidos por la absorción y extracción de nutrientes, y son reintegrados por la aplicación de fertilizantes y por la reintegración de la materia orgánica del cultivo, se observa realimentación negativa en el control que realiza la cantidad de nutrientes pues determina la eficiencia con que se absorben o extraen.

Para facilitar la comprensión del modelo en diagrama de flujo-nivel, se han identificado los sectores correspondientes a los sistemas que se han definido anteriormente, los sectores establecidos son:

- Sector Suelo: Sector que contiene los elementos del subsistema suelo definido con anterioridad, integra los elementos que se estructuran en términos de ecuaciones, los principales elementos que lo componen son parámetros que inicializan el estado del sistema.
- Sector Dinámica de Nutrientes: Es el principal sector del modelo en lenguaje de flujo-nivel, debido a que integra el elemento MacroNutrientes y las relaciones que le permiten modelar la estructura de su dinámica productiva.
- Sector Ambiente: Sector que representa las condiciones climáticas de la granja modelada, y las relaciones con las condiciones climáticas que requiere cada cultivo modelado.
- Sector Mejoramiento de Nutrientes: Sector que representa la estructura de los procesos de aplicación de fertilizante y cal, para controlar la cantidad de nutrientes y pH del suelo.
- Sector Crecimiento de Cosecha: Sector que representa el crecimiento global de la cosecha, la cual determina la productividad del cultivo simulado en el presente modelo de Granja Agropecuaria.

Para instanciar los datos del modelo, se utilizó la información ambiental de la granja, El Hangar, de la universidad Industrial de Santander ubicada en el municipio de Piedecuesta - Santander, particularmente la información correspondiente a los suelos, que se puede resumir en el documento titulado

“Estudio de suelo”, para esta granja se obtuvo dicho estudio, adicionalmente se utilizaron los datos de cultivos del IPNI²⁹ para instanciar el modelo en cuanto a los aspectos relacionados con el cultivo.

Figura 11. Estudio de suelos de la Granja el Hangar.

ANÁLISIS		UNIDAD DE MEDIDA	RESULTADOS OBTENIDOS		NIVELES NORMALES
			CODIGO		
TEXTURA		-	Fco. Arcillo arenosa		FRANCO
PH		-	5.6		5.5 - 6.5
CIC		Meq/100gr	25		15 - 30
Materia orgánica(M.O)		%	2.7		3 - 5
Carbono Orgánico (C)		%	1.5		1.70 - 2.90
Nitrógeno Total (NT)		%	0.13		0.15 - 0.25
Fósforo Asimilable (P)		p.p.m	11.6		15 - 30
Potasio Soluble (K)		Meq/100gr	0.03		0.15 - 0.30
Calcio (Ca)		Meq/100gr	8.7		3 - 6
Magnesio (Mg)		Meq/100gr	1.8		1.50 - 2.50
Aluminio (Al)		Meq/100gr	-		0
Sodio (Na)		Meq/100gr	-		Menor de 1
Azufre (S)		p.p.m	-		15 - 30
Hierro (Fe)		p.p.m	73		10 - 20
Manganeso (Mn)		p.p.m	10.5		5 - 10
Boro (B)		p.p.m	0.15		0.20 - 0.60
Cobre (Cu)		p.p.m	1.5		1 - 3
Zinc (Zn)		p.p.m	2.2		2 - 4
			METODOS ANALITICOS		OBSERVACIONES
TEXTURA	Dispersión con Exametafosfato y Carbonato de Sodio, lectura con Hidrómetro (Bouyoucos)			Reacción medianamente ácida en suelo con complejo de cambio alto y desaturado 42%, con relación Ca/Mg amplia (4.8) y Ca saturando al colóide en 35%. Los contenidos de M.O, P, K y los microelementos B, Cu y Zn son limitantes para el desarrollo. SORGO DULCE: En las labores de preparación del terreno incorporar bien mezclado con la tierra 50 kilos de CALFOS, ojalá coincidiendo en época de lluvias. 30 días después y una vez germinada la semilla (15 días) aplicar por planta retirada del tallo 50 gms de una mezcla de 800 kgm de abono orgánico+50 kgm de Agrimins+100 kgm de urea+50 kgm de cloruro de potasio. Repetir el tratamiento 30 días después durante las labores de aporque y deshierbas.	
PH	Lectura potenciométrica en solución de Agua Destilada suelo relación 1:1				
C.I.C	Extracción con Acetato de Amonio 1N y neutro. Valoración volumétrica con Hidróxido de Sodio 0.1 normal.				
C	Oxidación con Dicromato de Potasio en medio fuertemente ácido. Determinación colorimétrica.				
N	Método colorimétrico: Walkley Black.				
S	Extracción con Fosfato Monocálcico y valoración turbidimétrica del Sulfato de Bario.				
K Soluble	Extracción con Agua Destilada y valoración reflectométrica, previo tratamiento con Tetrafenilborato de Sodio en medio alcalino.				
K Intercambiable	Extracción con acetato de Amonio Normal y valoración reflectométrica por precipitado del Ion Potasio con Tetrafenilborato de Sodio en medio alcalino.				
Ca Y Mg	Determinación complexométrica con Verseno previa extracción del elemento con Acetato de Amonio 1N normal.				
Al Intercambiable	Extracción con KCL. Valoración de solución estandarizada en presencia de Fenoftaleína y titulación con HCL 0.1N.				
P Disponible	Muestra tratada con solución extractora de HCL 0.1 N mas Fluoruro de Amonio (NH4F) 0.03 N. Bray II.				
Mn, Fe, Zn, Cu	Extracción con Acetato de Amonio 1N y Neutro, se valora reflectométricamente.				
B	Extracción con Fosfato Monocálcico y valoración calorimétrica con Azometina H.				

Kr 11 No. 56-77 Zona Industrial Girón - Tel: 6750190
 Cel: 310 3116545 - E-mail: laboratorios_meta@yahoo.com

Fuente: Tecnología agroindustrial de la Universidad Industrial de Santander.

²⁹ INPI, ARCHIVO AGRONOMICO N° 11 Y 12

Cada uno de los sectores que comprende el modelo en lenguaje de flujos y niveles, se describirá a continuación la generalidades del sub-modelo, así como una definición de los elementos, en la cual se explica: el nombre que se registró en el modelo, la descripción del elemento, la definición matemática de cada elemento y las relaciones causales de las que depende.

SECTORES SUELO Y DINÁMICA DE NUTRIENTES DEL MODELO GENERAL DEL FENÓMENO GRANJA AGROPECUARIA EN LENGUAJE DE FLUJOS Y NIVELES.

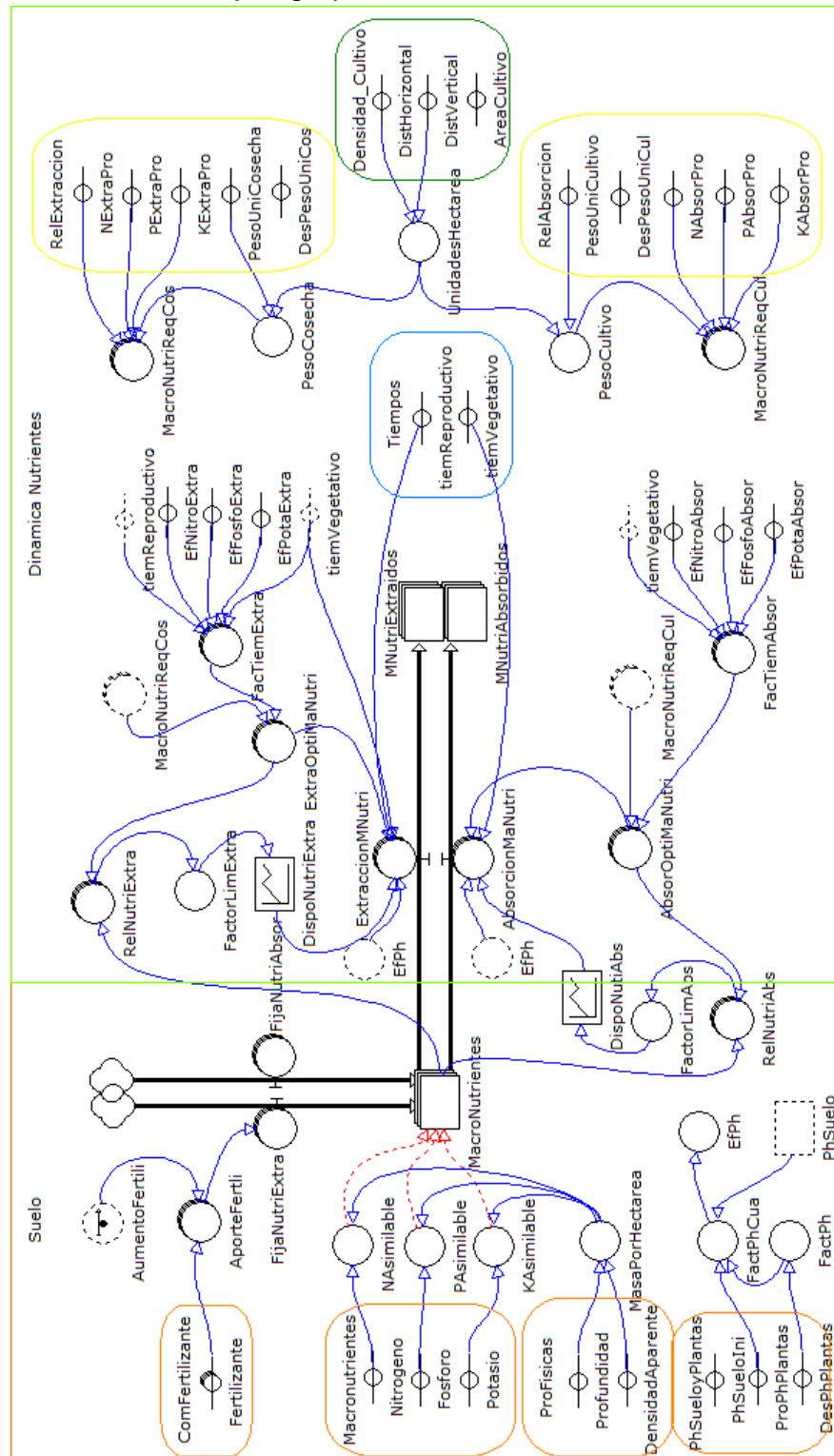
Cada uno de los elementos del sector suelo y sector dinámica de nutrientes conforman la esencia del modelo dinámico-sistémico de la Granja Agropecuaria, debido a que los fenómenos del sistema suelo son los que tienen mayor impacto en el desarrollo del cultivo, estos sectores se presentan a continuación en su diagrama de flujo-nivel (*Diagrama 9*).

En dicho diagrama se puede observar el establecimiento de los niveles correspondientes a los macronutrientes, así como los procesos de absorción de nutrientes y extracción de nutrientes representados a través de los dos flujos que salen del nivel macronutrientes.

Otro factor fundamental en este modelo es el establecimiento de los parámetros que representan el cultivo, específicamente los parámetros correspondientes a la cantidad de macronutrientes que extrae la planta y la cantidad de macronutrientes que absorbe la planta, este es el factor determinante del buen desarrollo del cultivo agrícola.

La descripción de cada uno de los elementos que compone este modelo se puede referenciar en el Anexo E: DESCRIPCIÓN DE LOS SECTORES SUELO Y DINÁMICA DE NUTRIENTES DEL MODELO GENERAL DEL FENOMENO GRANJA AGROPECUARIA EN LENGUAJE DE FLUJOS Y NIVELES.

Diagrama 9. Diagrama de flujo-nivel de los sectores Suelo y Dinámica de Nutrientes del modelo Granja Agropecuaria.



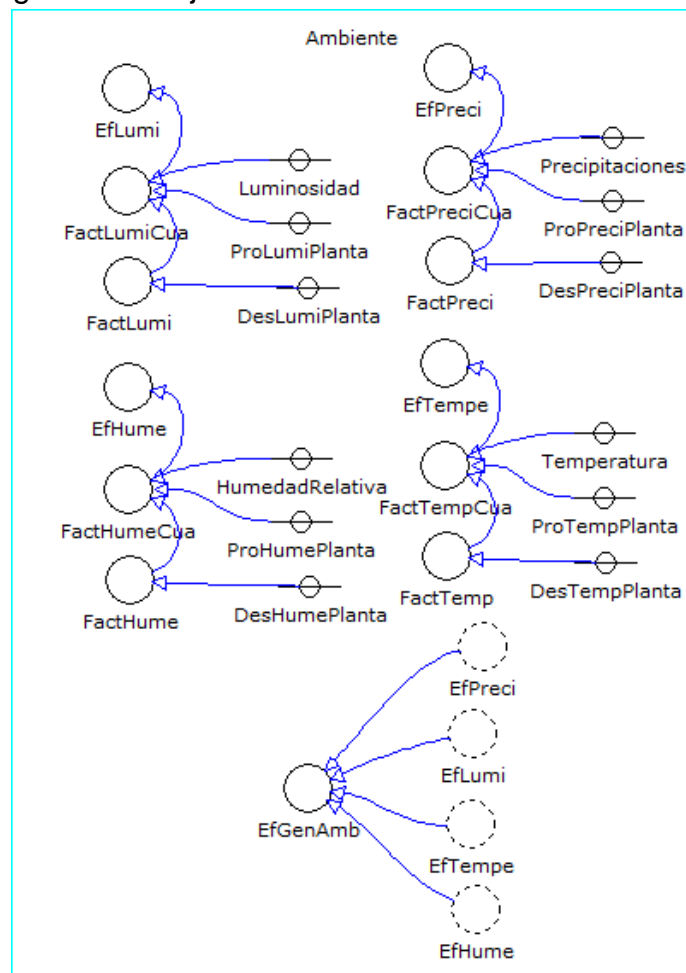
Fuente: Autor.

SECTOR DINÁMICA DEL AMBIENTE DEL MODELO GENERAL DEL FENÓMENO GRANJA AGROPECUARIA EN LENGUAJE DE FLUJOS Y NIVELES.

El modelo relaciona el valor de las variables ambientales de Luminosidad, Precipitaciones, Humedad Relativa y Temperatura, con las tolerancias que cada cultivo tiene a estas condiciones, lo cual genera un indicador de calidad para cada variable ambiental.

La descripción de cada elemento de este modelo se ubicó en el Anexo F. DESCRIPCIÓN DE LA DINÁMICA DEL AMBIENTE DEL MODELO GENERAL DEL FENOMENO GRANJA AGROPECUARIA EN LENGUAJE DE FLUJOS Y NIVELES.

Diagrama 10. Diagrama de flujo-nivel del sector Ambiente.



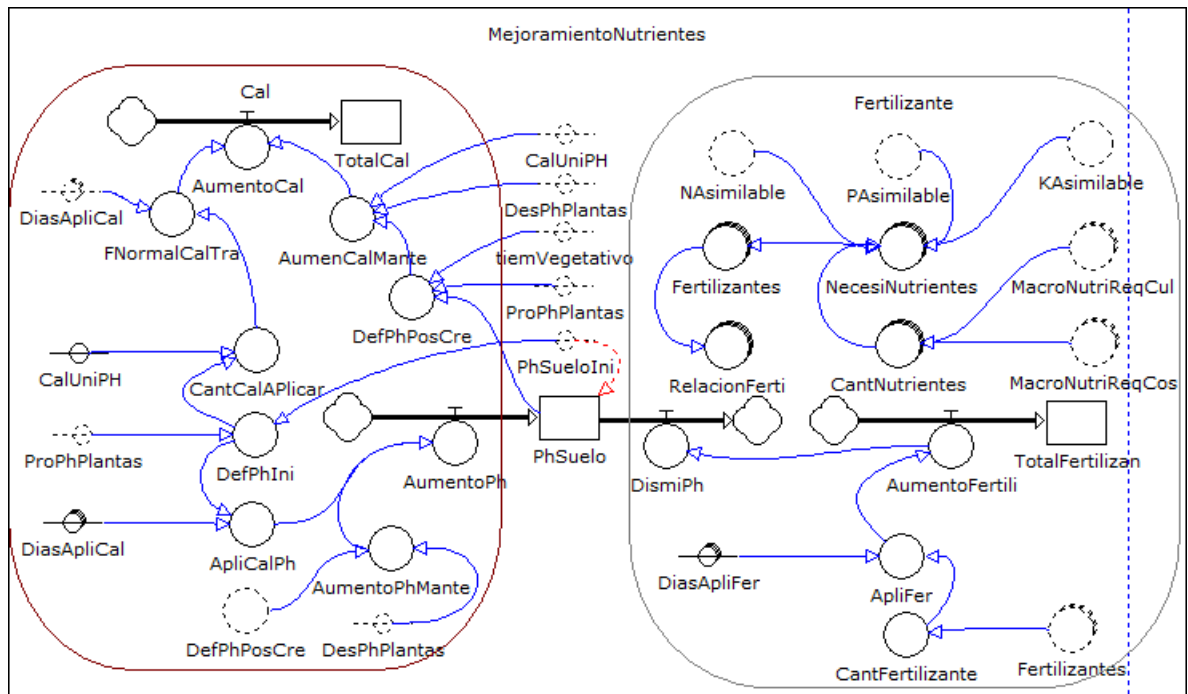
Fuente: Autor

SECTOR MEJORAMIENTO DE NUTRIENTES DEL MODELO GENERAL DEL FENÓMENO GRANJA AGROPECUARIA EN LENGUAJE DE FLUJOS Y NIVELES.

El presente modelo representa los procesos de mejoramientos de nutrientes y de condiciones químicas del suelo, mediante la adición de fertilizantes orgánicos o químicos para equilibrar la cantidad de nutrientes en el suelo y de esta manera satisfacer las necesidades que requieren los cultivos para su correcto desarrollo.

Los elementos que definen el sector mejoramiento de nutrientes del modelo general de la granja agropecuaria, se describe en el Anexo G. DESCRIPCIÓN SECTOR MEJORAMIENTO DE NUTRIENTES DEL MODELO GENERAL DEL FENOMENO GRANJA AGROPECUARIA EN LENGUAJE DE FLUJOS Y NIVELES.

Diagrama 11. Diagrama de flujo-nivel del sector Mejoramiento de Nutrientes.



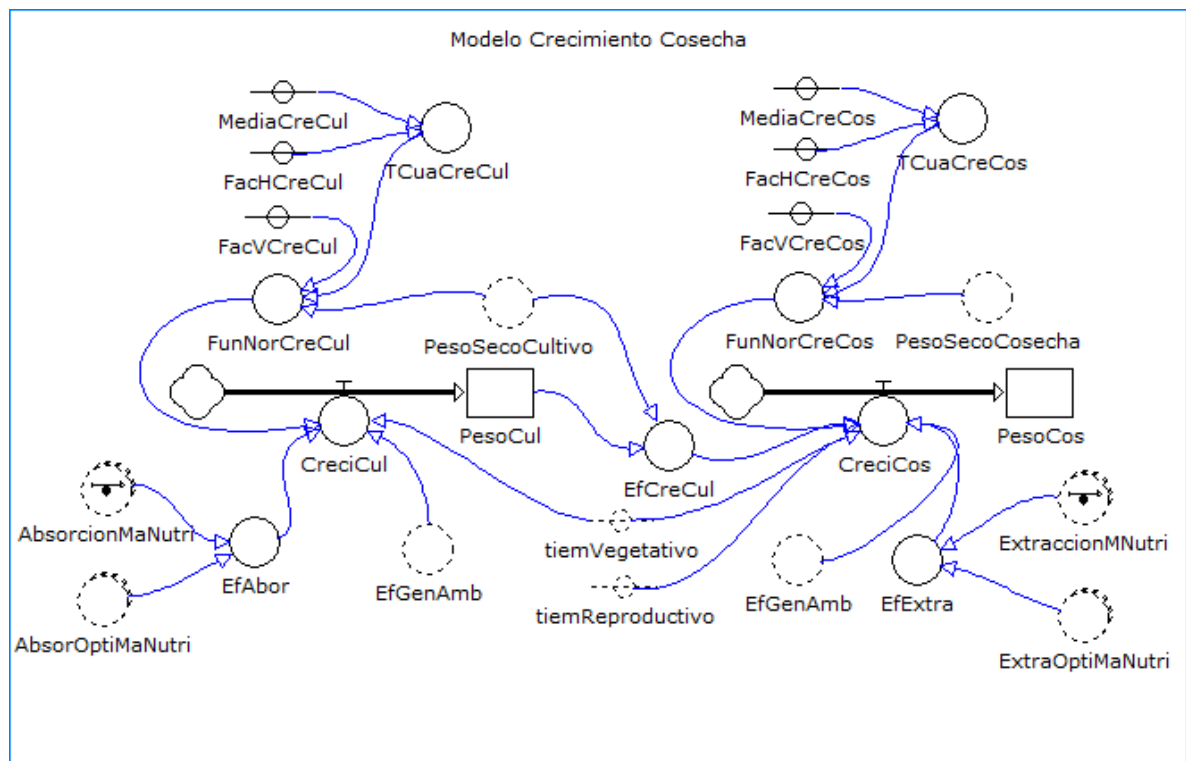
Fuente: Autor.

SECTOR CRECIMIENTO DE COSECHA DEL MODELO GENERAL DEL FENÓMENO GRANJA AGROPECUARIA EN LENGUAJE DE FLUJOS Y NIVELES.

El sector crecimiento de cosecha representa el desarrollo de la cosecha de los cultivos, en la cual se presenta el proceso de extracción de nutrientes para suplir los requerimientos que la cosecha requiere en su desarrollo, el modelo tiene diferenciado el peso del cultivo del peso de la cosecha, debido a que dependiendo del desarrollo de la planta se puede soportar el crecimiento de su correspondiente cosecha.

Los elementos que definen el sector crecimiento de cosecha del modelo general de la granja agropecuaria, se describe en el Anexo H. DESCRIPCIÓN SECTOR CRECIMIENTO DE COSECHA DEL MODELO GENERAL DEL FENOMENO GRANJA AGROPECUARIA EN LENGUAJE DE FLUJOS Y NIVELES.

Diagrama 12. Diagrama de flujo-nivel del sector crecimiento de cosecha.



Fuente: Autor

6.1.7 Modelo en lenguaje ecuaciones.

La posibilidad de representar el modelamiento del fenómeno granjas agropecuarias a través de un lenguaje formal, como lo son, los lenguajes de programación, contribuye en la ampliación del campo de acción de la dinámica de sistemas.

El modelo de ecuaciones de la presente investigación, además de definir el modelo en un lenguaje fácilmente entendible, permite realizar la conexión con otras tecnologías, como lo son las tecnologías web, aporte que se definió con anterioridad en la sección 5 “Evolución Web”, repercutiendo de esta forma en el aumento de la accesibilidad al modelo de dinámica de sistemas por parte del usuario común.

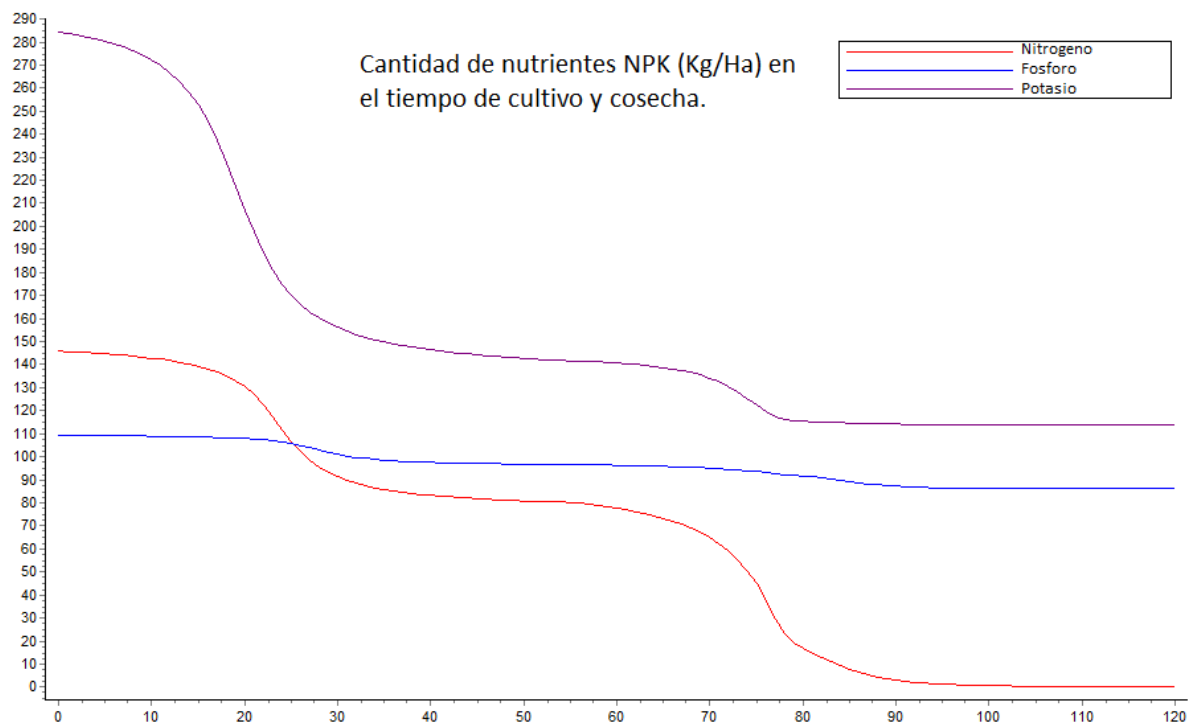
El hecho de representar los modelos dinámicos sistémicos en un formato estandarizado como el XML y también el generar el modelo matemático en un lenguaje de programación, permite la realización de productos tecnológicos basados en la dinámica de sistemas como lo es EcoGranja.

El modelo resultante en lenguaje de ecuaciones puede ser encontrado en el Anexo K. “MODELO GENERAL DE LA GRANJA AGROPECUARIA EN LENGUAJE DE ECUACIONES”.

6.1.8 Modelo en lenguaje de comportamientos.

A manera de escenario de evaluación se instanció el modelo desarrollado con los datos de la granja agropecuaria: “El Hangar” de la Universidad Industrial de Santander y con una producción de maíz, el comportamiento del desarrollo del cultivo, se expresa en los nutrientes disponibles, este comportamiento es visualizado en la *Figura 12*, donde se puede verificar la acción de los procesos de absorción de nutrientes y de extracción de nutrientes en una hectárea de terreno, donde se realiza la absorción de nutrientes que tiene su máximo en la tercera parte de la duración de crecimiento de (55 días), y luego realiza una extracción de nutrientes que tiene su máximo en la tercera parte de su duración de cosecha de (57 días), lo que permite realizar una apreciación acerca la interacción entre el suelo y el cultivo, este comportamiento no comprende los efectos de fertilización ni calcificación.

Figura 12. Comportamiento de macronutrientes en el cultivo del maíz.

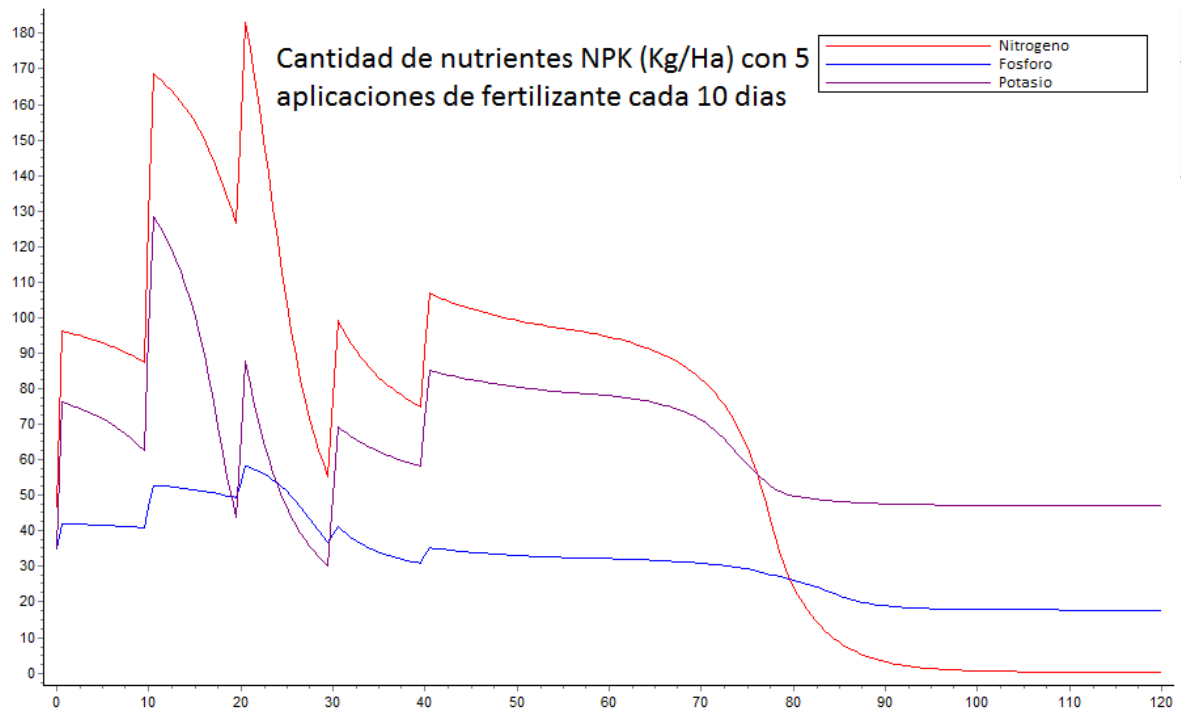


Fuente: Autor.

La grafica de la *Figura 12* representa la instanciación de un suelo con baja concentración de nutrientes, al cual se deben agregar fertilizantes de origen

químico u orgánico que satisfagan los requerimientos de nutrientes en el cultivo del maíz, la aplicación de fertilizantes se realizó en 5 aplicaciones para evitar la toxicidad por exceso de nutrientes.

Figura 13. Comportamiento de macronutrientes en el cultivo del maíz con cinco aplicaciones de fertilizante.



Fuente: Autor.

6.2 HISTORIAL DE DESARROLLO DEL MODELO.

En el desarrollo por prototipos de cobertura y complejidad creciente, se generaron múltiples versiones antecesoras del modelo final, con la finalidad de no describir en detalle cada versión del modelo, se presentan a continuación los principales aportes desarrollados en cada prototipo:

6.2.1 Primer prototipo.

El primer prototipo del modelo del fenómeno granja agropecuaria, pretendía abarcar de manera general los fenómenos físicos, químicos y biológicos que se presentan en la granja agropecuaria, así como los fenómenos socioeconómicos que se presentan en los sistemas sociales, en los cuales se genera la demanda de alimentos que es suplida por el sistema granja agropecuaria.

Un esquema de lo que pretendía abarcar este prototipo se puede visualizar en el *Diagrama 5*. “Diagrama de influencias del modelo Granja Agropecuaria – Primera Versión”, este prototipo fue analizado en detalle y se concluyó que sus elementos son muy generales, lo cual dificulta el proceso de instanciación con escenarios específicos de producción, además se visualizó que los sistemas abordados presentaban alta complejidad y gran cantidad de elementos, por lo cual se tomó la decisión de limitar el proceso de modelamiento a los sistemas que comprenden la producción de la granja agropecuaria, excluyendo al sistema socioeconómico.

Quedando como producto del primer prototipo las definiciones y los acercamientos del modelo de los sistemas ambiental, agrícola y pecuario.

6.2.2 Segundo prototipo.

El segundo prototipo del modelo del fenómeno granja agropecuaria, se acoto en sus alcances, excluyendo totalmente al sistema socioeconómico e integrando nuevos elementos a los sistemas ambiental, agrícola y pecuario.

El esquema de este proceso de modelamiento se puede observar en el *Diagrama 6*. “Diagrama de influencias del modelo Granja Agropecuaria - Segunda Versión”, donde se profundizo el proceso de modelamiento en los sistemas descritos anteriormente, con la finalidad de definir ciclos de realimentación que permitirán otorgar la integralidad al modelo Granja Agropecuaria, dentro de los aportes, se

puede apreciar el modelamiento de la reintegración de nutrientes al suelo a través de la materia orgánica y del estiércol de la producción animal, así mismo se incluyó en el modelamiento los elementos que representan la calidad del medio ambiente,

6.2.3 Tercer prototipo.

El tercer prototipo del modelo del fenómeno granja agropecuaria, se enfocó en profundizar el modelamiento del sistema ambiental, que se separó en tres subsistemas: el subsistema climático, el subsistema hídrico y el subsistema suelo, en cada uno de estos se identificaron las principales entidades y sus correspondientes relaciones.

El esquema producto de este modelamiento se puede observar en el *Diagrama 7*. “Diagrama de influencias del modelo Granja Agropecuaria – Tercera Versión.”, principalmente se modeló el sistema ambiental integrando sus principales fenómenos y sus efectos en la producción.

6.2.4 Cuarto prototipo.

El cuarto prototipo del modelo del fenómeno granja agropecuaria, se enfocó en profundizar el modelamiento de cada uno de sus sistemas, integrando elementos que permitan instanciar escenarios particulares de producción y así permitir desarrollar las pretensiones que este ambiente requiere.

El modelo se puede visualizar a través del *Diagrama 8*. “Diagrama de influencias del modelo Granja Agropecuaria – Cuarta Versión”, donde se integran múltiples elementos que profundizan la particularidad del modelo y así lograr asumir modelos con alto grado de especificidad, además de esto se identificaron e implementaron múltiples ciclos de realimentación como:

- Control de absorción.
- Control de extracción.
- Restauración de nutrientes absorbidos.
- Restauración de nutrientes extraídos.
- Control de cultivo.
- Control de cosecha.

- Acidificación del suelo.
- Calcificación del suelo.

Estos ciclos profundizan la integralidad del modelo Granja Agropecuaria, además de permitir representar fenómenos que comprendan ciclos productivos.

6.3 DESARROLLO DEL AMBIENTE SOFTWARE.

6.3.1 Descripción general del ambiente software.

El proceso de desarrollo de EcoGranja (herramienta de aprendizaje y toma de decisiones en granjas agropecuarias), contempla el desarrollo de un aplicativo software que actué como una capa de interfaz sobre la capa de modelos de simulación, dicho desarrollo debe soportar los procesos de instanciación e interacción con los modelos dinámico-sistémicos que representan los fenómenos de producción agropecuaria y así generar los comportamientos simulados del fenómeno, que permitan cumplir las pretensiones del ambiente EcoGranja, teniendo entre sus prioridades facilitar el uso al ambiente por parte sus usuarios.

El desarrollo de EcoGranja se enfoca primeramente en satisfacer los requerimientos de funcionalidad y usabilidad de los usuarios con el perfil de productor agropecuario, por lo cual se han integrado componentes software que facilitan su uso, entre estos se encuentran un control visualizador de relieves topográficos y una base de datos que almacena y proporciona los escenarios productivos que dan soporte a los modelos de simulación.

Un requisito fundamental que se estableció para el desarrollo de esta herramienta es la facilidad de acceso, la cual se satisface al desarrollar el ambiente sobre tecnologías web, debido a que la internet se está constituyendo como un medio de acceso a la información ampliamente aceptado, este requisito derivó en el desarrollo de un subproducto tecnológico que permite realizar simulaciones de modelos dinámico-sistémicos sobre las tecnologías web, el cual se denomina “Evolución Web” y que puede ser consultado en el capítulo “Prototipo Evolución Web” del presente libro.

En general el desarrollo del software está dirigido por la metodología de desarrollo de software propuesta por BRUEGGE y DUTOIT, en la cual se distinguen las siguientes etapas:

- Obtención de requerimientos.
- Análisis.
- Diseño del sistema.
- Diseño de objetos.
- Implementación.

Una notación ampliamente utilizada y estandarizada para facilitar la descripción de los modelos correspondientes al diseño del software, es UML (Lenguaje de Modelado Unificado) el cual corresponde a una notación orientada a objetos enfocada a la representación de modelos, el rango de sistemas que permite representar UML es muy amplio por lo cual se consolida como el principal formato para definir el diseño del sistema, UML comprende múltiples diagramas que representan diversos aspectos del sistema software, entre los cuales se resaltan:

- Diagramas de casos de uso.
- Diagramas de clase.
- Diagramas de secuencia.
- Diagramas de grafica de estado.
- Diagramas de actividad.

Para el presente proyecto se realizaron las siguientes actividades de desarrollo de Ingeniería del Software.

1. Obtención de requerimientos: Define el propósito del sistema, el resultado de esta actividad es la descripción del sistema en términos de actores y casos de uso.
2. Análisis: Produce un modelo del sistema que sea correcto, completo, consistente, claro, realista y verificable, el resultado de esta actividad es el diagrama del modelo de objetos con atributos, operaciones y asociaciones.
3. Diseño del sistema: Define los objetivos de diseño del proyecto y descompone el sistema en subsistemas modulares y consistentes, además se seleccionan las estrategias para la construcción del sistema, el resultado de esta actividad consiste en una descripción clara de cada una de las estrategias, una descomposición en subsistemas y un diagrama de organización que representa el mapeo del hardware y software del sistema.
4. Diseño de objetos: Define los objetos personalizados que permiten representar explícitamente la funcionalidad del sistema, comprende la definición de los objetos e interfaces de los subsistemas, el resultado es un modelo de objetos detallado, comentado con restricciones y descripciones precisas de cada elemento.

5. Implementación: En esta actividad se traduce el modelo de objetos en código fuente, integrando todos los objetos en un solo sistema.

6.3.2 Obtención de requerimientos.

Esta fase permite obtener la definición de las características del sistema y las restricciones que permitirán cumplir los propósitos establecidos por el cliente.

Comprende las siguientes actividades:

- Identificación de actores.
- Identificación de escenarios.
- Identificación de casos de uso.
- Refinamiento de casos de uso.
- Identificación de las relaciones entre casos de uso.
- Identificación de los objetos participantes.
- Identificación de requerimientos no funcionales.

Identificación de actores: Las entidades interactuantes externas al sistema EcoGranja son:

Productor Agropecuario (PAP): Corresponde al principal usuario del sistema EcoGranja, realiza la descripción de las granjas en estudio en términos de sus características, obtiene e interactúa con las proyecciones productivas que proporciona el sistema EcoGranja.

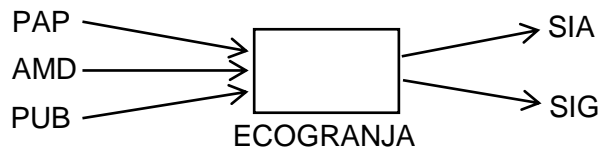
Sistemas de información ambiental (SIA): Corresponde al enlace que realiza EcoGranja con sistemas que suministran información del ambiente en función de la geo-localización, la información suministrada por estos sistemas son la información de fuentes hídricas, de suelos, climática, entre otras.

Sistemas de información geográfica (SIG): Corresponde a la entidad externa al sistema EcoGranja que provee información de carácter geográfico, principalmente provee información geo-referenciada.

Administrador de EcoGranja (ADM): corresponde al actor que se encarga de controlar el correcto funcionamiento del sistema y realiza procesos informáticos que liberan recursos computacionales.

Publico (PUB): el actor público es cualquier usuario que accede al sistema EcoGranja, puede acceder sin necesidad de autenticación a información referente a las producciones agropecuarias.

Figura 14. Actores y sistema EcoGranja.



Fuente: Autor.

La anterior grafica representa la interacción del sistema EcoGranja con sus actores, como son los usuarios *Productor Agropecuario (PAP)*, *Administrador (ADM)* y *Publico (PUB)*, estos actores inician los casos de uso, por lo cual la relación tiene origen en los actores y termina en el sistema, a su vez los actores del Sistema de información ambiental y sistema de información geográfico son llamados por los casos de uso, por lo cual en este caso la relación es inversa, pues origina en el sistema y termina en los actores.

Identificación de escenarios:

Los escenarios son representaciones textuales de los eventos que ocurren en los procesos que son soportados por el sistema, la funcionalidad principal de EcoGranja se representa en los escenarios que son descritos en el Anexo I: ESCENARIOS DEL PROCESO OBTENCIÓN DE REQUERIMIENTOS DE LA METODOLOGÍA DE INGENIERÍA DEL SOFTWARE

Identificación de casos de uso.

Los escenarios “Definición de la Granja en estudio” y “Proyección de producción agrícola/pecuaria de la granja en estudio”, describen un macro-proceso que se modela a través de casos de uso que en conjunto cumplen con la funcionalidad principal del sistema, esta distribución se hace necesaria para disminuir la complejidad del proceso de proyección productiva, por lo cual se identificaron casos de uso especializados que se utilizarán de manera secuencial y cada uno tendrá un objetivo específico que contribuirá con el objetivo general de EcoGranja, a partir de los escenarios descritos se identificaron los casos de uso que son descritos en el Anexo J: CASOS DE USO DEL PROCESO OBTENCIÓN DE REQUERIMIENTOS DE LA METODOLOGÍA DE INGENIERÍA DEL SOFTWARE

Refinamiento de casos de uso.

A continuación se describirán los agregados realizados a cada uno de los anteriores casos de uso, donde solo se expone los detalles que se integraron en cada una de las entidades que los conformaron:

Caso de uso “Definir Granja”.

El formulario de registro de nueva granja comprende los campos: nombre de la granja, propietario de la granja, dirección, ciudad/municipio, departamento y país.

La interfaz gráfica de representación topográfica debe representar la visualización del relieve de la granja, así como proporcionar las coordenadas geográficas como lo son la longitud, latitud y la altitud.

La información climática suministrada por los SIA debe permitir la definición con el menor margen de error de las características físicas y químicas del suelo, del agua, y de las características físicas del clima.

Caso de uso “Proyectar Producción Agrícola”

La producción seleccionada por el usuario debe describir detalladamente la información de caracterización del cultivo y del comportamiento del mismo en el contexto ambiental donde se está simulando, entre esta información se destaca el tiempo de producción, el peso de producción, el consumo de recursos y la eficiencia productiva, el proceso contenido en este caso de uso tiene la finalidad de generar resultados de simulaciones que sean confiables, todos los datos y la información utilizada en este proceso debe ser visible para el usuario.

Caso de uso “Proyectar Producción Pecuaria”.

La proyección de producción pecuaria que el sistema EcoGranja recomiende, deberá ser explícita en todos sus aspectos, permitiendo la visualización de todos los datos e información relacionada con el tiempo de producción, el peso de producción, el consumo de recursos y la eficiencia productiva, con lo cual el usuario podrá conocer el comportamiento del modelo y así tomar decisiones convenientes para su producción pecuaria.

Caso de uso “**Visualizar información productiva**”.

Cada artículo informativo existente en la plataforma de granjas agropecuarias debe pertenecer a una estructura definida, si es la descripción de un cultivo debe tener un formato de caracterización de cultivos, si corresponde a un proceso productivo debe contener las fases de producción asumidas como estandar.

Caso de uso “**Registrar información productiva**”

La información del registro que ingresará el usuario ADM corresponde a la caracterización de los cultivos, específicamente son las variables relacionadas con el crecimiento y consumo de nutrientes de las plantas, como la cantidad de macronutrientes como Nitrógeno, Fosforo y Potasio.

Identificación de casos de uso complementarios.

En el proceso de obtención de requerimientos se detectó la necesidad de definir casos de uso adicionales que den soporte a las principales funcionalidades de EcoGranja, los casos de usos identificados son:

- Autenticación de usuario para los usuarios (PAP, ADM).

Permite registrar las sesiones de usuarios y autenticarlos ante el sistema para permitir la operación del sistema según los privilegios de cada usuario.

- Administración de usuarios.

Permite gestionar las cuentas de usuario de tipo PAP, a través de la creación, visualización, edición y eliminación de registros de cuentas de usuarios.

- Registrar descripción de suelos.

Permite registrar y relacionar una granja específica con las características físicas y químicas de sus suelos, las cuales deben geo-referenciarse.

- Registrar descripción de recursos hídricos.

Permite registrar y relacionar una granja específica con las características físicas y químicas de sus recursos hídricos.

- Registrar descripción climatológica.

Permite registrar y relacionar una granja específica con las condiciones climatológicas existentes en su medio ambiente.

- Seleccionar granja.

Este proceso permite la selección de una granja para realizar futuros procesos de proyecciones productivas, siempre y cuando el usuario sea el que registro o tenga acceso a la granja en estudio.

- Asignar criterios de evaluación.

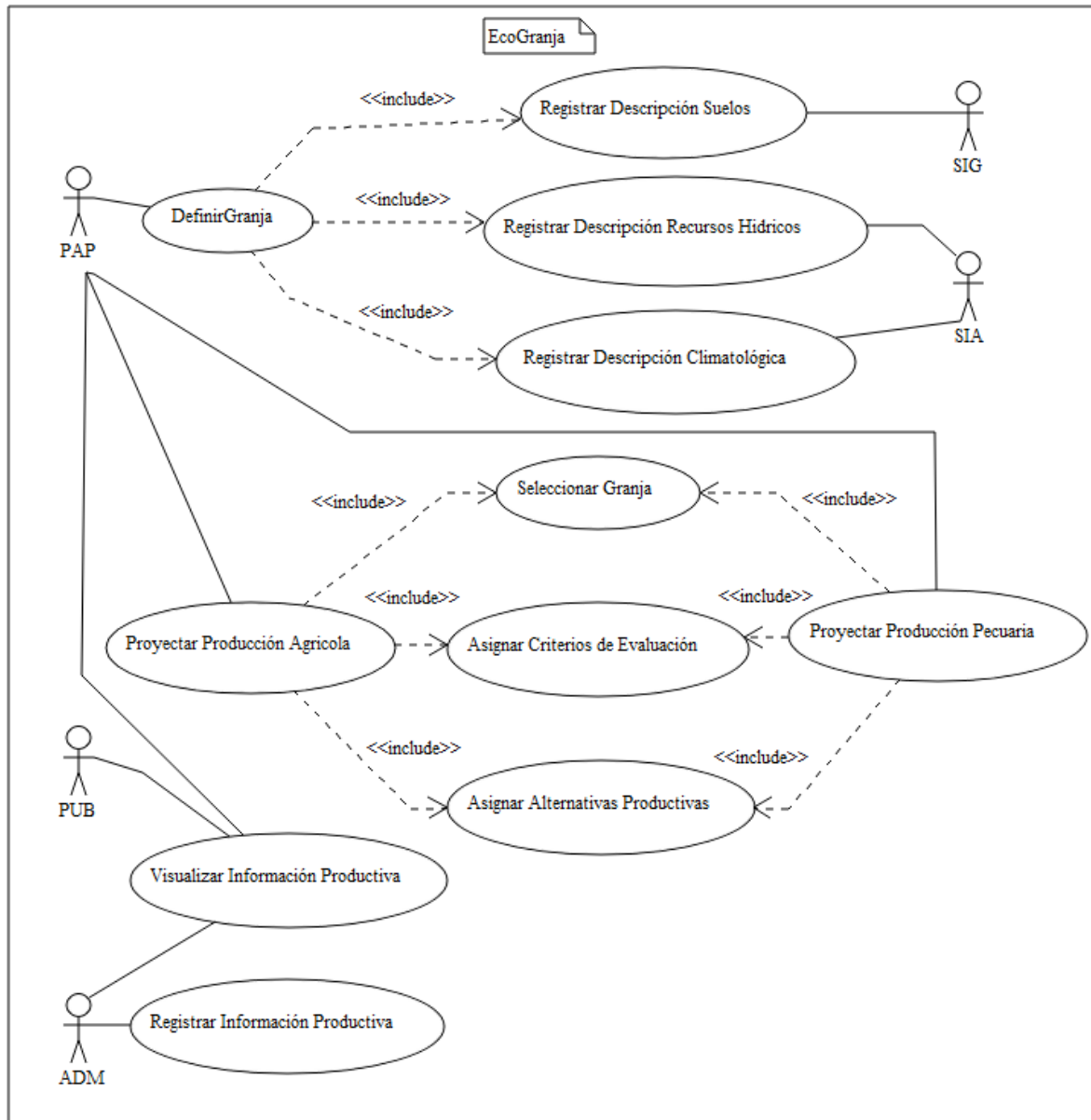
Este proceso permite que el usuario determine qué criterios son los más pertinentes para realizar el proceso de proyección productiva, entre estos criterios se destacan: eficiencia productiva, menor impacto ambiental, peso del cultivo, etc.

- Asignar alternativas productivas.

Este proceso permite que el usuario guarde las simulaciones productivas que realice sobre su granja, otorgándoles persistencia en el sistema y permitiendo de esta manera continuar con futuras simulaciones a partir de los trabajos previos.

Identificación de las relaciones entre actores y casos de uso.

Diagrama 13. Diagrama de casos de uso de EcoGranja.



Fuente: Autor

En esta etapa del desarrollo se esquematiza el concepto del sistema que se ha planteado entre los desarrolladores y los usuarios, el resultado del presente proceso es un diagrama de casos de uso donde se representan las relaciones de comunicación entre actores y casos de uso mediante una línea continua, las

relaciones extendidas mediante una línea punteada con la palabra “extend” y las relaciones de inclusión que se representan mediante una línea punteada con la palabra “include”.

En el *Diagrama 13*, se expuso la representación del sistema mediante casos de uso, en dicha representación solo se observan relaciones de comunicación y de inclusión, las relaciones de extensión no fueron necesarias, porque no se abarcaran casos de uso excepcionales en el desarrollo de EcoGranja.

Identificación de los objetos participantes.

Los objetos participantes corresponden a los conceptos más relevantes del dominio de la aplicación.

Tabla 8. Objetos participantes

<i>Granja</i>	Corresponde a una organización socioeconómica que produce bienes de origen vegetal y animal, su principal recurso es el ambiente natural y los recursos humanos.
<i>Producción Agropecuaria</i>	La producción agropecuaria comprende la producción de productos alimenticios de origen vegetal y de origen animal.
<i>Proyección Agropecuaria</i>	La proyección agropecuaria hace referencia a planteamientos sobre posibles producciones agropecuarias en un lugar y tiempo determinado, es necesario para realizar estimativos que contribuyen en la toma de decisiones de futuras producciones agropecuarias.
<i>Ambiente</i>	Comprende las características físicas, químicas y biológicas que se presentan en la naturaleza, dentro de los elementos más influyentes en el ambiente encontramos el suelo, los recursos hídricos y el clima.
<i>Geolocalización</i>	Corresponde a determinar la ubicación de un lugar a partir de coordenadas terrestres como lo son la latitud y la longitud.

Fuente: Autor.

Identificación de los requerimientos no funcionales.

- La seguridad del sistema es esencial.
- Las funcionalidades del sistema deben estar disponibles mediante una interfaz web.
- La interfaz de visualización grafica debe permitir la representación en tres dimensiones de la Granja.
- La visualización de los mapas geográficos debe permitir alta resolución.
- El sistema de inferencia de producción agropecuaria debe analizar exhaustivamente cada uno de los escenarios productivos y ofrecer la información resultante de una manera clara y altamente detallada.

A manera de documentación del proceso de obtención de requerimientos de EcoGranja se realizó el documento RAD (Requirement Analysis Document), que puede ser encontrado en la sección de anexos y que se establece como un referente para la comunicación entre los desarrolladores y los clientes.

6.3.3 Análisis.

El proceso de análisis tiene como producto un modelo del sistema que pretende ser correcto, completo, consistente y verificable, el cual se desarrolla sobre la especificación realizada en el proceso de obtención de requerimientos, donde se examina con mayor detalle las condiciones de frontera y los casos excepcionales.

El modelo de análisis se representa principalmente por diagramas que ayudan a los desarrolladores a verificar la especificación del sistema producida durante la obtención de requerimientos y se compone principalmente de tres modelos individuales:

- El modelo funcional representado por casos de uso y escenarios.
- El modelo de objetos de análisis representado por diagramas de clases y objeto.
- El modelo dinámico representado por las gráficas de estado y diagramas de secuencia.

Para el presente análisis se desarrolló el modelo de objetos de análisis y el modelo dinámico, debido a que en el proceso obtención de requerimientos, realizado con anterioridad, se obtuvo como resultado el modelo funcional.

El modelo de objetos de análisis conforma el subproceso del proceso de análisis que toma la información del modelo funcional y la transforma en diagramas estandarizados que representan la estructura de datos que soportará el sistema y además facilita la interpretación para los analistas y para los desarrolladores.

El modelo dinámico también conforma otro subproceso del proceso de análisis que toma la información del modelo funcional y la transforma en diagramas estandarizados que representan el comportamiento del sistema que se está modelando a través del tiempo.

Según la metodología de desarrollo planteada por Bruegge y Dutoit, se definen seguir las siguientes etapas para realizar el modelo de objetos de análisis y el modelo dinámico, en un proceso integrado.

- Identificación de objetos de entidad.
- Identificación de objetos de frontera.
- Identificación de objetos de control.

- Modelado de interacciones entre objetos.
- Identificación de asociaciones entre objetos.
- Identificación de atributos entre objetos.
- Modelado de comportamiento no trivial con graficas de estado.
- Modelado de relaciones de generalización
- Revisión del modelo de análisis.

Identificación de objetos de entidad.

Analizando la descripción de cada uno de los casos de uso, enunciados en la fase obtención de requerimientos, se determinaron los siguientes objetos de entidad.

Tabla 9. Objetos de entidad participantes.

Objeto.	Descripción.
Productor Agropecuario.	Objeto que representa a los productores agropecuarios que hacen uso del ambiente EcoGranja, integra la información de usuario como su identificación, nombre, correo, dirección, así como los privilegios que tiene sobre las acciones del sistema.
Administrador.	Objeto que representa los administradores del sistema EcoGranja, almacenando la información del administrador como nombre de usuario, correo, contraseña, así como los privilegios que tienen sobre las acciones del sistema.
Artículo	Representa la información textual que apoya el proceso de aprendizaje que los usuarios realizan con EcoGranja,
Granja.	Es una representación abstracta de la granja en estudio, es instanciado por el productor agropecuario, dentro de sus atributos se encuentran: la identificación de la granja "id", el nombre, el propietario, la dirección, la ciudad, el estado, el país, el área y la localización longitudinal y latitudinal.
Ambiente	Almacena las principales características de suelos, hídricas y climáticas de la granja en estudio, relacionándose cada registro con una grana en particular.
Coordenada.	Representa la estructura que agrupa la latitud y la longitud de un punto geográfico, con lo cual se pueden conformar objetos más complejos como rutas, sectores y mapas.
Mapa.	Es un conjunto de elementos de tipo Coordenada que se indexan y representan el perímetro del área de un terreno en estudio.
Cultivo Agrícola.	Representa la estructura de datos del modelo general de cultivos agrícolas, la cual se representa a través de los parámetros del modelo dinámico sistémico que simula el desarrollo de las producciones agrícolas.
Crianza Pecuaria.	Representa la estructura de datos del modelo general de crianzas pecuarias, la cual se representa a través de los parámetros del modelo dinámico sistémico que simula el desarrollo de las crianzas pecuarias.

Proyección Agrícola.	Representa una estructura de datos que relaciona los valores correspondientes a un criterio de evaluación de cultivos y a un cultivo simulado que se ha determinado como pertinente para ser asignado en la granja en estudio.
Proyección Pecuaria.	Representa una estructura de datos que relaciona los valores correspondientes a un criterio de evaluación de crías pecuarias y a una cría simulada que se ha determinado como pertinente para ser asignado en la granja en estudio.
Ficha informativa Agrícola.	Representa la información productiva de cada cultivo agrícola que existe en el sistema EcoGranja.
Ficha Informativa Pecuaria.	Representa la información productiva de cada cría pecuaria que existe en el sistema EcoGranja,

Fuente: Autor

Identificación de objetos de frontera.

Analizando la descripción de cada uno de los casos de uso, enunciados en la fase obtención de requerimientos, se determinaron los siguientes objetos de frontera.

Tabla 10. Objetos de frontera participantes.

Objeto.	Descripción.
FormularioUsuario PAP	Formulario que contiene los campos que permiten instanciar el objeto de entidad "ProductorAgropecuario", además de permitir la modificación de cada uno de sus atributos.
FormularioUsuario ADM	Formulario que contiene los campos que permiten instanciar el objeto de entidad "Administrador", además de permitir la modificación de cada uno de sus atributos.
Formulario DescripciónGranja	Formulario que contiene los campos que permiten instanciar objetos de entidad "Granja", además de permitir la modificación de cada uno de sus atributos.
FormularioDescripciónAmbiente	Formulario que gestiona los parámetros ambientales que representan el estado de los subsistemas suelos, recursos hídricos y clima.
Visualizador Geografico	Interfaz gráfica que permite visualizar la representación geográfica de un determinado terreno mediante sus coordenadas geográficas
Formulario CultivosAgrícolas	Formulario que permite instanciar y modificar cada uno de los atributos que componen el objeto de entidad "Cultivo Agrícola"
Formulario CrianzasPecuarias	Formulario que permite instanciar y modificar cada uno de los atributos que componen el objeto de entidad "Crianza Pecuaria"
Formulario SelecciónGranja	Formulario que permite seleccionar una del total de granjas que ha registrado el usuario en su cuenta, en caso que exista una sola granja esta se selecciona automáticamente.
Formulario ProyAgri	Formulario que permite asignar los criterios de inferencia que proyectaran las producciones agrícolas pertinentes para las condiciones de la granja en estudio.
Formulario ProyPec	Formulario que permite asignar los criterios de inferencia que proyectaran las producciones pecuarias pertinentes para las condiciones de la granja en estudio.
Simulador	Ambiente de simulación con dinámica de sistemas en la Web

Buscador Información Productiva	Formulario que permite introducir texto y que produce resultados de búsquedas relacionadas con el criterio asignado, con lo cual se aporta en el acceso a la información productiva del fenómeno
Visualizador FichasInformativas	Interfaz gráfica que permite visualizar la información referente a las producciones agropecuarias, esta información deberá permitir múltiples clasificaciones

Fuente: Autor

Identificación de objetos de control.

Analizando la descripción de cada uno de los casos de uso, enunciados en la fase obtención de requerimientos, se determinaron los siguientes objetos de control.

Tabla 11. Objetos de control participantes.

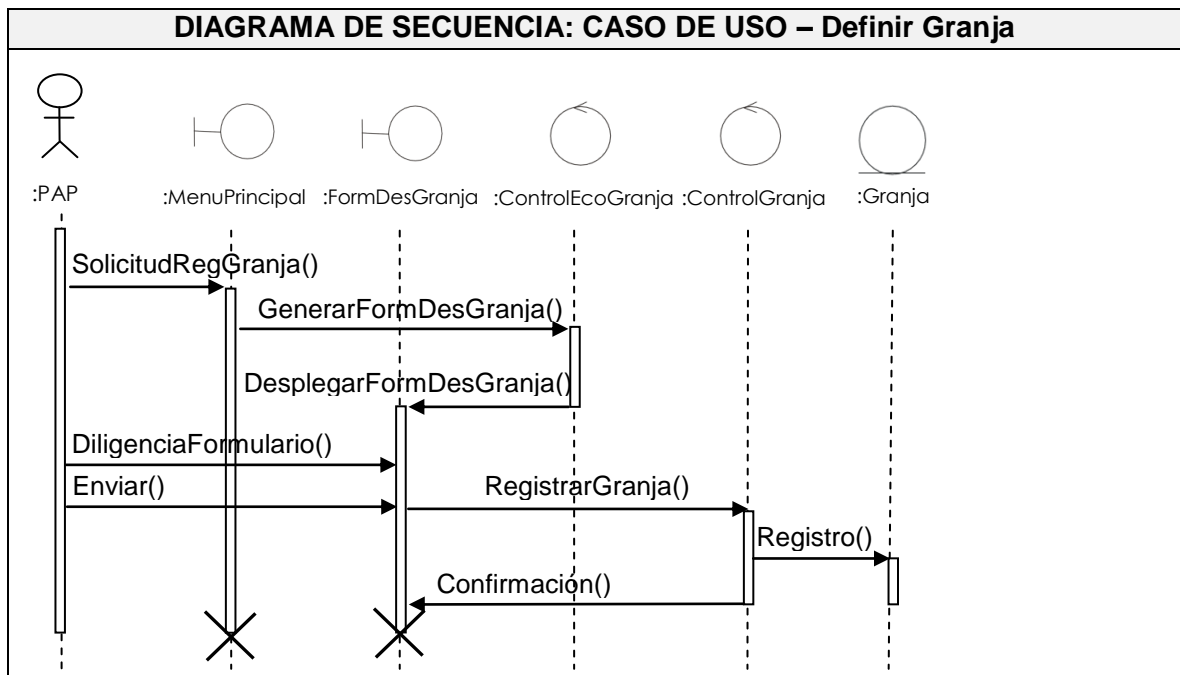
Objeto.	Descripción.
ControlEcoGranja	Es el objeto principal que organiza el acceso a cada uno de los recursos del sistema, gestionado las peticiones y los resultados de correspondientes a cada una de las operaciones que realiza el sistema con su entorno.
ControlGranjas	Controla el registro y la modificación de datos correspondientes a las granjas agropecuarias, hace uso de los objetos de frontera "FormularioDescripciónGranja" y "VisualizadorGeografico".
ControlAmbiente	Gestiona los datos e información relacionada al medio ambiente de la granja en estudio
ControlCultivos	Controla el registro y la modificación de instancias de cultivos agrícolas, que permiten suministrar los escenarios del modelo de simulación que soporta las funcionalidades de EcoGranja
ControlCrianzas	Controla el registro y la modificación de instancias de crías pecuarias, que permiten suministrar los escenarios del modelo de simulación que soporta las funcionalidades de EcoGranja
ControlProyAgri	Controla el proceso de instanciación de escenarios en los modelos de simulación, lo que permite realizar proyecciones productivas de cultivos agrícolas y también registrar las producciones agrícolas seleccionadas como pertinentes por el productor agropecuario.
ControlProyPecu	Controla el proceso de instanciación de escenarios en los modelos de simulación, lo que permite realizar proyecciones productivas de crías pecuarias y también registrar las producciones pecuarias seleccionadas como pertinentes por el productor agropecuario.

Fuente: Autor

Modelado de interacciones entre objetos: diagramas de secuencia.

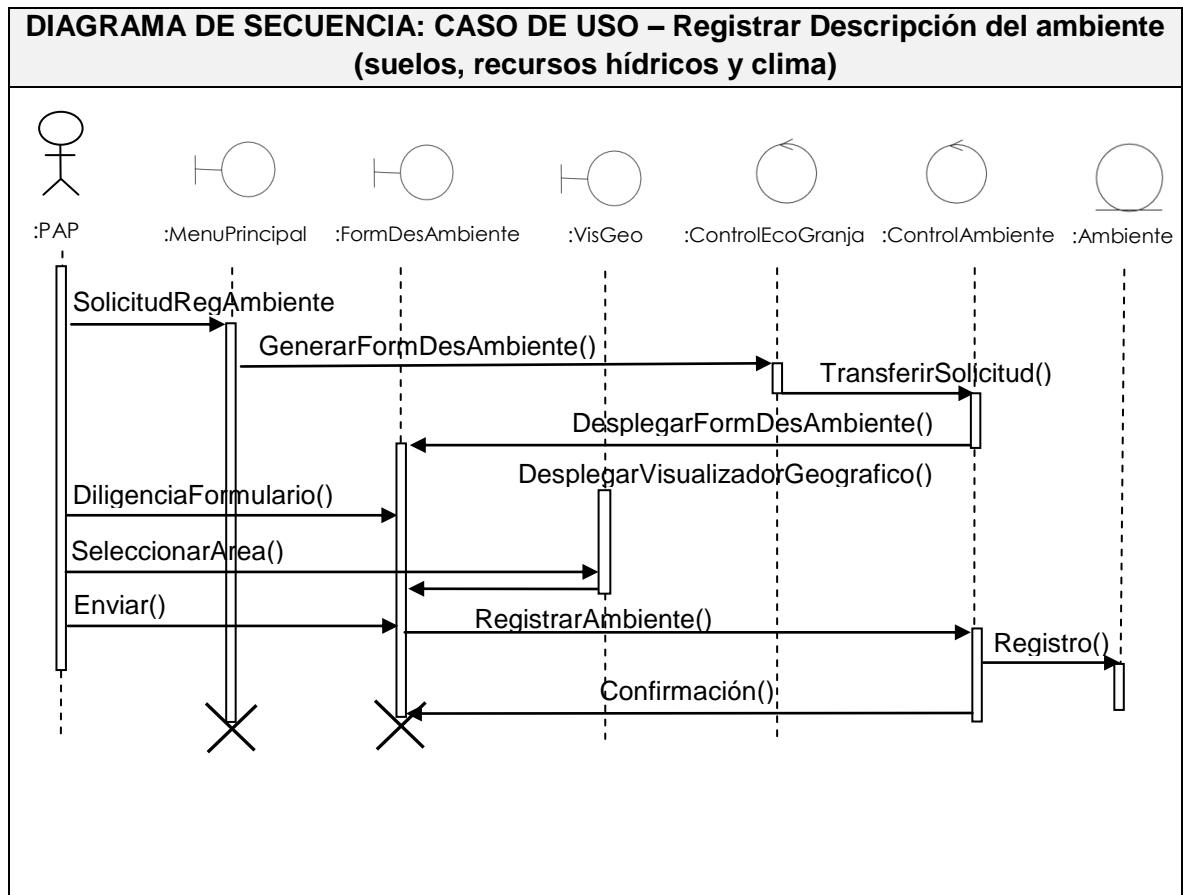
En este proceso se describe el comportamiento a través del tiempo de los objetos de entidad, frontera y control, haciendo uso de los diagramas de secuencia que describen las interacciones entre cada uno de los objetos que componen los casos de uso del sistema.

Diagrama 14. Diagrama de secuencia del caso de uso: Definir Granja



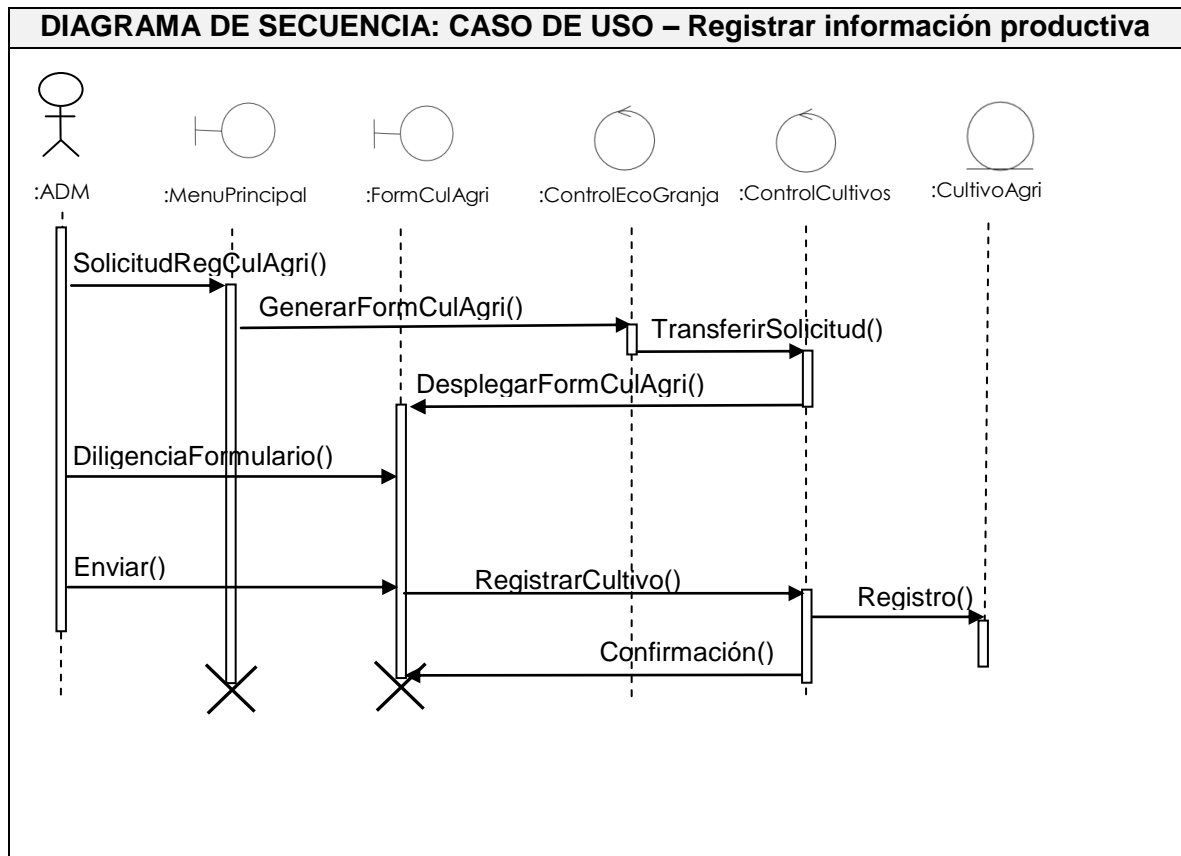
Fuente: Autor

Diagrama 15. Diagrama de secuencia del caso de uso: Registrar Descripción del ambiente.



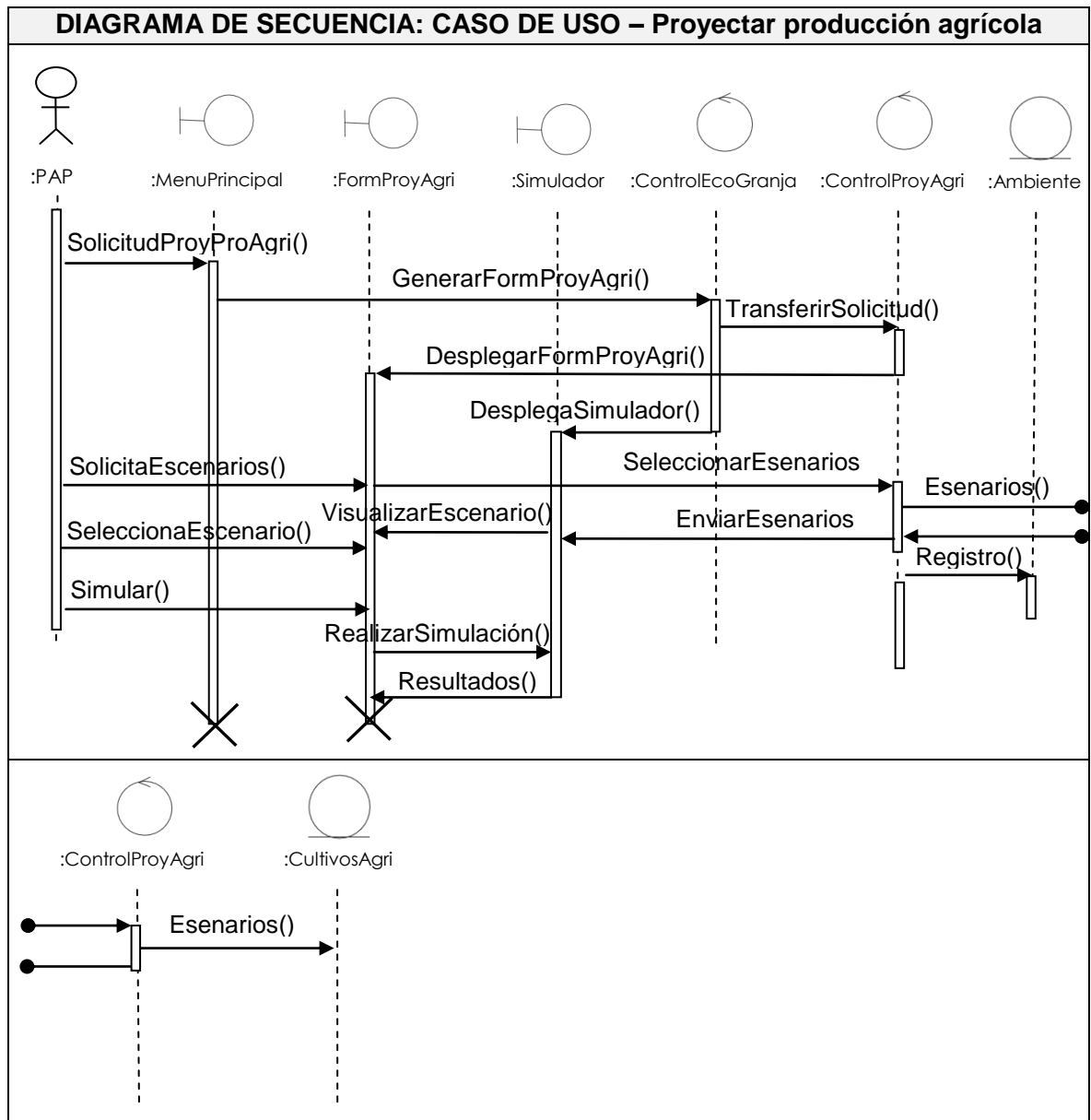
Fuente: Autor

Diagrama 16. Diagrama de secuencia del caso de uso: Registrar información productiva.



Fuente: Autor

Diagrama 17. Diagrama de secuencia del caso de uso: Proyectar producción agrícola.

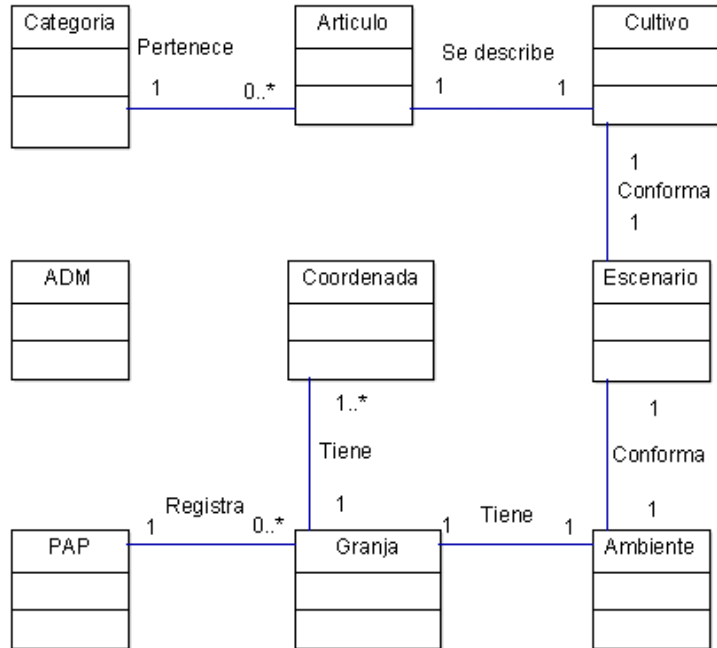


Fuente: Autor

Identificación de asociaciones.

En esta actividad se describirán las entidades que componen el sistema en términos de sus asociaciones, este abordaje es soportado por el diagrama de clases, donde se representan las asociaciones como relación entre dos o más clases.

Diagrama 18. Diagrama de clases con las relaciones entre sus entidades.



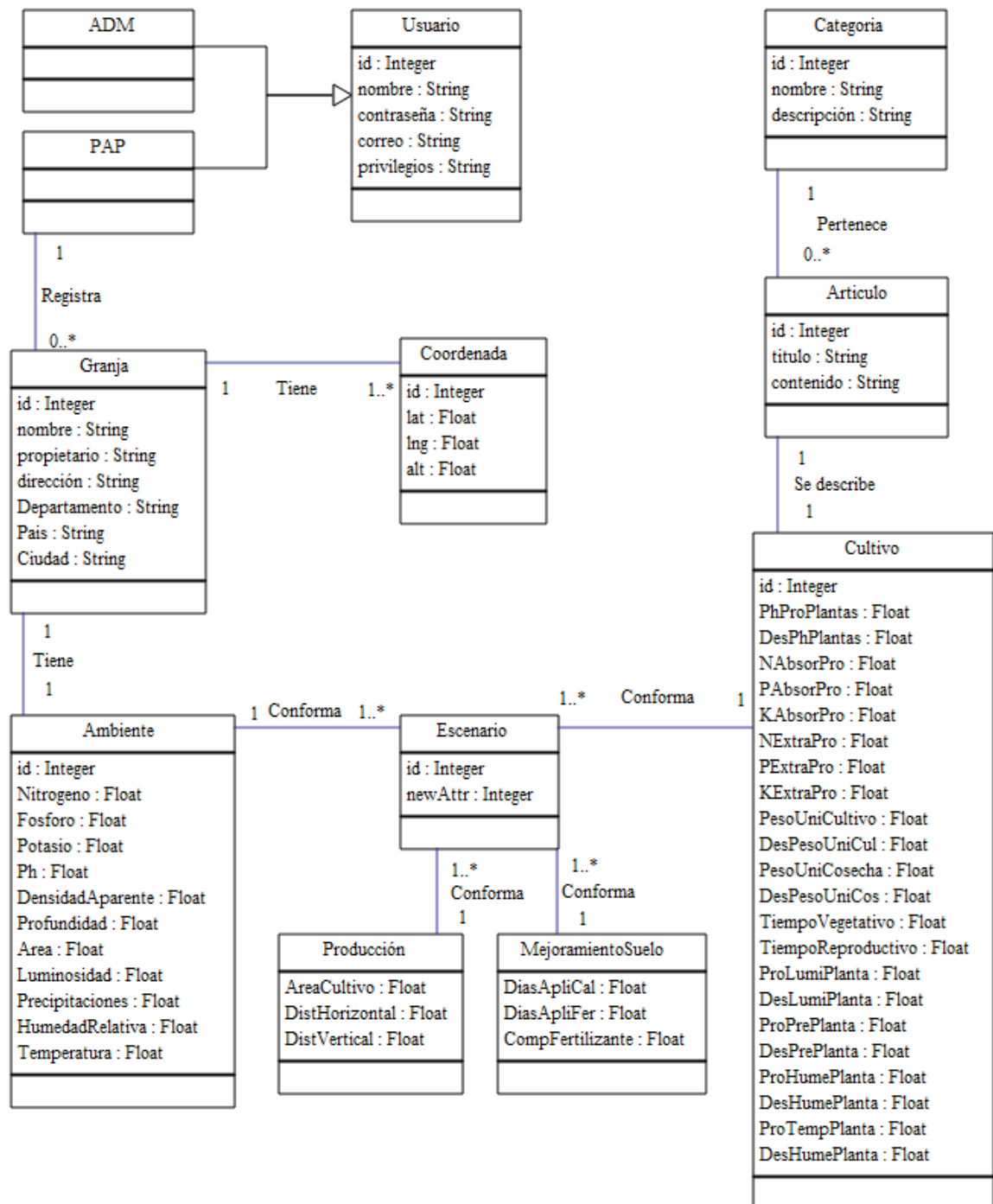
Fuente: Autor

Identificación de atributos.

En esta actividad se integra al diagrama de clases producto de la actividad “identificación de asociaciones” los atributos de cada entidad que compone el modelo, lo cual permite especificar la estructura del sistema, sobre la cual se realiza un análisis para detectar posibles correcciones.

Los cambios estructurales en esta etapa del modelo del diagrama de clases, fueron la inclusión de la tabla de producción y mejoramiento de suelos, que contienen elemento que se consideraban del cultivo, pero que después del análisis se determinó que son entidades independientes

Diagrama 19. Diagrama de clases con los atributos de cada una de sus entidades.



Fuente: autor

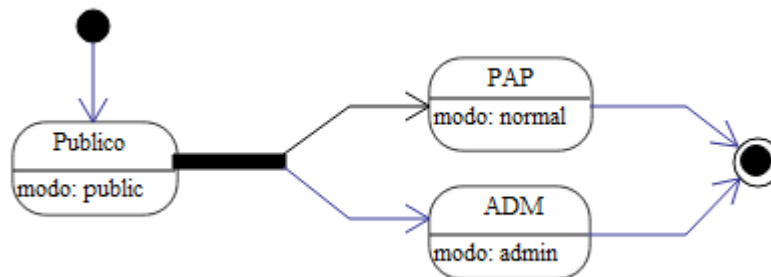
Modelado del comportamiento no trivial de objetos individuales.

Se analizaron los objetos modelados y se determinó que la casi en su totalidad no presentan comportamiento complejos que requieran modelos particulares para entender su comportamiento, esto se debe a que la complejidad del sistema fue abordada desde la dinámica de sistemas a través del modelo general de la granja agropecuaria desarrollada en versiones anteriores.

El objeto que es puesto a consideración para modelar un comportamiento no trivial, es el objeto usuario, el cual por estar en un ambiente basado en la internet, requiere un control minucioso en los permisos que cada tipo de usuario tiene, si se ignora esto se podría poner en peligro el aplicativo completo.

El siguiente diagrama modela el comportamiento de los usuarios en el sistema EcoGranja, los cuales en un principio pertenecen al tipo público, el cual solo tiene permisos de acceder en modo lectura a algunas fuentes informativas, luego del proceso exitoso de autenticación se cambia el tipo de usuario a PAP (Productor agropecuario) o a ADM (Administrador del sistema), los cuales tienen permisos particulares para interactuar con el sistema.

Diagrama 20. Diagrama de grafica de estado para el objeto usuario.

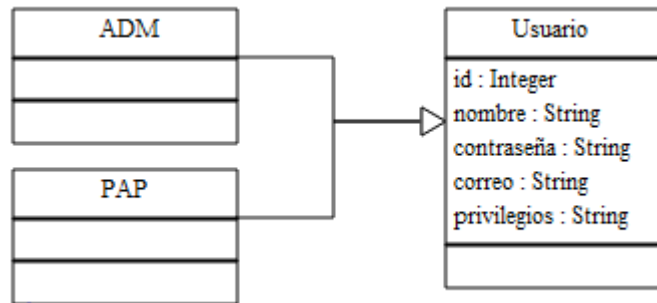


Fuente: autor

Modelado de relaciones de generalización entre objetos.

Entre los objetos del sistema que se describieron en el caso de uso, se determinó que los objetos PAP (Productor agropecuario) y ADM (Administrador), tienen múltiples atributos similares, los cuales se pueden abstraer mediante una clase que se denominó "Usuario", esta clase utiliza la técnica de herencia de la Ingeniería del software.

Diagrama 21. Diagrama de clases para la clase “usuario” y sus subclases.



Fuente: autor

A manera de documentación del proceso de análisis de EcoGranja se realizó el documento RAD (Requirement Analysis Document), que puede ser encontrado en la sección de anexos y que se establece como un referente para la comunicación entre los analistas y los desarrolladores.

6.3.4 Diseño del sistema.

En esta fase se transforma el modelo de análisis al modelo de diseño del sistema, mediante la definición de los objetivos de diseño del sistema y mediante la descomposición el sistema en subsistemas. También los desarrolladores seleccionan estrategias para el desarrollo del sistema, como la plataforma de hardware y software sobre la que se ejecutará, la estrategia de almacenamiento de datos persistentes, el flujo de control global, la política de control de acceso y el manejo de condiciones de frontera.

El resultado de esta etapa es un modelo que incluye una descripción clara de cada una de las estrategias, una descomposición en subsistemas y un diagrama de organización UML que representa la correspondencia entre el hardware y el software del sistema.

De manera general el diseño del sistema se compone de las siguientes etapas:

- La definición de los objetivos de diseño.
- La descomposición del sistema en subsistemas.
- La correspondencia entre los subsistemas y los componentes.
- La selección de componentes hechos y heredados.
- La selección de la infraestructura de administración de datos persistentes.
- La selección de la política de control de acceso.
- La selección de un mecanismo de flujo global
- El manejo de condiciones de frontera.

Definición de los objetivos de diseño.

Según el marco teórico y tecnológico desarrollado hasta la presente sección se establecen los siguientes objetivos de diseño para el sistema:

Objetivos de desempeño.

- El sistema EcoGranja debe soportar la integración de modelos dinámicos sistémicos y permitir sus simulaciones en ambientes Web.
- El sistema EcoGranja debe permitir su ejecución en equipos cliente en un tiempo menor a 5 segundos.

- El sistema EcoGranja debe soportar peticiones multiusuario y multitarea.

Objetivos de solidez.

- El sistema debe tener mecanismos de protección de ataques informáticos.
- El sistema debe validar los datos de entrada y poseer mecanismos de ayuda para que los usuarios ingresen correctamente los datos requeridos.
- El sistema debe ser compatible con los principales navegadores web.

Objetivos de costo.

- El costo de desarrollo debe ser mínimo.
- El costo de entrega, correspondiente a la instalación y entrenamiento de los usuarios debe ser cero o cercano a cero.
- Las actualizaciones del sistema debe ser transparentes para el usuario y sin costo alguno.
- El costo del mantenimiento será asumido por futuros proyectos.
- El costo de la administración deberá ser mínimo.
- Las tecnologías de información y comunicación que integre el sistema deben ser tener licencias de uso libre, las cuales por lo general se distribuyen sin costo.

Objetivos de mantenimiento.

- El sistema debe permitir cambiar sus especificaciones antes, mientras y después del desarrollo.
- El sistema debe tener una arquitectura modular que permita la futura inclusión de nuevos componentes y funcionalidades.
- El sistema se debe desarrollar por medio de metodologías ágiles que faciliten la adaptación al cambio.
- El lenguaje de desarrollo debe ser de alto nivel, altamente confiable, con facilidad de lectura y completo soporte en su documentación

Objetivos con el usuario final.

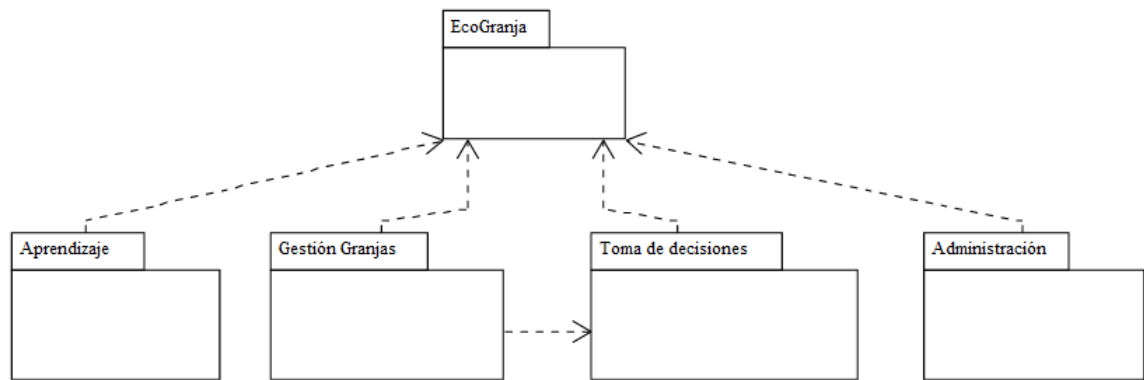
- La interfaz gráfica debe ser minimalista y de fácil uso, con diversos controles que soporten la manipulación de datos e información.

- El sistema EcoGranja debe desplegarse en la internet para otorgar un fácil acceso a sus usuarios.
- El sistema debe estar disponible las 24 horas del día y los siete días de la semana.

La descomposición del sistema en subsistemas.

A partir de los productos de la fase de análisis del presente proyecto se definieron subsistemas que componen de las principales entidades de EcoGranja, estos subsistemas pretenden minimizar el acoplamiento entre ellos y maximizar la cohesión entre las clases que los componen³⁰.

Diagrama 22. Diagrama de clases de la descomposición de EcoGranja en subsistemas.



Fuente: autor.

El anterior diagrama de clases tiene un subsistema base nombrado como “EcoGranja”, del cual dependen los subsistemas: “Aprendizaje”, “Gestión de granjas”, “Toma de decisiones” y “Administración”. Además de esto el subsistema “Toma de decisiones” depende del sistema “Gestión de Granjas”

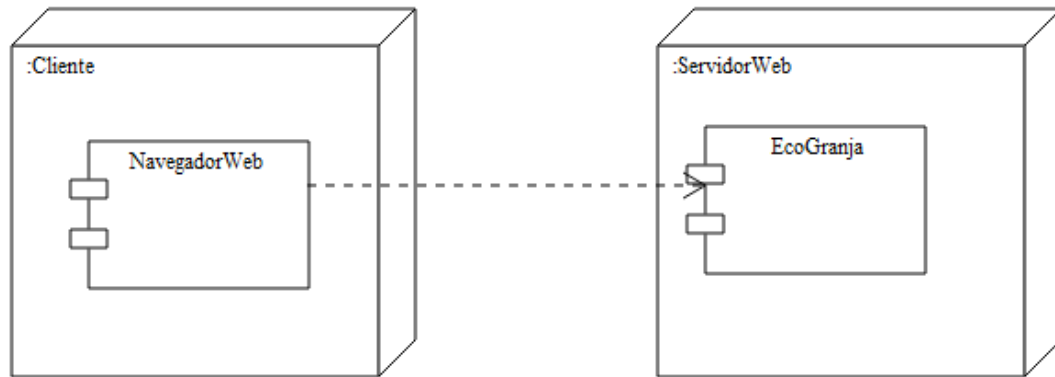
La correspondencia entre los subsistemas y los componentes.

El sistema EcoGranja por ser un sistema basado en la internet, se debe ejecutar en la arquitectura cliente servidor, la cual se puede observar en el siguiente diagrama de despliegue donde el servidor web integra EcoGranja y el equipo

³⁰ Los conceptos de acoplamiento y coherencia se definen en Bruegge y Dutoit, pág. 174

cliente debe integrar el navegador web donde se podrá acceder al ambiente EcoGranja.

Diagrama 23. Diagrama de despliegue de EcoGranja.



Fuente: autor.

Debido a que la maquina cliente puede presentar múltiples configuraciones, solo se establece el requisito de que tenga un explorador web instalado, en cuanto al Servidor Web establece el requisito que sea un sistema basado en Unix, debido a que se ha asumido como estándar de facto por múltiples comunidades, sobre el servidor se instalará el sistema EcoGranja.

La selección de componentes hechos y heredados.

La síntesis del análisis correspondiente a los componentes ya desarrollados que dan soporte a diversas tecnologías web son:

- Servidor Web: a través de la revisión de los principales servidores web existentes bajo entornos UNIX, se determinó que la el proyecto más robusto y con documentación completa y actualizada es “Apache Http Server”, el cual ha sido asumido como el estándar de facto por múltiples comunidades que trabajan con tecnologías web.
- Lenguaje de programación del lado del servidor: Analizando los lenguajes que dan soporte a las metodologías de desarrollo ágil para proyectos en la web y que este en un estado maduro de desarrollo, se determinó que el lenguaje de

programación “Ruby”, permite abordar el desarrollo a alto nivel que el proyecto requiere.

- Framework del lado del servidor: Analizando los posibles Framework’s que se soportan sobre el lenguaje de programación Ruby y que permitan abstraer el modelo de datos a un lenguaje de alto nivel, así como integrar el paradigma MVC, se determinó la utilización del Framework “Rails”
- Framework del lado del cliente: Analizando los Framework’s pertinentes para soportar los controles e interfaz que soportará el ambiente de simulación en el equipo cliente, se consideró como de mayor pertinencia el Framework “jQuery”, por sus múltiples desarrollos de interfaz gráfica y por su extensa documentación.
- Geo-Referenciamiento: El desarrollo de EcoGranja requiere vincular el posicionamiento de mapas geográficos que permitan relacionar el tamaño de los mapas y su relieve en los modelos dinámico sistémicos, lo cual requiere un componente ya desarrollado, por lo que se determinó seleccionar Google Maps que permite vincular los mapas geo-referenciados con las tecnologías web.

Los anteriores componentes constituyen la base tecnológica sobre la que desarrolló EcoGranja

La selección de la infraestructura de administración de datos persistentes.

Los criterios para establecer sistema de almacenamiento persistente de datos, fue seleccionado por su compatibilidad con la tecnología ORM, la cual permite realizar un mapeo entre los objetos del modelo de datos con la estructura entidad-relación que los almacena, esta tecnología esta soportada por el Framework “Rails” en su módulo “Active Record”, teniendo en cuenta este aspecto y evaluando el soporte de documentación y la licencia libre de las de las diversas bases de datos que existen, se determinó que la mejor opción para soportar el almacenamiento persistente es el sistema de base de datos “PostgreSQL”

La selección de la política de control de acceso.

EcoGranja es un sistema multiusuario, cuyas prestaciones son posibles a través de su Servidor Web Apache Http y ambiente de desarrollo “Ruby on Rails”, el acceso usuario se permite en tres niveles, el nivel público, el nivel productor agropecuario y el nivel administrador, el nivel publico solo puede visualizar información de carácter publica, el nivel productor agropecuario puede realizar las acciones del nivel público e interactuar con las interfaces de simulación, por último el nivel administrador puede editar y gestionar cada una de las entidades que compone el sistema.

El acceso a cada uno de los recursos está referenciado por una dirección de tipo URL, que permite el acceso a los recursos a través de hipervínculos.

La selección de un mecanismo de flujo global.

La arquitectura de software MVC se implementó en el sistema EcoGranja mediante el desarrollo basado en el FrameWork “Ruby on Rails”, el cual permite separar cada uno de los objetos del sistemas en objetos de modelo, objetos de vista y objetos de control.

Los objetos de control que conforman EcoGranja permiten gestionar el flujo de los datos y de la información que gestiona el sistema desarrollado, el principal objeto de control que dirige el flujo global del aplicativo, se presenta mediante el controlador nombrado “EcoGranja_Controller” el cual permite gestionar los subsistemas principales de EcoGranja y permitir el acceso a cada uno de los controladores que gestionan el flujo correspondiente a cada subsistema del Ambiente EcoGranja.

El manejo de condiciones de frontera.

El subsistema nombrado “Administración”, le permite al administrador de EcoGranja acceder de manera global a cada una de las entidades que conforman el sistema, esta interfaz permite visualizar, crear, modificar y eliminar cualquier registro de las entidades del sistema.

También el sistema ofrece validación de datos en los formularios de EcoGranja que se despliegan en el equipo Cliente, además estos mismos datos ingresados

en los formularios son validados con el servidor web, mediante mecanismos de validación integrados por “Ruby On Rails”

6.3.5 Diseño de los objetos.

En la fase de diseño de objetos relacionamos los objetos de la aplicación con los componentes hechos, identificando objetos de solución adicionales y refinando los objetos existentes, esta fase incluye las siguientes actividades:

- Especificación de servicios.
- Selección de componentes.
- Reestructuración del modelo de objetos.
- Optimización del modelo de objetos.

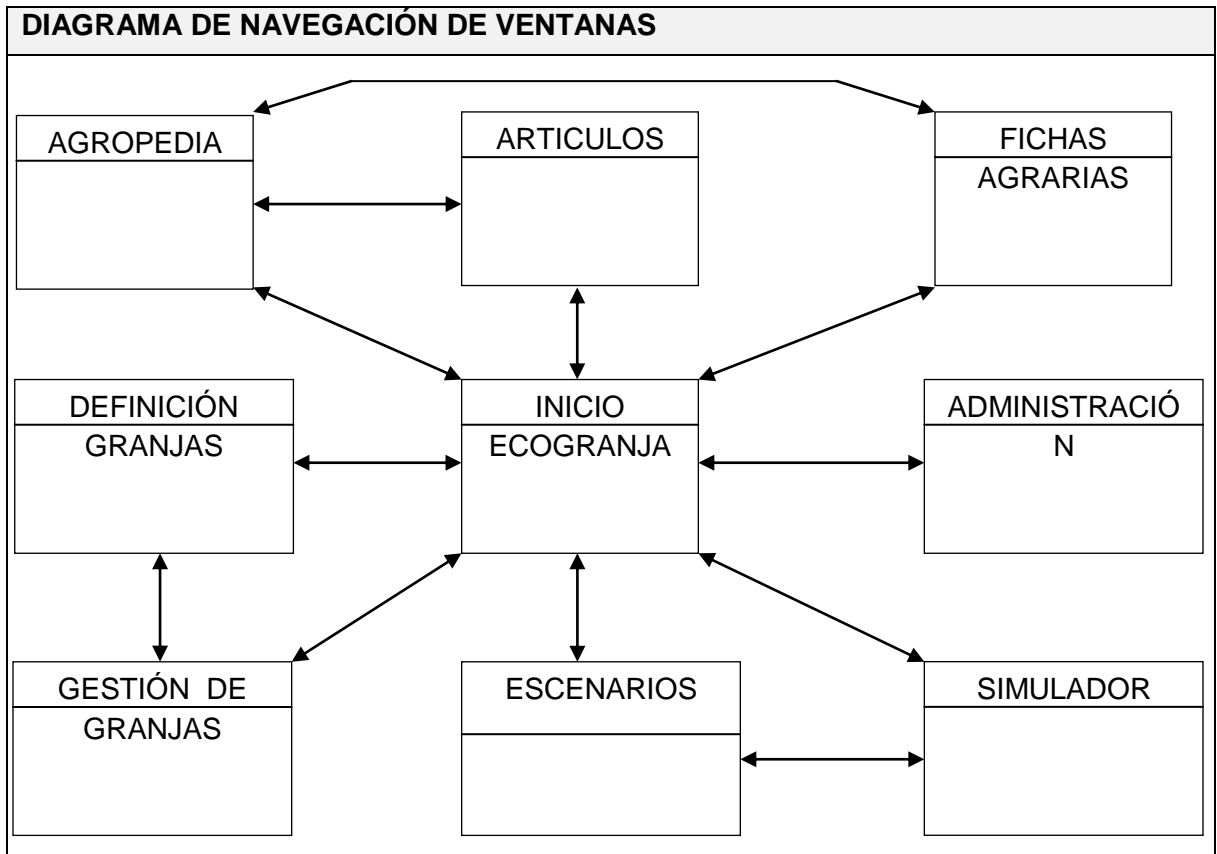
Especificación de servicios.

Debido a que el desarrollo del ambiente EcoGranja se ubicó dentro de las metodologías ágiles donde el dominio de la aplicación y el dominio de la solución cambian constantemente, se determinó que la documentación de cada uno de los procesos de la actividad de especificación del diseño de objetos se encuentra en el código fuente del aplicativo.

Una característica fundamental de los ambientes basados en internet, es la facilidad de acceso a cualquier recurso del sistema siempre y cuando se tengan los privilegios correspondientes, la mayoría de los recursos deben estar referenciados a través de una URL.

Sin embargo se puede desarrollar un esquema básico de navegación entre las ventanas que contiene el ambiente EcoGranja y de esta manera representar las rutas la accesibilidad a cada elemento de tipo vista.

Diagrama 24. Diagrama de navegación de ventanas.



Fuente: autor.

Las relaciones entre cada uno de los elementos del anterior diagrama representan el acceso disponible desde la ventana a cada una de las principales ventanas del sistema, estos accesos son los más representativos, debido que un aplicativo en la internet permite el acceso a sus recursos desde cualquier elemento de las vistas del sistema.

Selección de componentes.

Los componentes principales sobre los cuales se desarrollan los requerimientos funcionales del sistema, son proporcionados por el Framework "Ruby on Rails", a través de sus principales módulos: ActiveRecord, ActiveModel, ActionView y ActionController.

El módulo ActiveRecord proporciona soporte al modelo de datos mediante la interacción con la base de datos, ActiveModel da soporte al componente Modelo de la arquitectura MVC e integra el soporte para la tecnología ORM.

El módulo ActionView permite soportar el componente Vista de la arquitectura MVC, permitiendo la generación de diferentes formatos de respuesta ante las peticiones de usuarios, estos formatos integran los estándares Html, Javascript (JS), Cascading Style Sheets (CSS), Extensible Markup Language (XML) y Javascript Object Notation (JSON).

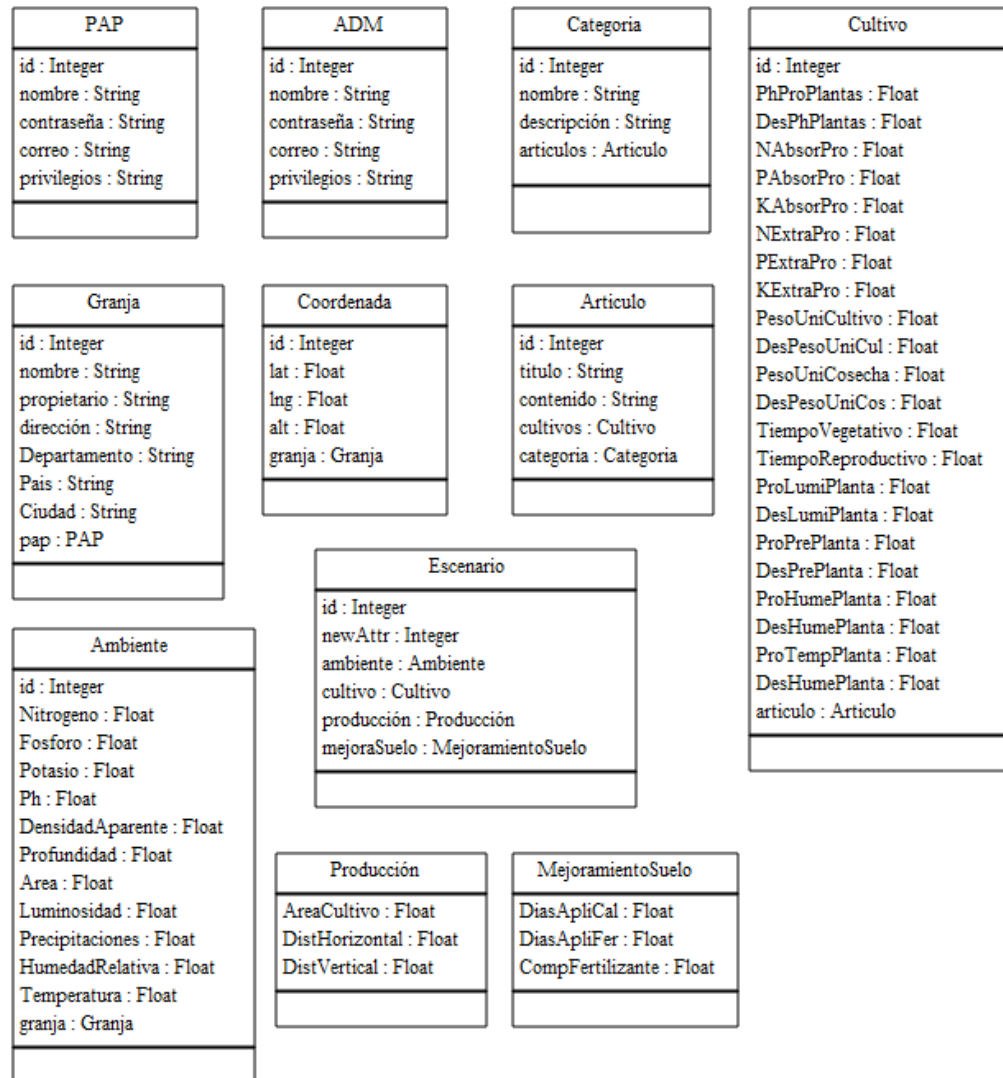
Estas tecnologías permiten el desarrollo de aplicativos que requieran la integración de tecnologías Web.

El módulo ActionController da soporte al componente Controlador de la arquitectura MVC, este módulo otorga la estructura y la funcionalidad que los controladores requieren para desarrollar su función de gestionar los objetos del sistema.

Reestructuración del modelo de objetos.

El modelo de objetos reestructurado se presenta en el siguiente diagrama donde se han cambiado las relaciones por referencias dentro de cada clase.

Diagrama 25. Diagrama de clases reestructurado.



Fuente: Autor

En la actividad de reestructuración se contempla una tarea de incrementar la reutilización, el principal mecanismo que aporta en este objetivo es la herencia que se presenta en la teoría de objetos.

En el Framework “Ruby on Rails” se presenta el concepto de “Partial” que es una agrupación de código que puede ser insertada en cualquier parte del código fuente de la aplicación, este concepto contribuye en la reutilización deseada.

A su vez el Framework “jQuery” contiene diversos controles de usuarios que apoyan el desarrollo de interfaces graficas de EcoGranja.

Optimización del modelo de objetos.

Debido a dos principios que contempla el Framework "Ruby on Rails", como son el "Don't repeat yourself" DRY y la convención sobre configuración, se asume los estándares de este framework que optimizan la funcionalidad del sistema.

6.3.6 Implementación.

La primera versión del ambiente EcoGranja, está compuesta por los módulos Aprendizaje, gestión de granjas, toma de decisiones y administración, esta herramienta se permite su acceso en internet, gracias a su desarrollo y arquitectura basada en la web, la interfaz inicial del aplicativo se representa en la *Figura 15*.

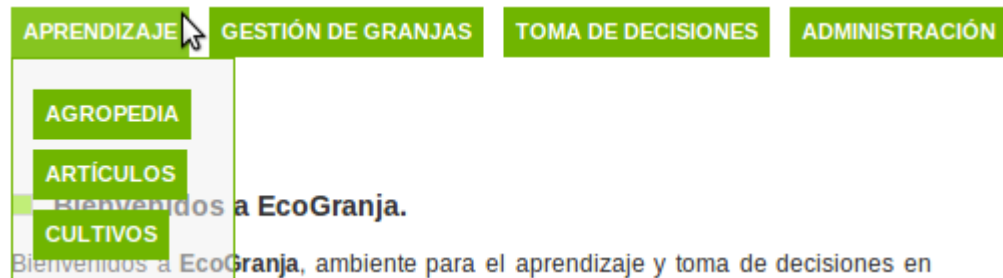
Figura 15. Interfaz principal del ambiente EcoGranja.



Fuente: Autor

El modulo aprendizaje proporciona tres funcionalidades del sistema que soportan el acceso a información por parte de los usuarios productores agropecuarios

Figura 16. Menú aprendizaje de EcoGranja.



Fuente: autor

En este menú se puede acceder a una funcionalidad llamada Agropedia que contiene la información productiva y de fichas técnicas de cultivos que ayudan a que los productores agropecuarios adquieran información relevante sobre sus producción, el enlace artículos presenta una interfaz para visualizar los artículos de diversos temáticas concernientes a la producción agropecuaria y el menú cultivo comprende las fichas técnicas de producción agrícola.

A manera de ejemplo de la interfaz de Agropedia se presenta a continuación una captura de pantalla donde se visualiza información concerniente al análisis de suelos y múltiples enlaces a diversos artículos y fichas productivas.

La interfaz presenta un buscador de artículos, que permite acceder a cualquier información concerniente a la producción agropecuaria que se encuentre almacenada en el sistema.

Figura 17. Interfaz de Agropedia.

The screenshot shows the EcoGranja web interface. At the top, there are navigation tabs: 'Investiga', 'Aprende', 'Diviértete', and 'Arriesgate'. Below these is the 'EcoGranja' logo. To the right is a login section with fields for 'Correo o usuario' and 'Contraseña', and a 'Nuevo usuario' button. Below the logo are four main menu items: 'APRENDIZAJE', 'GESTIÓN DE GRANJAS', 'TOMA DE DECISIONES', and 'ADMINISTRACIÓN'. The main content area is titled 'Artículo' and features an article titled 'Análisis de suelos.' with a detailed description and a list of norms for soil sampling. Below this is a 'Listado de Artículos' section with a search bar and a table of articles. The table has columns for 'Título', 'Contenido', and 'Categoría'. The articles listed are 'Análisis de suelos.', 'El cilantro.', 'El frijol.', and 'El limón.'. At the bottom of the interface is a green navigation bar with the same menu items as above.

Artículo

Análisis de suelos.

Antes de iniciar con los cultivos en la granja integral, se recomienda realizar un análisis previo de suelos, con dos muestras mínimas si el terreno tiene sectores planos y pendientes al mismo tiempo (una por cada sector), si el terreno solo es plano o inclinado, se debe tomar una muestra únicamente.

Se deben seguir las siguientes normas para la toma de la muestra.

- Una semana después de haber aplicado cualquier tipo de fertilizantes.
- Nunca en terrenos anegados.
- No se debe tomar muestras después de la lluvia.
- No tomar muestras en sitio donde se haya depositado abonos.

Fuente: "DISEÑO Y EVALUACIÓN GRANJA INTEGRAL AUTOSOSTENIBLE ECOLÓGICA Y ECONOMICAMENTE / German CABALLERO GERARDINO, Juan Carlos PINTO MUÑOZ, DIRECTOR Jaime CEPEDA REY. TESIS (ESPECIALISTA EN INGENIERÍA AMBIENTAL) - UIS. ESCUELA DE INGENIERÍA QUÍMICA, 2001"

Listado de Artículos

Mostrar: 10 registros Buscar:

Título	Contenido	Categoría
Análisis de suelos.	Antes de iniciar con los cultivos en la granja integral, se recomienda realizar un análisis previo de suelos, con dos muestras mínimas si el terreno tiene sectores planos y pendientes al mismo tiempo (una por cada sector), si el terreno solo es plano o inclina...	Procesos agropecuarios
El cilantro.	Es un alimento rico en Fósforo y Calcio, además contiene Vitaminas A y C; elementos indispensables en la alimentación diaria. Se utiliza como condimento en sopas y otros platos. C...	Cultivos - especias
El frijol.	El frijol es considerado como uno de los alimentos más importantes de la dieta, debido a su gran contenido en proteínas. El frijol es un grano necesario para la formación de los músculos, huesos y sa...	Cultivos - legumbres
El limón.	Suelo y clima: • Es la especie de los cítricos más sensible al frío, ya que es la más tropical y presenta floración casi continua. Los periodos de sequía seguidos de precipitaci...	Cultivos - frutas

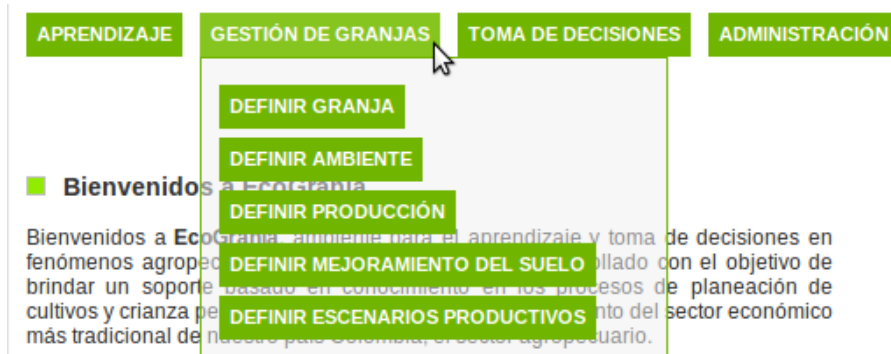
Mostrando registros del 1 al 4 de un total de 37 registros Primero Anterior 1 2 3 4 5 Siguiete Último

EcoGranja | Aprendizaje | Gestión de Granjas | Toma de decisiones | Administración

Fuente: autor

Las funcionalidades concernientes a la producción de granjas, se pueden visualizar en su respectivo menú, donde el usuario productor agropecuario, puede definir granjas, el ambiente de cada granja, las condiciones productivas para cada granja, políticas de mejoramiento de suelos, y al final relacionar las anteriores instancias en un elemento que se denominó escenario, el cual va a ingresar al sistema de simulación.

Figura 18. Menú Gestión de Granjas.



Fuente: autor

A manera de ejemplo se presenta en la siguiente gráfica, la interfaz de definición de granjas.

En esta interfaz de definición de granjas el usuario productor agropecuario puede ingresar los datos de una granja agropecuaria y referenciar sus coordenadas geográficas mediante la inclusión de una interfaz de visualización geográfica, basada en Google Maps, esta interfaz permite localizar gráficamente la ubicación de cualquier granja siempre y cuando Google Maps tenga la información geográfica.

A través de esta interfaz el usuario seleccionar los límites del terreno y definir el área de la granja, información que se consulta a Google Maps, el cual da acceso a las coordenadas longitudinales y latitudinales, así como la altitud de la granja y el área de la misma, información que se agrega al formulario para su disponibilidad en las futuras versiones del sistema.

Figura 19. Interfaz de definición de Granjas.

Bienvenido a EcoGranja
[Salir](#)
EcoGranja

APRENDIZAJE
GESTIÓN DE GRANJAS
TOMA DE DECISIONES
ADMINISTRACIÓN

Noticia: Bienvenido, John

Granja

Nombre de la Granja

Propietario

Dirección

Ciudad/Pueblo

Departamento/Estado

País

Datos geograficos

Latitud promedio

Longitud promedio

Altitud promedio

Área

Coordenada 1

Latitud <input type="text"/>	Longitud <input type="text"/>	Altitud <input type="text"/>
------------------------------	-------------------------------	------------------------------


Coordenada 2

Latitud <input type="text"/>	Longitud <input type="text"/>	Altitud <input type="text"/>
------------------------------	-------------------------------	------------------------------

Coordenada 3

Latitud <input type="text"/>	Longitud <input type="text"/>	Altitud <input type="text"/>
------------------------------	-------------------------------	------------------------------

[Registrar Granja](#)



Satellite

Google

Datos del mapa - Condiciones del servicio

Resize Asignar coordenadas

Listado de granjas

Mostrar **10** registros
Buscar:

Nombre	Usuario	Propietario	Dirección	Ciudad/Pueblo	Departamento/Estado	País	Latitud promedio	Longitud promedio	Altitud promedio
El Hangar	John	Universidad Industrial de Santander	Guatiguará	Piedecuesta	Santander	Colombia	1.0	2.0	3.0

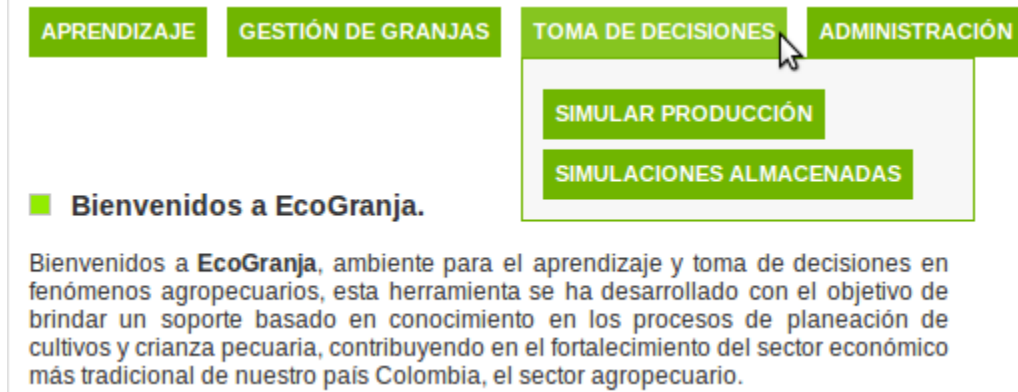
Mostrando registros del 1 al 1 de un total de 1 registros
Primero Anterior 1 Siguiente Último

[Nueva Granja](#)

EcoGranja
Aprendizaje
Gestión de Granjas
Toma de decisiones
Administración

Fuente: autor

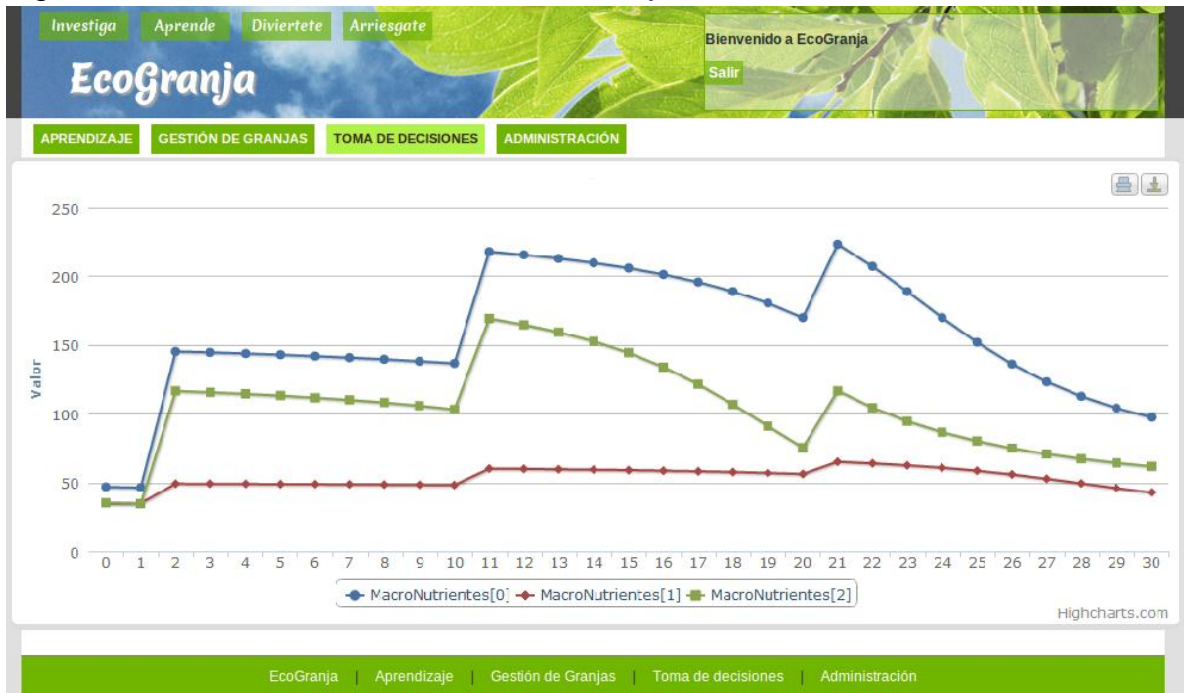
Figura 20. Menú Toma de decisiones.



Fuente: autor

El modulo toma de decisiones permite simular cada uno de los escenarios definidos en el módulo gestión de granjas, los cuales hacen uso del modelo general del fenómeno agropecuario, permitiendo que el usuario visualice el desarrollo de sus producciones agrícolas y de esta manera pueda tomar sus decisiones, además de esto el usuario puede guardar las simulaciones que le parecen más convenientes para su posterior uso.

Figura 21. Interfaz de simulación de EcoGranja.



Fuente: autor

En la anterior figura se realiza la simulación que se ha analizado durante el desarrollo del modelo general de granjas agropecuarias, donde se instancian los parámetros medioambientales correspondientes a la granja el Hangar de la universidad Industrial de Santander y a una producción de Maíz, en la gráfica se presenta el comportamiento de los macronutrientes.

Figura 22. Menú Administración.



Fuente: autor

El anterior menú permite gestionar cada uno de las entidades que compone EcoGranja, este menú solo es accesible a los usuarios administradores, debido a que pueden acceder a la totalidad de los datos almacenados en el sistema.

Las entidades que puede gestionar son:

- Usuarios
- Perfiles de usuarios
- Granjas
- Coordenadas geográficas
- Cultivos
- Producciones
- Ambiente
- Mejoramiento de suelos
- Artículos
- Categorías de artículos.

Figura 23. Interfaz de administración de usuarios.

Bienvenido a EcoGranja
Salir

APRENDIZAJE | GESTIÓN DE GRANJAS | TOMA DE DECISIONES | ADMINISTRACIÓN

■ Usuario

Nombre

Contraseña

Confirmar contraseña

Correo electrónico

Ocupación

Organización

Ciudad

Estado

País

Registrar usuario

■ Listado de usuarios

Mostrar 10 registros Buscar:

Nombre	Correo electrónico	Perfil	Ocupación	Organización	Ciudad	Departamento / Estado	País	Editar	Eliminar
claudia	claudia@gmail.com	PAP	Estudiante	UIS	Bucaramanga	Santander	Colombia	Editar	Eliminar
John	talent.corp@gmail.com	PAP	Investigador Asociado	Universidad Industrial de Santander	Bucaramanga	Santander	Colombia	Editar	Eliminar

Mostrando registros del 1 al 2 de un total de 2 registros Primero Anterior 1 Siguiente Último

Nuevo Usuario

EcoGranja | Aprendizaje | Gestión de Granjas | Toma de decisiones | Administración

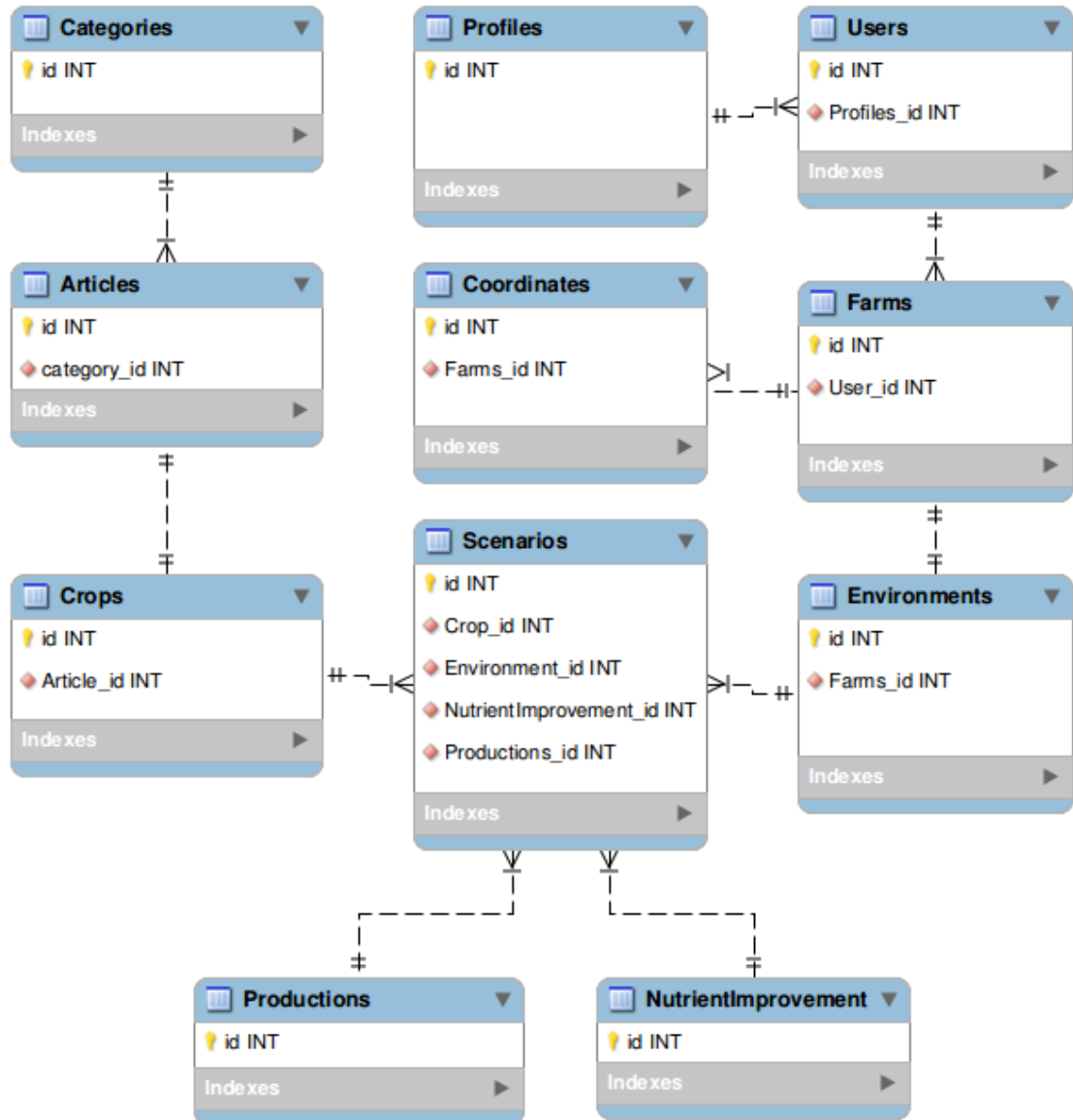
Fuente: autor

En la anterior figura se puede visualizar la interfaz general de administración de cualquier entidad del sistema EcoGranja, en esta interfaz se presentan los campos correspondientes a los atributos de la entidad, y al final se listan las instancias ya definidas de la misma, con la finalidad de permitir su edición o eliminación.

Las funcionalidades de EcoGranja permiten interactuar gráficamente con los componentes del ambiente como son el modelo de DS, la información del SIA y SIG y la base de datos de los escenarios, entre sus características se destaca un visualizador de relieves topográficos e información relevante que contribuye a cumplir los objetivos del ambiente.

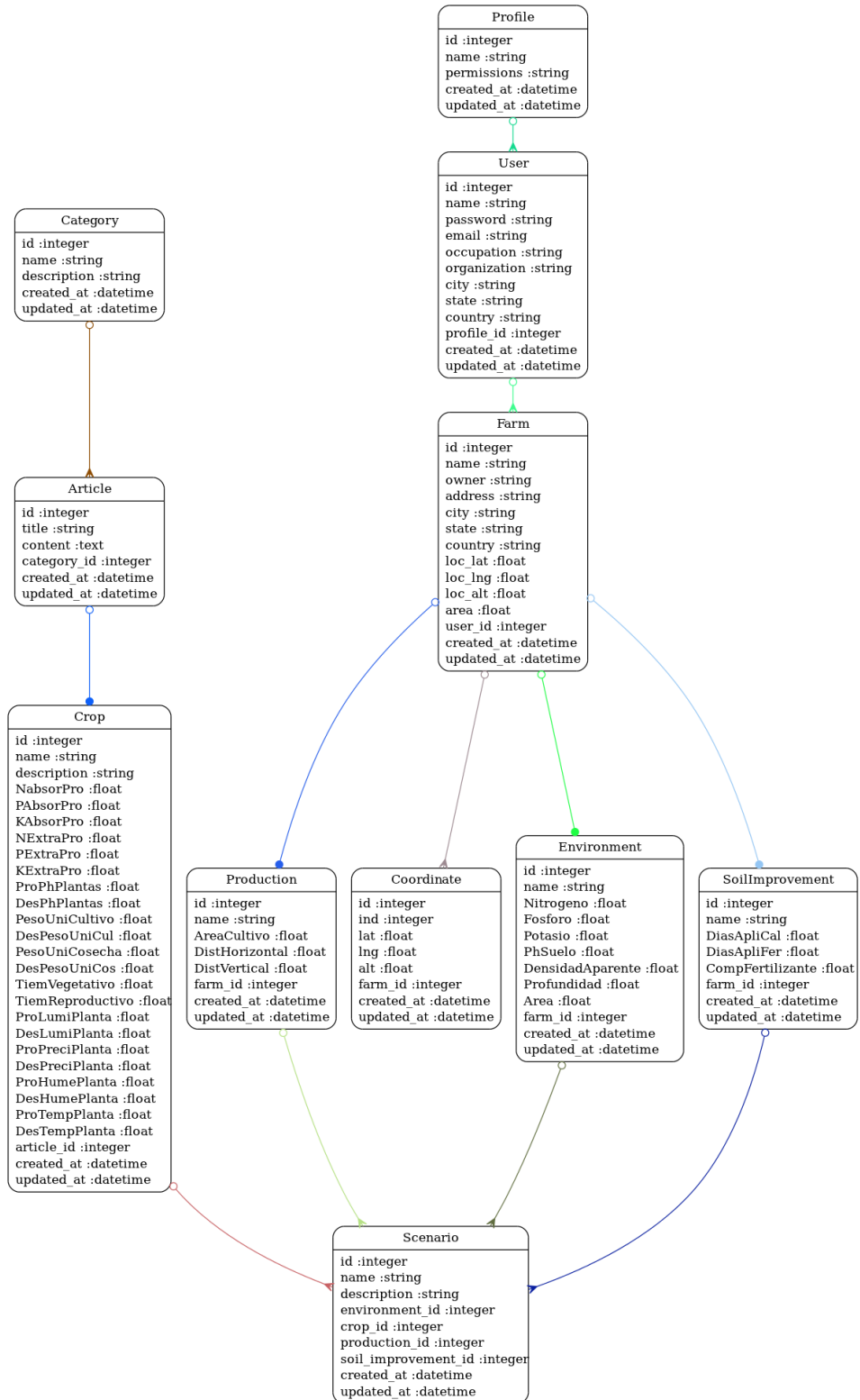
Cada una de las anteriores funcionalidades se soporta desde el modelo de datos, el cual se enuncia a continuación.

Diagrama 26. Diagrama del esquema de la base de datos de EcoGranja.



Fuente: Autor

Diagrama 27. Modelo de datos de EcoGranja.



Fuente: Autor.

7. EVALUACIÓN DEL AMBIENTE ECOGRANJA.

La evaluación del ambiente EcoGranja se puede dividir en dos grupos de actividades, el primero se cataloga como las actividades concernientes a la evaluación por parte de los expertos en dinámica de sistemas y el segundo se cataloga como la evaluación por parte de los usuarios productores agropecuarios.

El ambiente modelo general del fenómeno granjas agropecuarias fue presentado en tres ocasiones a comités científicos académicos de expertos en dinámica de sistemas durante la realización de congresos relacionados con la disciplina.

La primera evaluación fue realizada en el marco del IX Congreso Latinoamericano de Dinámica de Sistemas realizado en la ciudad de Brasilia (Brasil 2011), donde se presentó y fue aceptado en la modalidad de ponencia académica bajo el título “Ambiente para el aprendizaje y la toma de decisiones en las granjas agropecuarias, un enfoque Dinámico Sistémico.”, el trabajo fue catalogado por los calificadores como una innovación tecnológica.

La segunda evaluación fue realizada en el marco del X Encuentro Colombiano de Dinámica de Sistemas y XXIII Encuentro Universitario de Ingenieros Industriales (EUDII 23), realizado en la ciudad de Cali (Colombia 2012), donde se presentó y fue aceptado en la modalidad de ponencia académica bajo el título “Simulación con dinámica de sistemas en entornos Web y ejemplo de aplicación a través del ambiente EcoGranja”, en la presentación del trabajo se registró una asistencia de aproximadamente 100 personas.

La tercera evaluación fue realizada en el marco del X Congreso Latinoamericano de Dinámica de Sistemas, programado a celebrarse en la ciudad de Buenos Aires (Argentina - 2012), donde se presentó y fue aceptado en la modalidad de ponencia académica bajo el título “EcoGranja, Ambiente para el aprendizaje y la toma de decisiones en las granjas agropecuarias, basado en la dinámica de sistemas y soportado por tecnologías web”, en la evaluación de este trabajo se calificaron diferentes criterios como la pertinencia, la claridad, los antecedentes, los resultados, las conclusiones y la innovación del trabajo, obteniendo una calificación de veinticuatro puntos sobre veinticinco (24/25) y se recomendó como ponencia.

El segundo procesos de evaluación del ambiente EcoGranja se desarrolló mediante la presentación y socialización del proyecto a un grupo de estudiantes de la tecnología agroindustrial de la Universidad Industrial de Santander, donde se

realizó una exposición conceptual de los fenómenos dinámico sistémicos que el ambiente abordo, también se expuso y experimento las diferentes funcionalidades del ambiente.



La mayoría de los estudiantes que asistieron se pueden catalogar como usuarios productores agropecuarios, debido a que ellos tienen continuo contacto con las producciones agropecuarias, ya que en su mayoría son de familias de productores agropecuarios o están involucrados con proyectos productivos, en la actividad de evaluación se analizó el modelo dinámico sistémico del fenómeno de las granjas agropecuarias y se les presento las simulaciones del mismo, generando la aceptación de la propuesta, la evaluación como pertinente para sus trabajo y diversas recomendaciones, entre las cuales se destacan.

- La necesidad de establecer continuos mecanismos de validación del modelo, a partir de casos particulares y de la experiencia de los expertos, lo cual conducirá a la generación de nuevos modelos con mayor cobertura en cuanto a producciones y condiciones medioambientales.
- Los usuarios recomendaron que el sistema debería permitir su uso a manera de “caja negra” para los productores agropecuarios los cuales tienen el requisito de facilidad de uso, sin embargo se propone que el sistema se utilice a manera de “caja transparente”, donde los usuarios deben ingresar los mismos parámetros del enfoque de “caja negra”, pero ellos tienen la posibilidad de conocer como estos parámetros ingresan en las diversas funciones del sistema y como producen los resultados generados.
- Los usuarios consideran importante que el modelo se adapte a situaciones particulares de cultivos y crianzas pecuarias, al nivel de permitir múltiples especies de la misma familia de plantas y múltiples razas de la misma familia de animales, lo cual conduciría a ampliar el modelo debido a las características particulares que involucra este requisito.

8. RECURSOS UTILIZADOS.

Modelado y simulación.

Tabla 12. Herramientas de modelado y simulación con dinámica de sistemas.


Nombre	Versión	Descripción	Enlace Web
Evolución 	4.1	Herramienta de modelado y simulación con dinámica de sistemas desarrollada en el Grupo SIMON de investigaciones, permite modelar en lenguaje de influencias, de flujo nivel, de ecuación y también realizar simulaciones de los modelos.	http://simon.uis.edu.co/
Evolución Web. 	1.0	Herramienta de simulación en la Web con dinámica de sistemas que permite simular modelos desarrollados en el Software Evolución, este es un producto resultado del presente trabajo.	http://evolucion.simon.uis.edu.co/





Fuente: Grupo SIMON de investigaciones y Autor

Ambiente EcoGranja.

Recursos de tecnologías de la información por parte del servidor.

Tabla 13. Recursos software utilizados del lado del servidor.

Nombre	Versión	Descripción	Enlace Web
Ruby  Ruby <i>A Programmer's Best Friend</i>	1.9.3	Un lenguaje de programación interpretado, reflexivo y orientado a objetos, se enfoca en la simplicidad y productividad, es de código abierto.	http://www.ruby-lang.org/es/
Ruby On Rails.	3.2.5	Es un framework que	http://rubyonrails.org/

		<p>permite el desarrollo de aplicaciones web que utilicen el lenguaje de programación Ruby, sigue el paradigma de la arquitectura Modelo, Vista, Controlador (MVC)</p> <p>ls.org/</p>
<p>PostgreSQL.</p> 	<p>8.4.11</p>	<p>Es un sistema de gestión de base de datos (SGBD) relacional orientado a objetos y libre, publicado bajo la licencia BSD.</p> <p>http://www.postgresql.org/</p>
<p>Apache Http Server.</p> 	<p>2.2.17</p>	<p>Es un servidor web HTTP de código abierto multiplataforma, presenta características altamente configurables, bases de datos para autenticación y contenido, es el servidor web de mayor uso consolidándose como estándar de facto.</p> <p>http://httpd.apache.org/</p>
<p>Dynamic Shared Object (DSO)</p> 		<p>Tecnología que permite implementar y utilizar la modularidad del servidor Http Apache, permite desarrollar módulos desde diferentes lenguajes de programación, siempre y cuando se cumplan con las especificaciones.</p> <p>http://httpd.apache.org/docs/2.2/dso.html</p>

Fuente: Organizaciones y comunidades de software libre e internet

Recursos de tecnologías de la información del lado del cliente.

Tabla 14. Recursos software utilizados del lado del cliente.


Nombre	Versión	Descripción	Enlace Web
<p>HTML5</p> 	5	Quinta versión del lenguaje HTML esencial para la codificación en la World Wide Web, se distribuye a través de dos variantes HTML y XHTML.	http://www.w3.org/TR/html5/
<p>JavaScript.</p> 	1.8.5	Lenguaje de programación interpretado, orientado a objetos, imperativo, débilmente tipado y dinámico. Su principal uso es soportar la programación del lado del cliente en entornos web.	http://www.ecma-international.org/publications/standards/Ecma-262.htm
<p>JavaScript JQuery</p> 	1.8.2	Jquery es una librería escrita sobre el lenguaje JavaScript, que se caracteriza por la rapidez y consistencia en su código, simplifica la referenciación en los documentos HTML, el manejo de eventos, animaciones y las interacciones Ajax.	
JavaScript Canvas K3D	1.0	Es una librería escrita sobre el lenguaje JavaScript que permite	http://en.wikibooks.org/wiki/K3D_JavaScri

		<p>representar gráficos computacionales en 2D y 3D, requiere compatibilidad con HTML5, pero no con WebGL, también proporciona soporte a un amplio conjunto de primitivas gráficas.</p>	pt Canvas Library
<p>Cascading Style Sheets (CSS)</p> 	<p>3</p>	<p>Es un lenguaje de hojas de estilo que permite describir la presentación de un documento escrito en lenguaje tipado.</p> <p>Ampliamente utilizado en el estilo de las páginas Web</p>	http://www.w3.org/Style/CSS/
<p>eXtensible Markup Language (XML)</p> 	<p>1.1</p>	<p>Lenguaje de marcado extensible es un formato que permite definir un conjunto de reglas para codificar documentos en formatos de fácil comprensión para el ser humano, como para las computadoras.</p>	http://www.w3.org/XML/

Fuente: Organizaciones y comunidades de software libre e internet

Utilitarios

Tabla 15. Recursos software de apoyo en el proceso de desarrollo.

Nombre	Versión	Descripción	Enlace Web
<p>Aptana Studio</p> 	<p>3</p>	<p>Es un entorno de desarrollo integrado, que da soporte al desarrollo de proyectos basados en la Web,</p>	www.aptana.com/

		principalmente soporta el desarrollo de software sobre tecnologías como HTML, DOM, CSS, JS y Ajax, su licencia es código abierto.
<p>Notepad++</p> 	5.1.4	<p>Es un editor de código fuente que soporta el desarrollo en varios lenguajes de programación, se distribuye bajo la licencia GPL License</p> <p>http://notepad-plus-plus.org/</p>
<p>PgAdmin.</p> 	3	<p>Es la plataforma de administración y desarrollo más popular y rica en funcionalidades para el SGBD PostgreSQL</p> <p>http://www.pgadmin.org/</p>
<p>Phusion Passenger</p> 	3.0.12	<p>Permite el despliegue de aplicaciones web basadas en Ruby en servidores web Apache y Nginx, conservando la facilidad y la robustez en el proceso.</p> <p>http://www.modrails.com/</p>
<p>Cientes SSH (Putty)</p> 	0.62	<p>Es un cliente SSH y Telnet, de código abierto</p> <p>www.putty.org/</p>

9. APORTES.

9.1 PROPUESTA E IMPLEMENTACIÓN DE MODELOS DE DINÁMICA DE SISTEMAS EN FORMATO XML.

La dinámica de sistemas como lenguaje se ha desarrollado por medio de múltiples aportes en cada una de las comunidades académicas y científicas donde ha soportado procesos investigativos, sin embargo no ha existido una estandarización en los formatos de representación de cada uno de los lenguajes de la dinámica de sistemas, inclusive existen múltiples tendencias en uno de los lenguajes fundamentales como lo es el diagrama de Flujo-Nivel que fue derivado del diagrama de Forrester, por ejemplo una diferencia es la forma de representar gráficamente los flujos, pero la falta de estandarización se acrecienta al analizar las representaciones conceptuales de la dinámica de sistemas en formatos que estructuran datos, la mayoría de las herramientas de modelado y simulación estructuran los modelos dinámico sistémicos en formatos computacionales que limitan sus usabilidad al uso de la misma herramienta, por otro lado algunas herramientas estructuran sus modelos en formatos de marcado de datos, pero no existe un estándar en dicha implementación.

Esta falencia detectada no solo revela inconsistencias en términos computacionales, sino que revela inconsistencias en términos de compartir la información, en términos de representar de manera estándar los datos y en términos eliminar la dependencia de los modelos a determinadas herramientas, todas estas falencias se pueden mitigar e inclusive solucionar, si se desarrolla y se asume un estándar de representación de los datos que componen los modelos dinámico-sistémicos por parte de las comunidades relacionadas con la dinámica de sistemas, es por esto que se realiza un aporte a la dinámica de sistemas al detectar las anteriores falencias y proponer un esquema de representación de datos.

El esquema de representación de datos se basa en XML y permite representar a través de etiquetas cada uno de los componentes y de las entidades que conforman un modelo dinámico-sistémico.

La representación en XML propuesta se compone principalmente de etiquetas y datos, las etiquetas encapsulan conceptos y los datos particularizan cada concepto, siendo esto coherente con el estándar XML.

El formato propuesto establece las siguientes etiquetas:

Tabla 16. Descripción de las etiquetas del modelo dinámico-sistémico en XML.

Nombre	Instancias	Descripción
Modelo	<modelo>	Indica y contiene la descripción del modelo dinámico-sistémico, es la etiqueta inicial de cualquier tipo de modelo en el presente formato, solo debe haber una etiqueta de este tipo en cada documento.
Lenguaje	<prosa> <influencias> <flujonivel> <comportamientos>	Indica y contiene los modelos de cada lenguaje de la dinámica de sistemas, cada instancia solo puede estar una vez y debe estar contenidas dentro del elemento <modelo>
Parámetro	<parametro>	Representa un parámetro del modelo en lenguaje flujo-nivel, este elemento solo puede estar contenido dentro del elemento <flujonivel>
Variable Auxiliar	<auxiliar>	Representa una variable auxiliar del modelo en lenguaje de flujo-nivel, este elemento solo puede estar contenido dentro del elemento <flujonivel>
Flujo	<flujo>	Representa un flujo del modelo en lenguaje de flujo-nivel, este elemento solo puede estar contenido dentro del elemento <flujonivel>
Nivel	<nivel>	Representa un nivel del modelo en lenguaje de flujo-nivel, este elemento solo puede estar contenido dentro del elemento <flujonivel>
Multiplicador	<multiplicador>	Representa un multiplicador del modelo en lenguaje de flujo-nivel, este elemento solo puede estar contenido dentro del elemento <flujonivel>
Exógena	<exogena>	Representa una variable exógena del modelo en lenguaje de flujo-nivel, este elemento solo puede estar contenido dentro del elemento <flujonivel>
Identificador	<id>	Es un valor único para cada elemento con el cual se puede identificar y referenciar, la etiqueta debe estar dentro de cada elemento de los modelos y su valor puede contener tanto letras como numeros.
Dimensión	<dim>	Es un valor que determina la dimensión de cada elemento, en el lenguaje de flujo-nivel representa la cantidad de elementos en un

		vector.
Definición	<def>	Es el valor o ecuación que define el comportamiento del elemento en la simulación correspondiente.
Descripción	<des>	Es la descripción textual del elemento donde está contenida la etiqueta, facilita la ayuda en la comprensión de los fenómenos.
Flujos	<flujos>	Etiqueta agrupa los flujos de un nivel, tanto los flujos de entrada como de salida, esta etiqueta solo puede utilizarse dentro de un elemento de tipo <nivel>
Conexiones	<conexiones>	Representa las conexiones que tiene cada elemento, por esto debe estar dentro de un elemento, solo puede contener etiquetas internas de tipo <entran> o <salen>, dependiendo del comportamiento del elemento.
Conexiones que salen	<salen>	Etiqueta que agrupa las conexiones que tiene el elemento en el cual está contenida en sentido de salida, y que hace referencia a cada uno de los elementos que son influidos por el elemento actual.
Elementos que son afectados por el elemento actual	<sal>	Etiqueta que hace referencia al identificador de cada uno de los elementos que son afectados por el elemento actual
Conexiones que entran	<entran>	Etiqueta que agrupa las conexiones que tiene el elemento en el cual está contenida en sentido de entrada, y que hace referencia a cada uno de los elementos que influyen en el elemento actual.
Elementos que afectan al elemento actual	<ing>	Etiqueta que hace referencia al identificador de cada uno de los elementos que afectan al elemento actual

Fuente: Autor

El siguiente formato esquematiza, la representación en XML del modelo dinámico-sistémico.

Tabla 17. Representación en XML del modelo un modelo dinámico-sistémico.

```

1. //Modelo dinámico-sistémico en formato XML:
2. <?xml version="1.0" encoding="ISO-8859-1"?>
3. <modelo>
4. <flujonivel>
5.   <parametro>
6.     <id> Identificador </id>
7.     <dim>numero</dim>
8.     <def> numero | ecuación </def>
9.     <des>Descripción</des>
10.    <conexiones>
11.      <salen>
12.        <sal> Identificador </sal>
13.      </salen>
14.    </conexiones>
15.  </parametro>
16.  <auxiliar>
17.    <id> Identificador </id>
18.    <dim> 1 </dim>
19.    <def> Identificador | numero | ecuación </def>
20.    <des> Descripción </des>
21.    <conexiones>
22.      <entran>
23.        <ing> Identificador </ing>
24.      </entran>
25.      <salen>
26.        <sal> Identificador </sal>
27.      </salen>
28.    </conexiones>
29.  </auxiliar>
30.  <nivel>
31.    <id> Identificador </id>
32.    <dim> numero </dim>
33.    <def> numero | ecuación </def>
34.    <des></des>
35.    <flujos>
36.      <entran>
37.        <ing> Identificador </ing>
38.      </entran>
39.      <salen>
40.        <sal> Identificador </sal>
41.      </salen>
42.    </flujos>
43.    <conexiones>
44.      <entran>
45.        <ing> Identificador </ing>
46.      </entran>
47.      <salen>
48.        <sal> Identificador </sal>
49.      </salen>
50.    </conexiones>
51.  </nivel>
52. </flujonivel>
53. </modelo>

```

Con la aplicación del anterior formato a los modelos dinámico-sistémicos se contribuye en la representación estandarizada, en la interoperabilidad y en facilidad de compartir los modelos dinámicos sistémicos.

9.2 DESARROLLO DE LIBRERÍA DSO TIPO INTERFAZ ENTRE EL NÚCLEO DE EVOLUCIÓN Y UN SERVIDOR WEB.

Con la finalidad de simular los modelos de dinámica de sistemas en ambientes de Internet, se propone y desarrolla una interfaz software entre el núcleo del software Evolucion y un Servidor Web, permitiendo así utilizar algunas funcionalidades de Evolucion, sin requerir nuevos desarrollos de software que permitan modelar y simular con Dinámica de sistemas en ambientes de Internet.

Indagando sobre las posibles tecnologías de interconectividad entre el lenguaje Delphi en el cual se desarrolló el software Evolución, y el Servidor Web Apache que ha sido adoptado como un estándar de facto, se encontraron las siguientes tecnologías que corresponden a las “Web Server Application” que ofrece el Entorno Integrado de Desarrollo (IDE) de Delphi 7.

- ISAPI/NSAPI Dynamic Link Library.
- CGI Stand-Alone Executable.
- Apache 1.x Shared Module (DLL).
- Apache 2.x Shared Module (DLL).

Analizando las anteriores tecnologías se concluye que las tecnologías de ISAPI/NSAPI³¹ no son convenientes para el presente proyecto porque dependen del servidor web Internet Information Services (IIS), que requiere exclusivamente un servidor con el sistema operativo Microsoft Windows, y este por ser un sistema operativo enfocado en el usuario multitarea, ofrece poco rendimiento como Servidor Web, otra opción es la tecnología CGI Stand-alone executable³², la cual es un estándar de facto para la interconectividad de aplicaciones nativas del servidor con el software Servidor Web, sin embargo esta tecnología demanda el desarrollo de un aplicativo, que pueda incorporarse al ambiente del servidor Web, lo que repercute en realizar un nuevo desarrollo de Evolucion, debido a este requisito se decidió descartar dicha tecnología, sin embargo la tecnología Apache

³¹ Referencia en internet: ISAPI, Extending Web Servers with ISAPI

³² Definición de la tecnología explicada en el libro de: LUJÁN MORA

Shared Module³³ establece la especificación de los módulos de Apache HTTP Server, como que permiten realizar interfaces de conexión, lo que permite establecer desarrollos que se incorporen directamente con el servidor Web Apache HTTP Server y que no demandan un desarrollo independiente.

Por el anterior análisis se decide utilizar la tecnología Apache Shared Module¹⁵, y el método seguido para desarrollar esta conexión es el siguiente:

1. Extracción del núcleo de Evolución:

En esta etapa se analizó el código fuente del software Evolución y se extrajo el código que gestiona el modelo de datos del mismo, con la finalidad de obtener un código independiente del código de control y de visualización, además se depuro para obtener la mínima cantidad de instrucciones posibles, para lograr una ejecución en tiempos mínimos.

2. Integración con la especificación DSO:

A partir del código fuente que gestiona el modelo de datos de Evolución se complementó con unidades de Delphi que permiten cumplir la especificación DSO, las unidades integradas son:

- HTTPD2: Corresponde a la implementación del protocolo HTTP para Delphi, lo que permite interpretar peticiones y generar respuestas a dichas peticiones, en general define la sintaxis y la semántica que utilizan los elementos de software de la arquitectura Web.
- ApacheTwoHTTP: Corresponde a una interfaz que permite al servidor web Apache interactuar con el protocolo HTTP, esta unidad hace uso de la unidad HTTPD2.
- ApacheTwoApp: Corresponde a una interfaz que permite definir aplicaciones web desarrolladas en Delphi, que se acoplen con el servidor Web Apache, permite interpretar los archivos de encabezado, esta unidad hace uso de la unidad HTTPD2 y de ApacheTwoHTTP.

³³ Referencia en internet: Soporte de objetos dinámicos compartidos (DSO)

Se debe crear una Web Server Application para Apache 2.x, a la cual se añaden las anteriores unidades (que se encuentran en el CD de recursos del presente proyecto), a este se enlazan los usos a las unidades: WebBroker, ApacheTwoApp y de una unidad Main que corresponde al módulo que se vinculará con con Apache HTTP Server.

En la unidad Main, se hace uso de las unidades: SysUtils, Classes y HTTPApp, y se define un TYPE que herede del TYPE TWebModule, al cual se le definirá un procedimiento que generará la respuesta a las solicitudes del cliente.

Para culminar la definición de los requisitos de la especificación DSO, se deben adicionar las siguientes instrucciones al archivo del proyecto principal:

Instrucciones:

```
{ $E so }  
{ $LIBPREFIX 'mod_' }
```

Las cuales permiten definir la salida de la librería DSO en formato Shared Object (SO) de Linux, y anteponer la palabra “mod_” al nombre de la librería que se generará.

3. Actualización de la aplicación web al estándar de Apache 2.x.

Los anteriores pasos dan origen a librerías compatibles con versiones anteriores al servidor web Apache 2.0, lo cual genera problemas de actualización debido a que la versión del servidor web Apache a la fecha del presente proyecto se encuentra en 2.4.1, por lo cual se hace necesario actualizar algunas instrucciones de las unidades definidas en la anterior etapa.

Indagando en la Internet se encontró una serie de instrucciones definidas por Bob Swart³⁴, entre los aportes realizados se encuentran actualizar las siguientes instrucciones de la unidad HTTPD2, con lo cual se permite la integración con versiones del servidor web Apache superiores a 2.x.

³⁴ Método para implementar DSO entre Delphi y Apache 2, por Bob Swart

Tabla 18. Cambios en la Unidad HTTPD2 para Apache 2.x

Old HTTPD2.pas	New HTTPD2.pas
LibAPR = 'libapr.dll'; {do not localize}	LibAPR = 'libapr-1.dll'; {do not localize}
MODULE_MAGIC_COOKIE = \$041503230; (* "AP20" *) {EXTERNALSYM MODULE_MAGIC_COOKIE} MODULE_MAGIC_NUMBER_MAJOR = 20020903; { Apache 2.0.42 } {EXTERNALSYM MODULE_MAGIC_NUMBER_MAJOR} MODULE_MAGIC_NUMBER_MINOR = 0; (* 0...n *)	MODULE_MAGIC_COOKIE = \$041503232; (* "AP22" *) {EXTERNALSYM MODULE_MAGIC_COOKIE} MODULE_MAGIC_NUMBER_MAJOR = 20051115; { Apache 2.2.x } {EXTERNALSYM MODULE_MAGIC_NUMBER_MAJOR} MODULE_MAGIC_NUMBER_MINOR = 0; (* 0...n *)
{EXTERNALSYM apr_bucket_alloc_t}	{EXTERNALSYM apr_bucket_alloc_t} ap_conn_keepalive_e = (AP_CONN_UNKNOWN, AP_CONN_CLOSE, AP_CONN_KEEPALIVE);
(** Are we going to keep the connection alive for another request? * @see ap_conn_keepalive_e *) {keepalive: ap_conn_keepalive_e;}	(** Are we going to keep the connection alive for another request? * @see ap_conn_keepalive_e *) keepalive: ap_conn_keepalive_e;
(** The bucket allocator to use for all bucket/brigade creations *) bucket_alloc: Papr_bucket_alloc_t; end;	(** The bucket allocator to use for all bucket/brigade creations *) bucket_alloc: Papr_bucket_alloc_t; // New for Apache 2.2 (** The current state of this connection *) cs: Pointer; (** Is there data pending in the input filters? *) data_in_input_filters: Integer; end;

Fuente: Bob Swart

4. Generación e implantación del módulo DSO.

En el Entorno de Desarrollo Integrado de Delphi, se compila el proyecto y en el directorio del mismo se genera un archivo con la extensión “.so”, el cual se debe copiar al directorio “modules” de la ruta principal del servidor web Apache, y como paso final se referencia el DSO en el archivo principal de configuración de Apache que se titula “httpd.conf”, en el cual se debe agregar las siguientes instrucciones en la sección de “Dynamic Shared Object (DSO) Support”:

Tabla 19. Cambios en httpd.conf para enlazar el DSO.

Instrucciones en “httpd.conf”
LoadModule “nombre_modulo” modules/“nombre_archivo_modulo”.so
<Location /“url_web_service”>
SetHandler “nombre_archivo_modulo”-handler
</Location>

5. Implementación del módulo DSO en ambientes UNIX.

Se indagó sobre la implementación e instalación de este módulo en sistemas UNIX y se concluyó que para su correcta instalación se debe compilar el módulo en un compilador compatible con UNIX, pero debido al lenguaje de programación DELPHI con el que fue desarrollado el Software Evolución y que fue asumido al reutilizar su código fuente para realizar el actual módulo denominado Evolución Web, se presentaron problemas de incompatibilidad ya que DELPHI es un lenguaje cerrado que limita su operatividad a entornos Windows, intentando superar esta limitante se indagó y encontró el compilador de DELPHI para entornos basados en UNIX, se denomina Kylix, sin embargo este proyecto fue abandonado en su tercera versión, siendo incompatible con la versión de DELPHI en la cual se desarrolló el motor evolución enfocado en la Web.

La solución asumida actualmente es ejecutar el módulo de evolución web sobre el servidor Web Apache instalado sobre un sistema operativo Windows.

9.3 PROTOTIPO DE AMBIENTE DE SIMULACIÓN EN ENTORNOS WEB.

Una vez planteada la propuesta de representar los modelos de dinámica de sistemas en formato XML y realizada su correspondiente implementación, se determinó la necesidad de validar la funcionalidad de tal tecnología, es por esto que se desarrolló un prototipo de Ambiente de Simulación de modelos dinámico-sistémicos basado en tecnologías web, como lo son: JavaScript (JS), Asynchronous JavaScript And XML (AJAX), JQuery, Document Object Model (DOM), HyperText Markup Language (HTML) y Cascading Style Sheets (CSS).

Para realizar el desarrollo del ambiente Evolución Web se debió implementar los siguientes elementos:

- Las funciones matemáticas integradas de Evolución 4.1, en total 68 funciones matemáticas que se debieron codificar completamente.
- Las estructuras computacionales que representan el modelo de flujo-nivel de la dinámica de sistemas.
- Un organizador de elementos del modelo de flujo-nivel que permite resolver la secuencia de recorrido del grafo que representa los elementos y sus relaciones en el lenguaje de flujo-nivel.
- Un generador de código que traduce las estructuras del lenguaje de flujo nivel a código en lenguaje de ecuaciones, que permite la ejecución de cada una de las instancias del modelo que se está simulando.

La interfaz gráfica web del ambiente Evolución Web se puede observar en la *Figura 24*, donde existen los siguientes sectores:

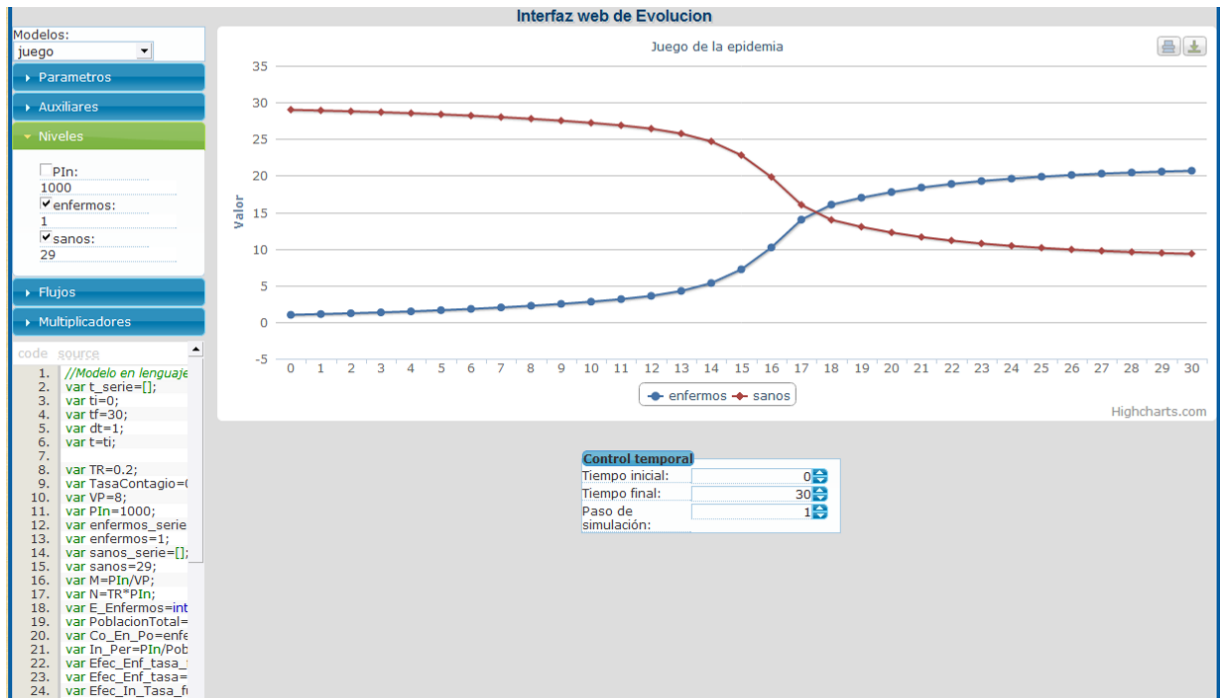
- Sector Modelos: ubicado en la parte superior izquierda de la interfaz de simulación, permite seleccionar los modelos dinámico-sistémicos para su correspondiente simulación.
- Sector Flujo-Nivel: ubicado en la parte central izquierda de la interfaz de simulación, permite identificar los elementos del diagrama de flujo-nivel y realizar su correspondiente simulación, también soporta la edición en tiempo de ejecución de la definición de cada elemento.
- Sector Modelo de ecuaciones, ubicado en la parte inferior izquierda de la interfaz de simulación, permite visualizar el modelo dinámico-sistémico en tiempo de correspondiente a cada simulación.

- Sector simulación: ubicado en la parte superior de la interfaz de simulación, representa la gráfica de los comportamientos, correspondientes a los elementos seleccionados para simulación.
- Sector de control temporal: ubicado en la parte inferior de la interfaz de simulación, permite visualizar y controlar los parámetros temporales que rigen las simulaciones.

En las siguientes figuras se observa los ambientes de simulación correspondientes a Evolución Web (Figura 24) y Evolución 4.1 (Figura 25), simulando el modelo dinámico-sistémico correspondiente al Juego de la Epidemia, modelamiento que representa el contagio de una epidemia en una población de 30 personas, donde una persona está contagiada al principio de la misma.

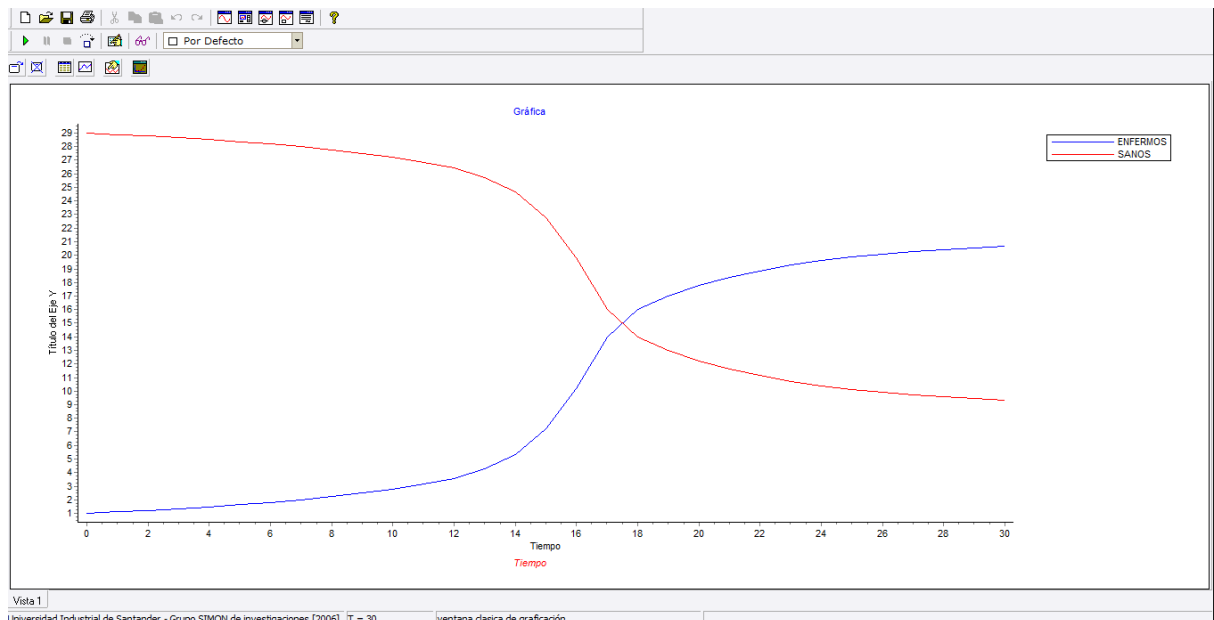
En las gráficas se puede observar como aumenta la cantidad de enfermos y como disminuye la cantidad de personas sanas en el desarrollo de la simulación.

Figura 24. Interfaz gráfica de Evolución Web, simulando el juego de la epidemia.



Fuente: Autor, se puede consultar en: evolucion.simon.uis.edu.co

Figura 25. Interfaz gráfica de Evolución 4.1, simulando el juego de la epidemia.



Fuente: Autor, se puede consultar en: simon.uis.edu.co

Las anteriores dos figuras representan los mismos comportamientos del modelo del fenómeno del Juego de la Epidemia, lo cual demuestra que el ambiente Evolución Web cumple con las funcionalidades esperadas, sin embargo se realizó la siguiente tabla comparativa de los valores numéricos de las variables simuladas.

Tabla 20. Tabla comparativa de la precisión numérica entre las simulaciones realizadas en Evolución 4.1 y Evolución Web.

Tiempo de simulación	Evolución 4.1		Evolución Web		Porcentaje de error	
	Enfermos	Sanos	Enfermos	Sanos	P.E. Enfermos	P.E. Sanos
0	1,000000	29,000000	1,000000	29,000000	0,0E+00	0,0E+00
1	1,098484	28,901516	1,098484	28,901516	0,0E+00	0,0E+00
2	1,208382	28,791618	1,208382	28,791618	8,3E-15	3,6E-15
3	1,331362	28,668638	1,331362	28,668638	7,5E-15	3,5E-15
4	1,469405	28,530595	1,469405	28,530595	0,0E+00	0,0E+00
5	1,624881	28,375119	1,624881	28,375119	0,0E+00	3,5E-15
6	1,800646	28,199354	1,800646	28,199354	0,0E+00	0,0E+00
7	2,000160	27,999840	2,000160	27,999840	5,1E-15	3,6E-15

8	2,227655	27,772345	2,227655	27,772345	4,4E-15	3,6E-15
9	2,488340	27,511660	2,488340	27,511660	0,0E+00	3,7E-15
10	2,788683	27,211317	2,788683	27,211317	0,0E+00	3,7E-15
11	3,136782	26,863218	3,136782	26,863218	0,0E+00	0,0E+00
12	3,582231	26,417769	3,582231	26,417769	2,9E-15	0,0E+00
13	4,254577	25,745423	4,254577	25,745423	0,0E+00	3,9E-15
14	5,333417	24,666583	5,333417	24,666583	0,0E+00	4,0E-15
15	7,208502	22,791498	7,208502	22,791498	1,4E-15	4,4E-15
16	10,197472	19,802528	10,197472	19,802528	9,8E-15	0,0E+00
17	13,984541	16,015459	13,984541	16,015459	7,1E-15	0,0E+00
18	16,034493	13,965507	16,034493	13,965507	0,0E+00	7,1E-15
19	16,998161	13,001839	16,998161	13,001839	0,0E+00	7,7E-15
20	17,764672	12,235328	17,764672	12,235328	0,0E+00	8,3E-15
21	18,374129	11,625871	18,374129	11,625871	0,0E+00	8,6E-15
22	18,865593	11,134407	18,865593	11,134407	0,0E+00	8,9E-15
23	19,266283	10,733717	19,266283	10,733717	0,0E+00	9,4E-15
24	19,594467	10,405533	19,594467	10,405533	0,0E+00	9,7E-15
25	19,864505	10,135495	19,864505	10,135495	5,0E-15	0,0E+00
26	20,087666	9,912334	20,087666	9,912334	5,0E-15	9,0E-16
27	20,272817	9,727183	20,272817	9,727183	0,0E+00	2,2E-15
28	20,426975	9,573025	20,426975	9,573025	0,0E+00	2,7E-13
29	20,555728	9,444272	20,555728	9,444272	0,0E+00	1,1E-15
30	20,663553	9,336447	20,663553	9,336447	0,0E+00	9,5E-16

Fuente: Autor

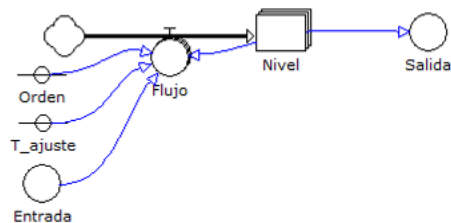
La anterior tabla comparativa evaluó cada uno de los resultados de la simulación del modelo del fenómeno del Juego de la epidemia para sus principales variables (sanos y enfermos), y se encontró que comparando cada uno de los resultados en el progreso de una simulación de treinta días el máximo error encontrado fue de 2.7×10^{-13} , y este error se debió a que Evolución Web simula con una mayor precisión que Evolución 4.1, el bajo valor de este error representa un buen indicador sobre la confiabilidad de las simulaciones realizadas en Evolución Web.

9.4 PROPUESTA DE NUEVOS ELEMENTOS DE MODELADO Y SIMULACIÓN CON DINÁMICA DE SISTEMAS.

Una característica esencial en el modelado con dinámica de sistemas es el soporte de retardos, los cuales cual permiten representar efectos sobre la estructura del sistema en tiempos posteriores al tiempo en que se aplica, en el diagrama de Flujo-Nivel se representa los retardos con el elemento retardo que permite modelar a alto nivel dichos efectos.

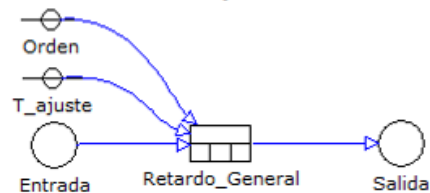
Los retardos en términos de diagramas de flujo nivel se definen a través de cadenas de flujos y niveles donde se acumula la información, el valor del retardo es determinado por el valor del último nivel en la cadena de elementos mencionada, en entornos de modelado con dinámica de sistemas se ha encapsulado esta cadena en un elemento, la cadena de flujos y niveles y, el elemento retardo que se presentan a continuación.

Figura 26. Cadena de flujos y niveles que representan los retardos.



Fuente: Autor

Figura 27. Elemento retardo en el lenguaje de Flujo-Nivel.



Fuente: Autor.

Los parámetros y elementos relacionados con los retardos son:

- Entrada: Es una cantidad de material que se transmitirá por el retardo.

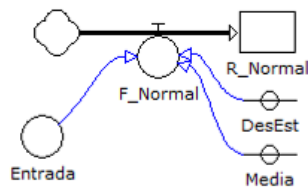
- Tiempo de Ajuste: es el tiempo promedio que tarda la información en pasar de a través del retardo.
- Orden del Retardo: es la cantidad de niveles intermedios que conforman el retardo, por los cuales pasa el material. Por defecto el orden del retardo es uno.

Sin embargo en términos generales los conceptos de orden y tiempo de ajuste no son fácilmente identificables en los fenómenos naturales, esta característica dificulta la curva de aprendizaje tanto para los modeladores, como para usuarios interesados en conocer la dinámica de los modelos. Los retardos tradicionales no permiten su ubicación en instantes de tiempo de simulación específicos, limitantes condujo la investigación en la determinación de una propuesta alternativa de construcción de retardos, la cual se aplicó a los modelos del presente trabajo de investigación.

La propuesta se tituló “retardos estadísticos” y hace uso precisamente de los conceptos de la estadística para definir retardos, los conceptos asumidos son los parámetros de cada distribución, en caso de la distribución más usual, la distribución normal, se asumen los parámetros de la media y la desviación estándar, estos parámetros son ampliamente conocidos por modeladores y no modeladores lo que facilita su aprendizaje y uso.

La propuesta se basa en sustituir la utilización de cadenas de flujos – niveles para representar retardos, por un flujo y un nivel, donde el flujo se comporta de acuerdo a la función de densidad de cada distribución, para el caso de la distribución normal la nueva propuesta se representa en la siguiente figura.

Figura 28. Propuesta de Retardo Estadístico.



Fuente: Autor.

En la *Figura 28*, se aprecia un modelo de flujo-nivel, compuesto por una variable de entrada que contiene la cantidad de material que se retardara, también se encuentran los parámetros media y desviación estándar que permiten instanciar el modelo y efectuar el comportamiento correspondiente a los mismos parámetros de

la distribución normal, el flujo de este modelo se definió con la función de densidad de la distribución normal (*ecuación 1*), lo que genera el comportamiento normal, finalmente el nivel del modelo representa la salida del retardo.

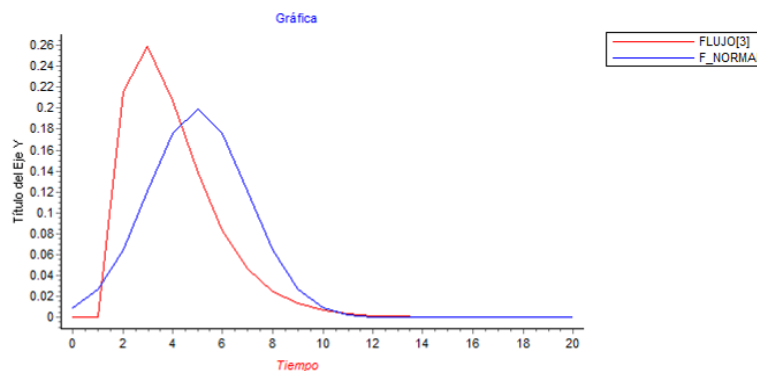
Ecuación 1. Función de densidad de la Función Normal.

$$f(x) = \frac{1}{\sigma\sqrt{2\pi}} e^{-\frac{1}{2}\left(\frac{x-\mu}{\sigma}\right)^2}$$

Fuente: Estadística clásica

El aporte al estado del arte en retardos de la dinámica de sistemas se puede comprobar por la familiaridad de los nuevos parámetros propuestos y por los siguientes comportamientos:

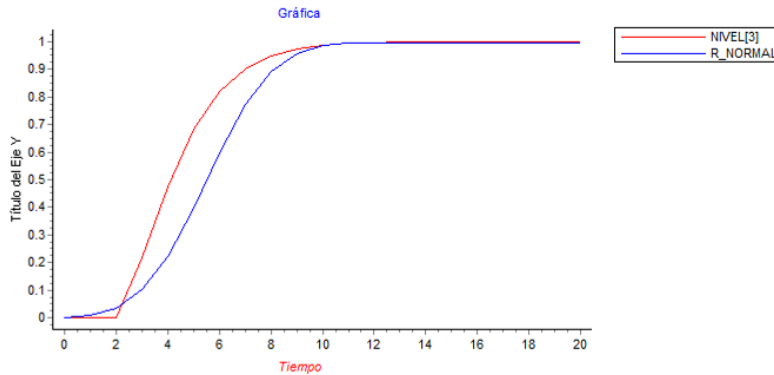
Figura 29. Comparación de los flujos de los dos enfoques.



Fuente: Autor.

La *Figura 29* representa los flujos de los dos enfoques de retardos utilizando los mismos valores en sus instanciaciones como lo son para el caso de la línea roja que representa el retardo tradicional, que utilizó un tiempo de ajuste igual a 5, y un orden igual a 3, en el caso de la línea azul que corresponde a la propuesta de retardo estadístico se instancio la media en 5 y la desviación estándar en 2, el retardo tradicional no presenta un comportamiento normal, por otro lado el comportamiento del flujo de la actual propuesta de retardo representa un comportamiento totalmente normalizado, lo que lleva a .

Figura 30. Comparación de las salidas de los dos enfoques.



Fuente: Autor.

La Figura 30 representa la salida de los dos enfoques, en el enfoque tradicional de retardos se observa un salto en el inicio de la curva y no hay existe una simetría perfecta en su comportamiento, por el contrario la nueva propuesta permite generar un comportamiento suave y con simetría perfecta.

La anterior propuesta le exige al modelador, ubicar correctamente los valores de cada parámetro de los retardos estadísticos, ya que estos valores no deben salir de los límites de tiempos de simulación, lo cual originaría perdidas de material al interior de los retardos.

Finalmente se concluye que este enfoque de retardos, permite una mejor compresión y uso de los mismos, también genera comportamientos más refinados y permite ubicar los retardos en cualquier instante de la simulación.

A continuación se lista las principales distribuciones de probabilidad continuas, que se podrían implementar en la nueva propuesta para soportar múltiples tipos de retardos.

Tabla 21. Distribuciones de variable continúa.

Nombre	Función de densidad.	Descripción
Distribución Normal.	$\frac{1}{\sigma\sqrt{2\pi}} e^{-\frac{1}{2}\left(\frac{x-\mu}{\sigma}\right)^2}$	Permite el modelamiento de múltiples fenómenos naturales, sus parámetros son: media y desviación estándar.

Distribución Exponencial	$\lambda e^{-\lambda x}$	Presenta un alto crecimiento al inicio de la distribución, su parámetro es $\lambda > 0$
Distribución T de Student	$\frac{\Gamma((\nu + 1)/2)}{\sqrt{\nu\pi} \Gamma(\nu/2)} (1 + x^2/\nu)^{-(\nu+1)/2}$	Aplicable a muestras poblacionales pequeñas, su parámetro es $\nu > 0$ (grados de libertad)
Distribución Beta	$\frac{x^{\alpha-1} (1-x)^{\beta-1}}{B(\alpha, \beta)}$	Permite múltiples comportamientos, sus parámetros son a y b
Distribución Gamma	$\lambda e^{-\lambda x} \frac{(\lambda x)^{k-1}}{\Gamma(k)}$	Se basa en eventos Poisson, sus parámetros son k y λ
Distribución F	$\frac{\sqrt{\frac{(d_1 x)^{d_1} d_2^{d_2}}{(d_1 x + d_2)^{d_1 + d_2}}}}{x B(\frac{d_1}{2}, \frac{d_2}{2})}$	Sus variables siguen una distribución chi-cuadrado con $d_1 > 0, d_2 > 0$ (grados de libertad)
Distribución χ^2 (ji-cuadrado)	$\frac{(1/2)^{k/2}}{\Gamma(k/2)} x^{k/2-1} e^{-x/2}$	Comprende variables aleatorias normales, que se representan con un parámetro k (grados de libertad)

Fuente: Estadística clásica

9.5 MÉTODO MATEMÁTICO DE TRIANGULACIÓN PARA EL TRATAMIENTO DE POLÍGONOS.

El desarrollo del ambiente EcoGranja estuvo dirigido por una constante búsqueda de estrategias que ayuden a los productores agropecuarios en su aprendizaje y en la toma de decisiones sobre el fenómeno de las granjas agropecuarias, para lograr esto se requirió facilitar el acceso y la operación del ambiente mediante el uso de diversas tecnologías de la información, como lo son las tecnologías web.

Por esta razón, se decidió integrar al ambiente EcoGranja el soporte de sistemas de información geográfica (SIG), debido a que este tipo de información es explícita al representar las características geográficas de las granjas en estudio, la tecnología web que contribuyó en el soporte de los SIG, fue Google Maps, esta tecnología facilita la interacción a través de una interfaz de visualización que comprende varios tipos de mapas geográficos, sobre los cuales se definieron procesos basados SIG que soportan la funcionalidad del ambiente EcoGranja.

El principal proceso fue la definición del área de la granja, donde el usuario puede demarcar las coordenadas geográficas limítrofes de su granja, para establecer visualmente el área de la granja, sin embargo no solo se planteó establecer el área sino consultar y construir el modelo tridimensional del relieve de la misma, por lo cual se estableció el requerimiento de generar el relieve de la granja a partir de las coordenadas que se ubican dentro de los límites del área de la granja en estudio.

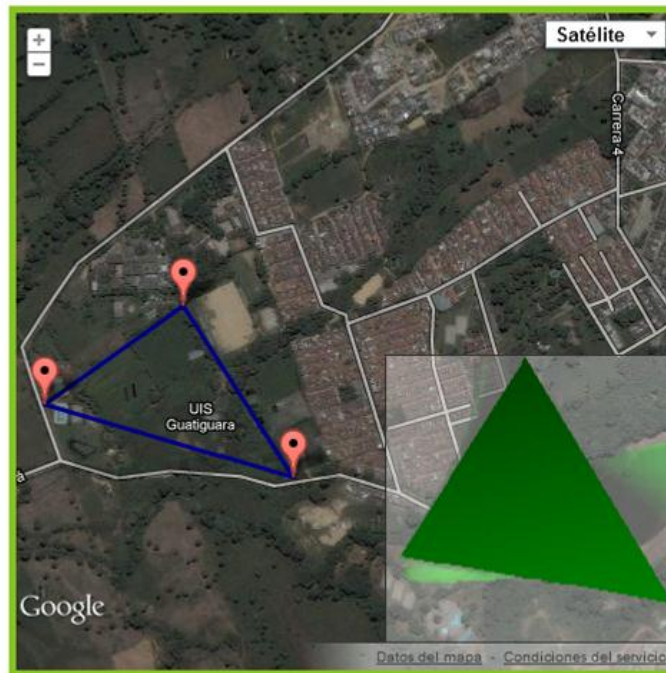
Para satisfacer este requerimiento se realizaron los siguientes pasos:

1. Implementar controles de interfaz de usuario que permitan a los usuarios establecer las coordenadas limítrofes de las granjas en estudio.

En esta etapa se desarrolló unos controles sobre la API de Google Maps, que permiten identificar y seleccionar coordenadas geográficas, las cuales definen el área de la granja, este proceso de selección se puede visualizar en la figura "Interfaz de sectorización de Granjas de EcoGranja.", donde el usuario puede seleccionar las coordenadas limítrofes de la granja, para este ejemplo el usuario selecciono tres coordenadas de la granja El Hangar, ubicada en la sede de la UIS Guatiguará en el municipio de Piedecuesta del Departamento de Santander.

Este proceso genera como salida un vector de coordenadas geográficas donde cada elemento contiene la latitud, la longitud y la altitud de cada punto seleccionado, cada vez que se agrega un nuevo elemento al vector se lanza un evento a la interfaz que actualiza la representación gráfica del relieve.

Figura 31. Interfaz de sectorización de Granjas de EcoGranja.



Fuente: Autor

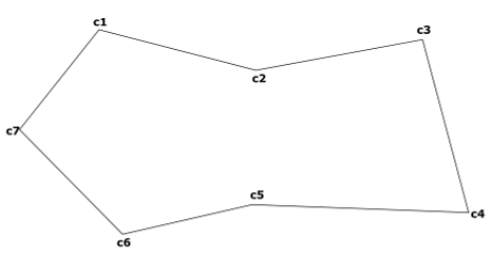
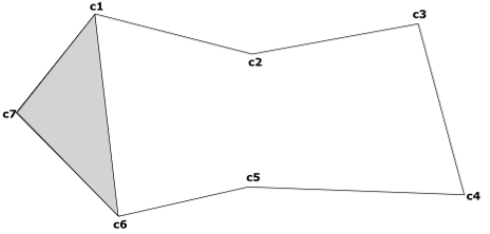
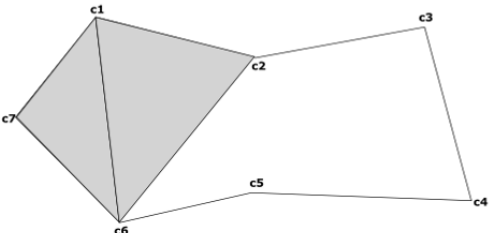
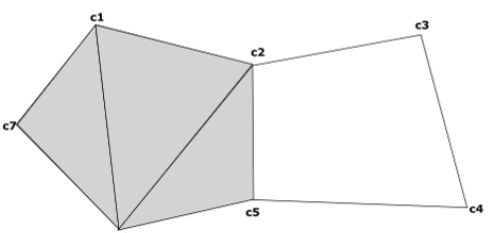
2. División del área de la granja en sectores.

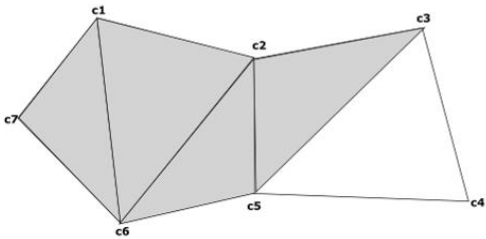
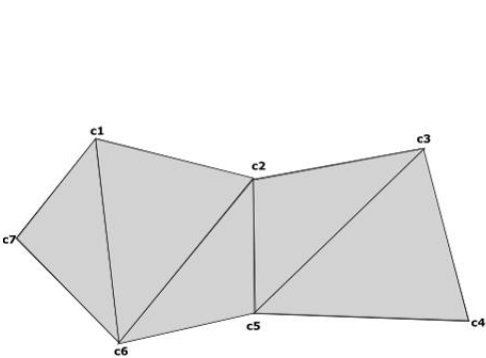
Este proceso contempla el aporte de la presente sección, el cual establece un método que sectoriza cualquier polígono simple, que representa el área de la granja, esta sectorización simplifica el tratamiento de figuras complejas que tienen múltiples vértices y aristas, ya que divide la figura en triángulos por lo general escalenos, lo que permite facilitar el tratamiento del polígono que representa el área de la granja.

El método requiere que el polígono sea simple.

Primeramente se asume que el vector de puntos suministrado al método de sectorización corresponda a la secuencia de vértices del polígono que se ha recorrido en sentido izquierdo o derecho, en la secuencia de vértices se debe cumplir que el primer y último elemento sean consecutivos.

Tabla 22. Aplicación del método matemático de triangulación a un polígono con siete coordenadas que representa el área de una granja.

Fases	Descripción Grafica	Descripción
Inicialización		<p>La secuencia de coordenadas conforma el polígono, esta secuencia se almacena en una lista de elementos y se asume que el ultimo elemento (C7), tiene como elemento consecutivo al primer nodo (C1)</p>
1 ^{ra} Iteración		<p>Se establece una referencia al primer nodo (C1) a través de elemento actual, luego se busca en todos los elementos menos al elemento actual y a sus elementos continuos, el nodo más cercano y establece un triángulo entre el nodo actual, el nodo más cercano no contiguo y un nodo conexión de los anteriores dos, proceso que genera el triángulo conformado por los vértices C1, C6 y C7</p>
2 ^{da} Iteración		<p>En esta fase a la lista de elementos se le ha removido el nodo C7, se aplica el mismo método de triangulación y se conforma un nuevo triángulo, el cual se compone de los vértices C1, C2 y C6</p>
3 ^{ra} Iteración		<p>En esta fase a la lista de elementos se le ha removido los nodos C7 y C1, se aplica el mismo método de triangulación y se conforma un nuevo triángulo, el cual se compone de los vértices C2, C5 y C6</p>

4 ^{ta} Iteración		<p>En esta fase a la lista de elementos se le ha removido los nodos C7, C1 y C6, se aplica el mismo método de triangulación y se conforma un nuevo triángulo, el cual se compone de los vértices C2, C3 y C5.</p>
5 ^{ta} Iteración		<p>En esta fase a la lista de elementos se le ha removido los nodos C7, C1, C6 y C2, se aplica el mismo método de triangulación y se conforma un nuevo triángulo, el cual se compone de los vértices C3, C4 y C5.</p> <p>En esta fase termina el método debido a que se limita el número de iteraciones hasta que la longitud de la lista de elementos sea de tamaño 3.</p>

Fuente: Autor

El método matemático de triangulación se presenta a continuación en pseudo-código:

Tabla 23. Pseudo-código del método matemático de triangulación

```

1. //Seudo Código del método matemático de triangulación:
2. Función Dist(Nodo1, Nodo2){...} //Función que devuelve la distancia
3. //entre dos nodos
4. Función Intersección(Lista1, Lista2) //Función que devuelve los elementos
5. //intersección entre dos listas
6. Función Diferencia(Lista1, Lista2) //Función que devuelve los elementos
7. //diferencia entre la Lista1 y la Lista2
8. ListaEle = [C1, C2, C3, C4, C5, C6, C7] //Lista de coordenadas
9. ListaTri = [] //Lista de triangulos
10. ListaTem = [] //Lista temporal de elementos
11. EleAct = C1 //Referencia al elemento actual
12. EleSig = Nulo //Referencia al elemento siguiente
13. EleCon = Nulo //Referencia al elemento conexión entre
14. //EleAct y EleSig
15. i = 0 //Contador
16. DistMin = Nulo //Variable que almacena distancias
17. DistTem = Nulo //Variable temporal de distancias
18.
19. Mientras i < (ListaEle.long - 3) //Mientras la longitud de la lista de
20. //elementos sea mayor a 3

```

```

21. ListaTem = EleAct.ListaCon[0].ListaCon+//Se establece la lista temporal a partir
22.           EleAct.ListaCon[1].ListaCon- //de la lista de las conexiones correspondientes
23.           EleAct                       //a las conexiones del elemento actual, sin incluir
24.                                           //el elemento actual.
25. DistMin = Dist(EleAct, ListaTem[0]) //Se determina la distancia mínima entre el
26.                                           //EleAct y el primer elemento de ListaTem
27. eleSig = ListaTem[0] //Se establece eleSig igual al ListaTem[0]
28.
29. DistTem = Dist(EleAct, ListaTem[1]) //Se determina la distancia entre elementos
30. Sí DistTem < DistMin //Si la distancia es menor a la distancia mínima
31.   EleSig = ListaTem[1] // Se asigna el elemento ListaEle[1] a EleSig
32. fin //Termina condicional
33.
34. EleCon = Intersección(EleAct.ListaCon, //Se determina el EleCon, como la intersección
35.                       EleSig.ListaCon) //entre las conexiones EleAct y EleSig
36. Sí EleCon != Nulo //Si existe el elemento conexión entonces
37.   ListaTri.agregar(Sector(EleAct, //Se agrega un nuevo triangulo, que se
38.                       EleCon, EleSig)) //conforma del EleAct, EleCon y EleSig
39.   EleAct.ListaCon.quitar(EleCon) //Se quita el EleCon de la listaCon de EleAct
40.   EleAct.ListaCon.agregar(EleSig) //Se agrega el EleSig a la listaCon de EleAct
41.   EleSig.ListaCon.quitar(EleCon) //Se quita el EleCon de la listaCon de EleSig
42.   EleSig.ListaCon.agregar(EleAct) //Se agrega el EleAct a la listaCon de EleSig
43.   ListaEle.quitar(EleCon) //Se quita el eleCon de la ListaEle
44.   EleCon = Nulo //Se elimina el valor de la variable EleCon
45. Fin //Fin del condicional
46.
47. ListaTem = EleAct.ListaCon - EleSig //Se asigna el nuevo valor de EleSig
48. EleAct = EleSig //Se asigna el nuevo valor de EleAct
49. EleSig = ListaTem[0] //Se asigna el primer valor de ListaTem[0]
50. i = i+1 //Se incrementa el contador
51. fin //Fin del bucle mientras
52. EleCon = Intersección(EleAct.ListaCon, //Se determina el EleCon, como la intersección
53.                       EleSig.ListaCon) //entre las conexiones EleAct y EleSig
54. ListaTri.agregar(Sector(EleAct, //Se agrega un nuevo triangulo, que se
55.                       EleCon, EleSig)) //conforma del EleAct, EleCon y EleSig

```

3. Recorrido a través de la malla limitada por cada triangulo en el cual se obtienen de las coordenadas para cada sector.

Luego de realizar la triangulación del polígono se efectúa un recorrido para cada triangulo, de la siguiente manera:

- Se detecta las dos coordenadas más retiradas horizontalmente, sobre estas coordenadas se establece una función de dominio.
- Se determina la coordenada que no se utilizó para establecer el dominio, sobre esta coordenada se establece dos funciones función izquierda y función derecha.
- Luego se realiza un recorrido horizontal a través de la función dominio, iniciando desde su punto más izquierdo hasta el punto del eje horizontal de la coordenada

independiente, en cada paso de este recorrido horizontal se realiza un recorrido vertical cada valor de la función de dominio y el valor de la función izquierda, luego de recorrer todos los valores, se empieza un nuevo recorrido desde el valor horizontal de la coordenada independiente hasta el valor de la función dominio ubicado más a su izquierda, en cada paso de este recorrido horizontal se realiza un recorrido vertical de la misma manera del recorrido vertical anterior, pero variando la función límite con la función derecha.

10. DIFUSIÓN Y LOGROS.

El presente trabajo se ha divulgado nacional e internacionalmente, proceso que permitió evaluar y validar cada uno de sus prototipos por medio de comités académicos y científicos, además el presente proyecto permitió participar y ser favorecido en la convocatoria Jóvenes Investigadores de Colciencias, lo cual permite continuar las investigaciones del presente proyecto, por medio de un proyecto ampliado que es patrocinado por Colciencias, dentro de los logros obtenidos se destacan:

10.1 DIFUSIÓN A NIVEL NACIONAL.

- Ponencia: “Simulación con dinámica de sistemas en entornos Web y ejemplo de aplicación a través del ambiente EcoGranja.”, presentada en el marco del X Encuentro Colombiano de Dinámica de Sistemas, Septiembre 26 al 28 del 2012, Universidad del Valle y Universidad ICESI, Cali – Colombia.
- Ponencia: “Evolución Web, Ambiente para el modelado y la simulación con Dinámica de Sistemas.”, presentada en el marco del Primer Congreso Nacional De La Facultad De Ingenierías Fisicomecánicas, Noviembre 14 al 16 del 2012, Universidad Industrial de Santander, Bucaramanga – Colombia.

10.2 DIFUSIÓN A NIVEL INTERNACIONAL.

- Ponencia: “Ambiente para el aprendizaje y la toma de decisiones en las granjas agropecuarias, un enfoque Dinámico Sistémico.”, presentada en el marco del IX Congreso Latinoamericano de Dinámica de Sistemas Y II Congreso Brasileño de Dinámica de Sistemas, 16,17 y 18 de Noviembre del 2011, Universidad de Brasilia, Brasilia-DF - Brasil.
- Ponencia: “EcoGranja, ambiente para el aprendizaje y la toma de decisiones en las granjas agropecuarias, basado en la dinámica de sistemas y soportado por tecnologías web.”, presentada en el marco del X Congreso Latinoamericano de Dinámica de Sistemas, I Congreso Argentino de Dinámica de Sistemas y III Congreso Brasileño de Dinámica de Sistemas, 21, 22 y 23 de Noviembre del 2012, Universidad Argentina de la Empresa, Buenos Aires – Argentina.

10.3 LOGROS.

- Postulación y aceptación a la Convocatoria Nacional número 566 de COLCIENCIAS “Jóvenes Investigadores e innovadores” para el periodo 2013. Para poder dar continuidad mediante al proyecto de investigación titulado “MODELADO Y SIMULACIÓN DE CADENAS DE PRODUCCIÓN AGROPECUARIA Y DEFINICIÓN DE UNA METODOLOGÍA PARA DISEÑAR GRANJAS INTEGRALES AGROPECUARIAS, UN ENFOQUE SISTÉMICO.”.

CONCLUSIONES.

La propuesta “EcoGranja ambiente para el aprendizaje y la toma de decisiones en las granjas agropecuarias” por medio del presente trabajo de grado culmina su primera etapa de desarrollo, en la cual se establece un marco conceptual y tecnológico que soporta la segunda etapa de desarrollo, en el desarrollo realizado hasta la presente etapa se resalta los siguientes resultados que demuestran el cumplimiento de los objetivos propuestos para este trabajo (proyecto) de grado:

Conclusiones referentes a la dinámica de sistemas.

- La posibilidad de representar en un lenguaje estructurado, como lo es la dinámica de sistemas, el fenómeno granja agropecuaria permite estandarizar, evaluar y plantear el conocimiento existente del fenómeno estudiado, como lo fueron en la presente investigación los fenómenos del suelo, hídricos y climáticos.
- La integración de metodologías de dinámica de sistemas, como la efectuada en presente investigación entre la metodología de Andrew Ford y la metodología del grupo SIMON de investigaciones, permite adaptar el proceso de modelado y simulación con dinámica de sistemas a las especificidades de cada fenómeno, por lo cual se concluye que en los procesos complejos de modelado y simulación se realiza un correcto abordaje al adaptar las metodologías a las características de los fenómenos.
- La dinámica de sistemas al integrarse con metodologías y técnicas de la ingeniería del software, permite soportar el desarrollo de productos tecnológicos con alto acabado, beneficiando a la dinámica de sistemas en la difusión de sus bondades en diversas comunidades diferentes a los modeladores dinámico-sistémicos, la ventaja más destacable es que permite soportar el modelado de sistemas complejos.
- La herramientas computacionales que actualmente soportan los procesos de modelado y simulación con dinámica de sistemas, no tienen la capacidad de encapsular los modelos dinámico sistémicos en entidades que tradicionalmente se han denominado sistemas, lo cual dificulta el desarrollo de modelos con gran cantidad de elementos.

Conclusiones referentes al proceso de desarrollo de ingeniería de software de EcoGranja.

- Las metodologías y técnicas de la ingeniería del software al integrasen con la dinámica de sistemas, permiten abordar el desarrollo de sistemas computacionales que integren modelos basados en conocimiento de fenómenos complejos mediante el uso de las diversas expresiones de la dinámica de sistemas, permitiendo profundizar los casos de aplicación de la ingeniería del software.
- El permitir el acceso al modelo a través de interfaces web desarrolladas como producto de un proceso de ingeniería del software, permite que la población interesada en el fenómeno evalúe y proponga mejoras al modelo en base a su conocimiento implícito del fenómeno estudiado.
- Las metodologías ágiles permiten abordar el desarrollo de sistemas computacionales que se redefinen en el mismo proceso de desarrollo, lo cual fue fundamental para soportar el desarrollo de EcoGranja, ya que por ser un proyecto de tipo “GreenField”, requirió una continua redefinición de sus requerimientos.
- Se concluye que la metodología de "Bruegge y Dutoit", es adecuada para proyectos que permitan una correcta definición en su inicio, sin embargo como este proyecto es de tipo “GreenField” se concluyó que no se adapta fácilmente al cambio, por ellos solo se aprovecho

Conclusiones referentes a soporte tecnológico que permite simular con dinámica de sistemas en la internet.

- El soporte tecnológico desarrollado en el presente proyecto, denominado “Evolución Web” permite simular modelos dinámico-sistémicos en la internet, contribuyendo a manera de marco tecnológico en el desarrollo de aplicativos que hacen uso de la dinámica de sistemas y que requieran soporte en la internet, como fue el desarrollo de EcoGranja.

- El hecho de centralizar los modelos dinámicos sistémicos en un servidor web, permite mantener versiones actualizadas de los modelos, con lo cual se contribuye a controlar y difundir la última versión de cada modelo.
- La tecnología cliente servidor permite soportar una continua realimentación entre las comunidades relacionadas con la dinámica de sistemas y los modelos de dinámica de sistemas, lo cual en términos de los modelos mentales de cada miembro de las comunidades representan nuevas posibilidades de aprendizaje y colaboración.

Conclusiones referentes a la producción agrícola.

- El concepto de granja integral agropecuaria, es un concepto blando, que comprende múltiples enfoques y definiciones, por lo cual en la presente investigación se evaluó los más pertinentes para las pretensiones del ambiente EcoGranja, sin embargo la magnitud del concepto, exigió limitar el presente proyecto a un marco conceptual y tecnológico.
- Se concluye que el apoyo del experto en el proceso de modelado es determinante, en la consecución de un modelo dinámico-sistémico que satisfaga la finalidad del mismo, el modelador desarrolla los objetivos básicos de aprender, explicar y experimentar, se cuestiona durante la construcción, lo cual conlleva a enriquecer su modelo mental y por ende contribuye en su aprendizaje.

Conclusiones generales.

- Los productos tecnológicos que se basan en modelos dinámico-sistémicos amplían el impacto positivo de la dinámica de sistemas a comunidades no expertas, haciendo visible su utilidad y la conveniencia de aplicación en las diversas áreas del conocimiento.
- El abordaje del presente proyecto permitió plantear y desarrollar una nueva propuesta de sistema computacional que integra la experiencia de los expertos, para este caso los profesionales del sector agropecuario, EcoGranja se basó en la dinámica de sistemas como lenguaje en la definición de modelos matemáticos de sistemas complejos, evitando la utilización de enfoques matemáticos limitados como los sistemas expertos.

- En base a la investigación realizada, se puede concluir que existe ausencia de proyectos similares al presente proyecto, por lo cual se clasifico como un proyecto de tipo “GreenField”.

RECOMENDACIONES Y PROPUESTAS

RECOMENDACIONES.

- Se recomienda realizar un modelamiento a nivel del genotipo (características genéticas de los organismos) de los cultivos, con la finalidad de contemplar aspectos más internos de la dinámica propia del desarrollo del crecimiento del cultivo y su correspondiente cosecha, características que no son observables mediante el modelamiento realizado, que contempla una descripción del fenotipo(características físicas y conductuales).
- Se recomienda complementar el actual proyecto con una propuesta que aborde el modelado y la simulación de las dinámicas que se presentan en el mercado económico de los productos agropecuarios y en los comportamientos sociales que rigen la economía del sector agropecuario.
- Se recomienda proporcionar mecanismos que adapten los modelos dinámico-sistémicos propuestos en la presente investigación, a características medioambientales particulares de diversos territorios geográficos y así ofrecer soporte de EcoGranja en diversos espacios de carácter internacional.
- Las herramientas de modelado y simulación que actualmente dan soporte a la dinámica de sistemas no permiten la encapsulación de los modelos en entidades, que permitan su fácil manipulación y modelado, por lo cual se recomienda implementar en dichas herramientas el encapsulamiento de la teoría de objetos.
- Se propone el desarrollo de un macro modelo de granjas agropecuarias, que comprendan el concepto de eslabones productivos

PROPUESTAS.

A partir del proceso de investigación y desarrollo del presente trabajo de grado se visualizan posibles aportes a las áreas del conocimiento relacionadas, como lo son: la agropecuaria, la dinámica de sistemas y las tecnologías de la información y la comunicación, las nuevas posibilidades que se plantean se describen a continuación:

Propuestas referentes a la dinámica de sistemas.

- Se propone complementar el modelo en diagrama influencias de la dinámica de sistemas con conceptos de la teoría de objetos, como lo son la herencia, el encapsulamiento y el polimorfismo, lo cual facilitaría el proceso de modelamiento con dinámica de sistemas.
- Se propone desarrollar un nuevo concepto del elemento retardo de los modelos en diagrama de influencias de la dinámica de sistemas, debido a que el concepto actual no satisface requerimientos de presión en el proceso de modelado, por lo cual se planteó en la presente tesis el concepto de “retardo estadístico”, sobre el cual se puede desarrollar una propuesta de retardo.
- Se propone un proyecto de investigación y desarrollo que utilice “Evolución Web”, para desarrollar un ambiente que aborde el modelamiento con dinámica de sistemas en entornos basados en internet, debido a que la herramienta “Evolución web” actualmente permite el soporte a la simulación de modelos dinámico-sistémicos y no su modelamiento.
- La internet como medio de comunicación y el producto tecnológico del denominado “Evolución Web”, permiten soportar procesos de modelado en equipo, que es una de las líneas de investigación de la dinámica de sistemas, por lo cual se propone el desarrollo de ambientes de modelado y simulación colaborativos.

Propuestas referentes a las TIC.

- Se propone el desarrollo de un Framework que permita soportar el desarrollo de productos tecnológicos que utilicen la dinámica de sistemas, con la finalidad de proveer los procesos que implican representar y simular modelos dinámicos sistémicos.

- Se propone desarrollar el soporte de “Evolución Web” para su compatibilidad en ambientes de computación en la nube, con lo cual se permitiría la ejecución de modelos de dinámica de sistemas con altos requerimientos computacionales y con soporte en la internet.

Propuestas referentes al ambiente EcoGranja.

- Se propone desarrollar el soporte del ambiente EcoGranja en dispositivos móviles, con la finalidad de permitir una mayor cobertura y acceso a los usuarios del aplicativo.
- Se propone el libre acceso de EcoGranja para fines educativos y académicos, especialmente el acceso sin restricciones a los productores agropecuarios a pequeña y mediana escala.

GLOSARIO.

En el presente glosario se presentan temimos que son particulares de las áreas del conocimiento de la agropecuaria (AP), de la dinámica de sistemas (DS) y de la ingeniería del software (SW), por lo cual cada concepto hará referencia a su correspondiente contexto.

1. Nitrógeno, fosforo y potasio – N.P.K. (AP): NPK es un acrónimo altamente utilizado en la industria agropecuaria, que permite hacer referencia a los tres principales nutrientes de los suelos destinados a producción agrícola, los cuales son nitrógeno, fosforo y potasio.
2. Food and Agriculture Organization – F.A.O. (AP): Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura.
3. Programación Orientada a Objetos - P.O.O. (SW): Es un paradigma de programación que dirige el desarrollo de software mediante el diseño y la implementación de objetos conceptuales y de sus relaciones.
4. Dominio del problema (SW): El dominio del problema es una abstracción de los factores más pertinentes del fenómeno que comprende el problema.
5. Dominio de la solución (SW): Consiste en planteamientos que establecen la satisfacción de una problemática, es una extensión del dominio del problema.
6. Requerimiento funcional (SW): es un área de funcionalidad que debe soportar el sistema software.
7. Requerimiento no funcional (SW): se define como una restricción sobre la operación del sistema software.
8. Modelo funcional (SW): Describe la funcionalidad desde el punto de vista del usuario que utiliza o utilizará el sistema software.
9. Modelo de objetos (SW): Describe la estructura de un sistema software desde el punto de vista de objetos, atributos, asociaciones y operadores.
10. Modelo dinámico (SW): Describe el comportamiento interno del sistema software.

11. Dynamic Shared Object (SW): Tecnología desarrollada por Apache Software Foundation, que permite integrar módulos al servidor Apache HTTP Server.
12. Uniform Resource Locator – URL (SW): Secuencia de caracteres, de acuerdo a un formato modélico y estándar, que se usa para nombrar recursos en Internet, para su localización o identificación.
13. World Wide Web Consortium - W3C (SW): Es un consorcio internacional que produce recomendaciones para la World Wide Web.
14. Sistema de información geográfica S.I.G. (SW): también conocido como G.I.S. sigla del nombre en inglés de (Geographic Infomation System), es un sistema computacional diseñado para capturar, almacenar, manipular, analizar y desplegar información geográficamente referenciada, su principal uso se encuentra en la resolución de problemas complejos de planificación y gestión geográfica.
15. Sistema de información ambiental S.I.A (SW): es el conjunto integrado de actores, políticas, procesos y tecnologías involucrados en la gestión de información ambiental de un territorio determinado, por lo general a nivel de país, para facilitar la generación de conocimiento, la toma de decisiones, la educación y la participación social para el desarrollo sostenible, a nivel colombiano existe el SIAC (Sistema de información ambiental de Colombia)^[35]

³⁵ Tomado de: <http://www.minambiente.gov.co/contenido/contenido.aspx?catID=93&conID=4684>

REFERENCIAS Y BIBLIOGRAFÍA.

A. REFERENCIAS DE ARTÍCULOS PUBLICADOS EN REVISTAS.

BONTKESA, Tjark y KEULEN, Herman van. "Modelling the dynamics of agricultural development at farm and regional level" [citado el 10 de mayo del 2011] en:

<http://www.china-sds.org/kcxzfzbg/addinfomanage/lwwk/data/kcx439.pdf>

DANUSO, Francesco; ROSA, Franco; ROCCA, Álvaro y BULFONI, Elena. "X-farm: modelling sustainable farming systems and simulation" [citado el 16 de mayo del 2011] en:

http://ifsa.boku.ac.at/cms/fileadmin/Proceeding2010/2010_WS2.1_Danuso.pdf

JAMU, D.M y PIEDRAHITA, R.H. "An organic matter and nitrogen dynamics model for the ecological analysis of integrated aquaculture/agriculture systems: I. model development and calibration" 2002 [citado el 16 de mayo del 2011] en:

<http://hpsrv10.uco.es/windows/filemgr/download/stella/articulos/Jamu%202002.pdf>

SKRABA, Andrej; ROZMAN, Crtomir; KLJAJIC, Miroljub; PAZEK, Karmen y BAVEC, Martina "Strategy for organic farming model development" [citado el 16 de mayo del 2011] en:

<http://www.systemdynamics.org/conferences/2008/proceed/papers/SKRAB473.pdf>

B. REFERENCIAS DE LIBROS.

ANDRADE Sosa Hugo H.; DYNER R. Isaac; ESPINOSA Ángela; LÓPEZ Garay Hernán y SOTAQUIRÁ Ricardo. Pensamiento sistémico: Diversidad en búsqueda de unidad. 1 ed. Bucaramanga, Colombia.: Ediciones Universidad Industrial de Santander, 2007. 423 p

ISBN: 958-9318-78-9

BRUEGGE Bernd y DUTOIT Allen. Ingeniería de Software Orientada a Objetos. Traducido por Guillermo Trujano Mendoza. 1 ed. México.: Pearson Educación, 2002. 576 p.

ISBN: 970-26-0010-3

CEPEDA REY, Jaime. Suelos, Abonos y fertilizantes. 1 ed. Bucaramanga, Colombia.: Ediciones Universidad Industrial de Santander, 210 p.

Hogares juveniles campesinos. Manual granja integral autosuficiente.1 ed. Bogotá D.C., Colombia.: Taller San Pablo, 2004. Colección cuidando la creación. 304 p. ISBN: 958-8233-14-3

LUJÁN MORA, Sergio. Programación de servidores web con CGI, SSI e IDC. Alicante.: Editorial Club Universitario, 2001. 105 p. ISBN 978-84-8454-136-3

RUBY, Sam; THOMAS, Dave; HANSSON y David Heinemeier. Desarrollo Web Con Rails. Madrid, España.: Ediciones Anaya Multimedia, 2010. 798 p. ISBN: 9788441526440

C. TESIS Y TRABAJOS DE GRADO.

ARDILA MUÑOZ, Jimmy Yordany, TRESPALACIOS MENESES Gloria Milena; ANDRADE SOSA Hugo H. (DIRECTOR); "Propuesta de un modelo agro-económico de simulación del cultivo de caña y la industria panelera" Facultad de Ingenierías Físico Mecánicas, Escuela de Ingeniería de Sistemas 2000.

CABALLERO GERARDINO, German, PINTO MUÑOZ, Juan Carlos y CEPEDA REY, Jaime (DIRECTOR); "Diseño y evaluación granja integral auto-sostenible ecológica y económicamente"; Escuela de Ingeniería Química - UIS; Tesis (Especialista en Ingeniería Ambiental), 2001

CUELLAR YENERIS, Mario y LINCE MERCADO, Emiliano. "EVOLUCION 3.5. herramienta software para el modelamiento y simulación con Dinámica de Sistemas" Universidad Industrial de Santander. Facultad de Ingenierías Físico Mecánicas, Escuela de Ingeniería de Sistemas. 2003.

GÓMEZ PRADA, Urbano Eliécer. "Lineamientos metodológicos para la construcción de modelos Agro-Industriales identificables en términos de dinámicas poblacionales basados en el pensamiento sistémico y la dinámica de sistemas". Universidad Industrial de Santander. Facultad de Ingenierías Físico Mecánicas, Escuela de Ingeniería de Sistemas. 2010.

GÓMEZ PRADA, Urbano Eliécer y BARRAGAN TARAZONA, Omar Augusto. "Propuesta de un modelo de simulación de sistemas de producción de ganadería

bovina para la investigación integral, un enfoque sistémico" Universidad Industrial de Santander. Facultad de Ingenierías Físico Mecánicas, Escuela de Ingeniería de Sistemas. 2002.

GONZALEZ BARAJAS, Jorge Eduardo y RODRIGUEZ RIBON, Julio Cesar, ANDRADE SOSA, Hugo H. (DIRECTOR); "Propuesta de un modelo de simulación para el cultivo de la caña de panelera bajo el enfoque sistemático" Facultad de Ingenierías Físico Mecánicas, Escuela de Ingeniería de Sistemas 1997

ORTIZ, Verónica y FLÓREZ, Nidia. "Modelo de Simulación de ganadería bovina intensiva SIPROBI 1.0". Universidad Industrial de Santander. Facultad de Ingenierías Físico Mecánicas, Escuela de Ingeniería de Sistemas. 2010.

OSORIO CALDERON, Pablo Hernando. "Propuesta de un modelo de simulación para la justificación y comprensión en la toma de decisiones en la inversión pública de una alcaldía municipal un enfoque sistémico." Facultad de Ingenierías Físico Mecánicas, Escuela de Ingeniería de Sistemas. 2010.

RUIZ García, Fanny Yadira y SILVA OLIVARES, Rubiela. "Herramienta software para el aprendizaje del manejo de un sistema de producción de ganadería bovina, mediante simulación con dinámica de sistemas y un enfoque sistémico - SIPROB 2.0." Universidad Industrial de Santander. Facultad de Ingenierías Físico Mecánicas, Escuela de Ingeniería de Sistemas. 2010.

D. REFERENCIAS EN INTERNET.

ARCHIVO AGRONOMICO N° 11 Y 12, INPI. Consultado en agosto del 2011:
[http://www.ipni.net/ppiweb/ltams.nsf/\\$webindex/3971CBCC1D02F416032573FB0063AA92](http://www.ipni.net/ppiweb/ltams.nsf/$webindex/3971CBCC1D02F416032573FB0063AA92)
[http://www.ipni.net/ppiweb/ltams.nsf/\\$webindex/E036AC788900A6560325728E0069FF05](http://www.ipni.net/ppiweb/ltams.nsf/$webindex/E036AC788900A6560325728E0069FF05)

CIENCIA, TECNOLOGIA Y AMBIENTE EN LA AGRICULTURA COLOMBIANA – DIAGNOSTICO. SICARD, Tomás León y RODRÍGUEZ Sánchez, Liliana. Consultado en abril del 2011:
http://www.virtual.unal.edu.co/cursos/IDEA/2007223/lecciones/lect14/lect14_1.html

ISAPI, Extending Web Servers with ISAPI. Consultado en abril del 2012:
[http://msdn.microsoft.com/en-US/library/f0066k67\(v=vs.80\).aspx](http://msdn.microsoft.com/en-US/library/f0066k67(v=vs.80).aspx)

La Inacabada Revolución Verde – El Futuro Rol de la Ciencia y la Tecnología en la Alimentación del Mundo en Desarrollo, Norman E. Borlaug. Consultado noviembre del 2012:
<http://www.agbioworld.org/biotech-info/articles/spanish/desarrollo.html>

Método para implementar DSO entre Delphi y Apache 2, Bob Swart. Consultado en abril del 2012.
<http://www.drbob42.com/examines/examin80.htm>
<http://www.drbob42.com/Delphi7/Apache2040.htm>
<http://leonardorame.blogspot.com/2009/04/apache-22x-modules-with-delphi.html>

PORTAL SISTEMA DE INFORMACION AMBIENTAL COLOMBIANO. Consultado en agosto del 2011:
<http://www.siac.gov.co/portal/default.aspx> [citado en agosto de 2011]

Soporte de objetos dinámicos compartidos (DSO). Consultado en agosto del 2012:
<http://httpd.apache.org/docs/2.0/es/dso.html>

E. MEMORIAS DE CONGRESOS.

GARAVITO SUÁREZ, John Freddy, ANDRADE SOSA, Hugo Hernando, GOMEZ PRADA, Urbano Eliecer, VAZQUEZ CARDOZO, Carlos Aníbal, “Ambiente informático para el aprendizaje y la toma de decisiones en las granjas agropecuarias, un enfoque Dinámico Sistémico”, IX Congreso Latinoamericano de Dinámica de Sistemas, Brasilia Brasil, Memorias pp. 569 – 278.

S. Binato and G.C Oliveira, “A Heuristic procedure to cope with multi-year production expansion planning”, Proceeding of the 1995 Engineering Society International Symposium on Production Engineering, SPT PS 01-03-0277, pp. 12–17.

ANEXOS.

Anexo A. DESCRIPCIÓN DEL PRIMER PROTOTIPO DEL DIAGRAMA DE INFLUENCIAS DEL FENÓMENO GRANJA AGROPECUARIA.

La primera versión del diagrama de influencias del fenómeno granjas agropecuarias comprende los subsistemas ambiental, socioeconómico, agrícola y pecuario, cada uno de estos se describirá a continuación en términos de sus elementos.

En el Sistema Ambiental se establecen los siguientes elementos:

Tabla 24. Elementos del subsistema ambiental de la primera versión del diagrama de influencias.

Nombre.	Descripción.
Fertilidad_Suelo	Representa un indicador que agrupa las características físicas y químicas del suelo e indica su productividad.
Condiciones_Amb	Representa la calidad de las condiciones climáticas
Abono	Representa la cantidad total de abono en cada momento del sistema.

Fuente: Autor.

En el Sistema Socioeconómico se establecieron los siguientes elementos:

Tabla 25. Elementos del sistema socioeconómico de la primera versión del diagrama de influencias.

Nombre.	Descripción.
Oferta_Agricola	Representa la producción agrícola de un determinado producto en la granja agropecuaria modelada.
Precio_Agricola	Representa el precio del producto agrícola modelado
Demanda_Agricola	Representa la demanda por parte de la sociedad de un determinado producto agrícola que le corresponde a la granja modelada.
Oferta_Pecuaria	Representa la producción pecuaria de un determinado producto en la granja agropecuaria modelada.

Precio_Pecuario	Representa el precio del producto pecuario modelado
Demanda_Pecuaria	Representa la demanda por parte de la sociedad de un determinado producto pecuario que le corresponde a la granja modelada.

Fuente: Autor.

Adicional a lo anterior, el sistema Ambiental soporta el Sistema Agrícola y Sistema Pecuario, en el Sistema Agrícola se establecieron los siguientes elementos:

Tabla 26. Elementos del subsistema agrícola de la primera versión del diagrama de influencias.

Nombre.	Descripción.
Absorcion_Nutrie	Representa la tasa de absorción de nutrientes por parte de cada unidad del cultivo modelado.
Factor_Crec_Agri	Representa la tasa de conversión de los nutrientes absorbidos en peso de cada unidad del cultivo modelado.
Peso_Uni_Agri	Representa el peso del cultivo acumulado durante el proceso de absorción de nutrientes por parte de cada unidad del cultivo modelado.
Uni_Agri	Representa la cantidad de unidades productivas que conforman el cultivo modelado
ProduccionAgri	Es el producto del peso promedio de cada unidad productiva por el total de productos que comprende el cultivo.

Fuente: Autor.

En el sistema pecuario se establecieron los siguientes elementos:

Tabla 27. Elementos del subsistema pecuario de la primera versión del diagrama de influencias.

Nombre.	Descripción.
Factor_Crec_Pecu	Representa la tasa de conversión de los alimentos consumidos en peso de cada crianza modelada.
Peso_Uni_Pecu	Representa el peso acumulado durante el proceso de alimentación por parte de cada unidad de la crianza

	modelada.
Uni_Pecu	Representa la cantidad de unidades productivas que conforman la crianza modelada.
Produccion_Pecu	Es el producto del peso promedio de cada unidad productiva por el total de productos que comprende la crianza.

Fuente: Autor.

Adicional a cada uno de los elementos que componen este primer diagrama de influencias, se destacan los ciclos de realimentación que representan la realimentación en los diagramas de dinámica de sistemas.

Tabla 28. Ciclos de realimentación de la primera versión del diagrama de influencias.

Nombre.	Descripción.
RenovacionSuelo	Representa la absorción y restitución de nutrientes entre el abono y el suelo
Creci_Agri	Representa el control en la absorción de nutrientes
Crecimi_Pecu	Representa el control en la alimentación de la crianza
DisminuciPreAgri	Efecto de caída de precios si hay mucha oferta agrícola
AumentoPreAgri	Efecto de subida de precios si hay mucha demanda agrícola
DisminuciPrePec	Efecto de caída de precios si hay mucha oferta pecuaria
AumentoPrePec	Efecto de subida de precios si hay mucha demanda pecuaria

Fuente: Autor.

Anexo B. DESCRIPCIÓN DEL SEGUNDO PROTOTIPO DEL DIAGRAMA DE INFLUENCIAS DEL FENÓMENO GRANJA AGROPECUARIA.

Los elementos agregados a la primera versión que contribuyeron en el diseño de la segunda versión del modelo de influencias, se enuncian a continuación:

En el sistema Ambiental se agregaron los siguientes elementos:

Tabla 29. Elementos complementarios del sistema ambiental de la segunda versión del diagrama de influencias.

Nombre.	Descripción.
Cond_RH	Representa la calidad del agua en términos de pH y de salinidad
Volumen_RH	Representa el total de agua que tiene disponible la granja agropecuaria
Precipitaciones	Representa la tasa de precipitaciones de la ubicación geográfica de la granja
Condiciones_Clim	Representa un indicador que valora la calidad de las condiciones climáticas, agrupa la temperatura, la presión atmosférica, la velocidad del viento, etc
Condiciones_Suel	Representa un indicador de la calidad productiva del suelo, generalizando las características físicas y químicas que lo componen
Erosion	Representa el grado de erosión que se presenta en el terreno de la granja agropecuaria.
Capa_Vegetal	Representa el porcentaje de terreno que está cubierto con vegetación.

Fuente: Autor.

En el sistema agrícola se agregaron los siguientes elementos:

Tabla 30. Elementos complementarios del sistema agrícola de la segunda versión del diagrama de influencias.

Nombre.	Descripción.
Insu_Hidri_Agri	Representa los requerimientos hídricos de cada unidad de producción agrícola.
Calidad_Pro_Agri	Indicador que integra las condiciones climáticas, de recursos

	hídricos y de suelos, e influye sobre la variable de crecimiento agrícola.
Uni_Agri_Deterio	Representa las unidades agrícolas que no culminaron su procesos productivo satisfactoriamente, las cuales contribuyen a la alimentación de las crianza pecuaria.
Desechos_Prod	Representa los subproductos diferentes al fruto de cada una de las unidades productivas, los cuales se pueden reintegrar al suelo al ser convertidos en materia organica.

Fuente: Autor.

En el sistema pecuario se agregaron los siguientes elementos:

Tabla 31. Elementos complementarios del sistema pecuario de la segunda versión del diagrama de influencias.

Nombre.	Descripción.
Insu_Hidri_Pecu	Representa los requerimientos hídricos que requiere cada unidad de crianza pecuaria.
Insu_Alimen_Pecu	Representa el peso alimenticio que requiere cada unidad de crianza pecuaria.
Calidad_Pro_Pecu	Indicador que integra las condiciones climáticas, de recursos hídricos y de suelos, e influye sobre la variable de crecimiento pecuario.
Estiercol	Cantidad de materia fecal en kg, que puede reintegrarse al sistema suelo por medio de abono.

Fuente: Autor.

Anexo C. DESCRIPCIÓN DEL TERCER PROTOTIPO DEL DIAGRAMA DE INFLUENCIAS DEL FENÓMENO GRANJA AGROPECUARIA.

Los subsistemas agregados en la tercera versión del diagrama de influencias fueron el subsistema suelos, el subsistema climático y el subsistema hídrico, en cada subsistema se agregaron nuevos elementos, que se describirán a continuación.

Para el subsistema suelos se agregaron los siguientes elementos:

Tabla 32. Elementos complementarios del subsistema suelos de la tercera versión del diagrama de influencias.

Nombre.	Descripción.
MacroNutrientes	Representa el principal elemento de la dinámica productiva de cualquier producción agrícola, y son los macronutrientes representados principalmente por el Nitrogeno, Fosforo y Potasio.
Profundidad	Representa la profundidad productiva del suelo, con la cual se puede determinar el volumen de tierra productiva y también la capacidad radicular.
PendienteSuelo	Representa el promedio de las inclinaciones que existen en el relieve del terreno.
Drenaje	Representa la porosidad del suelo, con la cual se determina la calidad del mismo.

Fuente: Autor.

Para el subsistema de recursos hídricos se agregaron los siguientes elementos:

Tabla 33. Elementos complementarios del subsistema hídrico de la tercera versión del diagrama de influencias.

Nombre.	Descripción.
CaudalAgua	Representa la tasa de cambio de agua en el principal recurso hídrico que exista en la granja en estudio
VolumenAgua	Representa la cantidad de agua disponible para realizar las producciones agropecuarias.

Fuente: Autor.

Para el subsistema climático se agregaron los siguientes elementos:

Tabla 34. Elementos complementarios del subsistema climático de la tercera versión del diagrama de influencias.

Nombre.	Descripción.
Temperatura	Representa la medida de calor promedio que tiene el ambiente, valor que determina cuales producciones son viables.
HumedadRelativa	Representa el indicador estandarizado de humedad en el medio.
Luminosidad	Representa la cantidad de horas luz en el día, lo que permite determinar los tipos de producciones agropecuarias.

Fuente: Autor.

Anexo D. DESCRIPCIÓN DEL CUARTO PROTOTIPO DEL DIAGRAMA DE INFLUENCIAS DEL FENÓMENO GRANJA AGROPECUARIA.

La cuarta versión del diagrama de influencias del modelo Granja Integral Agropecuaria, se compone de los sectores Dinámica de Nutrientes, Suelo, Recursos hídricos, Clima, Dinámica del Ambiente y Dinámica de producción.

El sector Dinámica de Nutrientes se conforma por los siguientes elementos:

Tabla 35. Elementos del sector dinámica de nutrientes de la cuarta versión del diagrama de influencias.

Nombre	Descripción	Elementos causales
MacroNutrientes	Representa la cantidad en promedio de cada uno de los tres principales macronutrientes N-P-K, que juegan un papel fundamental en la fertilidad de un suelo y por ende en el desarrollo de un cultivo	AbsorNutrientes ExtracNutrientes FijaNutriAbsor FijaNutriExtra
AbsorNutrientes	Representa los nutrientes absorbidos por la planta que constituyen la materia no cosechable del cultivo	MacroNutrientes PhSuelo
ExtracNutrientes	Representa los nutrientes extraídos por la planta que constituyen la materia cosechable del cultivo	MacroNutrientes PhSuelo
EficienAbsor	Determina el porcentaje de los nutrientes que influyen en la materia no cosechable de la planta	AbsorNutrientes CreciCultivo
CreciCultivo	Define el crecimiento de una unidad de cultivo	EficienAbsor EfClima EfRiego PesoUniCultivo TiempoCultivo
UniCultivo	Representa el peso promedio de cada unidad del cultivo.	CreciCultivo
EficienExtrac	Determina que porcentaje de los nutrientes	UniCultivo

	extraídos son asumidos por la cosecha	CreciCosecha ExtracNutrientes
MateriaOrga	Define la cantidad de nutrientes de la planta que pueden incorporarse al suelo en forma de materia orgánica	CreciCultivo Producción
FijaNutriAbsor	Comportamiento entre el suelo y los nutrientes de los fertilizantes, que establece los nutrientes que se incorporan en el suelo a través de la incorporación de materia orgánica	MateriaOrga
DeficienNutri	Indicador de los nutrientes que deben ser restaurados por la aplicación de algún fertilizante, para restaurar los requerimientos nutricionales de la cosecha	EficienExtrac
Fertilizante	Cualquier sustancia que contribuye en la mejora de los nutrientes del suelo	DeficienNutri
FijaNutriExtra	Comportamiento entre el suelo y los nutrientes de los fertilizantes, que establece los nutrientes que se incorporan en el suelo a través de la fertilización	Drenaje Fertilizante

Fuente: Autor

En el sector Suelo se ubican los siguientes elementos:

Tabla 36. Elementos del sector suelo de la cuarta versión del diagrama de influencias.

Nombre	Descripción	Elementos causales
PhSuelo	Medida de acidez o alcalinidad, que determina el intercambio de iones de hidrogeno	Fertilizante Cal
NecCalcificación	Cantidad de cal requerida para estabilizar el suelo	PhSuelo PhReqCultivo
Cal	Cantidad de Cal aplicada en cada instante de tiempo.	NecCalcificación
Drenaje	Capacidad del suelo para retener agua	Porosidad

		PendienteSuelo
Porosidad	Tamaño de los poros que separan las partículas del suelo	
PendienteSuelo	Grado promedio de inclinación del suelo destinado al cultivo	
Erosión	Medida de la erosión del suelo	
Profundidad	Profundidad productiva del suelo	

Fuente: Autor

En el sector Recursos Hídricos se ubican los siguientes elementos:

Tabla 37. Elementos del sector recursos hídricos de la cuarta versión del diagrama de influencias.

Nombre	Descripción	Elementos causales
EfRiego	Indicador de la cantidad y calidad de agua que tiene la granja	Riego DefRiego
Riego	Cantidad de Agua que se riega en cada instante del cultivo	CaudalAgua VolumenAgua DefRiego
VolumenAgua	Representa la cantidad total de agua disponible	Precipitaciones
DefRiego	Representa la cantidad de agua de origen artificial que requiere el cultivo para desarrollarse	RiegoPlanta Precipitaciones
CaudalAgua	Representa la tasa de cambio del agua del principal recurso hídrico	
RiegoPlanta	Representa la cantidad de agua que requiere el cultivo para desarrollarse	

Fuente: Autor

En el sector Clima se ubican los siguientes elementos:

Tabla 38. Elementos del sector clima de la cuarta versión del diagrama de influencias.

Nombre	Descripción	Elementos causales
Luminosidad	Representa la cantidad promedio de horas luz día que se presentan en la granja	Altitud PendienteSuelo
Temperatura	Representa la temperatura promedio de la granja en estudio, la cual se relaciona con la Altitud	Altitud
Altitud	Representa la altura promedio del terreno de la granja	
Precipitaciones	Representa la cantidad de agua lluvia que se presenta en el terreno	
HumedadRelativa	Representa la humedad promedio del ambiente	

Fuente: Autor

En el sector dinámica del ambiente se ubican los siguientes elementos:

Tabla 39. Elementos del sector dinámica del ambiente de la cuarta versión del diagrama de influencias.

Nombre	Descripción	Elementos causales
LuminoPlanta	Representa la luminosidad óptima para el correcto desarrollo del cultivo	
TempePlanta	Representa la temperatura óptima para el correcto desarrollo del cultivo	
PreciPlanta	Representa la precipitación óptima para el correcto desarrollo del cultivo	
HumePlanta	Representa la humedad óptima para el correcto desarrollo del cultivo	
EfLumino	Representa la relación entre la luminosidad optima del cultivo con la luminosidad del ambiente	Luminosidad LuminoPlanta
EfTempe	Representa la relación entre la temperatura optima del cultivo con la temperatura del ambiente	Temperatura TempePlanta

EfPreci	Representa la relación entre la precipitación óptima del cultivo con la precipitación del ambiente	Precipitación PreciPlanta
EfHume	Representa la relación entre la humedad óptima del cultivo con la humedad del ambiente	HumedadRelativa HumePlanta
EfClima	Es un índice de la calidad del ambiente con respecto a las condiciones climáticas que requiere la planta, con el cual se valora la eficiencia productiva.	EfLumino EfTempe EfPreci EfHume

Fuente: Autor

En el sector Dinámica de producción se ubican los siguientes elementos:

Tabla 40. Elementos del sector dinámica de producción de la cuarta versión del diagrama de influencias.

Nombre	Descripción	Elementos causales
CreciCosecha	Representa la tasa de crecimiento de la cosecha promedio de las unidades cultivadas	EficienExtrac EfClima EfRiego
UniCosecha	Representa el peso promedio de la cosecha de las unidades cultivadas	CreciCosecha
Producción	Representa el total de la cosecha en todo el cultivo	UniCosecha UnidadesCultivo
UnidadesCultivo	Representa el total de unidades productivas cultivadas	AreaProducción DistHorizontal DistVertical
AreaProducción	Área total destinada al cultivo	
DistHorizontal	Distancia horizontal entre cada planta	
DistVertical	Distancia vertical entre cada planta	
PesoUniCultivo	Peso máximo que puede tener la unidad de producción agrícola sin el peso de la cosecha	
TiempoUniCultivo	Tiempo promedio para desarrollarse la unidad del cultivo, sin la etapa de desarrollo del fruto	

PesoUniCosecha	Peso máximo que puede tener la cosecha de la unidad de producción agrícola	
TiempoUniCosecha	Tiempo promedio para desarrollarse la cosecha de la unidad del cultivo	
PhReqCultivo	Representa el Ph óptimo para que el cultivo se desarrolle.	

Fuente: Autor

Anexo E. DESCRIPCIÓN DE LOS SECTORES SUELO Y DINÁMICA DE NUTRIENTES DEL MODELO GENERAL DEL FENÓMENO GRANJA AGROPECUARIA EN LENGUAJE DE FLUJOS Y NIVELES.

Los sectores suelos y dinámica de nutrientes del modelo general del fenómeno granja agropecuaria en diagrama de flujos y niveles se compone de los siguientes elementos:

Parámetros

Tabla 41. Elementos de tipo parámetro del sector suelo del diagrama de flujos y niveles.

○	Nombre	Nitrógeno
	Descripción	[%] Representa el porcentaje de nitrógeno total en una muestra de suelo, del cual se debe obtener el nitrógeno asimilable
	Definición	0.13
○	Nombre	Fosforo
	Descripción	[p.p.m] Representa la cantidad de fosforo en una muestra de terreno, normalmente los laboratorios entregan este factor en unidades de partes por millón
	Definición	11.6
○	Nombre	Potasio
	Descripción	[meq/100gr] Representa la cantidad de potasio en una muestra de terreno, normalmente los laboratorios entregan este factor en unidades de mili-equivalentes por 100 gr
	Definición	0.03
○	Nombre	Profundidad
	Descripción	[cm] Se define como la medida promedio en centímetros del grosor del horizonte A o capa arable.
	Definición	30
○	Nombre	Densidad Aparente
	Descripción	[g/(cm ³)] representa la relación del peso seco del suelo respecto al volumen en estado natural
	Definición	1
○	Nombre	ProPhPlantas
	Descripción	[Potencial de Hidrogeno] Ph promedio que requiere el

		cultivo
	Definición	6.5
○	Nombre	DesPhPlantas
	Descripción	[Potencial de Hidrogeno] Tolerancia de pH por parte del cultivo
	Definición	0.5
○	Nombre	PhSueloIni
	Descripción	[Potencial de Hidrogeno] Identifica el grado de acidez o alcalinidad de un suelo
	Definición	5.6

Fuente: Autor

Variables auxiliares

Tabla 42. Elementos de tipo variable auxiliar del sector suelo del diagrama de flujos y niveles.

○	Nombre	NAsimilable
	Descripción	[Kg/ha] Define la masa del nitrógeno asimilable por las plantas que se obtiene por la multiplicación del porcentaje del nitrógeno inorgánico presente en el suelo por la masa del suelo, aproximadamente es el 1.5 % del nitrógeno total
	Definición	$((\text{Nitrogeno} * 1.2) / 10000) * \text{MasaPorHectarea}$
	Relaciones Causales	Nitrógeno MasaPorHectarea
○	Nombre	PAsimilable
	Descripción	[Kg/ha] Describe la cantidad del fosforo asimilable que se presenta por hectárea en el suelo
	Definición	$(\text{Fosforo} / 1000000) * \text{MasaPorHectarea}$
	Relaciones Causales	Fosforo MasaPorHectarea
○	Nombre	KAsimilable
	Descripción	[Kg/ha] Describe la cantidad del potasio asimilable que se presenta por hectárea en el suelo
	Definición	$(39 / 100000) * \text{Potasio} * \text{MasaPorHectarea}$
	Relaciones Causales	Potasio MasaPorHectarea
○	Nombre	MasaPorHectarea

	Descripción	[Kg/ha] Define la masa correspondiente a la capa arable del suelo u horizonte A en una hectárea de terreno, la constante corresponde: constante área hectárea= (100 ms x 100 ms) * 10 kg/m ²
	Definición	100000*Profundidad*DensidadAparente
	Relaciones Causales	Profundidad DensidadAparente
○	Nombre	FactPh
	Descripción	[Adimensional] Factor para expandir el eje del dominio de la función normal
	Definición	1/(3*DesPhPlantas)
	Relaciones Causales	DesPhPlantas
○	Nombre	FactPhCua
	Descripción	[Adimensional] Factor que evalúa las temperaturas y las eleva al cuadrado, con la finalidad de constituir la función normal
	Definición	POWER((PhSuelo-ProPhPlantas)*FactPh,2)
	Relaciones Causales	PhSuelo ProPhPlantas FactPh
○	Nombre	EfPh
	Descripción	[Adimensional] Índice de la calidad del pH del suelo con respecto al pH que requiere el cultivo modelado.
	Definición	1/(1+FactPhCua)
	Relaciones Causales	FactPhCua

Fuente: Autor

El sector dinámica de nutrientes comprende los siguientes elementos:

Parámetros

Tabla 43. Elementos de tipo parámetro del sector dinámica de nutrientes del diagrama de flujos y niveles.

○	Nombre	DistHorizontal
	Descripción	[m] Distancia horizontal de separación de las plantas

		también llamado distancia entre hilares
	Definición	0.85
⊖	Nombre	DistVertical
	Descripción	[m] Distancia vertical de separación de las plantas
	Definición	0.30
⊖	Nombre	AreaCultivo
	Descripción	[m ²] Área destinada a cultivo
	Definición	10000
⊖	Nombre	NAbsorPro
	Descripción	[Kg/tn] Requerimiento de nitrógeno necesario para producir una tonelada del cultivo
	Definición	22
⊖	Nombre	PAbsorPro
	Descripción	[Kg/tn] Requerimiento de fosforo necesario para producir una tonelada del cultivo
	Definición	4
⊖	Nombre	KAbsorPro
	Descripción	[Kg/tn] Requerimiento de potasio necesario para producir una tonelada del cultivo
	Definición	19
⊖	Nombre	PesoUniCultivo
	Descripción	[gr] Promedio del peso de la unidad de cultivo
	Definición	276.7
⊖	Nombre	DesPesoUniCul
	Descripción	[gr] Desviación estándar del peso de la unidad de cosecha
	Definición	31.07
⊖	Nombre	NExtraPro
	Descripción	[Kg/tn] Requerimiento de nitrógeno necesario para producir una tonelada del cultivo
	Definición	15
⊖	Nombre	PExtraPro
	Descripción	[Kg/tn] Requerimiento de fosforo necesario para producir una tonelada del cultivo
	Definición	3
⊖	Nombre	KExtraPro
	Descripción	[Kg/tn] Requerimiento de potasio necesario para producir una tonelada del cultivo
	Definición	4

○	Nombre	PesoUniCosecha
	Descripción	[gr] Promedio del peso de la unidad de cosecha
	Definición	238.2
○	Nombre	DesPesoUniCos
	Descripción	[gr] Desviación estándar del peso de la unidad de cosecha
	Definición	31.07
○	Nombre	EfNitroAbsor
	Descripción	[Adimensional] Representa el factor de tiempo de vegetación, donde se absorbe la mayor cantidad de nitrógeno.
	Definición	5/12
○	Nombre	EfFosfoAbsor
	Descripción	[Adimensional] Representa el factor de tiempo de vegetación, donde se absorbe la mayor cantidad de fosforo
	Definición	3/6
○	Nombre	EfPotaAbsor
	Descripción	[Adimensional] Representa el factor de tiempo de vegetación, donde se absorbe la mayor cantidad de potasio.
	Definición	2/6
○	Nombre	EfNitroExtra
	Descripción	[Adimensional] Representa el factor de tiempo reproductivo donde se extrae la mayor cantidad de nitrógeno.
	Definición	5/12
○	Nombre	EfFosfoExtra
	Descripción	[Adimensional] Representa el factor de tiempo de reproducción, donde se absorbe la mayor cantidad de fosforo
	Definición	3/6
○	Nombre	EfPotaExtra
	Descripción	[Adimensional] Representa el factor de tiempo de reproducción, donde se absorbe la mayor cantidad de potasio.
	Definición	2/6
○	Nombre	tiemVegetativo
	Descripción	[dia] Hace referencia a la duración promedio del cultivo en su periodo de crecimiento vegetativo
	Definición	55

○	Nombre	tiemReproductivo
	Descripción	[día] Hace referencia a la duración promedio del cultivo en su periodo reproductivo donde se desarrolla la cosecha
	Definición	57

Fuente: Autor

Variables auxiliares.

Tabla 44. Elementos de tipo variable auxiliar del sector dinámica de nutrientes del diagrama de flujos y niveles.

○	Nombre	UnidadesHectarea
	Descripción	[Uni/Ha] Cantidad de unidades productivas en el área de sembrado
	Definición	$INT(AreaCultivo/(DistHorizontal*DistVertical))$
	Relaciones Causales	AreaCultivo DistHorizontal DistVertical
○	Nombre	PesoSecoCultivo
	Descripción	[Kg/ha] Peso del total de unidades cultivadas en una Hectárea, exceptuando el peso de la cosecha
	Definición	$UnidadesHectarea*(PesoUniCultivo/1000)$
	Relaciones Causales	UnidadesHectarea PesoUniCultivo
○	Nombre	MacroNutriReqCul
	Descripción	[Kg/ha] Peso de cada nutriente para la cosecha en una hectárea
	Definición	$[(PesoSecoCultivo/1000)*NAbsorPro,(PesoSecoCultivo/1000)*PAbsorPro,(PesoSecoCultivo/1000)*KAbsorPro]$
	Relaciones Causales	PesoSecoCultivo NAbsorPro PAbsorPro KAbsorPro
○	Nombre	FactTiemAbsor
	Descripción	[Día] Representa los días donde se obtienen mayores absorciones de cada uno de los macronutrientes
	Definición	$[POWER((t-$

		$(\text{tiemVegetativo} * \text{EfNitroAbsor}) * 0.22, 2, \text{POWER}((\text{t} - (\text{tiemVegetativo} * \text{EfFosfoAbsor})) * 0.22, 2), \text{POWER}((\text{t} - (\text{tiemVegetativo} * \text{EfPotaAbsor})) * 0.22, 2)]$
	Relaciones Causales	TiemVegetativo EfNitroAbsor EfFosfoAbsor EfPotaAbsor
○	Nombre	AbsorOptiMaNutri
	Descripción	[(Kg/ha)/día] Absorción diaria ideal de nutrientes efectuada por el cultivo en el terreno cultivado
	Definición	$[\text{MacroNutriReqCul}[1] * (0.25 / (\text{PI} * (1 + \text{FacTiemAbsor}[1]))), \text{MacroNutriReqCul}[2] * (0.25 / (\text{PI} * (1 + \text{FacTiemAbsor}[2]))), \text{MacroNutriReqCul}[3] * (0.25 / (\text{PI} * (1 + \text{FacTiemAbsor}[3])))]$
	Relaciones Causales	MacroNutriReqCul FacTiemAbsor
○	Nombre	RelNutriAbs
	Descripción	[Adimensional] Relación de la absorción óptima de macronutrientes con la cantidad de macronutrientes en cada instante.
	Definición	$[\text{AbsorOptiMaNutri}[1] / \text{MacroNutrientes}[1], \text{AbsorOptiMaNutri}[2] / \text{MacroNutrientes}[2], \text{AbsorOptiMaNutri}[3] / \text{MacroNutrientes}[3]]$
	Relaciones Causales	AbsorOptiMaNutri MacroNutrientes
○	Nombre	FactorLimAbs
	Descripción	[Adimensional] Relación del macronutriente mayormente absorbido con los macronutrientes del suelo
	Definición	$\text{MAX}(\text{RelNutriAbs}[1], \text{RelNutriAbs}[2], \text{RelNutriAbs}[3])$
	Relaciones Causales	RelNutriAbs
○	Nombre	PesoSecoCosecha
	Descripción	[Kg] Peso del total de la cosecha correspondiente a las unidades cultivadas en una Hectárea
	Definición	$\text{UnidadesHectarea} * (\text{PesoUniCosecha} / 1000)$
	Relaciones Causales	UnidadesHectarea PesoUniCosecha
○	Nombre	MacroNutriReqCos
	Descripción	[Kg/ha] Peso de cada nutriente para el cultivo en una

		hectárea
	Definición	$[(\text{PesoSecoCosecha}/1000)*\text{NExtraPro}, (\text{PesoSecoCosecha}/1000)*\text{PExtraPro}, (\text{PesoSecoCosecha}/1000)*\text{KExtraPro}]$
	Relaciones Causales	PesoSecoCosecha NExtraPro PExtraPro KExtraPro
	Nombre	FactTiemExtra
	Descripción	[Día] Representa los días donde se obtienen mayores extracciones de cada uno de los macronutrientes
	Definición	$[\text{POWER}((t-\text{tiemVegetativo}-(\text{tiemReproductivo}*\text{EfNitroExtra}))^*0.22,2), \text{POWER}((t-\text{tiemVegetativo}-(\text{tiemReproductivo}*\text{EfFosfoExtra}))^*0.22,2), \text{POWER}((t-\text{tiemVegetativo}-(\text{tiemReproductivo}*\text{EfPotaExtra}))^*0.22,2)]$
	Relaciones Causales	TiemVegetativo TiemReproductivo EfNitroExtra EfFosfoExtra EfPotaExtra
	Nombre	ExtraOptiMaNutri
	Descripción	[(Kg/ha)/día] Extracción diaria ideal de nutrientes efectuada por el cultivo en el terreno cultivado.
	Definición	$[\text{MacroNutriReqCos}[1]*(0.25/(\text{PI}*(1+\text{FacTiemExtra}[1]))), \text{MacroNutriReqCos}[2]*(0.2/(\text{PI}*(1+\text{FacTiemExtra}[2]))), \text{MacroNutriReqCos}[3]*(0.25/(\text{PI}*(1+\text{FacTiemExtra}[3])))]$
	Relaciones Causales	MacroNutriReqCos FacTiemExtra
	Nombre	RelNutriExtra
	Descripción	[Adimensional] Relación de la extracción óptima de macronutrientes con la cantidad de macronutrientes en cada instante.
	Definición	$[\text{ExtraOptiMaNutri}[1]/\text{MacroNutrientes}[1], \text{ExtraOptiMaNutri}[2]/\text{MacroNutrientes}[2], \text{ExtraOptiMaNutri}[3]/\text{MacroNutrientes}[3]]$
	Relaciones Causales	ExtraOptiMaNutri MacroNutrientes
	Nombre	FactorLimExtra

	Descripción	[Adimensional] Relación del macronutriente mayormente extraído con los macronutrientes del suelo
	Definición	MAX(ReINutriExtra[1],ReINutriExtra[2],ReINutriExtra[3])
	Relaciones Causales	ReINutriExtra

Fuente: Autor

Niveles.

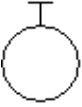
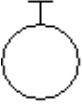

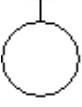
Tabla 45. Elementos de tipo nivel del sector dinámica de nutrientes del diagrama de flujos y niveles.

□	Nombre	MacroNutrientes
	Descripción	[Kg/ha] Representa las cantidades de NPK de un determinado suelo en un área de producción
	Definición	[NAsimilable,PAsimilable,KAsimilable]
	Relaciones Causales	NAsimilable PAsimilable KAsimilable
□	Nombre	MNutriAbsorbidos
	Descripción	[Kg/tn] Acumulado de nutrientes absorbidos.
	Definición	[0,0,0]
	Relaciones Causales	AbsorcionMaNutri
□	Nombre	MNutriExtraídos
	Descripción	[Kg/tn] Acumulado de nutrientes extraídos.
	Definición	[0,0,0]
	Relaciones Causales	ExtraccionMNutri

Fuente: Autor

Flujos.

Tabla 46. Elementos de tipo flujo del sector dinámica de nutrientes del diagrama de flujos y niveles.



	Nombre	AbsorcionMaNutri
	Descripción	[(Kg/tn/ha)/día] Nutrientes absorbidos en el ciclo de desarrollo de un cultivo determinado, haciendo parte de la materia que no corresponde a la cosecha
	Definición	[AbsorOptiMaNutri[1]*DispoNutiAbs*EfPh*(1-STEP(1,tiemVegetativo,t)), AbsorOptiMaNutri[2]*DispoNutiAbs*EfPh*(1-STEP(1,tiemVegetativo,t)), AbsorOptiMaNutri[3]*DispoNutiAbs*EfPh*(1-STEP(1,tiemVegetativo,t))]
	Relaciones Causales	AbsorOptiMaNutri DispoNutiAbs tiemVegetativo EfPh
	Nombre	ExtraccionMNutri
	Descripción	[((Kg/tn)/ha)/día] Nutrientes extraídos en el ciclo de desarrollo de la cosecha, esta materia no se reintegran al sistema ambiental.
	Definición	[ExtraOptiMaNutri[1]*DispoNutriExtra*EfPh*STEP(1,tiemVegetativo,t)*(1-STEP(1,tiemReproductivo+tiemVegetativo,t)), ExtraOptiMaNutri[2]*DispoNutriExtra*EfPh*STEP(1,tiemVegetativo,t)*(1-STEP(1,tiemReproductivo+tiemVegetativo,t)), ExtraOptiMaNutri[1]*DispoNutriExtra*EfPh*STEP(1,tiemVegetativo,t)*(1-STEP(1,tiemReproductivo+tiemVegetativo,t))]
	Relaciones Causales	ExtraOptiMaNutri DispoNutriExtra tiemVegetativo tiemReproductivo EfPh
	Nombre	FijaNutriAbsor
	Descripción	[((Kg/tn)/ha)/día] Restauración de los nutrientes del cultivo
	Definición	[AporMatCul[1],AporMatCul[2],AporMatCul[3]]
	Relaciones Causales	AporMatCul
	Nombre	FijaNutriExtra
	Descripción	[((Kg/tn)/ha)/día] Restauración de los nutrientes de la cosecha

	Definición	[AporteFertli[1],AporteFertli[2],AporteFertli[3]]
	Relaciones Causales	AporteFertli

Fuente: Autor

Multiplicadores.

Tabla 47. Elementos de tipo multiplicador del sector dinámica de nutrientes del diagrama de flujos y niveles.

	Nombre	DispoNutriAbs
	Descripción	Relación no lineal entre el factor limitante de macronutrientes absorbidos y la cantidad de nutrientes que se absorberán.
	Definición	INTLINEAL(1,0,0.2,1,1,0.5,0.25,0.125,0)
	Relaciones Causales	FactorLimAbs
	Nombre	DispoNutriExtra
	Descripción	Relación no lineal entre el factor limitante de macronutrientes extraídos y la cantidad de nutrientes que se extraerán.
	Definición	INTLINEAL(1,0,0.2,1,1,0.5,0.25,0.125,0)
	Relaciones Causales	FactorLimExtra

Fuente: Autor

Anexo F. DESCRIPCIÓN DE LA DINÁMICA DEL AMBIENTE DEL MODELO GENERAL DEL FENÓMENO GRANJA AGROPECUARIA EN LENGUAJE DE FLUJOS Y NIVELES.

El sector ambiente comprende los siguientes elementos:

Parámetros

Tabla 48. Elementos de tipo parámetro del sector ambiente del diagrama de flujos y niveles.

○	Nombre	Luminosidad
	Descripción	[horas-luz/ día] Temperatura del ambiente en grados centígrados
	Definición	2500
○	Nombre	ProLumiPlanta
	Descripción	[horas-luz/día] del cultivo
	Definición	2500
○	Nombre	DesLumiPlanta
	Descripción	[horas-luz/día] Tolerancia
	Definición	700
○	Nombre	Precipitaciones
	Descripción	[mm] Medida de la precipitación
	Definición	1411
○	Nombre	ProPrePlanta
	Descripción	[mm] Promedio de precipitación que requiere la planta
	Definición	1500
○	Nombre	DesPreciPlanta
	Descripción	[mm] Tolerancia del cultivo
	Definición	200
○	Nombre	HumedadRelativa
	Descripción	[%] Humedad relativa del ambiente
	Definición	73
○	Nombre	ProHumePlanta
	Descripción	[%] Humedad relativa que requiere el cultivo
	Definición	75
○	Nombre	DesHumePlanta
	Descripción	[%] Tolerancia a humedad relativa que permite el cultivo

	Definición	5
○	Nombre	Temperatura
	Descripción	[°] Temperatura del ambiente en grados centígrados
	Definición	24
○	Nombre	ProTempPlanta
	Descripción	[°] Temperatura que requiere el cultivo
	Definición	27.5
○	Nombre	DesTempPlanta
	Descripción	[°] Tolerancia del cultivo
	Definición	2.5

Fuente: Autor

Variables auxiliares.

Tabla 49. Elementos de tipo variable auxiliar del sector ambiente del diagrama de flujos y niveles.

○	Nombre	FactLumi
	Descripción	[] Factor para expandir el eje del dominio de la función normal
	Definición	$0.655/DesLumiPlanta$
	Relaciones Causales	DesLumiPlanta
○	Nombre	FactLumiCua
	Descripción	[] Factor que evalúa las temperaturas y las eleva al cuadrado, con la finalidad de constituir la función normal
	Definición	$POWER((Luminosidad-ProLumiPlanta)*FactLumi,2)$
	Relaciones Causales	Luminosidad ProLumiPlanta FactLumi
○	Nombre	EfLumi
	Descripción	Valor normal de la luminosidad del terreno respecto a la luminosidad requerida por el cultivo
	Definición	$1/(1+FactLumiCua)$
	Relaciones Causales	FactLumiCua
○	Nombre	FactPreci

	Descripción	[] Factor para expandir el eje del dominio de la función normal
	Definición	$1/(2*DesPreciPlanta)$
	Relaciones Causales	DesPreciPlanta
	Nombre	FactPreciCua
	Descripción	[] Factor que evalúa las precipitaciones y las eleva al cuadrado, con la finalidad de constituir la función normal
	Definición	$POWER((Precipitaciones-ProPreciPlanta)*FactPreci,2)$
	Relaciones Causales	Precipitaciones ProPreciPlanta FactPreci
	Nombre	EfPreci
	Descripción	Valor normal de la precipitación en el terreno respecto a la precipitación requerida por el cultivo
	Definición	$1/(1+FactPreciCua)$
	Relaciones Causales	FactPreciCua
	Nombre	FactHume
	Descripción	[] Factor para expandir el eje del dominio de la función normal
	Definición	$1/(3*DesHumePlanta)$
	Relaciones Causales	DesHumePlanta
	Nombre	FactHumeCua
	Descripción	[] Factor que evalúa la humedad relativa y la eleva al cuadrado, con la finalidad de constituir la función normal
	Definición	$POWER((HumedadRelativa-ProHumePlanta)*FactHume,2)$
	Relaciones Causales	HumedadRelativa ProHumePlanta FactHume
	Nombre	EfHume
	Descripción	Valor normal de la humedad relativa en el terreno respecto a la humedad relativa requerida por el cultivo
	Definición	$1/(1+FactHumeCua)$
	Relaciones Causales	FactHumeCua
	Nombre	FactTemp

	Descripción	[] Factor para expandir el eje del dominio de la función normal
	Definición	$1/(2*DesTempPlanta)$
	Relaciones Causales	DesTempPlanta
○	Nombre	FactTempCua
	Descripción	[] Factor que evalúa las temperaturas y las eleva al cuadrado, con la finalidad de constituir la función normal
	Definición	$POWER((Temperatura-ProTempPlanta)*FactTemp,2)$
	Relaciones Causales	Temperatura ProTempPlanta FactTemp
○	Nombre	EfTempe
	Descripción	Valor normal de la temperatura en el ambiente del terreno requerida por el cultivo
	Definición	$1/(1+FactTempCua)$
	Relaciones Causales	FactTempCua
○	Nombre	EfGenAmb
	Descripción	Eficiencia general del ambiente
	Definición	$(EfPreci+EfLumi+EfTempe+EfHume)/4$
	Relaciones Causales	EfPreci EfLumi EfTempe EfHume

Fuente: Autor

Anexo G. DESCRIPCIÓN SECTOR MEJORAMIENTO DE NUTRIENTES DEL MODELO GENERAL DEL FENÓMENO GRANJA AGROPECUARIA EN LENGUAJE DE FLUJOS Y NIVELES.

El sector mejoramiento de nutrientes comprende los siguientes elementos:

Parámetros

Tabla 50. Elementos de tipo parámetro del sector mejoramiento de nutrientes del diagrama de flujos y niveles.

○	Nombre	DiasApliCal
	Descripción	Vector que contiene los días donde se aplica las enmiendas de Cal
	Definición	[0,10,20]
○	Nombre	CalUniPH
	Descripción	Cantidad de toneladas de Cal para aumentar una unidad de pH en una hectárea
	Definición	12.96
○	Nombre	DiasApliFer
	Descripción	Vector que contiene los días donde se aplicaran las enmiendas de fertilizante
	Definición	[1,10,20,30,40]
○	Nombre	CompFertilizante
	Descripción	Vector con el porcentaje de cada elemento NPK en el fertilizante.
	Definición	[0.15,0.15,0.15]

Fuente: Autor

Variables auxiliares.

Tabla 51. Elementos de tipo variable auxiliar del sector mejoramiento de nutrientes del diagrama de flujos y niveles.

○	Nombre	DefPhIni
	Descripción	[pH] Diferencia de potencial de hidrogeno existente entre el pH del suelo y el pH promedio que la planta requiere

	Definición	ProPhPlantas-PhSueloIni
	Relaciones Causales	PhSueloIni ProPhPlantas
○	Nombre	CantCalAplicar
	Descripción	[Tn/Ha] Cantidad de CaO3 a aplicar
	Definición	DefPhIni*CalUniPH
	Relaciones Causales	DefPhIni CalUniPH
○	Nombre	FNormalCalTra
	Descripción	Eventos de aplicación de cal, donde se aplica el 30 por ciento el primer día, el 40 por ciento el segundo día y el 30 por ciento el tercer día
	Definición	$CantCalAPlicar * ((0.3 * STEP(1, DiasApliCal[1], t)) * (1 - STEP(1, DiasApliCal[1] + 1, t))) + (0.4 * STEP(1, DiasApliCal[2], t)) * (1 - STEP(1, DiasApliCal[2] + 1, t))) + (0.3 * STEP(1, DiasApliCal[3], t)) * (1 - STEP(1, DiasApliCal[3] + 1, t)))$
	Relaciones Causales	CantCalAPlicar DiasApliCal
○	Nombre	DefPhPosCre
	Descripción	Identifica las necesidades de cal después del crecimiento del cultivo
	Definición	$IF(t > tiemVegetativo, (ProPhPlantas - PhSuelo), 0)$
	Relaciones Causales	ProPhPlantas PhSuelo tiemVegetativo
○	Nombre	AumentoCalMante
	Descripción	Variable que permite la adición de cal, cuando la diferencia de pH entre el suelo y la planta supera la tolerancia de pH de las plantas
	Definición	$IF(DefPhPosCre > DesPhPlantas, DesPhPlantas * CalUniPH, 0)$
	Relaciones Causales	DesPhPlantas DefPhPosCre CalUniPH
○	Nombre	ApliCalPh
	Descripción	Aplicación de la Cal en los días definidos,
	Definición	$DefPhIni * ((0.3 * STEP(1, DiasApliCal[1], t)) * (1 -$




		$\text{STEP}(1, \text{DiasApliCal}[1]+1, t)) + (0.4 * \text{STEP}(1, \text{DiasApliCal}[2], t) * (1 - \text{STEP}(1, \text{DiasApliCal}[2]+1, t))) + (0.3 * \text{STEP}(1, \text{DiasApliCal}[3], t) * (1 - \text{STEP}(1, \text{DiasApliCal}[3]+1, t)))$
	Relaciones Causales	DefPhIni DiasApliCal
○	Nombre	AumentoPhMante
	Descripción	Aplicación de pH cuando supera el límite de tolerancia del cultivo.
	Definición	IF(DefPhPosCre>DesPhPlantas, DesPhPlantas, 0)
	Relaciones Causales	DefPhPosCre DesPhPlantas
○	Nombre	CantNutrientes
	Descripción	Cantidad total de macronutrientes requeridos para el desarrollo del cultivo y de su cosecha
	Definición	[MacroNutriReqCul[1]+MacroNutriReqCos[1], MacroNutriReqCul[2]+MacroNutriReqCos[2], MacroNutriReqCul[3]+MacroNutriReqCos[3]]
	Relaciones Causales	MacroNutriReqCul MacroNutriReqCos
○	Nombre	NecesiNutrientes
	Descripción	Total de nutrientes necesarios para el correcto desarrollo del cultivo en el terreno instanciado.
	Definición	[(CantNutrientes[1]-NASimilable)/0.6, (CantNutrientes[2]-PASimilable)/0.2, (CantNutrientes[3]-KAsimilable)/0.6]
	Relaciones Causales	CantNutrientes NASimilable PASimilable KAsimilable
○	Nombre	Fertilizantes
	Descripción	Cantidad de nutrientes expresados en los compuestos de los fertilizantes
	Definición	[NecesiNutrientes[1], NecesiNutrientes[2]*2.29, NecesiNutrientes[3]*1.20]
	Relaciones Causales	NecesiNutrientes
○	Nombre	RelacionFerti
	Descripción	Relación de fertilizantes para determinar su

		correspondiente tipo.
	Definición	$[\text{INT}(\text{Fertilizantes}[1]/\text{MIN}(\text{Fertilizantes}[1], \text{Fertilizantes}[2], \text{Fertilizantes}[3])), \text{INT}(\text{Fertilizantes}[2]/\text{MIN}(\text{Fertilizantes}[1], \text{Fertilizantes}[2], \text{Fertilizantes}[3])), \text{INT}(\text{Fertilizantes}[3]/\text{MIN}(\text{Fertilizantes}[1], \text{Fertilizantes}[2], \text{Fertilizantes}[3]))]$
	Relaciones Causales	Fertilizantes
○	Nombre	CantFertilizante
	Descripción	Cantidad de fertilizante disponible
	Definición	$\text{MAX}(\text{Fertilizantes}[1], \text{Fertilizantes}[2], \text{Fertilizantes}[3])/0.15$
	Relaciones Causales	Fertilizantes
○	Nombre	ApliFer
	Descripción	Representa la aplicación del fertilizante
	Definición	$\text{CantFertilizante} * ((0.30 * \text{STEP}(1, \text{DiasApliFer}[1], t) * (1 - \text{STEP}(1, \text{DiasApliFer}[1] + 1, t))) + (0.25 * \text{STEP}(1, \text{DiasApliFer}[2], t) * (1 - \text{STEP}(1, \text{DiasApliFer}[2] + 1, t))) + (0.20 * \text{STEP}(1, \text{DiasApliFer}[3], t) * (1 - \text{STEP}(1, \text{DiasApliFer}[3] + 1, t))) + (0.15 * \text{STEP}(1, \text{DiasApliFer}[4], t) * (1 - \text{STEP}(1, \text{DiasApliFer}[4] + 1, t))) + (0.10 * \text{STEP}(1, \text{DiasApliFer}[5], t) * (1 - \text{STEP}(1, \text{DiasApliFer}[5] + 1, t))))$
	Relaciones Causales	CantFertilizante DiasApliFer
○	Nombre	AporteFerti
	Descripción	Valor del aumento de fertilizante en términos de elementos.
	Definición	$[(\text{AumentoFertili} * \text{CompFertilizante}[1]) * 0.6, ((\text{AumentoFertili} * \text{CompFertilizante}[2]) * 0.2) / 2.29, ((\text{AumentoFertili} * \text{CompFertilizante}[3]) * 0.6) / 1.2]$
	Relaciones Causales	AumentoFertili CompFertilizante

Fuente: Autor

Niveles.



Tabla 52. Elementos de tipo nivel del sector mejoramiento de nutrientes del diagrama de flujos y niveles.

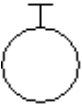
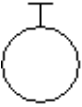
	Nombre	PhSuelo
	Descripción	Representa el valor del pH del suelo.
	Definición	PhSueloIni
	Relaciones Causales	PhSueloIni
	Nombre	TotalCal
	Descripción	Cantidad de cal necesaria para mantener equilibrado el pH del suelo
	Definición	0
	Relaciones Causales	
	Nombre	TotalFertilizante
	Descripción	Cantidad de fertilizante necesario para mantener las producciones.
	Definición	0
	Relaciones Causales	

Fuente: Autor

Flujos.

Tabla 53. Elementos de tipo flujo del sector mejoramiento de nutrientes del diagrama de flujos y niveles.

	Nombre	AumentoCal
	Descripción	Aumento de cal debido a las aplicaciones y a mantener el pH del suelo equilibrado.
	Definición	$F_{NormalCalTra} + AumenCalMante$
	Relaciones Causales	$F_{NormalCalTra}$ $AumenCalMante$
	Nombre	AumentoPh
	Descripción	Tasa de aumento del pH debido a la aplicación de Cal.

	Definición	ApliCalPh+AumentoPhMante
	Relaciones Causales	ApliCalPh AumentoPhMante
	Nombre	AumentoFertilizante
	Descripción	Aumento de la cantidad de fertilizante aplicado al terreno
	Definición	ApliFer
	Relaciones Causales	ApliFer
	Nombre	DismiPh
	Descripción	Tasa de disminución del pH debido a la aplicación de Fertilizantes.
	Definición	AumentoFertili
	Relaciones Causales	AumentoFertili

Fuente: Autor

Anexo H. DESCRIPCIÓN SECTOR CRECIMIENTO DE COSECHA DEL MODELO GENERAL DEL FENÓMENO GRANJA AGROPECUARIA EN LENGUAJE DE FLUJOS Y NIVELES.

El sector crecimiento de cosecha comprende los siguientes elementos:

Parámetros

Tabla 54. Elementos de tipo parámetro del sector crecimiento de cosecha del diagrama de flujos y niveles.

○	Nombre	MediaCreCul
	Descripción	Día promedio donde se encuentra el máximo de crecimiento del cultivo
	Definición	20
○	Nombre	FacHCreCul
	Descripción	Factor calibrador
	Definición	0.22
○	Nombre	FacVCreCul
	Descripción	Factor calibrador
	Definición	0.25
○	Nombre	MediaCreCos
	Descripción	Día promedio donde se encuentra el máximo de crecimiento de la cosecha
	Definición	75
○	Nombre	FacHCreCos
	Descripción	Factor calibrador
	Definición	0.22
○	Nombre	FacVCreCos
	Descripción	Factor calibrador
	Definición	0.25

Fuente: Autor

Variables auxiliares.

Tabla 55. Elementos de tipo variable auxiliar del sector crecimiento de cosecha del diagrama de flujos y niveles.

○	Nombre	TCuaCreCul
	Descripción	[] Factor que evalúa la cercanía de los tiempos y las eleva al cuadrado, con la finalidad de constituir la función normal
	Definición	$POWER((t-MediaCreCul)*FacHCreCul,2)$
	Relaciones Causales	MediaCreCul FacHCreCul
○	Nombre	FunNorCreCul
	Descripción	Función normal que representa la tasa de crecimiento del cultivo
	Definición	$(PesoSecoCultivo/PI)*(FacVCreCul/(1+TCuaCreCul))$
	Relaciones Causales	PesoSecoCultivo FacVCreCul TCuaCreCul
○	Nombre	EfAbor
	Descripción	Relación entre la absorción real y la absorción óptima de nutrientes
	Definición	$((AbsorcionMaNutri[1]/AbsorOptiMaNutri[1])/3)+((AbsorcionMaNutri[2]/AbsorOptiMaNutri[2])/3)+((AbsorcionMaNutri[3]/AbsorOptiMaNutri[3])/3)$
	Relaciones Causales	AbsorcionMaNutri AbsorOptiMaNutri
○	Nombre	TCuaCreCos
	Descripción	[] Factor que evalúa la cercanía de los tiempos y las eleva al cuadrado, con la finalidad de constituir la función normal
	Definición	$POWER((t-MediaCreCos)*FacHCreCos,2)$
	Relaciones Causales	MediaCreCos FacHCreCos
○	Nombre	FunNorCreCos
	Descripción	Función normal que representa la tasa de crecimiento de la cosecha
	Definición	$(PesoSecoCosecha/PI)*(FacVCreCos/(1+TCuaCreCos))$
	Relaciones Causales	PesoSecoCosecha FacVCreCos TCuaCreCos
○	Nombre	EfExtra
	Descripción	Relación entre la extracción real y la extracción óptima de nutrientes

	Definición	$((\text{ExtraccionMNutri}[1]/\text{ExtraOptiMaNutri}[1])/3)+$ $((\text{ExtraccionMNutri}[2]/\text{ExtraOptiMaNutri}[2])/3)+$ $((\text{ExtraccionMNutri}[3]/\text{ExtraOptiMaNutri}[3])/3)$
	Relaciones Causales	ExtraccionMNutri ExtraOptiMaNutri
○	Nombre	EfCreCul
	Descripción	Relación entre el peso real del cultivo y el peso seco ideal del cultivo.
	Definición	$\text{PesoCul}/\text{PesoSecoCultivo}$
	Relaciones Causales	PesoCul PesoSecoCultivo

Fuente: Autor

Niveles.

Tabla 56. Elementos de tipo nivel del sector crecimiento de cosecha del diagrama de flujos y niveles.

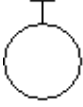
□	Nombre	PesoCul
	Descripción	[gr] Representa el peso real del cultivo.
	Definición	0
	Relaciones Causales	CreCiCul
□	Nombre	PesoCos
	Descripción	[gr] Representa el peso real de la cosecha.
	Definición	0
	Relaciones Causales	CreCiCos

Fuente: Autor

Flujos.

Tabla 57. Elementos de tipo flujo del sector crecimiento de cosecha del diagrama de flujos y niveles.

○	Nombre	CreCiCul
---	--------	----------

	Descripción	Crecimiento del cultivo, en el cual influyen el ambiente y la eficiencia de absorción, dirigido por un comportamiento normal.
	Definición	$\text{FunNorCreCul} * ((\text{EfAbor} + \text{EfGenAmb}) / 2) * (1 - \text{STEP}(1, \text{tiemVegetativo}, t))$
	Relaciones Causales	$\begin{aligned} &\text{FunNorCreCul} \\ &\text{EfAbor} \\ &\text{EfGenAmb} \\ &\text{tiemVegetativo} \end{aligned}$
	Nombre	CreciCos
	Descripción	Crecimiento de la cosecha, en el cual influyen el ambiente y la eficiencia de absorción, dirigido por un comportamiento normal.
	Definición	$\text{FunNorCreCos} * ((\text{EfExtra} + \text{EfGenAmb} + \text{EfCreCul}) / 3) * \text{STEP}(1, \text{tiemVegetativo}, t) * (1 - \text{STEP}(1, \text{tiemReproductivo} + \text{tiemVegetativo}, t))$
	Relaciones Causales	$\begin{aligned} &\text{FunNorCreCos} \\ &\text{EfGenAmb} \\ &\text{EfCreCul} \\ &\text{tiemVegetativo} \\ &\text{tiemReproductivo} \end{aligned}$

Fuente: Autor

Anexo I. ESCENARIOS DEL PROCESO OBTENCIÓN DE REQUERIMIENTOS DE LA METODOLOGÍA DE INGENIERÍA DEL SOFTWARE

<i>Nombre del escenario.</i>	Definición de la granja en estudio.
<i>Instancias de los actores.</i>	P1: PAP, SIAC: SIA, GoogleMaps: SIG
<i>Flujo de eventos.</i>	<ol style="list-style-type: none">1. P1 accede al portal en internet de EcoGranja a través de un explorador web y procede a autenticarse.2. EcoGranja verifica que el usuario este registrado y despliega una interfaz gráfica en la página web que está observando P1, mostrando las granjas definidas por P1 (si las tiene) y ofrece la opción de registrar nuevas instancias de Granjas.3. P1 procede a registrar el nombre y la localización general de la nueva granja, después del registro, el sistema le ofrece representación gráfica de la superficie terrestre a través del servicio web GoogleMaps, el usuario busca e identifica el área correspondiente a la granja en estudio a través de la selección de sus límites geográficos, una vez identificada el área de la granja, EcoGranja consulta y almacena los datos del relieve en su base de datos interna, con estos datos EcoGranja representa gráficamente la granja y proporciona la información geográfica de la granja en estudio.4. Inmediatamente después EcoGranja busca información ambiental como los recursos hídricos, los suelos y las condiciones climáticas de la granja definida, a través del Sistema de Información Ambiental SIA, obteniendo información que almacena en su base de datos y representa gráficamente las condiciones ambientales.

<i>Nombre del escenario</i>	Proyección de producción agrícola de la granja en estudio.
<i>Instancias de los actores</i>	P1: PAP, SIAC: SIA, GoogleMaps: SIG
<i>Flujo de eventos</i>	<ol style="list-style-type: none"> 1. El usuario P1 debe estar autenticado en el sistema y tener definida por lo menos una granja en el sistema. 2. El usuario P1 debe seleccionar la granja con la cual pretende realizar la proyección de producción agrícola. 3. EcoGranja le presenta al usuario P1 un formulario para asignar criterios de evaluación de cultivos, como lo son: tipo de producción agrícola, tiempo de producción, espacio productivo, en base a estos criterios y a la información que describe la granja, se instancia el modelo de simulación de producción agropecuaria con cada uno de los escenarios de producción agrícola que comprende EcoGranja, los cuales al simularlos generan información sobre las proyecciones de producción y las presenta al usuario P1. 4. El usuario P1 evalúa resultados y selecciona la producción más relevante según su criterio, una vez seleccionada se almacena en la base de datos de EcoGranja. 6. Luego, EcoGranja analiza si hace falta espacio productivo por asignar a las producciones, en caso afirmativo le permite al usuario P1 simular producciones en el terreno faltante. 7. Finalmente, EcoGranja representa gráficamente la organización de la granja y permite el acceso a documentación sobre prácticas agropecuarias pertinentes para las producciones seleccionadas por el usuario.

<i>Nombre del escenario</i>	Proyección de producción pecuaria de la granja en estudio.
<i>Instancias de los actores</i>	P1: PAP, SIAC: SIA, GoogleMaps: SIG
<i>Flujo de por eventos</i>	<ol style="list-style-type: none"> 1. El usuario P1 debe estar autenticado en el sistema, haber definido por lo menos una granja en el sistema. 2. El usuario P1 debe seleccionar la Granja con la cual pretende realizar la proyección productiva y también seleccionar un cultivo de tipo forrajes. 3. EcoGranja le presenta al usuario P1 un formulario para asignar criterios de evaluación de crianzas, como lo son: tipo de producción pecuaria, tiempo de producción, espacio productivo, en base a los estos criterios y a la información que describe la granja, se instancian los modelos de simulación productiva, los cuales al simularlos entregan información sobre las proyecciones de producción. 4. El usuario P1 evalúa resultados y selecciona la producción más relevante según su criterio, una vez seleccionada se almacena en la base de datos de EcoGranja. 6. Luego, EcoGranja analiza si hace falta espacio productivo por asignar a las producciones, en caso afirmativo le permite al usuario P1 simular producciones en el terreno faltante. 7. Finalmente, EcoGranja representa gráficamente la organización de la granja y permite el acceso a documentación sobre prácticas agropecuarias pertinentes para las producciones seleccionadas por el usuario.

<i>Nombre del escenario</i>	Visualización de información de producciones agropecuarias
<i>Instancias de los actores</i>	Pub1: PUB, P1: PAP
<i>Flujo de eventos</i>	<ol style="list-style-type: none">1. Pub1 o P1 accede al portal en internet de EcoGranja a través de un explorador web e ingresa a la zona de aprendizaje.2. EcoGranja despliega áreas temáticas donde el usuario puede visualizar y acceder a información explícita sobre características y prácticas de producción agropecuarias e información sobre el ambiente Colombiano, esta información tiene la finalidad de contribuir en el aprendizaje del productor agropecuario, también el sistema ofrece un buscador de información que vincula al usuario con cada una de las áreas temáticas.

<i>Nombre del escenario</i>	Gestión de la base de conocimiento de EcoGranja.
<i>Instancias de los actores</i>	Adm1: ADM
<i>Flujo de eventos.</i>	<ol style="list-style-type: none">1. Adm1 accede al portal en internet de EcoGranja a través de un explorador de internet y se autentifica como administrador.2. EcoGranja presenta la opción de administración de información productiva, despliega un aplicativo de gestión la base de datos de producciones agropecuarias, que permite crear, presentar, modificar o eliminar escenarios productivos agrícolas y pecuarios.3. Adm1 ingresa nuevas instancias de producciones agrícolas o pecuarias, y guarda la información suministrada.

Anexo J. CASOS DE USO DEL PROCESO OBTENCIÓN DE REQUERIMIENTOS DE LA METODOLOGÍA DE INGENIERÍA DEL SOFTWARE

<i>Nombre del caso de uso</i>	Definir Granja
<i>Actores participantes</i>	Iniciado por PAP, presenta comunicación con el SIG y el SIA.
<i>Condición inicial</i>	1. El usuario PAP debe estar autenticado en EcoGranja y acceder a la opción de “Definir nueva Granja” del menú “Gestión de Granjas”.
<i>Flujo de eventos</i>	<p>2. EcoGranja despliega una interfaz gráfica con un formulario en la página web que está siendo observada por el PAP.</p> <p>3. PAP procede a ingresar el nombre, la ubicación, el área y la información general de la nueva Granja en el formulario, y lo envía al sistema EcoGranja.</p> <p>4. EcoGranja registra la anterior información y ofrece en la interfaz gráfica, la visualización del terreno a través del servicio web de GoogleMaps.</p> <p>5. En la interfaz que representa el terreno, el PAP busca e identifica el área correspondiente a la granja en estudio, a través de la selección gráfica de los límites geográficos, luego PAP confirma al sistema el registro del relieve de la granja.</p> <p>6. EcoGranja consulta los datos del relieve del SIG, y los almacena en su base de datos interna, con estos datos EcoGranja representa gráficamente la granja en la interfaz que visualiza el PAP.</p> <p>7. EcoGranja busca información ambiental en el SIA principalmente, recursos hídricos, los suelos y las condiciones climáticas de la granja definida, esta información es almacenada en la base de datos y, también la representa gráfica y textualmente en la interfaz de usuario.</p> <p>8. PAP edita la información obtenida si lo considera necesario y acepta el registro general de las características de la Granja.</p>
<i>Condición De salida</i>	Se presenta un informe a PAP con el resumen de las características que se registraron en el sistema y que definen la granja en estudio.
<i>Requerimientos</i>	La interfaz gráfica que permite la selección del relieve debe

especiales representar los mapas topográficos que se soliciten en menos de cinco segundos, y también permitir una visualización por lo mínimo de 100 metros sobre el nivel del suelo.

Nombre del caso de uso Proyectar Producción Agrícola.

Actor participante Iniciado por PAP.

Condición inicial 1. El usuario PAP debe estar autenticado en EcoGranja, y acceder a la opción “Simular Producción Agrícola” del menú “Gestión de Granjas”.

Flujo de eventos 2. EcoGranja despliega una interfaz gráfica que lista las granjas instanciadas por PAP y permite la selección de una granja.
3. El usuario PAP selecciona una de sus granjas registradas.
4. EcoGranja representa gráficamente la granja seleccionada, presenta la información del ambiente de la granja y genera un formulario de selección de criterios de simulación de producción agrícola, entre los cuales se destacan: tipo de producción agrícola, tiempo de producción, espacio productivo e índice de desgaste del suelo.
5. EcoGranja en base a la información que describe la granja y a los datos que representan los escenarios productivos, instancia los modelos de simulación productiva con los cuales se obtienen proyecciones de producción agrícola.
6. El usuario PAP evalúa los resultados para determinar la producción más relevante según su criterio, una vez seleccionada se almacena en la base de datos de EcoGranja.
7. Luego, EcoGranja permite al usuario PAP la opción de asignar criterios adicionales para seleccionar cultivos que complementen y contribuyan a la producción, permitiendo un máximo de producciones determinado por el área de la granja.

Condición de salida 8. EcoGranja representa gráficamente la organización de la granja y permite el acceso a documentación sobre prácticas agropecuarias pertinentes para las producciones seleccionadas por el usuario.

Requerimientos La interfaz gráfica que representa la granja en estudio debe representar

especiales las características de las granjas con la mayor similitud posible y la simulación debe ser confiable.

Nombre del caso de uso Proyectar Producción Pecuaria.

Actor participante Iniciado por PAP.

Condición inicial 1. El usuario PAP debe estar autenticado en EcoGranja, y acceder a la opción “Simular Producción Pecuaria” del menú “Gestión de Granjas”.

Flujo de eventos 2. EcoGranja despliega una interfaz gráfica que lista las granjas instanciadas por PAP y permite la selección de una granja.
3. El usuario PAP selecciona una de sus granjas registradas.
4. EcoGranja representa gráficamente la granja seleccionada, presenta la información del ambiente de la granja y genera un formulario de selección de forraje, donde el PAP puede seleccionar el tipo de cultivo, y el espacio destinado a este, lo que proporcionará una cantidad de alimento con el que se sustentará el desarrollo de la crianza.
5. Luego PAP, selecciona los criterios de simulación de producción pecuaria, entre los cuales se destacan: tipo de producción pecuaria, tiempo de producción, cantidad de unidades pecuarias, etc.
6. EcoGranja en base a la información que describe la granja, a los datos que representan los escenarios productivos, instancia los modelos de simulación productiva con los cuales obtiene proyecciones de producción pecuaria.
7. El usuario PAP evalúa los resultados para determinar la producción más relevante según su criterio, una vez seleccionada se almacena en la base de datos de EcoGranja.

Condición de salida 8. EcoGranja representa gráficamente la organización de la granja y permite el acceso a documentación sobre prácticas agropecuarias pertinentes para las producciones seleccionadas por el usuario.

Requerimientos La interfaz gráfica que representa la granja en estudio debe representar

especiales las características de las granjas con la mayor similitud posible y la simulación debe ser confiable.

Nombre del caso de uso Visualizar información productiva.

Actor participante Iniciado por PAP, PUB o ADM.

Condición inicial 1. El usuario (PUB, PAP ó ADM) debe acceder al portal web de EcoGranja y seleccionar la opción de “Información de producción agropecuaria” del menú “Aprendizaje”.

Flujo de eventos 2. EcoGranja despliega un listado de áreas temáticas sobre producción agropecuaria y un buscador de información, que son dos alternativas de acceso a la información, contribuyendo en el acceso a información pertinente del fenómeno de producción agropecuaria.
3. El usuario selecciona un enlace web, correspondiente a un artículo que puede contener información explícita sobre características y prácticas de producción agropecuarias e información sobre el ambiente Colombiano, la información ofrecida por EcoGranja comprende texto, graficas, multimedia y enlaces en formato web.

Condición de salida 4. EcoGranja despliega en una presentación de página web la información pertinente para la producción agropecuaria relacionada con la selección conceptual que realizo el usuario.

Requerimientos especiales La interfaz gráfica correspondiente a la zona de aprendizaje debe permitir la realización de búsquedas detalladas de cualquier termino que el usuario ingrese, los resultados deben clasificarse por áreas temáticas.

<i>Nombre del caso de uso</i>	Registrar información productiva.
<i>Actor participante</i>	Iniciado por ADM
<i>Condición inicial</i>	1. El usuario ADM debe estar autenticado como “Administrador” en EcoGranja y seleccionar la opción “Gestionar información productiva” del menú “Administración”.
<i>Flujo de eventos</i>	2. EcoGranja despliega un aplicativo de gestión en presentación web de la base de datos de producciones agropecuarias. 3. ADM se accede a la opción de “ingreso de nuevo registro”. 4. EcoGranja muestra los campos correspondientes a la caracterización de suelos, donde se almacenan los requisitos nutricionales para las producciones agropecuarias. 5. ADM ingresa el registro de la nueva instancia de producciones agrícolas y guarda la información suministrada.
<i>Condición de salida</i>	6. EcoGranja despliega un mensaje informativo con el resultado del registro.
<i>Requerimientos especiales</i>	La presentación de cada registro de la base de datos debe ser entendible para cualquier usuario.

Anexo K. MODELO GENERAL DE LA GRANJA AGROPECUARIA EN LENGUAJE DE ECUACIONES.

A continuación se presenta el modelo general de la granja agropecuaria en el lenguaje de las ecuaciones, siguiendo la dirección de la metodología de modelado asumida en el grupo SIMON de investigaciones, este modelo representa en términos de ecuaciones matemáticas cada una de las entidades y relaciones que se asumieron en el modelo del fenómeno estudiado, para lograr su desarrollo se realizó el proceso de modelado en la herramienta de modelado y simulación con dinámica de sistemas, Evolución 4.1, y luego se simuló en la herramienta de simulación en la Web, Evolución Web, desarrollada en el presente trabajo, esta última herramienta da soporte al modelo en lenguaje de las ecuaciones, a manera de ejemplo de aplicación se presenta el modelo con los escenarios correspondientes a la granja el Hangar de la Universidad Industrial de Santander y al escenario de producción agropecuaria correspondiente al cultivo de maíz.

```
1. //Modelo en lenguaje de ecuaciones:
2. var t_serie=[];
3. var ti=0;
4. var tf=30;
5. var dt=1;
6. var t=ti;
7.
8. var AreaCultivo=10000;
9. var CalUniPH=12.96;
10. var CompFertilizante=[0.15,0.15,0.15];
11. var DensidadAparente=1;
12. var DesHumePlanta=5;
13. var DesLumiPlanta=700;
14. var DesPesoUniCos=31.07;
15. var DesPesoUniCul=31.07;
16. var DesPhPlantas=0.5;
17. var DesPreciPlanta=200;
18. var DesTempPlanta=2.5;
19. var DiasApliCal=[0,10,20];
20. var DiasApliFer=[1,10,20,30,40];
21. var DistHorizontal=0.85;
22. var DistVertical=0.30;
23. var EfFosfoAbsor=3/6;
24. var EfFosfoExtra=3/6;
25. var EfNitroAbsor=5/12;
26. var EfNitroExtra=5/12;
27. var EfPotaAbsor=2/6;
28. var EfPotaExtra=2/6;
29. var FacHCreCos=0.22;
30. var FacHCreCul=0.22;
31. var FacVCreCos=0.25;
32. var FacVCreCul=0.25;
33. var Fosforo=11.6;
```

```

34. var HumedadRelativa=73;
35. var KAbsorPro=19;
36. var KExtraPro=4;
37. var Luminosidad=2500;
38. var MaxFosforo=30;
39. var MaxNitrogeno=0.25;
40. var MaxPotasio=0.30;
41. var MediaCreCos=75;
42. var MediaCreCul=20;
43. var MinFosforo=15;
44. var MinNitrogeno=0.15;
45. var MinPotasio=0.15;
46. var NAbsorPro=22;
47. var NExtraPro=15;
48. var Nitrogeno=0.13;
49. var PAbsorPro=4;
50. var PExtraPro=3;
51. var PesoUniCosecha=238.2;
52. var PesoUniCultivo=276.7;
53. var PhSueloIni=5.6;
54. var Potasio=0.03;
55. var Precipitaciones=1411;
56. var ProHumePlanta=75;
57. var ProLumiPlanta=2500;
58. var ProPhPlantas=6.5;
59. var ProPreciPlanta=1500;
60. var ProTempPlanta=27.5;
61. var Profundidad=30;
62. var Temperatura=24;
63. var tiemReproductivo=57;
64. var tiemVegetativo=55;
65. var AporMatCul=0;
66. var DefPhIni=ProPhPlantas-PhSueloIni;
67. var FacTiemAbsor=[POWER((t-(tiemVegetativo*EfNitroAbsor))*0.22,2),POWER((t-
(tiemVegetativo*EfFosfoAbsor))*0.22,2),POWER((t-
(tiemVegetativo*EfPotaAbsor))*0.22,2)];
68. var FacTiemExtra=[POWER((t-tiemVegetativo-
(tiemReproductivo*EfNitroExtra))*0.22,2),POWER((t-tiemVegetativo-
(tiemReproductivo*EfFosfoExtra))*0.22,2),POWER((t-tiemVegetativo-
(tiemReproductivo*EfPotaExtra))*0.22,2)];
69. var FactHume=1/(3*DesHumePlanta);
70. var FactHumeCua=POWER((HumedadRelativa-ProHumePlanta)*FactHume,2);
71. var FactLumi=0.655/DesLumiPlanta;
72. var FactLumiCua=POWER((Luminosidad-ProLumiPlanta)*FactLumi,2);
73. var FactPh=1/(3*DesPhPlantas);
74. var FactPreci=1/(2*DesPreciPlanta);
75. var FactPreciCua=POWER((Precipitaciones-ProPreciPlanta)*FactPreci,2);
76. var FactTemp=1/(2*DesTempPlanta);
77. var FactTempCua=POWER((Temperatura-ProTempPlanta)*FactTemp,2);
78. var MasaPorHectarea=100000*Profundidad*DensidadAparente;
79. var NAsimilable=((Nitrogeno*1.2)/10000)*MasaPorHectarea;
80. var NMaximo=(MaxNitrogeno*0.015/100)*MasaPorHectarea;
81. var NMinimo=(MinNitrogeno*0.015/100)*MasaPorHectarea;
82. var NPromedio=(NMaximo+NMinimo)/2;
83. var NfactRedi=SQRT((1/0.5)-1)/(NMaximo-NPromedio);
84. var PAsimilable=(Fosforo/1000000)*MasaPorHectarea;

```

```

85. var PMaximo=(MaxFosforo/1000000)*MasaPorHectarea;
86. var PMinimo=(MinFosforo/1000000)*MasaPorHectarea;
87. var PPromedio=(PMaximo+PMinimo)/2;
88. var TCuaCreCos=POWER((t-MediaCreCos)*FacHCreCos,2);
89. var TCuaCreCul=POWER((t-MediaCreCul)*FacHCreCul,2);
90. var UnidadesHectarea=INT(AreaCultivo/(DistHorizontal*DistVertical));
91. var tiempoTotal=tiemVegetativo;
92. var MNutriAbsorbidos=[0,0,0];
93. var MNutriExtraidos=[0,0,0];
94. var PesoCos=0;
95. var PesoCul=0;
96. var PesoFertilizante=[0,0,0];
97. var PhSuelo=PhSueloIni;
98. var TotalCal=0;
99. var TotalFertilizan=0;
100. var FijaNutriAbsor=[AporMatCul,
101. AporMatCul,
102. AporMatCul];
103. var ApliCalPh=DefPhIni*((0.3*STEP(1,DiasApliCal[0],t)*(1-
STEP(1,DiasApliCal[0]+1,t)))+(0.4*STEP(1,DiasApliCal[1],t)*(1-
STEP(1,DiasApliCal[1]+1,t)))+(0.3*STEP(1,DiasApliCal[2],t)*(1-
STEP(1,DiasApliCal[2]+1,t))));
104. var CantCalAPlicar=DefPhIni*CalUniPH;
105. var DefPhPosCre=IF(t > tiemVegetativo,(ProPhPlantas-PhSuelo),0);
106. var EfHume=1/(1+FactHumeCua);
107. var EfLumi=1/(1+FactLumiCua);
108. var EfPreci=1/(1+FactPreciCua);
109. var EfTempe=1/(1+FactTempCua);
110. var FNormalCalTra=CantCalAPlicar*(
111. (0.3*STEP(1,DiasApliCal[0],t)*(1-STEP(1,DiasApliCal[0]+1,t)))+
112. (0.4*STEP(1,DiasApliCal[1],t)*(1-STEP(1,DiasApliCal[1]+1,t)))+
113. (0.3*STEP(1,DiasApliCal[2],t)*(1-STEP(1,DiasApliCal[2]+1,t)))
114. );
115. var FactPhCua=POWER((PhSuelo-ProPhPlantas)*FactPh,2);
116. var KAsimilable=(39/100000)*Potasio*MasaPorHectarea;
117. var KMaximo=(39/100000)*MaxPotasio*MasaPorHectarea;
118. var KMinimo=(39/100000)*MinPotasio*MasaPorHectarea;
119. var KPromedio=(KMaximo+KMinimo)/2;
120. var PFactRedi=SQRT((1/0.5)-1)/(PMaximo-PPromedio);
121. var PesoSecoCosecha=UnidadesHectarea*(PesoUniCosecha/1000);
122. var PesoSecoCultivo=UnidadesHectarea*(PesoUniCultivo/1000);
123. var MacroNutrientes=[NAsimilable,PAsimilable,KAsimilable];
124. var AumenCalMante=IF(DefPhPosCre > DesPhPlantas,DesPhPlantas*CalUniPH,0);
125. var AumentoPhMante=IF(DefPhPosCre > DesPhPlantas,DesPhPlantas,0);
126. var EfCreCul=PesoCul/PesoSecoCultivo;
127. var EfGenAmb=(EfPreci+EfLumi+EfTempe+EfHume)/4;
128. var EfPh=1/(1+FactPhCua);
129. var FunNorCreCos=(PesoSecoCosecha/PI)*(FacVCreCos/(1+TCuaCreCos));
130. var FunNorCreCul=(PesoSecoCultivo/PI)*(FacVCreCul/(1+TCuaCreCul));
131. var KDiferencia=KPromedio-MacroNutrientes[2];
132. var KFactRedi=SQRT((1/0.5)-1)/(KMaximo-KPromedio);
133. var
MacroNutriReqCos=[(PesoSecoCosecha/1000)*NExtraPro,(PesoSecoCosecha/1000)*PExtr
aPro,(PesoSecoCosecha/1000)*KExtraPro];

```

```

134. var
MacroNutriReqCul=[(PesoSecoCultivo/1000)*NAbsorPro,(PesoSecoCultivo/1000)*PAbsorPr
o,(PesoSecoCultivo/1000)*KAbsorPro];
135. var NDiferencia=NPromedio-MacroNutrientes[0];
136. var NEficiencia=1/(1+POWER(NfactRedi*(MacroNutrientes[0]-NPromedio),2));
137. var PDiferencia=PPromedio-MacroNutrientes[1];
138. var PEficiencia=1/(1+POWER(PFactRedi*(MacroNutrientes[1]-PPromedio),2));
139. var AumentoCal=FNORMALCalTra+AumenCalMante;
140. var AumentoPh=ApliCalPh+AumentoPhMante;
141. var AbsorOptiMaNutri=[MacroNutriReqCul[0]*(0.25/(PI*(1+FacTiemAbsor[0]))),
142. MacroNutriReqCul[1]*(0.25/(PI*(1+FacTiemAbsor[1]))),
143. MacroNutriReqCul[2]*(0.25/(PI*(1+FacTiemAbsor[2])))];
144. var CantNutrientes=[
145. MacroNutriReqCul[0]+MacroNutriReqCos[0],
146. MacroNutriReqCul[1]+MacroNutriReqCos[1],
147. MacroNutriReqCul[2]+MacroNutriReqCos[2]
148. ];
149. var ExtraOptiMaNutri=[MacroNutriReqCos[0]*(0.25/(PI*(1+FacTiemExtra[0]))),
150. MacroNutriReqCos[1]*(0.25/(PI*(1+FacTiemExtra[1]))),
151. MacroNutriReqCos[2]*(0.25/(PI*(1+FacTiemExtra[2])))];
152. var KEficiencia=1/(1+POWER(KFactRedi*(MacroNutrientes[2]-KPromedio),2));
153. var NecesiNutrientes=[(CantNutrientes[0]-NASimilable)/0.6,(CantNutrientes[1]-
PASimilable)/0.2,(CantNutrientes[2]-KASimilable)/0.6];
154. var NutriMayNec=MAX(NDiferencia*(1-NEficiencia),(PDiferencia*2.29)*(1-
PEficiencia),(KDiferencia*1.20)*(1-KEficiencia));
155. var RelNutriAbs=[AbsorOptiMaNutri[0]/MacroNutrientes[0],
156. AbsorOptiMaNutri[1]/MacroNutrientes[1],
157. AbsorOptiMaNutri[2]/MacroNutrientes[2]];
158. var RelNutriExtra=[ExtraOptiMaNutri[0]/MacroNutrientes[0],
159. ExtraOptiMaNutri[1]/MacroNutrientes[1],
160. ExtraOptiMaNutri[2]/MacroNutrientes[2]];
161. var
ResNutriSuelo=[(NutriMayNec/tiempoTotal),(NutriMayNec/tiempoTotal),(NutriMayNec/tie
mpoTotal)];
162. var FactorLimAbs=MAX(RelNutriAbs[0],RelNutriAbs[1],RelNutriAbs[2]);
163. var FactorLimExtra=MAX(RelNutriExtra[0],RelNutriExtra[1],RelNutriExtra[2]);
164. var
Fertilizantes=[NecesiNutrientes[0],NecesiNutrientes[1]*2.29,NecesiNutrientes[2]*1.20];
165. var
RelacionFerti=[INT(Fertilizantes[0]/MIN(Fertilizantes[0],Fertilizantes[1],Fertilizantes[2])),I
NT(Fertilizantes[1]/MIN(Fertilizantes[0],Fertilizantes[1],Fertilizantes[2])),INT(Fertilizantes
[2]/MIN(Fertilizantes[0],Fertilizantes[1],Fertilizantes[2]))];
166. var DispoNutiAbs=INTLINEAL(1,0,0.2,1,1,0.5,0.25,0.125,0);
167. var DispoNutiAbs=DispoNutiAbs_func(FactorLimAbs);
168. var DispoNutiExtra_func=INTLINEAL(1,0,0.2,1,1,0.5,0.25,0.125,0);
169. var DispoNutiExtra=DispoNutiExtra_func(FactorLimExtra);
170. var CantFertilizante=MAX(Fertilizantes[0],Fertilizantes[1],Fertilizantes[2])/0.15;
171. var AbsorcionMaNutri=[AbsorOptiMaNutri[0]*DispoNutiAbs*EfPh*(1-
STEP(1,tiemVegetativo,t)),
172. AbsorOptiMaNutri[1]*DispoNutiAbs*EfPh*(1-STEP(1,tiemVegetativo,t)),
173. AbsorOptiMaNutri[2]*DispoNutiAbs*EfPh*(1-STEP(1,tiemVegetativo,t))];
174. var
ExtraccionMNutri=[ExtraOptiMaNutri[0]*DispoNutiExtra*EfPh*STEP(1,tiemVegetativo,t)*(
1-STEP(1,tiemReproductivo+tiemVegetativo,t)),
175. ExtraOptiMaNutri[1]*DispoNutiExtra*EfPh*STEP(1,tiemVegetativo,t)*(1-
STEP(1,tiemReproductivo+tiemVegetativo,t)),

```

```

176. ExtraOptiMaNutri[0]*DispoNutriExtra*EfPh*STEP(1,tiemVegetativo,t)*(1-
STEP(1,tiemReproductivo+tiemVegetativo,t));
177. var
ResNutriExtra=[ExtraccionMNutri[0],[ExtraccionMNutri[1]*2.29],[ExtraccionMNutri[2]*1.2
)];
178. var ApliFer=CantFertilizante*(
179. (0.30*STEP(1,DiasApliFer[0],t)*(1-STEP(1,DiasApliFer[0]+1,t)))+
180. (0.25*STEP(1,DiasApliFer[1],t)*(1-STEP(1,DiasApliFer[1]+1,t)))+
181. (0.20*STEP(1,DiasApliFer[2],t)*(1-STEP(1,DiasApliFer[2]+1,t)))+
182. (0.15*STEP(1,DiasApliFer[3],t)*(1-STEP(1,DiasApliFer[3]+1,t)))+
183. (0.10*STEP(1,DiasApliFer[4],t)*(1-STEP(1,DiasApliFer[4]+1,t)))
184. );
185. var EfAbor=((AbsorcionMaNutri[0]/AbsorOptiMaNutri[0])/3)+
186. ((AbsorcionMaNutri[1]/AbsorOptiMaNutri[1])/3)+
187. ((AbsorcionMaNutri[2]/AbsorOptiMaNutri[2])/3);
188. var EfExtra=((ExtraccionMNutri[0]/ExtraOptiMaNutri[0])/3)+
189. ((ExtraccionMNutri[1]/ExtraOptiMaNutri[1])/3)+
190. ((ExtraccionMNutri[2]/ExtraOptiMaNutri[2])/3);
191. var AumentoFertili=ApliFer;
192. var
CreciCos=FunNorCreCos*((EfExtra+EfGenAmb+EfCreCul)/3)*STEP(1,tiemVegetativo,t)*(1-
STEP(1,tiemReproductivo+tiemVegetativo,t));
193. var CreciCul=FunNorCreCul*((EfAbor+EfGenAmb)/2)*(1-STEP(1,tiemVegetativo,t));
194. var DismiPh=0*AumentoFertili;
195. var
AporteFertli=[(AumentoFertili*CompFertilizante[0])*0.6,((AumentoFertili*CompFertilizant
e[1])*0.2)/2.29,((AumentoFertili*CompFertilizante[2])*0.6)/1.2];
196. var FijaNutriExtra=[AporteFertli[0],AporteFertli[1],AporteFertli[2]];
197.
198. while(t<=tf){
199.     t_serie.push(roundDec(t,2));
200.     t=t+dt;
201.     AporMatCul=0;
202.     DefPhIni=ProPhPlantas-PhSueloIni;
203.     FacTiemAbsor[0]=POWER((t-(tiemVegetativo*EfNitroAbsor))*0.22,2);
204.     FacTiemAbsor[1]=POWER((t-(tiemVegetativo*EfFosfoAbsor))*0.22,2);
205.     FacTiemAbsor[2]=POWER((t-(tiemVegetativo*EfPotaAbsor))*0.22,2);
206.     FacTiemExtra[0]=POWER((t-tiemVegetativo-(tiemReproductivo*EfNitroExtra))*0.22,2);
207.     FacTiemExtra[1]=POWER((t-tiemVegetativo-
(tiemReproductivo*EfFosfoExtra))*0.22,2);
208.     FacTiemExtra[2]=POWER((t-tiemVegetativo-(tiemReproductivo*EfPotaExtra))*0.22,2);
209.     FactHume=1/(3*DesHumePlanta);
210.     FactHumeCua=POWER((HumedadRelativa-ProHumePlanta)*FactHume,2);
211.     FactLumi=0.655/DesLumiPlanta;
212.     FactLumiCua=POWER((Luminosidad-ProLumiPlanta)*FactLumi,2);
213.     FactPh=1/(3*DesPhPlantas);
214.     FactPreci=1/(2*DesPreciPlanta);
215.     FactPreciCua=POWER((Precipitaciones-ProPreciPlanta)*FactPreci,2);
216.     FactTemp=1/(2*DesTempPlanta);
217.     FactTempCua=POWER((Temperatura-ProTempPlanta)*FactTemp,2);
218.     MasaPorHectarea=100000*Profundidad*DensidadAparente;
219.     NAsimilable=((Nitrogeno*1.2)/10000)*MasaPorHectarea;
220.     NMaximo=(MaxNitrogeno*0.015/100)*MasaPorHectarea;
221.     NMinimo=(MinNitrogeno*0.015/100)*MasaPorHectarea;
222.     NPromedio=(NMaximo+NMinimo)/2;
223.     NfactRedi=SQRT((1/0.5)-1)/(NMaximo-NPromedio);

```

224. PAsimilable=(Fosforo/1000000)*MasaPorHectarea;
 225. PMaximo=(MaxFosforo/1000000)*MasaPorHectarea;
 226. PMinimo=(MinFosforo/1000000)*MasaPorHectarea;
 227. PPromedio=(PMaximo+PMinimo)/2;
 228. TCuaCreCos=POWER((t-MediaCreCos)*FacHCreCos,2);
 229. TCuaCreCul=POWER((t-MediaCreCul)*FacHCreCul,2);
 230. UnidadesHectarea=INT(AreaCultivo/(DistHorizontal*DistVertical));
 231. tiempoTotal=tiemVegetativo;
 232. MNutriAbsorbidos[0]=MNutriAbsorbidos[0]+(AbsorcionMaNutri[0])*dt;
 233. MNutriAbsorbidos[1]=MNutriAbsorbidos[1]+(AbsorcionMaNutri[1])*dt;
 234. MNutriAbsorbidos[2]=MNutriAbsorbidos[2]+(AbsorcionMaNutri[2])*dt;
 235. MNutriExtraidos[0]=MNutriExtraidos[0]+(ExtraccionMNutri[0])*dt;
 236. MNutriExtraidos[1]=MNutriExtraidos[1]+(ExtraccionMNutri[1])*dt;
 237. MNutriExtraidos[2]=MNutriExtraidos[2]+(ExtraccionMNutri[2])*dt;
 238. PesoCos=PesoCos+(CreciCos)*dt;
 239. PesoCul=PesoCul+(CreciCul)*dt;
 240. PesoFertilizante[0]=PesoFertilizante[0]+(ResNutriExtra[0]+ResNutriSuelo[0])*dt;
 241. PesoFertilizante[1]=PesoFertilizante[1]+(ResNutriExtra[1]+ResNutriSuelo[1])*dt;
 242. PesoFertilizante[2]=PesoFertilizante[2]+(ResNutriExtra[2]+ResNutriSuelo[2])*dt;
 243. PhSuelo=PhSuelo+(AumentoPh-DismiPh)*dt;
 244. TotalCal=TotalCal+(AumentoCal)*dt;
 245. TotalFertilizan=TotalFertilizan+(AumentoFertili)*dt;
 246. FijaNutriAbsor[0]=AporMatCul;
 247. FijaNutriAbsor[1]=
 248. AporMatCul;
 249. FijaNutriAbsor[2]=
 250. AporMatCul;
 251. ApliCalPh=DefPhIni*((0.3*STEP(1,DiasApliCal[0],t)*(1-STEP(1,DiasApliCal[0]+1,t)))+(0.4*STEP(1,DiasApliCal[1],t)*(1-STEP(1,DiasApliCal[1]+1,t)))+(0.3*STEP(1,DiasApliCal[2],t)*(1-STEP(1,DiasApliCal[2]+1,t))));
 252. CantCalAplicar=DefPhIni*CalUniPH;
 253. DefPhPosCre=IF(t > tiemVegetativo,(ProPhPlantas-PhSuelo),0);
 254. EfHume=1/(1+FactHumeCua);
 255. EfLumi=1/(1+FactLumiCua);
 256. EfPreci=1/(1+FactPreciCua);
 257. EfTempe=1/(1+FactTempCua);
 258. FNormalCalTra=CantCalAplicar*(
 259. (0.3*STEP(1,DiasApliCal[0],t)*(1-STEP(1,DiasApliCal[0]+1,t)))+
 260. (0.4*STEP(1,DiasApliCal[1],t)*(1-STEP(1,DiasApliCal[1]+1,t)))+
 261. (0.3*STEP(1,DiasApliCal[2],t)*(1-STEP(1,DiasApliCal[2]+1,t))
 262.);
 263. FactPhCua=POWER((PhSuelo-ProPhPlantas)*FactPh,2);
 264. KAsimilable=(39/100000)*Potasio*MasaPorHectarea;
 265. KMaximo=(39/100000)*MaxPotasio*MasaPorHectarea;
 266. KMinimo=(39/100000)*MinPotasio*MasaPorHectarea;
 267. KPromedio=(KMaximo+KMinimo)/2;
 268. PFactRedi=SQRT((1/0.5)-1)/(PMaximo-PPromedio);
 269. PesoSecoCosecha=UnidadesHectarea*(PesoUniCosecha/1000);
 270. PesoSecoCultivo=UnidadesHectarea*(PesoUniCultivo/1000);
 271. MacroNutrientes[0]=MacroNutrientes[0]+(FijaNutriExtra[0]+FijaNutriAbsor[0]-ExtraccionMNutri[0]-AbsorcionMaNutri[0])*dt;
 272. MacroNutrientes[1]=MacroNutrientes[1]+(FijaNutriExtra[1]+FijaNutriAbsor[1]-ExtraccionMNutri[1]-AbsorcionMaNutri[1])*dt;
 273. MacroNutrientes[2]=MacroNutrientes[2]+(FijaNutriExtra[2]+FijaNutriAbsor[2]-ExtraccionMNutri[2]-AbsorcionMaNutri[2])*dt;

```

274. AumenCalMante=IF(DefPhPosCre > DesPhPlantas,DesPhPlantas*CalUniPH,0);
275. AumentoPhMante=IF(DefPhPosCre > DesPhPlantas,DesPhPlantas,0);
276. EfCreCul=PesoCul/PesoSecoCultivo;
277. EfGenAmb=(EfPreci+EfLumi+EfTempe+EfHume)/4;
278. EfPh=1/(1+FactPhCua);
279. FunNorCreCos=(PesoSecoCosecha/PI)*(FacVCreCos/(1+TCuaCreCos));
280. FunNorCreCul=(PesoSecoCultivo/PI)*(FacVCreCul/(1+TCuaCreCul));
281. KDiferencia=KPromedio-MacroNutrientes[2];
282. KFactRedi=SQRT((1/0.5)-1)/(KMaximo-KPromedio);
283. MacroNutriReqCos[0]=(PesoSecoCosecha/1000)*NExtraPro;
284. MacroNutriReqCos[1]=(PesoSecoCosecha/1000)*PExtraPro;
285. MacroNutriReqCos[2]=(PesoSecoCosecha/1000)*KExtraPro;
286. MacroNutriReqCul[0]=(PesoSecoCultivo/1000)*NAbsorPro;
287. MacroNutriReqCul[1]=(PesoSecoCultivo/1000)*PAbsorPro;
288. MacroNutriReqCul[2]=(PesoSecoCultivo/1000)*KAbsorPro;
289. NDiferencia=NPromedio-MacroNutrientes[0];
290. NEficiencia=1/(1+POWER(NfactRedi*(MacroNutrientes[0]-NPromedio),2));
291. PDiferencia=PPromedio-MacroNutrientes[1];
292. PEficiencia=1/(1+POWER(PFactRedi*(MacroNutrientes[1]-PPromedio),2));
293. AumentoCal=FNORMALCALTra+AumenCalMante;
294. AumentoPh=ApliCalPh+AumentoPhMante;
295. AbsorOptiMaNutri[0]=MacroNutriReqCul[0]*(0.25/(PI*(1+FacTiemAbsor[0])));
296. AbsorOptiMaNutri[1]=
297. MacroNutriReqCul[1]*(0.25/(PI*(1+FacTiemAbsor[1])));
298. AbsorOptiMaNutri[2]=
299. MacroNutriReqCul[2]*(0.25/(PI*(1+FacTiemAbsor[2])));
300. CantNutrientes[0]=
301. MacroNutriReqCul[0]+MacroNutriReqCos[0];
302. CantNutrientes[1]=
303. MacroNutriReqCul[1]+MacroNutriReqCos[1];
304. CantNutrientes[2]=
305. MacroNutriReqCul[2]+MacroNutriReqCos[2];
306. ExtraOptiMaNutri[0]=MacroNutriReqCos[0]*(0.25/(PI*(1+FacTiemExtra[0])));
307. ExtraOptiMaNutri[1]=
308. MacroNutriReqCos[1]*(0.25/(PI*(1+FacTiemExtra[1])));
309. ExtraOptiMaNutri[2]=
310. MacroNutriReqCos[2]*(0.25/(PI*(1+FacTiemExtra[2])));
311. KEficiencia=1/(1+POWER(KFactRedi*(MacroNutrientes[2]-KPromedio),2));
312. NecesiNutrientes[0]=(CantNutrientes[0]-NASimilable)/0.6;
313. NecesiNutrientes[1]=(CantNutrientes[1]-PASimilable)/0.2;
314. NecesiNutrientes[2]=(CantNutrientes[2]-KASimilable)/0.6;
315. NutriMayNec=MAX(NDiferencia*(1-NEficiencia),(PDiferencia*2.29)*(1-
PEficiencia),(KDiferencia*1.20)*(1-KEficiencia));
316. RelNutriAbs[0]=AbsorOptiMaNutri[0]/MacroNutrientes[0];
317. RelNutriAbs[1]=
318. AbsorOptiMaNutri[1]/MacroNutrientes[1];
319. RelNutriAbs[2]=
320. AbsorOptiMaNutri[2]/MacroNutrientes[2];
321. RelNutriExtra[0]=ExtraOptiMaNutri[0]/MacroNutrientes[0];
322. RelNutriExtra[1]=
323. ExtraOptiMaNutri[1]/MacroNutrientes[1];
324. RelNutriExtra[2]=
325. ExtraOptiMaNutri[2]/MacroNutrientes[2];
326. ResNutriSuelo[0]=(NutriMayNec/tiempoTotal);
327. ResNutriSuelo[1]=(NutriMayNec/tiempoTotal);
328. ResNutriSuelo[2]=(NutriMayNec/tiempoTotal);

```

329. FactorLimAbs=MAX(RelNutriAbs[0],RelNutriAbs[1],RelNutriAbs[2]);
330. FactorLimExtra=MAX(RelNutriExtra[0],RelNutriExtra[1],RelNutriExtra[2]);
331. Fertilizantes[0]=NecesiNutrientes[0];
332. Fertilizantes[1]=NecesiNutrientes[1]*2.29;
333. Fertilizantes[2]=NecesiNutrientes[2]*1.20;
334. RelacionFerti[0]=INT(Fertilizantes[0]/MIN(Fertilizantes[0],Fertilizantes[1],Fertilizantes[2]));
335. RelacionFerti[1]=INT(Fertilizantes[1]/MIN(Fertilizantes[0],Fertilizantes[1],Fertilizantes[2]));
336. RelacionFerti[2]=INT(Fertilizantes[2]/MIN(Fertilizantes[0],Fertilizantes[1],Fertilizantes[2]));
337. DispoNutiAbs=DispoNutiAbs_func(FactorLimAbs);
338. DispoNutriExtra=DispoNutriExtra_func(FactorLimExtra);
339. CantFertilizante=MAX(Fertilizantes[0],Fertilizantes[1],Fertilizantes[2])/0.15;
340. AbsorcionMaNutri[0]=AbsorOptiMaNutri[0]*DispoNutiAbs*EfPh*(1-STEP(1,tiemVegetativo,t));
341. AbsorcionMaNutri[1]=
342. AbsorOptiMaNutri[1]*DispoNutiAbs*EfPh*(1-STEP(1,tiemVegetativo,t));
343. AbsorcionMaNutri[2]=
344. AbsorOptiMaNutri[2]*DispoNutiAbs*EfPh*(1-STEP(1,tiemVegetativo,t));
345. ExtraccionMNutri[0]=ExtraOptiMaNutri[0]*DispoNutriExtra*EfPh*STEP(1,tiemVegetativo,t)*(1-STEP(1,tiemReproductivo+tiemVegetativo,t));
346. ExtraccionMNutri[1]=
347. ExtraOptiMaNutri[1]*DispoNutriExtra*EfPh*STEP(1,tiemVegetativo,t)*(1-STEP(1,tiemReproductivo+tiemVegetativo,t));
348. ExtraccionMNutri[2]=
349. ExtraOptiMaNutri[0]*DispoNutriExtra*EfPh*STEP(1,tiemVegetativo,t)*(1-STEP(1,tiemReproductivo+tiemVegetativo,t));
350. ResNutriExtra[0]=ExtraccionMNutri[0];
351. ResNutriExtra[1]=(ExtraccionMNutri[1]*2.29);
352. ResNutriExtra[2]=(ExtraccionMNutri[2]*1.2);
353. ApliFer=CantFertilizante*(
354. (0.30*STEP(1,DiasApliFer[0],t)*(1-STEP(1,DiasApliFer[0]+1,t)))+
355. (0.25*STEP(1,DiasApliFer[1],t)*(1-STEP(1,DiasApliFer[1]+1,t)))+
356. (0.20*STEP(1,DiasApliFer[2],t)*(1-STEP(1,DiasApliFer[2]+1,t)))+
357. (0.15*STEP(1,DiasApliFer[3],t)*(1-STEP(1,DiasApliFer[3]+1,t)))+
358. (0.10*STEP(1,DiasApliFer[4],t)*(1-STEP(1,DiasApliFer[4]+1,t))
359.);
360. EfAbor=((AbsorcionMaNutri[0]/AbsorOptiMaNutri[0])/3)+
361. ((AbsorcionMaNutri[1]/AbsorOptiMaNutri[1])/3)+
362. ((AbsorcionMaNutri[2]/AbsorOptiMaNutri[2])/3);
363. EfExtra=((ExtraccionMNutri[0]/ExtraOptiMaNutri[0])/3)+
364. ((ExtraccionMNutri[1]/ExtraOptiMaNutri[1])/3)+
365. ((ExtraccionMNutri[2]/ExtraOptiMaNutri[2])/3);
366. AumentoFertili=ApliFer;
367. CreciCos=FunNorCreCos*((EfExtra+EfGenAmb+EfCreCul)/3)*STEP(1,tiemVegetativo,t)*(1-STEP(1,tiemReproductivo+tiemVegetativo,t));
368. CreciCul=FunNorCreCul*((EfAbor+EfGenAmb)/2)*(1-STEP(1,tiemVegetativo,t));
369. DismiPh=0*AumentoFertili;
370. AporteFertli[0]=(AumentoFertili*CompFertilizante[0])*0.6;
371. AporteFertli[1]=((AumentoFertili*CompFertilizante[1])*0.2)/2.29;

```
372. AporteFertli[2]=((AumentoFertili*CompFertilizante[2])*0.6)/1.2;  
373. FijaNutriExtra[0]=AporteFertli[0];  
374. FijaNutriExtra[1]=AporteFertli[1];  
375. FijaNutriExtra[2]=AporteFertli[2];  
376. }
```